



**HAL**  
open science

# Hétérogénéité cognitive et remédiation des dyslexies développementales

Rachel Zoubrinetzky

► **To cite this version:**

Rachel Zoubrinetzky. Hétérogénéité cognitive et remédiation des dyslexies développementales. Psychologie. Université Grenoble Alpes, 2015. Français. NNT : 2015GREAS029 . tel-01308891

**HAL Id: tel-01308891**

**<https://theses.hal.science/tel-01308891>**

Submitted on 28 Apr 2016

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

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



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES



Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition



Grenoble  
Université Pierre Mendès-France  
Sciences sociales & humaines



CHU  
GRENOBLE



## THÈSE

Pour obtenir le grade de

### DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Sciences Cognitives, Psychologie et Neurocognition**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par :

**Rachel ZOUBRINETZKY**

Thèse dirigée par **Sylviane VALDOIS**

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition**  
(LPNC), CNRS, UMR 5105

dans **l'École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la**  
**Cognition et l'Environnement (EDISCE)**

# Hétérogénéité Cognitive et Remédiation des Dyslexies Développementales

Thèse soutenue publiquement le **1<sup>er</sup> décembre 2015**,

devant le jury composé de :

**Mme Marie-Line BOSSE**, Professeur des Universités, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Université Pierre Mendès-France, Grenoble - Présidente du jury.

**Mr Willy SERNICLAES**, Directeur de Recherches, Laboratoire Psychologie de la Perception, Université Paris Descartes, Professeur Honoraire de l'Université Libre de Bruxelles - Rapporteur.

**Mme Annie MAGNAN**, Professeur des Universités, Laboratoire d'Etudes des Mécanismes Cognitifs, Université Lumière Lyon 2 - Rapporteur.

**Mr Franck RAMUS**, Directeur de Recherches, Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, Ecole Normale Supérieure, Paris - Examineur.

**Mme Sylviane VALDOIS**, Directrice de Recherches, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Université Pierre Mendès-France, Grenoble - Directrice de thèse.



## REMERCIEMENTS

---

Je remercie Sylviane Valdois, pour m'avoir montré comment la Recherche prend sens dans la Clinique, et comment la Clinique s'enrichit de la Recherche. Je la remercie de m'avoir offert l'opportunité d'avancer sur ces deux voies qui me tiennent chacune à cœur, de les allier au quotidien. Son professionnalisme, sa rigueur, son pragmatisme, toujours teintés de bonne humeur, ont été pour moi un exemple. Elle m'a guidée, m'a encouragée, m'a rassurée dans les moments de doute ; elle m'a toujours soutenue, que ce soit sur le plan professionnel ou personnel. Merci pour tous ces moments chaleureux, pour ta convivialité, pour tous ces échanges passionnants. Merci de m'avoir fait confiance.

Je remercie Willy Serniclaes, Annie Magnan, Franck Ramus, et Marie-Line Bosse, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury de cette thèse. Merci pour le temps consacré à juger ce travail. Merci tout particulièrement à Willy Serniclaes et Annie Magnan d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et à Marie-Line Bosse d'avoir accepté de présider ce jury.

Je remercie également Willy Serniclaes, ainsi que Gregory Collet, d'avoir accepté de prendre part à ce projet, d'avoir partagé leurs réflexions, leurs expériences, leurs outils. Je les remercie pour cette collaboration riche d'enseignements, et pour toutes ces discussions qui ont fait avancer mes réflexions. Je remercie Gregory en particulier pour le développement de RAPDYS ; merci pour ton écoute, pour ton temps, pour tes conseils ; merci d'avoir permis que ce projet aboutisse.

Je remercie les membres du LPNC, dont certains ont été mes enseignants depuis ma première année de Psychologie et ont participé à faire naître ma passion. Merci à Monica, Elsa, Stéphane... Merci à ceux qui ont été présents tout au long de ma thèse, qui m'ont aidée, m'ont soutenue, m'ont encouragée, m'ont accueillie. Un remerciement particulier va à Marcela, Marie-Line, Marie, et Muriel (que de M pour un grand Merci !). Muriel, merci d'avoir fait de cette thèse ce qu'elle est ; merci pour MAEVA, merci pour ce travail, que tu m'as offert de poursuivre. Je remercie également particulièrement Eric pour son aide précieuse : pour ses compétences qui ont permis de mener à bien ce projet, de surmonter les difficultés matérielles, et pour sa grande disponibilité, pour moi, pour les orthophonistes, pour les familles. Merci à tous les membres de l'équipe Langage et tous les membres du LPNC, qui font de ce laboratoire un lieu d'échange passionnant, et un lieu chaleureux.

Je remercie tous les membres du CRTLA : Marie-Ange qui m'a encouragée dans cette voie, m'a fait confiance, m'a soutenue, et m'a donné les moyens de mener à bien cette thèse. Merci à Estelle, qui a joué un rôle déterminant dans ma décision, qui était là le jour J (« allez, je le fais ! »), mais qui surtout a été là tous les jours pour me soutenir (merci d'être toi !). Merci à Frédérique pour cette collaboration, merci d'avoir partagé tes réflexions, ton travail, et tes collègues ! Merci d'avoir fait de cette thèse ce qu'elle est ! Merci à Delphine qui m'a accompagnée dans mes projets de recherche dès mon stage de Master Pro, qui m'a fait confiance, m'a conseillée ; ton professionnalisme, ton parcours, ton courage ont été pour moi exemplaires ; merci à Elisabeth, Laurence, Aurélia, Ilona, Camille, Christine, Guillemette, Anne D et Anne M. Merci à Elsa qui m'a accueillie pour un stage il y a sept ans et qui a

changé ma vie ; sans toi tout cela n'aurait pas eu lieu. Merci les filles de faire de ce service un lieu de travail convivial, chaleureux, au-delà de la richesse des compétences de chacune et de ce travail d'équipe qui en font un lieu d'expertise. Merci de faire qu'il soit si agréable, jour après jour, de venir travailler à vos côtés. Merci les filles !

Merci à tous ceux qui ont permis que je puisse libérer mon temps pour la rédaction de ce manuscrit, et qui m'ont aidé sur le plan 'administratif'. Merci à Guylaine pour son aide, mais aussi pour sa gentillesse et sa bonne humeur. Merci à Michel pour ses conseils. Merci à Catherine pour sa compréhension et son aide. Merci à Elisabeth, Delphine, l'association Coridys, et l'ANFH. Merci à Marie-Ange, Sandrine et Laureline.

Merci à toutes les orthophonistes qui ont participé à ce projet, qui ont donné de leur temps et qui m'ont fait confiance. Merci à Helene Leroux, Myriam Servais, Béatrice Caniffi, Dominique Olivier, Isabelle Hue, Isabelle Doridor, Stéphanie Duigou, Patricia Gabriel Layour, Delphine Teissier, Delphine Noir, Lucile Janssen. Merci à toutes les orthophonistes qui ont accepté que leurs patients participent à ce projet.

Je remercie Laura Dupuy, Sandrine Meyer et Nadine Lions, mes 'étudiantes'. Merci pour ce temps passé en passation, et auprès des familles ; merci pour votre professionnalisme, pour nos échanges, pour vos réflexions, pour votre sérieux, pour votre aide ayant permis que ce travail de thèse soit ce qu'il est.

Je remercie tous les enfants dyslexiques qui ont participé à ce projet, et leurs parents. Je remercie également tous les enfants de l'école du Rondeau, ainsi que leurs professeurs et l'Inspecteur ayant permis ce projet.

Enfin, je remercie tous mes amis, qui m'ont soutenue, qui m'ont offert tous ces bons moments de détente, de fêtes, de partage, où le stress retombait, et qui ont fait de ce moment de vie ce qu'il est. Merci à Lolita, Annechka, Marie-Lise, Eloïse, Anaïs, Marie, Hélène, Lucie, Fred, Flo et Geo, à mes colloqs de Saint Martin, à toute la clique de Saint Paul et du Vercors, aux copains du Terroir, et aux Systylés ! Merci à ma belle-famille, Philippe, Véronique, et Valentin. Merci à Jérôme et Mathilde. Merci à tous !

Merci à mes parents, Serge et Sylvie, à ma sœur, Rébecca ; ce travail est spécialement dédié à mon frère Simon, et tous les zoubris, dont les mésaventures scolaires m'ont conduite sur ma voie professionnelle. Merci à mes grands-parents et toute ma famille. Merci pour toutes ces petites choses qui m'ont faites...

Emilien, merci pour ton soutien inconditionnel dans cette aventure ; merci d'avoir pris part avec moi à cette aventure ! Merci d'avoir été là, chaque jour. Merci pour ta patience. Merci pour ton aide, tout ce qui a fait que j'ai pu, grâce à toi, réaliser ce projet. Merci pour tes magnifiques plats qui ont entretenus ma santé physique, et mentale ! Merci de m'avoir offert ces moments dans la terre, merci pour tous ces grands bols d'air ! Merci de m'offrir cette vie rêvée ! Merci pour Tout ce qui nous fait Nous...

## RESUME

---

L'objectif de ce travail de thèse était de mieux caractériser l'hétérogénéité de la dyslexie développementale et d'étudier les implications de cette hétérogénéité pour la remédiation de ce trouble d'acquisition de la lecture. L'Etude I met en évidence une hétérogénéité cognitive au sein d'une population d'enfants dyslexiques, qui pourtant ont un profil de lecture homogène de dyslexie mixte. Ce profil est classiquement interprété comme relevant d'un double déficit. Or nous montrons que la plupart de ces enfants présente en fait un déficit cognitif unique, soit phonologique, soit de l'empan visuo-attentionnel (VA). De plus, ces deux sous-groupes à déficit unique ont des profils de lecture très similaires lorsqu'ils sont directement comparés. Ces données suggèrent donc que la classification en sous-types basée sur les profils de lecture n'est pas pertinente pour identifier des sous-groupes cognitivement homogènes dans la population dyslexique. Dans l'Etude II, nous décrivons un cas de dyslexie avec trouble sélectif de la lecture des pseudo-mots. Ce profil est classiquement interprété comme reflétant un déficit phonologique. Or, le cas que nous décrivons présente un trouble de l'empan VA en l'absence de toute atteinte verbale ou phonologique. Cette étude confirme une relation entre trouble cognitif et profil de lecture complexe et non univoque. L'Etude III interroge plus spécifiquement les liens entre troubles de l'empan VA, de la conscience phonémique et de la perception catégorielle des phonèmes. Nous montrons que la conscience phonémique joue un rôle de médiation entre perception catégorielle et lecture, et que cette relation est indépendante des capacités d'empan VA. Ces données nous ont ainsi permis de mieux caractériser l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique. Dans les deux dernières études, nous nous sommes interrogés sur la prise en compte de cette hétérogénéité cognitive dans la remédiation de la dyslexie. L'Etude IV est une étude d'entraînement cognitif. Deux types d'entraînements ont été successivement proposés à des enfants dyslexiques : un entraînement à la perception catégorielle et un entraînement de l'empan VA. Nous avons étudié les effets de chacun de ces entraînements sur des sous-groupes qui présentent un trouble cognitif unique, soit phonologique, soit de l'empan VA. Les résultats montrent l'intérêt de proposer une remédiation ciblée sur le déficit cognitif sous-jacent. Cette étude a également des enjeux théoriques majeurs, puisqu'elle nous a permis d'interroger les relations de causalité entre ces déficits cognitifs sous-jacents et la dyslexie. Enfin, dans l'Etude V la méthode d'adaptation visuelle par saillance syllabique étudiée n'améliore pas la lecture des enfants dyslexiques. L'ensemble de ces études confirment l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique et l'importance de prendre en compte cette hétérogénéité dans les méthodes de remédiation qui peuvent être proposées.

## ABSTRACT

---

The first aim of this doctoral thesis was to better understand the heterogeneity of developmental dyslexia focusing on the relationship between reading profiles and cognitive disorders. Our second purpose was to question the implications of cognitive heterogeneity for the remediation of developmental dyslexia. Study I revealed cognitive heterogeneity despite the homogeneous reading profile of the recruited population. Most children with a mixed reading profile typically interpreted as resulting from a double deficit, actually suffered from a single cognitive disorder, either a phoneme awareness or a visual attention (VA) span disorder. In addition, direct comparisons of these two cognitively distinct subgroups revealed very similar reading profiles. These findings suggest that the classification based on reading profiles is irrelevant to identify cognitively homogeneous subgroups in dyslexia. In Study II, we report the case study of a child with a selective pseudo-word reading disorder, a profile typically attributed to a phonological deficit. Contrary to this prediction however, we show that this dyslexic child shows preserved verbal and phonological skills but a VA span deficit. This finding again suggests the absence of one-to-one relationships between reading profiles and cognitive disorders. Study III more specifically explored the links between three types of cognitive deficits, namely the VA span disorder, the phoneme awareness deficit and the categorical perception disorder. Results show that phoneme awareness mediates the relationship between categorical perception and reading: poor categorical perception causes poor phoneme awareness, which in turn impacts reading performance. Poor VA span also impacts reading performance but independently of phoneme awareness and categorical perception. These findings are further evidence for the independent contribution of phonology and VA span to the reading outcome of dyslexic children. In Study IV, we assessed the longitudinal effects of two cognitive trainings. Dyslexic participants with a single phonological or a single VA span disorder were administered successively either a categorical perception then a VA span intervention, or the two trainings in the reverse order. At the clinical level, results show that intervention is more efficient when targeted on the underlying cognitive deficit. At the theoretical level, they question causal relationship between these cognitive deficit and dyslexia. Last, Study V explored the compensation power of a visual adaptation method using syllabic saliency. Results failed to show any positive effect of this method on reading performance. The overall findings support the cognitive heterogeneity of the dyslexic population and show that taking this issue into account is crucial to improve the effects of intervention programs.

# ABBREVIATIONS

---

## Générales

VA Visuo-Attentionnel

CRTLA Centre Référent des Troubles du Langage et des Apprentissages

QI Quotient Intellectuel

EEG Électroencéphalographie

MEG Magnétoencéphalographie

TDAH Trouble Déficitaire de l'Attention avec/sans Hyperactivité

## Statistiques

ANOVA ANalysis Of VAriance (analyse de variance)

F Indice statistique suivant la loi de Fisher

Moy Moyenne

ET Ecart-Type

t Indice statistique suivant la loi de Student

r Indice de corrélation de la loi de Pearson

$p$  Significativité statistique (probabilité d'erreur)

z-score Score standard ;  $z\text{-score} = \frac{\text{Score} - \text{Moy}}{\text{ET}}$

$d'$  Indice de sensibilité ;  $d' = z(\text{Pdc}) + z(\text{Pfa})$  où  $z$  est l'inverse d'une distribution Normale, Pdc la probabilité de détection correcte et Pfa la probabilité de fausses alarmes.

# TABLE DES MATIERES

---

<b>Remerciements</b> .....	<b>a</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>c</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>d</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>e</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>1</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>7</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>10</b>
<b>Introduction et Objectifs</b> .....	<b>12</b>
<b>Chapitre 1. Dyslexie et problématiques actuelles</b> .....	<b>14</b>
1. Définition, histoire et évolution théorique .....	14
1.1. Définition .....	14
1.2. Histoire et évolution des théories explicatives .....	16
1.3. La solidité des théories .....	18
1.3.1. Le problème de la causalité .....	18
1.3.2. Autres arguments expérimentaux .....	20
2. Théories phonologiques et auditives .....	22
2.1. Conscience phonologique .....	23
2.2. Représentations phonologiques .....	24
2.3. Traitement auditif .....	26
2.3.1. Déficit de traitement auditif rapide .....	26
2.3.2. Déficit de détection des changements d'amplitude .....	27
2.4. Déficit de perception catégorielle des phonèmes .....	29
2.4.1. Définitions .....	29
2.4.2. Mesures de la perception catégorielle .....	30
2.4.3. Développement de la perception catégorielle chez les enfants tout-venant .....	31
2.4.4. Perception allophonique chez les enfants dyslexiques .....	32
2.4.5. Spécificité verbale du trouble et conscience phonologique .....	35
3. Théories visuelles et attentionnelles .....	37
3.1. Théorie magnocellulaire et troubles de l'attention spatiale .....	37
3.1.1. La théorie magnocellulaire .....	37
3.1.2. Un déficit magnocellulaire amodal, l'inclusion de la phonologie et des troubles moteurs ...	38
3.1.3. Les troubles de l'attention visuelle .....	39
3.1.4. Un déficit attentionnel amodal, inclusion de la phonologie .....	40
3.2. Le trouble de l'empan visuo-attentionnel .....	42
3.2.1. L'empan VA et le modèle ACV98 .....	43
3.2.2. Arguments expérimentaux .....	45



3.2.3. Trouble du traitement simultané amodal, exclusion de la phonologie.....	48
4. Hétérogénéité de la dyslexie.....	52
4.1. Hétérogénéité cognitive.....	52
4.1.1. RAN et hypothèse d'un double déficit.....	54
4.1.2. La multifactorialité de la dyslexie.....	55
4.1.3. Les arguments neurobiologiques.....	57
4.2. Hétérogénéité comportementale en langage écrit.....	58
4.2.1. Modèle double-voie et classification classique.....	58
4.2.2. Classification des dyslexies développementales.....	60
4.3. Relations entre déficits cognitifs et profils en lecture.....	62
4.3.1. Les dyslexies phonologiques et les dyslexies de surface.....	63
4.3.2. Les dyslexies mixtes.....	67
4.3.3. L'analyse des erreurs.....	70
<b>Chapitre 2. Remédiation des dyslexies.....</b>	<b>73</b>
1. Considérations théoriques et méthodologiques générales.....	74
1.1. Les différents niveaux d'intervention.....	74
1.1.1. Les interventions pédagogiques.....	74
1.1.2. Les interventions auprès de la population dyslexique.....	76
a) Le niveau neurobiologique.....	77
b) Le niveau cognitif sous-jacent distal.....	78
c) Le niveau comportemental, la lecture et l'orthographe.....	79
1.2. Modalités de traitement, les grandes lignes.....	82
1.3. La démarche de validation de l'efficacité.....	83
2. Les méthodes de remédiations cognitives.....	86
2.1. Les méthodes phonologiques et auditives.....	87
2.1.1. Les méthodes centrées sur la conscience phonologique.....	87
2.1.2. Les méthodes centrées sur le traitement auditif temporel.....	89
2.1.3. Les méthodes centrées sur la discrimination des phonèmes.....	91
2.2. Les méthodes visuelles et visuo-attentionnelles.....	94
2.2.1. Dans le cadre des théories d'un trouble de l'orientation de l'attention.....	95
2.2.2. Dans le cadre de la théorie de l'empan visuo-attentionnel.....	96
2.2.3. Les méthodes d'adaptation visuelle.....	98
<b>Problématiques et objectifs généraux.....</b>	<b>103</b>
<b>Chapitre 3. Partie expérimentale.....</b>	<b>105</b>
1. Méthodologie générale.....	105
1.1. Protocoles communs aux études.....	105
1.1.1. Passation.....	105
1.1.2. Les épreuves de lectures.....	105
a) Mesure de l'âge de lecture.....	106

b) Lecture de listes de mots.....	106
1.1.3. Mesure de l'empan visuo-attentionnel .....	106
a) Le report global.....	107
b) Le report partiel.....	108
c) L'identification de lettres isolées.....	109
1.1.4. Les épreuves de conscience phonologique .....	109
a) L'omission de phonèmes.....	110
b) La décomposition de phonèmes .....	110
c) Acronymes.....	110
1.1.5. Les épreuves de perception catégorielle de phonèmes .....	110
a) Tâche d'identification.....	111
b) Tâche de discrimination.....	111
1.2. Les participants.....	112
1.2.1. Les populations d'enfants dyslexiques .....	112
1.2.2. Les populations 'normatives' et groupes contrôles normo-lecteurs.....	112
1.3. Considérations statistiques.....	113
2. Etude I : Dyslexie mixte et hétérogénéité cognitive .....	114
2.1. Enjeux théoriques et cliniques.....	114
2.2. Objectifs et Hypothèses .....	114
2.3. Partie 1. Analyses sur l'ensemble de la population .....	116
2.3.1. Méthodologie.....	116
a) Participants .....	116
b) Procédure et matériel.....	116
2.3.2. Résultats .....	116
a) Vue d'ensemble des performances.....	116
b) Analyses de corrélations .....	117
c) Analyse en composantes principales et régression hiérarchiques .....	119
d) Identification de sous-groupes cognitifs dyslexiques .....	120
2.4. Partie 2. Comparaisons entre dyslexiques mixtes phonologiques et dyslexiques mixtes avec trouble de l'empan VA .....	121
2.4.1. Caractéristiques des deux sous-groupes dyslexiques .....	122
2.4.2. Analyse quantitative .....	124
a) Matériel et prédictions .....	124
b) Résultats de l'analyse quantitative.....	125
2.4.3. Analyse qualitative.....	126
a) Matériel et prédictions .....	126
b) Résultats de l'analyse qualitative .....	129
2.5. Discussion.....	131
2.5.1. Un profil de lecture, des profils cognitifs.....	131
2.5.2. Des profils cognitifs très différents, un langage écrit subtilement différent .....	133

3. Etude II : Un profil de dyslexie phonologique chez un enfant avec trouble de l'empan VA sans trouble phonologique .....	136
3.1. Enjeux théoriques et cliniques .....	136
3.2. Objectifs et Hypothèses .....	137
3.3. Méthodologie et Résultats .....	137
3.3.1. Présentation du cas .....	137
3.3.2. Matériel et Analyse statistique .....	140
3.3.3. Evaluation initiale des capacités de lecture et d'orthographe .....	141
a) Méthode .....	141
b) Résultats .....	141
c) Résumé .....	144
3.3.4. Capacités de langage oral et phonologie .....	145
a) Méthode .....	145
b) Résultats .....	145
c) Résumé .....	147
3.3.5. Traitement visuo-attentionnel simultané .....	147
a) Méthode .....	147
b) Résultats .....	148
c) Résumé .....	150
3.3.6. Evaluation approfondie de la lecture et de l'orthographe .....	150
a) Méthode .....	150
b) Résultats .....	151
c) Résumé .....	152
3.4. Discussion .....	153
4. Etude III : Relations entre perception catégorielle des phonèmes, conscience phonologique, et empan visuo-attentionnel .....	157
4.1. Enjeux théoriques et cliniques .....	157
4.2. Objectifs et Hypothèses .....	158
4.3. Partie 1. Relations entre perception catégorielle des phonèmes, conscience phonologique, et empan visuo-attentionnel dans une population dyslexique tout-venant .....	158
4.3.1. Méthode .....	158
a) Participants .....	158
b) Procédure et matériel .....	159
c) Analyse des données de perception catégorielle .....	160
4.3.2. Résultats .....	160
a) Comparaison entre Dyslexiques et Contrôles sur la perception catégorielle .....	160
b) Analyse de corrélations .....	162
c) Analyse de médiation .....	163
4.4. Partie 2. Perception catégorielle des sous-groupes cognitifs dyslexiques .....	165
4.4.1. Identification des sous-groupes dyslexiques .....	165

4.4.2. Comparaisons 1 entre le sous-groupe Dys Phono et le groupe contrôle .....	168
4.4.3. Comparaisons 2 entre le sous-groupe dyslexique VA et le groupe contrôle .....	170
4.4.4. Comparaisons 3 entre le sous-groupe dyslexique VA et le sous-groupe dyslexique phonologique.....	171
4.5. Discussion.....	173
5. Etude IV : Comparaison de deux méthodes ciblées de remédiation cognitive.....	176
5.1. Enjeux théoriques et cliniques.....	176
5.2. Objectifs et Hypothèses .....	176
5.3. Méthodologie.....	178
5.3.1. Participants et analyses .....	178
5.3.2. Procédure et chronologie .....	179
5.3.3. Matériel pour l'évaluation en pré-tests et post-tests.....	179
5.3.4. L'entraînement de l'empan VA – MAEVA .....	181
5.3.5. L'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes - RAPDYS.....	184
5.4. Partie 1 – Effet global des entraînements.....	186
5.4.1. Participants.....	186
5.4.2. Résultats .....	188
5.4.3. Résumé.....	196
5.5. Partie 2 – Effet des entraînements en fonction du trouble cognitif sous-jacent : conscience phonologique et empan VA. ....	198
5.5.1. Identification des sous-groupes .....	198
5.5.2. Résultats .....	199
a) Pour le groupe avec trouble phonologique.....	199
b) Pour le groupe avec trouble de l'empan VA.....	208
5.6. Partie 3 – Effet de MAEVA sur le trouble de l'empan VA et la lecture, seconde sélection. ....	218
5.6.1. Participants et analyses .....	218
5.6.2. Résultats .....	219
5.6.3. Résumé.....	224
5.7. Discussion.....	224
6. Etude V : Effet de saillance syllabique sur la lecture chez des enfants dyslexiques avec ou sans trouble de l'empan VA .....	230
6.1. Enjeux théoriques et cliniques.....	230
6.2. Objectifs et Hypothèses .....	231
6.3. Participants, procédure et matériel.....	231
6.4. Résultats .....	233
6.5. Discussion.....	235
<b>Chapitre 4. Discussion générale.....</b>	<b>239</b>
1. Vers une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la dyslexie .....	239
1.1. Empan VA et Phonologie .....	239
1.2. Hétérogénéité cognitive et profils en lecture.....	242

2. Vers un développement des études de remédiation de la dyslexie	247
2.1. Pour une amélioration de la lecture, les enjeux cliniques	247
2.2. Pour une évaluation des hypothèses explicatives, les enjeux théoriques	249
<b>Conclusion</b>	<b>251</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>252</b>
<b>Annexes</b>	<b>I</b>
Annexe I - Lecture de mots et pseudo-mots	I
Annexe II - Lecture de mots et pseudo-mots	II
Annexe III - Conscience phonologique	III
Annexe IV - Analyses quantitatives, Etude I	IV
Annexe V - Epreuves, Etude II	V
Annexe VI - MAEVA, une tâche de catégorisation visuelle	XI
Annexe VII - MAEVA, Ecrans	XIII
Annexe VIII - MAEVA, fonctionnement	XV
Annexe IX - RAPDYS, Consignes et écrans	XIX
Annexe X - Analyses du report global et partiel, Etude IV	XXII
Annexe XI - Article Etude I, Version publiée	XXIII
Annexe XII - Article Etude III, Version soumise	XXIV
<b>Currivulum vitae</b>	<b>i</b>
<i>Formation universitaire</i>	<i>i</i>
<i>Publications scientifiques</i>	<i>i</i>
<i>Communication orale</i>	<i>i</i>
<i>Posters</i>	<i>ii</i>
<i>Encadrement des travaux de recherche</i>	<i>ii</i>
<i>Enseignements</i>	<i>iii</i>
<i>Activités cliniques</i>	<i>iii</i>
<i>Autres responsabilités</i>	<i>iv</i>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. (Serniclaes, 2011). Illustration de la perception catégorielle des contrastes de VOT sur le continuum /tə/ - /də/ sur une tâche d'identification (à gauche), de discrimination (à droite). .....	31
Figure 2. (Noordenbos et Serniclaes, 2015). Illustration du déficit de perception catégorielle des contrastes de VOT sur le continuum /tə/ - /də/ dans la dyslexie. A gauche, une atteinte caractérisée par une faible discrimination inter-catégorielle et une meilleure discrimination intracatégorielle. A droite, une perception allophonique, caractérisée par une faible discrimination inter-catégorielle et des pic de perception intracatégorielle reflet d'une sensibilité à certaines caractéristiques allophoniques. ....	33
Figure 3. (Ans, Carbonnel et Valdois, 1998). Architecture du modèle connexionniste multitraces de lecture. O1 = couche orthographique d'entrée, O2 = couche orthographique de sortie, EM = mémoire épisodique, P = couche phonologique de sortie, VAW = fenêtre visuo-attentionnelle. Les unités de O1 situées à l'intérieur de la fenêtre visuo-attentionnelle sont toutes activées de manière équivalente. Elles sont reliées à toutes les unités en EM, elles-mêmes reliées à toutes les unités en P et en O2 ; les connections sont symbolisées par les flèches noires, plus elles sont épaisses, plus le poids synaptique est proche de 1. La double flèche représente la procédure de comparaison qui a lieu entre le l'écho orthographique issu de O2 et le pattern d'activation issu de O1. ....	44
Figure 4. Architecture du modèle double-voie de la lecture selon Coltheart et collaborateurs (Coltheart et al., 2001). La voie lexicale, à gauche, implique après l'analyse orthographique du mot l'activation d'une représentation orthographique, au niveau du lexique orthographique et donne accès à la forme phonologique associée à ce mot et à son sens. La voie sub-lexicale, à droite, implique une segmentation du mot en unités orthographiques, les graphèmes, qui vont être convertis en phonèmes selon un système de correspondance graphème-phonème. Puis les informations phonologiques vont être stockées au niveau du buffer phonologique de la mémoire verbale à court terme, pour une lecture oralisée du mot. ....	59
Figure 5. Illustration de la procédure utilisée dans l'épreuve de report global .....	108
Figure 6. Illustration de la procédure utilisée dans l'épreuve de report partiel .....	109
Figure 7. Nuage de points représentant les coefficients factoriels phonologiques (en ordonnée) et d'empan VA (en abscisse) des participants dyslexiques (triangle) et des normo-lecteurs (cercle).....	121
Figure 8. Performances du groupe Dys VA (damier), du groupe Dys Phonologique (lignes) et du groupe contrôle AC (en gris) sur les épreuves de lecture de mots réguliers (Reg) et irréguliers (Irreg) et de pseudo-mots (Breteler et al.). Les scores (max = 20) sont présentés à gauche et les temps de lecture (en seconds) sont présentés à gauche. ** : $p < 0,001$ entre le groupe contrôle et chacun des groupes dyslexiques.....	126
Figure 9. Performances du groupe Dys VA (damier), du groupe Dys Phonologique (lignes) et du groupe contrôle AC (en gris) sur les épreuves de dictées de pseudo-mots (Breteler et al.), mots réguliers (Reg), inconsistants (Incons) et irréguliers (Irreg). * $p < 0,01$ ; ** $p < 0,001$ entre le groupe contrôle et chacun des groupes dyslexiques.....	126
Figure 10. Pourcentage de chaque type d'erreurs pour le groupe Dys VA (damier) et le groupe Dys Phonologique (lignes), sur les tâches de lecture (A), de dictée (B) et les erreurs phonologiquement plausibles stricts (EPP) et laxistes (EPP+) et régularisations de mots irréguliers, en dictée (C). * $p < 0,05$ ; ** $p < 0,01$ ; *** $p < 0,001$ . ....	130
Figure 11. Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie WISC IV. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.....	139
Figure 12. Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie Teach. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.....	139
Figure 13. Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie DTVP-2. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.....	140
Figure 14. Courbes d'identification de la syllabe /də/ de Léo et du groupe contrôle de même âge chronologique (AC). ....	146
Figure 15. Courbes de discrimination prédites et observées de Léo et du groupe contrôle (CTL) de même âge chronologique (AC). ....	147

Figure 16. Courbes d'identification du phonème /dʒ/ pour le groupe dyslexique (DYS) et le groupe contrôle (CTL).....	161
Figure 17. Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe contrôle (CTL) et le groupe dyslexique (DYS).....	162
Figure 18. Diagramme schématique des résultats de l'analyse de médiation. Les valeurs sont les coefficients de régression standardisés.....	165
Figure 19. Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe dyslexique phonologique (Dys Phono) et le groupe contrôle (CTL).....	168
Figure 20. Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe dyslexique phonologique (DYS Phono) et le groupe contrôle (CTL).....	169
Figure 21. Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe dyslexique VA (Dys VA) et le groupe contrôle (CTL).....	170
Figure 22. Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe dyslexique VA (VA DYS) et le groupe contrôle (CTL).....	171
Figure 23. Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe Dys Phono et le groupe Dys VA.....	172
Figure 24. Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe Dys Phono et pour le groupe Dys VA.....	172
Figure 25. Illustration des progrès attendus sur les épreuves évaluant le trouble cognitif sous-jacent, VA ou phonologique, et sur les épreuves de lecture, en fonction de la nature du programme proposé sur la première (A) et la seconde période (B) d'entraînement, ciblant ou non le déficit cognitif supposé en cause.....	177
Figure 26. Représentation schématique du déroulement de l'étude pour le groupe 1 (Phono1 et VA1) et pour le groupe 2 (Phono2 et VA2).....	179
Figure 27. Présentation des cinq catégories visuelles utilisées dans le logiciel MAEVA et à gauche leur étiquette respective utilisée pour désigner la catégorie.....	181
Figure 28. Ecran principal de navigation. En cliquant sur l'étoile à gauche l'enfant peut accéder à ses meilleurs scores, en cliquant sur le chiffre 2 au centre en bas l'enfant lance la phase de familiarisation, en cliquant sur la porte à droite l'enfant quitte le logiciel, et en cliquant sur le grand carré central, l'enfant lance les exercices d'entraînement.....	182
Figure 29. (Adaptée de (Collet et al., 2012). Stimuli utilisés par le logiciel d'entraînement, en fonction du VOT et associés à chacun des niveaux de difficultés. En bas de la figure sont représentés, selon la valeur du VOT, les stimuli utilisés dans les tâches d'identification et de discrimination lors des évaluations en pré-test et post-tests.....	185
Figure 30. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de la conscience phonologique pour les deux groupes dyslexiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.....	189
Figure 31. Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe PC-VA (en haut) et le groupe VA-PC (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.....	190
Figure 32. Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) pour le groupe PC-VA (en haut) et le groupe VA-PC (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.....	192
Figure 33. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes dyslexiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.....	193
Figure 34. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), de pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).....	195
Figure 35. Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes Phonologiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.....	201
Figure 36. Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe Phono cible1 (en haut) et Phono cible2 (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.....	202

<i>Figure 37. Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) au pré-test, post-test 1 et post-test 2 pour le groupe Phono cible 1 (en haut) et le groupe Phono cible 2 (en bas).</i> .....	204
<i>Figure 38. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes Phono. au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	205
<i>Figure 39. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes Phonologiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).</i> .....	206
<i>Figure 40. Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	210
<i>Figure 41. Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe VA cible1 (en haut) et VA cible2 (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.</i> .....	211
<i>Figure 42. Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) au pré-test, post-test 1 et post-test 2 pour le groupe VA cible1 (en haut) et le groupe VA cible 2 (en bas).</i> .....	213
<i>Figure 43. Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	214
<i>Figure 44. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).</i> .....	216
<i>Figure 45. Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes avec trouble de l'empan VA, au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	220
<i>Figure 46. Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes avec trouble de l'empan VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	221
<i>Figure 47. Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).</i> .....	223
<i>Figure 48. Moyennes et intervalle de confiance à 95% (barres verticales) du nombre de syllabes correctement lues par minute (SCLM) pour le groupe VA et pour le groupe non VA, dans chacune des conditions de présentation des textes.</i> .....	234
<i>Figure 49. Scores moyens et écart-types (barre verticale) des scores en report global (en haut) et en report partiel (en bas) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.</i> .....	XXII



# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Présentation des niveaux d'expression du trouble dyslexique, des niveaux d'intervention possibles, des effets attendus de la remédiation, et des enjeux théoriques et cliniques associés. Adapté de (Lobier et Valdois, 2009).....	76
Tableau 2. Moyennes, écart-types (ET), étendues et comparaisons du groupe dyslexique (Dys) et du groupe contrôle apparié sur l'âge chronologique (Contrôle AC) sur les mesures de l'âge chronologique, l'âge de lecture, la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps), sur les tâches d'omission et de segmentation (Segment) de phonèmes, d'acronymes, l'identification de lettres (Id. lettres), et les tâches de report global et partiel.....	117
Tableau 3. Analyse de corrélations sur l'âge chronologique, l'identification de lettres (Id. lettres), les tâches d'omission et de segmentation (Segment) de phonèmes, d'acronymes, de report global (RG), de report partiel (RP), l'âge de lecture (AL), la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps). Analyse de corrélations partielles sous la diagonale, avec contrôle de l'âge chronologique et de l'identification de lettres. (N = 142). * p<.00025 (correction de Bonferroni).....	118
Tableau 4. Résultats de l'analyse en composante principale.....	119
Tableau 5. Résultats des analyses de régression hiérarchiques. Contribution (R <sup>2</sup> ) de chaque facteur (phonologique et empan VA) sur la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps). La première étape correspond à l'entrée forcée de deux variables contrôles (âge chronologique et identification de lettres). *** p<.001 ** p<.01 * p<.05.....	120
Tableau 6. Moyennes, écart-types (ET), étendues et comparaisons du groupe dyslexique avec trouble de l'empan VA (Dys VA), du groupe dyslexique avec trouble phonologique (Dys Phono), du groupe contrôle apparié sur l'âge chronologique (Contrôle AC) et du groupe contrôle apparié sur l'âge de lecture (Contrôle AL), sur le score composite phonologique (Score phonologique), le score composite d'empan VA (Score empan VA), et les variables contrôles : âge, âge de lecture et capacités d'identification de lettres isolées (Id. lettres). Pour les analyses de comparaisons, les différences significatives à p < .05 sont indiquées par une lettre en italique correspondant au groupe comparé.....	123
Tableau 7. Types d'erreurs considérés en lecture et en dictée de mots et pseudo-mots et exemples associés.	127
Tableau 8. Comparaison (Chi <sup>2</sup> ) entre le groupe dyslexique présentant un trouble de l'empan VA isolé (Dys VA) et celui présentant un trouble phonologique isolé (Dys P) sur chacun des types d'erreurs. (EPP = Erreur Phonologiquement Plausible, EPP+ = critère laxiste). *** p<.001 ** p<.01 * p<.05.....	129
Tableau 9. Performances de Léo en lecture de textes, de mots de haute fréquence (HF) et basse fréquence (BF) et de pseudo-mots, et connaissances des conversions graphèmes/phonèmes comparées aux groupes contrôle de même âge chronologique. * : p<.05 ; ** : p<.01 ; ***- p<.001 ; ns : non-significatif.....	142
Tableau 10. Performances de Léo en dictée de mots (réguliers, inconsistants, irréguliers) et de pseudo-mots bisyllabiques (bisyll) et trisyllabiques (trisyll) comparées aux groupes contrôles de même âge chronologique. * : p<.05 ; ** : p<.01 ; ***- p<.001 ; ns : non-significatif.....	143
Tableau 11. Performances de Léo sur les épreuves évaluant les capacités de langage oral, comparées aux groupes contrôle. * : p<.05 ; ** : p<.01 ; ***- p<.001 ; ns : non-significatif.....	146
Tableau 12. Performances de Léo aux épreuves évaluant l'empan visuo-attentionnel comparé aux groupes contrôles de même niveau scolaire (Contrôle AC) et de même âge de lecture (Contrôle AL). AN : AlphaNumérique. * : p<.05 ; ** : p<.01 ; ***- p<.001 ; ns : non-significatif ; lim : limite du seuil de significativité.....	149
Tableau 13. Prédiction des résultats aux épreuves proposées en fonction de la présence d'un trouble phonologique ou d'un trouble de l'empan VA.....	151
Tableau 14. Performances de Léo aux épreuves complémentaires de lecture et d'orthographe comparées au groupe contrôle de même âge chronologique. * : p<.05 ; ** : p<.01 ; ***- p<.001 ; ns : non-significatif.....	152

<i>Tableau 15. Scores et Z-scores moyens, écart-types et étendues concernant l'âge, la lecture de mots réguliers, irréguliers, de pseudo-mots (en scores et temps), les tâches de conscience phonologique et les tâches d'empan VA pour l'ensemble de la population dyslexique. ....</i>	<i>159</i>
<i>Tableau 16. Analyse de corrélations partielles (contrôle de l'âge chronologique) entre les tâches de lecture, l'empan VA, la conscience phonologique et la perception catégorielle. ....</i>	<i>163</i>
<i>Tableau 17. Performances et analyses de comparaison pour les deux sous-groupes dyslexiques sur les tâches de lecture, d'empan VA et de conscience phonologique. ....</i>	<i>167</i>
<i>Tableau 18. Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (PM : Pseudo-Mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique du groupe dyslexique au moment du pré-test. ....</i>	<i>187</i>
<i>Tableau 19. Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (rég : mots réguliers ; irrég : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique (Csce Phono) pour les deux groupes dyslexiques. ....</i>	<i>188</i>
<i>Tableau 20. Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques sur les tâches de lecture, d'empan VA et de conscience phonologique. ....</i>	<i>199</i>
<i>Tableau 21. Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques Phonologiques sur les tâches de lecture ....</i>	<i>200</i>
<i>Tableau 22. Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques VA sur les tâches de lecture. ....</i>	<i>209</i>
<i>Tableau 23. Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques VA sur les tâches de lecture. ....</i>	<i>219</i>
<i>Tableau 24. Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (rég : mots réguliers ; irrég : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique (Csce Phono) pour les deux groupes dyslexiques. ....</i>	<i>233</i>
<i>Tableau 25. Adapté de Valdois (sous presse). Correspondance entre déficits sous-jacents phonologique ou de l'empan VA et profils de lecture. ....</i>	<i>246</i>

## INTRODUCTION ET OBJECTIFS

---

Les avancées de la recherche sur les dyslexies développementales ont été nombreuses ces dernières décennies. Beaucoup d'études se sont intéressées à l'origine neuro-cognitive de ce trouble du développement de la lecture, et les implications cliniques de ces avancées sont porteuses d'espoir pour les personnes dyslexiques et leur famille. En effet, notre compréhension de la dyslexie est fondamentale pour pouvoir proposer des prises en charge adaptées et efficaces. Cette articulation entre clinique et théorie représente un véritable enjeu sociétal : la dyslexie concernerait environ 5% de la population (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007) et est une cause de handicap, plus largement reconnue depuis la loi du 11 février 2005 relative à la scolarisation des enfants handicapés. Cependant, malgré les avancées de la recherche, les applications et considérations cliniques sont encore limitées.

Devant la multiplicité des théories explicatives, notre compréhension de la dyslexie pourrait cependant sembler s'obscurcir. Il est donc nécessaire de tenter d'articuler ces théories. Les études qui s'y sont attelées depuis une dizaine d'années font émerger une hétérogénéité cognitive parmi la population dyslexique, qu'il reste néanmoins à éclaircir. D'autre part, cette hétérogénéité cognitive va de pair avec une hétérogénéité de la population dyslexique sur le plan clinique. Des formes variées de dyslexie sont en effet observées en pratique clinique. Mais les mécanismes en jeu dans l'expression au niveau clinique, c'est-à-dire au niveau des capacités en langage écrit, des atteintes cognitives que pointent les théories explicatives, manquent de clarté. De plus, les arguments en faveur de relations de causalité entre ces atteintes cognitives et les troubles du développement de la lecture que présument les théories explicatives sont encore limités.

Les objectifs de ce travail de thèse découlent de ces constats, qui seront davantage développés dans notre revue théorique, et s'articulent autour de deux théories explicatives, les troubles phonologiques et le trouble de l'empan visuo-attentionnel (VA), relatifs à deux composantes essentielles, mais indépendantes, de la lecture selon le modèle de lecture ACV98 (Ans et al., 1998). Il s'agit tout d'abord de mieux comprendre l'hétérogénéité cognitive et l'hétérogénéité comportementale qui caractérisent la population dyslexique, c'est-à-dire la question des liens entre les profils comportementaux en langage écrit et les atteintes cognitives observées, phonologiques ou relatives à l'empan VA. Pour se faire, deux études de groupes (Etude I et Etude III) et une étude de cas (Etude II) seront menées.

Une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la population dyslexique pourrait permettre de mieux cibler les moyens d'interventions permettant de remédier au trouble. Ceci constitue le second objectif de ce travail de thèse. En effet, après avoir ciblé et mieux défini la population d'enfants dyslexiques concernée soit par un trouble phonologique, soit par un trouble de l'empan VA, notre objectif sera d'étudier deux méthodes d'entraînement (Etude IV), l'une s'adressant aux enfants présentant un trouble phonologique, l'autre à ceux présentant un trouble de l'empan VA. Il s'agira alors de les valider auprès d'enfants dyslexiques en montrant que leurs performances phonologiques ou VA ainsi que leurs performances en lecture s'améliorent spécifiquement suite à l'entraînement. Au niveau

théorique, l'enjeu est de taille puisque valider de tels outils revient à conforter l'existence de liens de causalité entre les atteintes cognitives ici ciblées et les troubles développementaux de la lecture. Enfin, nous étudierons l'efficacité d'une méthode de compensation par saillance syllabique des mots au sein d'un texte (Etude V), en faisant l'hypothèse que ce type de compensation pourrait être plus efficace chez les enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA que chez ceux ne présentant pas un tel trouble VA.

L'objectif général de ce travail de thèse est donc de mieux caractériser l'hétérogénéité des troubles dyslexiques et les liens de causalité supposés, et d'améliorer la prise en charge des enfants dyslexiques.

Ce manuscrit est organisé en une partie théorique présentée dans les deux premiers chapitres, une partie expérimentale présentée dans le chapitre suivant et une discussion qui constitue le dernier chapitre de ce manuscrit.

Le *Chapitre 1* est une revue de la littérature qui concerne, outre les questions de définition, les principales théories explicatives qui relèvent de deux grands champs cognitifs : les théories phonologiques et auditivo-phonologiques, et les théories visuelles et attentionnelles.

Le *Chapitre 2* concerne des études de remédiation. Après quelques considérations théoriques et méthodologiques sur le sujet, les principales études de remédiation ciblant les processus cognitifs que nous avons abordés dans le chapitre 1 sont ici présentées.

Le *Chapitre 3* présente les travaux expérimentaux effectués pendant ce travail de thèse. Les trois premières études ont pour objectifs de mieux comprendre l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie et les liens entre cette hétérogénéité et les performances comportementales en langage écrit. Les deux dernières études ont pour objectifs de tester l'hypothèse selon laquelle en tenant compte de cette hétérogénéité, des moyens de remédiations plus efficaces peuvent être mis en place. Notre quatrième étude, portant sur l'entraînement de deux fonctions cognitives distinctes qui apparaissent en jeu dans la dyslexie, a également pour objectif d'examiner l'hypothèse de liens de causalité entre les processus cognitifs visés par les entraînements et le trouble de la lecture.

Le *Chapitre 4* est une discussion générale des résultats obtenus et de leurs implications théoriques et cliniques.

A la fin de chaque section constituant chacun des chapitres, un résumé des notions principales exposées et de leurs implications au regard de nos objectifs sera présenté dans un encart.

# Chapitre 1. DYSLEXIE ET PROBLEMATIQUES ACTUELLES

## 1. Définition, histoire et évolution théorique

---

### 1.1. Définition

Une définition claire de la dyslexie, qui est au cœur de nos questionnements dans ce travail de thèse, est indispensable pour un travail de recherche théorique précis, pour un recrutement ciblé des sujets dans les expérimentations que nous avons menées, et enfin pour la généralisation de ce travail, c'est-à-dire sa reproductibilité et ses applications sur le plan clinique. Or cette définition de la dyslexie est complexe et pose question, comme souligné par Elliott & Grigorenko dans leur ouvrage *The Dyslexia Debate* (Elliott et Grigorenko, 2014; Ramus, 2014b).

La dyslexie appartient à la catégorie des troubles des acquisitions scolaires selon la Classification Internationale des Maladies ("CIM-10, Descriptions cliniques et directives pour le diagnostic," 1993). C'est le terme de trouble d'apprentissage qui est employé dans le manuel de diagnostic et statistique des troubles mentaux (*DSM-5, Diagnostic and statistical manual of mental disorders*, 2013). Ces deux classifications incluent des **critères d'exclusion**<sup>1</sup>, c'est-à-dire que le trouble d'apprentissage ou d'acquisitions scolaires ne doit pas résulter de troubles sensoriels, d'un déficit intellectuel, d'autres troubles neurologiques ou mentaux, d'une scolarisation inadéquate ou de conditions psychosociales défavorables. Concernant les **critères d'inclusion**, notons tout d'abord qu'un critère de handicap est suggéré dans ces deux classifications, qui indiquent que le trouble doit interférer significativement avec les performances scolaires ou les activités de la vie quotidienne. Dans la CIM-10 la dyslexie est référencée sous le terme de « trouble spécifique du langage écrit » ; elle est caractérisée par la présence soit de 1, soit de 2 : 1. La note obtenue à une épreuve standardisée d'exactitude ou de compréhension de la lecture se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant ; l'évaluation des performances en lecture et du QI doit se faire avec des tests administrés individuellement et standardisés en fonction de la culture et du système scolaire de l'enfant. 2. Il existe des antécédents de difficultés sévères en lecture, ou de résultats de

---

<sup>1</sup> Dans la CIM-10 comme dans le DSM-5, ces critères ne sont pas à proprement parler 'exclusifs' puisqu'il est précisé que le trouble ne doit pas être *mieux expliqué* par ces critères, bien qu'il puisse être associé. Ainsi par exemple la CIM-10 précise que « Si un déficit sensoriel est présent, les difficultés d'apprentissage doivent être supérieures à celles habituellement associées à ce déficit ». Ces critères de discordance ont été discutés dans *The Dyslexia Debate* (Elliott et Grigorenko, 2014) et c'est notamment la prise en compte du QI qui fait l'objet de discussion (p.17) ; voir aussi la réponse de Franck Ramus (Ramus, 2014b).

tests ayant répondu au critère 1 à un âge antérieur ; en outre, le résultat obtenu à un test d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI. Dans ce second critère, une dysorthographe est donc associée à la dyslexie, ou du moins à une dyslexie antérieure. Dans le DSM-5, contrairement à sa version précédente (*DSM-IV-TR, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux : texte révisé*, 2003), la sous-catégorie des troubles de la lecture et de l'orthographe n'apparaît plus ; les troubles d'apprentissages ne sont plus distincts dans des catégories différentes. Ce qui relève de la dyslexie ou de la dysorthographe est inclus dans une liste de symptômes, qui concerne également les apprentissages mathématiques. Les symptômes en lien avec le langage écrit sont les suivants : 1. lecture de mots inexacte, lente ou laborieuse/couteuse ; 2. difficulté à comprendre la signification de ce qui est lu ; 3. difficultés d'orthographe ; 4. difficultés dans l'expression écrite. Enfin, un dernier critère d'inclusion concerne la durabilité du trouble. Ce critère de persistance du trouble a été souligné par certains auteurs comme permettant de distinguer une dyslexie d'un retard de lecture ; ceci est lié à une conception de la dyslexie comme résultant d'une atteinte neuro-développementale d'origine génétique (Demonet, Taylor et Chaix, 2004; Paulesu, Danelli et Berlinger, 2014; Poelmans, Buitelaar, Pauls et Franke, 2011) revêtant un caractère biologique inhérent au sujet, tandis que le retard de lecture serait davantage lié à des facteurs environnementaux (Vellutino, Scanlon, Sipay, Small, Pratt et al., 1996). Ce critère de durabilité a également conduit certains auteurs, tel Fin Egil Tonnessen (Tonnessen, 1995), à suggérer une définition de la dyslexie qui tient compte de la progression individuelle du sujet et s'est intégrée dans les modèles de Response To Intervention (RTI) répandus dans les pays anglo-saxons. Cette approche consiste en une identification des enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture, afin de leur proposer une pédagogie adaptée ; les enfants ne répondant pas (ou peu) à ces interventions pédagogiques adaptées constitueraient les enfants dyslexiques. *“Results from current intervention studies suggest that the most informative and most effective approach to distinguishing between cognitive/biological and experiential/instructional causes of early reading difficulties would be to implement an initial period of remedial intervention”* (Vellutino, Fletcher, Snowling et Scanlon, 2004, p.30).

Ces critères d'inclusion et d'exclusion sont souvent critiqués (Elliott et Grigorenko, 2014). On peut notamment souligner que les critères d'inclusion restent descriptifs à un niveau comportemental et ne nous renseignent pas quant à la nature des troubles au niveau cognitif. On note en particulier l'utilisation de termes très généraux concernant les activités de lecture telle une « lecture de mots inexacte, lente ou laborieuse/couteuse » employé par le DSM-5 ou la référence à une « épreuve standardisée d'exactitude ou de compréhension de la lecture » dans la CIM-10. Or notre compréhension de ce qu'est la lecture au niveau cognitif nous permet d'être plus précis. Si l'on se place dans une *simple view of reading* (Gough et Tunmer, 1986), la compréhension écrite, finalité de la lecture, est le produit de l'identification des mots écrits et des mécanismes généraux de compréhension. Ainsi, ce qui apparaît comme étant spécifique à la lecture concerne les mécanismes de reconnaissance/identification des mots, tandis que les processus cognitifs en aval relèvent de capacités linguistiques de compréhension générales (Sinatra, 1990). C'est donc bien la capacité d'identification des mots écrits qui doit être évaluée chez l'enfant afin de pouvoir parler de dyslexie. Mais des précisions pourraient également être apportées au niveau cognitif, en particulier concernant la

ou les causes cognitives en jeu dans la dyslexie, c'est-à-dire sous-jacentes à ce trouble du développement de la lecture. Une grande partie des recherches consacrées à la dyslexie s'est intéressée à cette question, avec la volonté notamment d'intégrer un critère cognitif inclusif à la définition du trouble, tel Lyon et collaborateurs (Lyon, Shaywitz et Shaywitz, 2003) qui ont défini la dyslexie comme « caractérisée par des difficultés dans la reconnaissance exacte et/ou fluente de mots ainsi que par une orthographe des mots et des capacités de décodage limitées. Ces difficultés résultent typiquement d'un déficit dans la composante phonologique du langage ». Nous verrons plus loin dans ce manuscrit que cette définition intégrant une cause phonologique unique est maintenant largement débattue, mais la volonté de comprendre la nature des déficits cognitifs sous-jacents, c'est-à-dire explicatifs du trouble, anime l'esprit de nombreux chercheurs depuis les premiers cas de dyslexie décrits jusqu'à aujourd'hui.

## 1.2. Histoire et évolution des théories explicatives

Depuis plus d'un siècle, les recherches menées sur la dyslexie développementale se sont intéressées aux dysfonctionnements cognitifs sous-jacents à ce trouble. Ce questionnement étiologique est fondamental car une meilleure compréhension du trouble peut permettre d'envisager des méthodes de remédiation ciblées et ainsi plus efficaces.

En 1896, Pringle Morgan publiait dans le *British Medical Journal* le premier cas de dyslexie développementale, alors appelée cécité verbale congénitale (« congenital word-blindness »), en référence aux cas de dyslexies acquises, c'est-à-dire faisant suite à une lésion cérébrale, que l'on appelait cécité verbale, terme introduit par le neurologue Adolf Kussmaul en 1877 (Schwartz, 2009). Morgan décrit ainsi le cas d'un garçon de 14 ans, Percy, qui, bien que scolarisé depuis sept ans, et se montrant brillant dans de nombreux domaines, ne parvenait pas à apprendre à lire (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007). Morgan soulignait dans son rapport le manque de facteurs explicatifs évidents, tel un trouble de la vue ou une lésion cérébrale, bien que le tableau clinique se rapproche des cas de troubles de la lecture acquis, qu'étudiait notamment à l'époque le Dr James Hinshelwood, ophtalmologue. Ce dernier publia en 1917 une monographie décrivant plusieurs cas de cécité verbale congénitale, et en lien avec ses observations sur les troubles de la lecture acquis, il suggéra que la cause primaire de ce trouble d'acquisition de la lecture serait un déficit de la mémoire visuelle des lettres et des mots lié à un dysfonctionnement du gyrus angulaire, et qu'un entraînement destiné à améliorer la mémoire visuelle serait la forme d'intervention à privilégier (Elliott et Grigorenko, 2014). Avant que le terme de « dyslexie développementale » ne se répande dans les publications scientifiques au cours des années 30, le neurologue Samuel T. Orton, en 1925, avait recommandé d'utiliser le terme d'alexie développementale, arguant que le terme de 'cécité' faisait référence à une atteinte purement visuelle, alors que ses observations le conduisaient à proposer une hypothèse explicative différente. Selon lui, le trouble du langage écrit de ses patients serait dû à une faible dominance hémisphérique, et induit par une représentation différente des mots dans l'hémisphère non dominant par rapport à l'hémisphère dominant. Ceci visait à expliquer la fréquence des inversions de lettres et de mots en lecture et la présence de confusions de lettres en miroirs, en lecture et en transcription (telles les confusions p/q/d/b), un phénomène qu'il décrivit sous le terme de « strephosymbolia ». Devant cette atteinte cérébrale supposée plus

globale que ce qu'avait suggéré Hinshelwood, et dans le cadre de sa collaboration avec la psychologue de l'éducation Grace Fernald, des approches pédagogiques multi-sensorielles visant à favoriser l'utilisation de l'hémisphère gauche et de l'hémisphère droit dans l'apprentissage de la lecture ont alors été promues. Ces approches multi-sensorielles influencent encore aujourd'hui les méthodes d'enseignement et de remédiations proposées aux enfants en difficultés d'apprentissage. Mais l'accent mis par Orton sur les confusions de lettres visuellement proches conduisit à considérer pendant encore quelques décennies que des mécanismes principalement visuels étaient à l'origine des difficultés d'apprentissage de la lecture de certains enfants (Creak, 1936 ; Mahec & Launay, 1951, cités par Mahec, 2008 ; (Bryant, 1964; Cashell, 1969; Creak, 1936; Lyle et Goyen, 1968; Mahec & Launay, 1951, cités par Mahec, 2008).

Dans les années 70 et 80, en parallèle des progrès technologiques ayant permis l'essor des sciences cognitives, les hypothèses cognitives explicatives ont connu un tournant décisif. Les recherches sur la perception de la parole, notamment au laboratoire Haskins, ont conduit à considérer les compétences verbales, et en particulier les compétences phonologiques, comme fondamentales dans l'apprentissage de la lecture (Liberman, 1973; Liberman, Shankweiler, Fischer et Carter, 1974) et dans la pathologie qui y est reliée, la dyslexie (Liberman, Mann, Shankweiler et Werfelman, 1982; Mark, Shankweiler, Liberman et Fowler, 1977), amenant à réinterpréter les erreurs visuelles 'en miroir' comme étant de nature phonologique (telles les confusions entre /b/ et /d/, phonologiquement proches) et non visuelle (Fischer, Liberman et Shankweiler, 1978; Shankweiler et Liberman, 1978). De plus, les études expérimentales menées sur les hypothèses visuelles développées au début du siècle, n'ont alors pas apporté de résultats probants (Hulme, 1981; Vellutino, Steger, Moyer, Harding et Niles, 1977), si bien que les théories visuelles initiales furent amplement critiquées. L'influence de la théorie phonologique a pris de plus en plus d'importance à la fin des années 70 et au cours des années 80 et 90 (Bradley et Bryant, 1978; Frith, 1981; Snowling, 1998; Stanovich, 1988; Stanovich et Siegel, 1994), et elle est ainsi devenue au début des années 2000 l'explication cognitive dominante (Vellutino et al., 2004) amenant à un quasi-consensus parmi les chercheurs.

Mais en parallèle, des hypothèses alternatives ont été développées et l'hypothèse phonologique elle-même a été démultipliée en différentes sous-hypothèses, des déficits étant suggérés à des niveaux cognitifs très variés, aussi bien linguistiques, que mnésiques, attentionnels ou sensoriels (cf. Partie 2 et Partie 3 de ce Chapitre). Une douzaine de théories scientifiques différentes sont citées par Franck Ramus et Merav Ahissar (2012). Ces derniers soulignent que : « *Around the year 2000, the theoretical landscape of dyslexia was a battleground between the hypothesis of a specific phonological deficit and alternative theories* » (Ramus et Ahissar, 2012, p.105). Ces dernières étaient et sont encore vivement critiquées, et souvent réinterprétées dans le cadre de la théorie phonologique ; le trouble phonologique faisant consensus, il offre en effet un cadre permettant d'aller vers une cause unique et est souvent considéré comme la cause proximale dans les théories amodales, telles certaines théories attentionnelles (cf. Partie 3.1.4) ou la théorie magnocellulaire (cf. Partie 3.1.2). Mais au fur et à mesure, il est apparu que la théorie phonologique ne pouvait pas expliquer l'ensemble du spectre de la dyslexie et une approche visant à considérer l'hétérogénéité de la dyslexie émerge maintenant (cf. Partie 4.).



## 1.3. La solidité des théories

### 1.3.1. Le problème de la causalité

Toute théorie cognitive qui se veut explicative de la dyslexie doit faire la démonstration d'un lien de causalité entre le déficit cognitif supposé en cause et le trouble du développement de la lecture que présente l'enfant dyslexique. Les questions méthodologiques que nous abordons ici permettent d'interroger les liens de causalité et sont primordiales pour une approche critique des théories au vu de leur profusion, comme évoqué ci-dessus. Dans un article récent Usha Goswami (2015) propose un inventaire des protocoles de recherche permettant d'apporter des arguments solides en faveur de liens de causalité ; sept types de protocole de recherche sont ainsi décrits. Nous allons passer en revue et discuter chacun de ces arguments, et nous y ajouterons d'autres arguments qui nous paraissent essentiels.

La plupart des études visant à explorer le fonctionnement cognitif des personnes dyslexiques applique une méthode classique de l'examen neuropsychologique qui consiste à comparer un groupe ou un individu porteur d'une pathologie avec un groupe servant de contrôle, apparié au moins sur l'âge chronologique<sup>2</sup>. Cependant, dans le cas de la dyslexie développementale, l'observation d'une différence entre ces deux groupes pourrait n'être que le reflet d'une différence d'expérience en lecture entre ces deux groupes. De nombreuses études ont en effet montré cette influence de l'expérience en lecture sur des domaines cognitifs variés, comme le rappelle Goswami (2015), qui cite par exemple l'influence de l'expérience en lecture sur le développement du vocabulaire et des capacités phonologiques. Ce problème peut être contourné grâce à un *groupe contrôle apparié sur le niveau de lecture*. En effet, si une différence est observée entre le groupe dyslexique et le groupe apparié sur le niveau de lecture, alors cette différence ne pourra pas être imputable à une différence de niveau de lecture, c'est-à-dire d'expérience en lecture, ayant influencé les processus de maturation neuronale et ainsi le développement de certaines fonctions cognitives. Mais il est important de souligner également, et cela n'est que rarement noté, que l'absence de différence entre les deux groupes n'amène pas à la conclusion inverse. En effet, si l'on observe un niveau de déficit équivalent entre les deux groupes, cela peut aussi être dû au fait que le déficit cognitif en cause amène à un niveau de déficit équivalent à celui d'enfants plus jeunes, sans que l'expérience en lecture ne soit en cause. Ce design permet donc bien, si et seulement si une différence est observée, de « distinguer la cause de l'effet » de l'expérience en lecture, comme l'avait suggéré Bradley et Bryant (1978), mais ne peut être tenu pour preuve en lui-même

---

<sup>2</sup> D'autres variables sont bien sûr également souvent incluses, si une influence est supposée et que ces contrôles sont possibles : appariement sur le niveau intellectuel, sur le niveau socio-économique.... Ou toute autre variable qui pourrait avoir une influence sur les mesures. Mais les études randomisées peuvent également amener à supposer que la répartition aléatoire des sujets permettra d'annuler ces effets.

d'un lien de causalité entre le trouble cognitif étudié et le trouble d'acquisition du langage écrit du groupe dyslexique. Il reste en effet à un niveau corrélational, bien que l'âge plus élevé des enfants dyslexiques, et donc leurs meilleures compétences intellectuelles et cognitives par rapport à des enfants plus jeunes de même niveau de lecture, puissent suggérer un lien de causalité entre le déficit observé et la présence de la dyslexie chez ces enfants.

Un raisonnement similaire peut être appliqué dans les recherches menées auprès d'**adultes illettrés**. En effet, s'il peut être démontré que ces derniers se comportent de la même façon que leurs homologues lecteurs sur une tâche, tandis qu'un groupe de sujets dyslexiques est en difficulté comparé à leur pairs non dyslexiques sur cette même tâche, alors le déficit observé ne peut être imputé à la faible expérience en lecture des dyslexiques, sinon les adultes illettrés, n'ayant pas d'expérience en lecture<sup>3</sup>, seraient également en difficulté sur cette tâche. Mais comme précédemment, l'inverse ne peut être vrai. L'influence de l'expérience en lecture a par exemple été démontrée sur la conscience phonologique et, bien que les adultes illettrés aient donc de plus faibles performances sur ces tâches (Landgraf, Beyer, Hild, Schneider, Horn et al., 2012), nous verrons plus loin que l'hypothèse d'un trouble de conscience phonologique dans la dyslexie reste une hypothèse causale forte. De plus, comme précédemment, ce type d'arguments permet d'éliminer un lien de causalité – celui de l'expérience en lecture – mais ne permet pas de faire la démonstration du lien de causalité qui nous intéresse ici, celui entre le mécanisme cognitif étudié et la dyslexie.

Un argument de poids est apporté par **les études longitudinales**, qui offrent la possibilité d'étudier les liens de causalité dans leur temporalité. Le suivi d'un groupe d'enfants et l'observation de leur trajectoire développementale sur un ensemble de dimensions supposées reliées de façon causale permettra en effet de tester des prédictions d'évolution en fonction de facteurs préétablis. Nous pouvons ici distinguer deux types d'études longitudinales apportant de solides arguments pour les théories explicatives de la dyslexie<sup>4</sup>. Le premier type concerne les études qui suivent des **enfants pré-lecteurs**, c'est-à-dire depuis la maternelle avant l'apprentissage de la lecture, puis pendant la phase d'acquisition de la lecture, jusqu'au diagnostic de dyslexie qui pourra être par la suite posé chez certains. Le raisonnement suit la logique que le mécanisme cognitif supposé en cause devrait déjà être déficitaire chez les enfants pré-lecteurs qui seront ensuite diagnostiqués dyslexiques. Ceci permet de faire la distinction entre les causes et les effets de l'expérience en lecture mais également de mesurer des facteurs de risque. Il faut cependant souligner qu'on ne peut exclure que les

---

<sup>3</sup> L'illétrisme est défini ici comme un déficit de la capacité de lecture lié à l'absence d'un enseignement. En France, cette définition se rapporte davantage au terme d'analphabétisme, l'illétrisme concernant plutôt les personnes ayant été scolarisées mais n'ayant pas atteint une maîtrise suffisante de la lecture et de l'écriture. L'illétrisme pourrait donc dans ce cadre être lié, en partie, à des troubles d'apprentissage telle la dyslexie.

<sup>4</sup> Goswami dans son inventaire fait la distinction entre les études longitudinales, les études chez les enfants prélecteurs, et les études d'entraînements, mais il apparaît que les deux dernières sont des sous-catégories des premières.

manifestations comportementales d'un déficit cognitif puissent changer au cours du développement, et que ce déficit ne soit visible qu'à partir d'un certain âge. L'hypothèse ici sous-entendue pourrait être que le mécanisme cognitif en cause ne se développe pas comme attendu au moment de l'apprentissage de la lecture, et à ce moment-là seulement, et ne serait donc pas identifiable en amont. Le second type d'études longitudinales concerne les *études d'entraînement*, qui apportent l'argument le plus fort en faveur d'un lien de causalité entre un déficit cognitif et un trouble du développement de la lecture. En effet, si un déficit a été identifié au temps 1 puis qu'un entraînement du mécanisme cognitif est proposé et qu'au temps 2 on observe non seulement une amélioration de ce mécanisme cognitif, mais surtout une amélioration consécutive des capacités de lecture, alors il est plus que probable, si certains contrôles sont bien respectés (ils seront développés en partie dans le Chapitre 2.1.), que cette amélioration soit due au lien de causalité qu'entretiennent le déficit cognitif et le niveau de développement de la lecture. Cet argument a également été décrit par Muriel Lobier et Sylviane Valdois (Lobier et Valdois, 2009), qui soulignent d'ailleurs que l'entraînement doit donc spécifiquement viser la fonction cognitive supposée en cause, c'est-à-dire que l'entraînement ne doit pas proposer d'exercices incluant un entraînement direct de la lecture, car alors l'amélioration en lecture pourra être liée à l'entraînement du processus de lecture lui-même. Nous développerons cette question méthodologique dans le Chapitre 2.1.1.

### 1.3.2. Autres arguments expérimentaux

D'autres arguments ont été proposés par Goswami (2015) mais ils ne sont qu'indirectement reliés à ce problème de démonstration de la causalité. Ils concernent des questions théoriques et méthodologiques plus larges, qui sont à considérer en parallèle des effets de causalité, et même parfois en amont, puisqu'il s'agit d'effets fondés sur les hypothèses (« hypothesis-driven effects »), c'est-à-dire permettant de tester l'hypothèse émise en cherchant à l'appliquer à diverses situations, et ainsi pouvoir préciser la nature du déficit. Il paraît important de faire le point sur ces questions également, afin de pouvoir porter un regard plus critique sur les hypothèses explicatives que nous allons passer en revue dans la partie suivante de ce manuscrit.

Goswami souligne tout d'abord l'importance des *études inter-langues*, qui doivent permettre de faire des prédictions quant au déficit étudié en fonction des différentes caractéristiques des langues : « *a sensory dysfunction that causes dyslexia should be found across languages, and its effects should vary in systematic ways according to variations in orthography and phonology* » (Goswami, 2015). La première partie de cette affirmation semble devoir être modérée au vu de la seconde partie : le déficit devrait être présent *au moins* parmi les langues qui apparaissent similaires sur des dimensions concernées par le déficit. Nous ne discuterons pas de ce type d'études dans ce manuscrit pour que notre propos reste concis. Un autre type d'études évoqué par Goswami sont les recherches qui ont pour objectif de tester des *effets du déficit sur d'autres systèmes cognitifs* que la lecture. Celles-ci sont cruciales, en particulier dans le contexte des théories sensorielles dont traite l'article de Goswami, qui suggère par exemple que les troubles de traitement auditif devraient également affecter le traitement musical. Ceci rejoint les propos de Ramus et Ahissar (2012) qui soulignent l'importance de proposer des définitions précises des déficits/processus cognitifs en jeu dans les théories

explicatives, et qui sont à intégrer dans des modèles plus généraux de la perception, de l'attention, du langage ou de la mémoire. Les auteurs soulignent cependant que cette démarche reste bien sûr encore limitée par notre compréhension actuelle de la cognition humaine. Dans leur article, Ramus et Ahissar soulignent également, et c'est le cœur de leur propos, l'intérêt des **tâches qui induisent une performance normale** chez les enfants dyslexiques. Les auteurs attirent l'attention du lecteur sur ces tâches qui ne suscitent pas un comportement particulier chez les enfants dyslexiques, et qui, notamment au vu du nombre impressionnant de tâches sur lesquelles des différences entre dyslexiques et contrôles sont au contraire observées, sont toutes aussi importantes que ces dernières. « *It seems that the reason why so many different theories of dyslexia have been proposed is that deficits have been found in an astonishing variety of tasks. The dyslexia literature looks as if almost any new task investigated in dyslexic and control individuals were likely to show significantly poorer performance in the dyslexic group* » (Ramus et Ahissar, 2012, p.105). De nombreux résultats (ou plutôt absence de résultats) qui apparaissent contradictoires avec certaines théories explicatives sont ainsi passés en revue par les auteurs, leur permettant de faire des liens entre les différentes théories. La théorie de l'ancrage (« anchoring hypothesis ») a d'ailleurs ainsi été développée en s'intéressant à des études issues de divers horizons théoriques, et en particulier des résultats obtenus en fonction des différents paramètres de présentation des stimuli utilisés (en l'occurrence les paramètres de répétition de stimuli auditifs). Par ailleurs, il existe d'autres types d'arguments à l'appui d'une hypothèse théorique qui n'ont pas été évoqué par Goswami. Il nous paraît important de signaler notamment l'importance des **arguments neurobiologiques**, c'est-à-dire les preuves d'un ancrage neurobiologique du trouble cognitif observé sur le plan comportemental. Enfin, il est important que des études soient menées auprès d'enfants tout venant ou normo-lecteurs pour explorer **le lien entre le processus cognitif étudié et le développement normal de la lecture**. En effet, s'il est supposé sur le plan théorique qu'un processus cognitif est en cause dans un trouble de développement de la lecture, ce processus cognitif doit donc avoir un rôle non négligeable dans le développement normal de la lecture. Autrement dit, un lien théorique doit être clairement établi entre le processus cognitif et l'activité de lecture (Lobier et Valdois, 2009).

Dans cette première partie du Chapitre 1, nous avons vu que la définition de la dyslexie fait l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique depuis plusieurs années, et se décline sur trois niveaux : *neurobiologique*, *cognitif* et *comportemental*. Ce trouble du développement du langage écrit est en effet considéré comme un trouble neuro-développemental spécifique, c'est-à-dire qui touche spécifiquement certaines fonctions cognitives, en lien avec une atteinte cérébrale, émergeant principalement sous l'influence de facteurs génétiques. Des critères d'exclusions sont inhérents à ces considérations : le trouble de la lecture de ces enfants ne peut être expliqué par des troubles plus généraux, affectant le fonctionnement global du sujet, tel un déficit intellectuel ou des conditions psychosociales défavorables, ni par des troubles sensoriels de bas niveau. Un critère de durabilité émane également du caractère génétique et neuro-développemental de ce trouble. Les symptômes, qui constituent le niveau comportemental, sont liés, au niveau cognitif le plus proximal, à un trouble du développement des capacités d'identification des mots écrit. Bien que certains de

ces éléments de définition soient l'objet de débats, ces derniers apparaissent à la marge de ce large consensus autour de l'origine *neurobiologique*, affectant des processus *cognitifs*, ayant pour conséquences un trouble de l'identification des mots au niveau *comportemental*.

En revanche, les troubles cognitifs explicatifs de ce trouble d'identification des mots écrit, c'est-à-dire à un niveau cognitif plus distal, sont largement débattus. Leur existence, leur nature, leurs rôles, ou encore leur poids relatif, sont en effet au cœur des questionnements de la communauté scientifique. Dans les deux parties suivantes de ce chapitre nous passerons en revue les courants théoriques principaux, ceux relatifs à des troubles de nature phonologique, et ceux relatifs à des troubles de nature visuelle. Nous nous intéresserons en particulier au trouble de la perception catégorielle des phonèmes et au trouble de l'empan visuo-attentionnel sur lesquels portent plus particulièrement les études menées dans cette thèse. Les arguments à l'appui de la solidité des théories explicatives phonologiques et visuelles seront passés en revue. Les études d'entraînement, qui constituent l'argument de causalité le plus fort et dont les enjeux cliniques sont majeurs, ne seront cependant que peu abordées. En effet, ce type d'étude sera passé en revue dans un chapitre à part entière, car cet argument de causalité constitue un des enjeux de ce travail de thèse. Dans la dernière partie de ce premier chapitre, nous traiterons de la question de l'hétérogénéité cognitive et de son intrication avec l'hétérogénéité comportementale largement constatée sur le plan clinique, ayant donné lieu à différents systèmes de classification.

## 2. Théories phonologiques et auditives

---

L'hypothèse phonologique a dominé le paysage des théories explicatives de la dyslexie ces dernières décennies (Vellutino et al., 2004) et a ainsi fait l'objet de très nombreuses études. Cette hypothèse a notamment pris appui sur les progrès faits quant à notre compréhension du développement du langage écrit chez les enfants tout-venant, qui ont mis en évidence un rôle clé des processus phonologiques dans l'apprentissage de la lecture (Castles et Coltheart, 2004) et l'apprentissage orthographique (Share, 1999). Les arguments neurobiologiques sont forts, puisqu'une activité réduite, dans les régions pariéto-temporales gauches chez les enfants dyslexiques a le plus souvent été retrouvée, en lien avec les processus phonologiques déficitaires (Hoeft, Hernandez, McMillon, Taylor-Hill, Martindale et al., 2006; Hoeft, Meyler, Hernandez, Juel, Taylor-Hill et al., 2007; Shaywitz, Shaywitz, Blachman, Pugh, Fulbright et al., 2004; Temple, Deutsch, Poldrack, Miller, Tallal et al., 2003). Trois grands champs de la phonologie sont ici détaillés, choisis au vu de leur influence et de leur solidité, qui constituent l'identité actuelle de la théorie phonologique : la conscience phonologique, les représentations phonologiques, et les capacités de traitement auditif, ces dernières se situant en amont des deux premières, des liens de causalité étant supposés entre l'efficacité du traitement auditif et le développement des capacités phonologiques. Nous traiterons en particulier du déficit auditif de perception catégorielle des phonèmes, qui constitue une des théories cognitives explicatives que nous avons plus particulièrement étudiée dans ce travail de thèse.

## 2.1. Conscience phonologique

La conscience phonologique a fait l'objet de nombreuses études dès les années 70 et 80, notamment concernant l'acquisition de la lecture pour laquelle elle est rapidement apparue cruciale, en particulier au travers d'études longitudinales qui ont montré son pouvoir prédictif sur le développement ultérieur de la lecture (Gough et Hillinger, 1980; Liberman et al., 1974; Maclean, Bryant et Bradley, 1987; Share, Jorm, Maclean et Matthews, 1984; Tunmer et Nesdale, 1985), confirmé par des études plus récentes (Castles et Coltheart, 2004; Lervag, Braten et Hulme, 2009). La conscience phonologique, ou capacité métaphonologique, est la capacité de percevoir et manipuler les sons des mots parlés, c'est à dire les phonèmes (Liberman et Shankweiler, 1985). Elle recouvre cependant un grand nombre de tâches allant du jugement de rimes, à des tâches plus complexes d'omission de phonèmes ou d'acronymes. La revue de Castles et Coltheart (Castles et Coltheart, 2004) montre que les capacités d'analyse d'unités phonologiques plus larges que les phonèmes (syllabe et attaque/rime, en particulier) ont de plus faibles capacités prédictives sur le développement de la lecture. Concernant plus particulièrement les enfants dyslexiques, des études longitudinales (Boets, Smedt, Cleuren, Vandewalle, Wouters et al., 2010; Dandache, Wouters et Ghesquiere, 2014) ont montré des résultats similaires, c'est à dire une forte influence de la conscience phonologique sur le développement de la lecture de ces enfants. En tenant compte des données issues d'études sur des sujets dyslexiques avec comparaisons classiques (groupe contrôle de même âge), des études de comparaison avec groupe de même niveau de lecture, et des données corrélationnelles sur la lecture chez les enfants tout-venant, la méta-analyse de Melby-Lervåg et collaborateurs (Melby-Lervåg, Lyster et Hulme, 2012) basée sur 235 études confirme également le rôle fondamental de la conscience phonologique dans la dyslexie et dans le développement de la lecture. Elle s'avère être l'habileté la plus déterminante pour rendre compte des différences individuelles en lecture. Enfin, les études d'entraînement auprès d'enfants tout-venant apportent un argument de poids, en montrant que la pratique d'exercices de conscience phonologique améliore la lecture (Kjeldsen, Kärnä, Niemi, Olofsson et Witting, 2014; Schneider, Kuspert, Roth, Vise et Marx, 1997; Treiman et Baron, 1983), bien que la démonstration de la spécificité de l'effet de l'entraînement fasse souvent défaut, c'est-à-dire que les entraînements ne recouvrent pas toujours seulement des tâches métaphonologiques, puisqu'une activité de lecture/décodage est souvent incluse. Une méta-analyse portant sur les effets des entraînements à la conscience phonologique a été conduite en 2001 (Ehri, Nunes, Willows, Schuster, Yaghoub-Zadeh et al., 2001) sur la base de 52 études. Cette méta-analyse montre que les méthodes qui incluent un entraînement à la conscience phonologique améliorent les capacités de lecture significativement plus que celles qui ne l'incluent pas, que cet effet est plus fort lorsque cet entraînement est fait avec des lettres ; ceci altère cependant la spécificité de l'entraînement et donc la pureté de la démonstration causale. L'étude de Galushka et collaborateurs (Galuschka, Ise, Krick et Schulte-Korne, 2014) suggère d'ailleurs que les entraînements qui incluent une 'instruction phonique', c'est-à-dire un enseignement systématique des correspondances graphèmes-phonèmes et des stratégies de décodage qui requièrent une conscience phonologique à travers des activités de lecture et d'écriture, seraient les seuls entraînements véritablement efficaces. L'étude de Ehri montre également que l'impact des entraînements phonologiques est plus fort en début d'apprentissage ; il décroît avec l'expérience en lecture, ce qui est concordant avec

d'autres données obtenues auprès d'enfants tout venant (Bosse et Valdois, 2009; Vaessen et Blomert, 2010). D'autres données issues d'études d'entraînement, et en particulier chez les enfants dyslexiques seront abordées dans le Chapitre 2.

La conscience phonologique paraît donc être un facteur important dans le développement de la lecture et dans la dyslexie. Mais quel processus cognitif est réellement concerné par ce que l'on regroupe sous les termes de conscience phonologique ? Quelle est réellement la nature du déficit cognitif ici abordé ? L'hypothèse d'un déficit des représentations phonologiques, ou de leur accès, et les hypothèses d'un déficit de traitement auditif tentent de répondre à ces questions. Elles sont développées dans les deux sous-parties suivantes.

## 2.2. Représentations phonologiques

L'hypothèse d'une atteinte des représentations phonologiques dans la dyslexie est largement reconnue et a fait l'objet de nombreuses études, mais des discordances sont à noter dans la définition de ce déficit. Certains évoquent des difficultés de représentation segmentale (« segmentation hypotheses ») de la structure phonologique des mots, d'autres des représentations mentales des phonèmes et/ou représentations lexicales dégradées, moins précises, moins structurées et moins stables, ou encore un déficit d'accès et/ou de stockage de ces représentations. Le déficit sur les tâches de conscience phonologique, qui nécessitent de segmenter le mot en phonèmes pour les manipuler, reflèterait donc un déficit de ces 'segments' au niveau de la représentation des mots, ceux-ci étant sous spécifiés ou moins accessibles. Kelly Farquharson et collaborateurs (Farquharson, Centanni, Franzluebbbers et Hogan, 2014) ont d'ailleurs montré une influence lexicale sur les tâches de conscience phonologique, avec des patterns atypiques chez les enfants dyslexiques.

Les études initiales se sont intéressées à des tâches de dénomination d'images, l'atteinte des représentations phonologiques devant amener à des erreurs au niveau des formes verbales émises (Katz, 1986). Il a ainsi été mis en évidence (Swan et Goswami, 1997b) que les enfants dyslexiques faisaient plus d'erreurs dans une tâche de dénomination d'images que les groupes contrôles (de même âge chronologique et de même âge de lecture) et que cela ne pouvait pas être expliqué par leur niveau de vocabulaire ; de plus, leurs patterns d'erreurs semblaient refléter un déficit de la récupération du code phonologique des mots (Lalain, Joly-Pottuz, Nguyen et Habib, 2003). Dans une seconde étude (Swan et Goswami, 1997a), les auteurs ont utilisé une tâche de dénomination d'images, afin d'évaluer la précision des représentations phonologiques des enfants, et des tâches évaluant leur conscience phonologique. Les résultats ont montré que les performances des enfants dyslexiques étaient plus faibles sur la tâche de dénomination, et qu'une fois les scores ajustés en fonction des compétences en dénomination d'images, les scores des enfants dyslexiques sur les tâches de conscience phonologique étaient les mêmes que ceux des contrôles (appariés sur l'âge ou sur le niveau de lecture) lorsque le traitement se trouvait au niveau de la syllabe ou des attaques (« onset-rime ») mais pas au niveau des phonèmes. Les auteurs ont conclu que la conscience phonologique semblait donc dépendre à la fois de la précision des représentations phonologiques, et du niveau linguistique requis pour la segmentation, ce dernier point étant davantage en faveur de représentations immatures que d'un problème d'encodage ou de récupération des représentations (qui aurait

alors concerné tous les niveaux linguistiques selon les auteurs). Carsten Elbor et Mette Nygaard Jensen (2005) ont souhaité évaluer la qualité des représentations phonologiques au niveau lexical d'un groupe d'enfants dyslexiques, comparé à un groupe apparié sur le niveau de lecture. Les auteurs ont montré que les enfants dyslexiques ne rencontraient pas de difficultés dans une tâche de correction de mots (associés à une image) prononcés de façon volontairement erronée (forme 'réduite') par les expérimentateurs. En revanche, ils rencontraient des difficultés dans les tâches de conscience phonologique et dans les tâches d'apprentissage de représentations phonologiques. Les enfants dyslexiques avaient en effet besoin de plus de temps que les contrôles pour apprendre les associations visage/pseudo-noms qui leur étaient proposées, mais aussi dans une tâche d'apprentissage de nouvelles variantes de mots connus (substitution de voyelles ou consonnes). Ils ont également appris moins de la tâche d'imitation, dans laquelle ils étaient invités à prononcer des mots connus de la même manière (distincte) qu'une voix générée par ordinateur, que ne le faisait le groupe contrôle. Mais cet entraînement amenait des effets qui étaient associés à une amélioration de la conscience phonologique (manipulation de phonèmes) pour les mots entraînés et non entraînés. Cette étude montre donc que la dyslexie pourrait être associée à un déficit d'acquisition des représentations phonologiques. D'autres auteurs (Boada et Pennington, 2006) ont également testé cette composante d'apprentissage dans le cadre de l'hypothèse de segmentation, en utilisant une tâche d'apprentissage de noms d'animaux (des syllabes comme par exemple "buk"). Les auteurs ont montré des profils d'erreurs particuliers chez les enfants dyslexiques comparés à des contrôles de même âge et de même niveau de lecture. En effet, les enfants dyslexiques faisaient plus d'erreurs sur les items qui avaient des structures syllabiques similaires (e.g. CVC) que sur les items dont les phonèmes initiaux étaient proches, ce qui pourrait suggérer un déficit de représentation de la structure segmentale des mots, lié à une immaturité des représentations phonologiques. Le déficit rendait compte d'une part unique de la variance en lecture et des corrélations étaient retrouvées avec les mesures de conscience phonologique et de perception de la parole, mais pas avec la tâche de dénomination rapide ('Rapid Automated Naming' ou RAN). Les déficits dans les tâches de dénomination rapide ont cependant souvent été interprétés dans ce contexte de déficit des représentations phonologiques, comme suggéré par Yvonne Griffiths et Margaret Snowling (2001), pour qui ces déficits de dénomination rapide sont en faveur d'un déficit au niveau des processus de récupération des représentations phonologiques (Murphy, Pollatsek et Well, 1988). Nous verrons dans la Partie 4.1.1. que ces tâches de RAN se sont également inscrites dans d'autres contextes théoriques. Mais elles nous permettent ici d'interroger cette question de l'accès aux représentations phonologiques. En effet, deux revues de littérature (Ramus et Ahissar, 2012; Ramus et Szenkovits, 2008) suggèrent des représentations phonologiques intactes, mais un déficit d'accès à ces représentations chez les enfants dyslexiques. Cette hypothèse a été soutenue par une étude récente en neuroimagerie (Boets, Op de Beeck, Vandermosten, Scott, Gillebert et al., 2013), qui ne montre pas de différence d'activation entre dyslexiques et contrôles au niveau des zones activées par une tâche de détection de différences entre deux pseudo-mots, où seraient donc stockées les représentations phonologiques permettant d'accomplir cette tâche. En revanche, la connectivité fonctionnelle entre ces aires et l'aire de Broca, connue pour son rôle dans l'accès au lexique phonologique permettant la production du langage, est différente entre les deux groupes. Pour les auteurs, comme l'indique le titre de



l'article, ceci reflète « *Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia* » (Ramus, 2014a). Cependant, comme le souligne Franck Ramus et Gayaneh Szenkovits (Ramus et Szenkovits, 2008) leurs arguments reposent principalement sur des études auprès d'adultes dyslexiques, qui pourraient avoir atteint un niveau de représentations phonologiques 'normal', tandis que le déficit pourrait se situer sur les deux niveaux chez les enfants : ils pourraient souffrir à la fois d'un développement plus lent des représentations phonologiques mais également d'un accès perturbé à ces représentations.

La plupart des études que nous avons passées en revue dans cette partie se sont intéressées aux composantes d'encodage, de stockage et de récupération des représentations phonologiques en production principalement. Un autre pan de recherche a trait au versant réceptif sous-tendu pas les capacités de traitement auditif, que nous abordons dans la partie suivante.

### 2.3. Traitement auditif

La qualité des représentations phonologiques et les capacités de traitement phonologique en général dépendent bien sûr de notre système réceptif, c'est-à-dire de la qualité du traitement auditif. Certains auteurs ont soutenu que le déficit phonologique refléterait une atteinte linguistique de haut niveau (au niveau des représentations phonologiques), qui ne peut être expliqué par un déficit de traitement auditif de bas niveau (Snowling, 2001). Cependant des données vont à l'encontre de cette hypothèse et la plupart des courants théoriques suggère une 'cascade' de déficits, liés les uns aux autres : des traitements auditifs de bas niveau seraient responsables d'un déficit de perception de la parole, en particulier concernant la perception catégorielle des phonèmes, lui-même responsable d'un défaut dans la mise en place des représentations phonémiques, qui affecterait la conscience phonologique et ainsi l'apprentissage des correspondances entre graphèmes et phonèmes et donc le développement de la lecture. Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux principaux courants théoriques qui se sont intéressés à cette question du traitement auditif et de la perception des phonèmes.

#### 2.3.1. Déficit de traitement auditif rapide

Paula Tallal (Tallal, 1980) s'est intéressée aux capacités de traitement auditif des enfants dyslexiques en leur proposant des tâches de perception auditive non verbale ayant pour but d'examiner la discrimination et la perception de l'ordre temporel de deux sons présentés à des intervalles plus ou moins longs et à différentes tonalités<sup>5</sup>. Dans le test de jugement d'ordre temporel, comme dans celui de discrimination, les scores des dyslexiques étaient inférieurs à

---

<sup>5</sup> Ces tâches ont été proposées au regard des résultats obtenus auprès d'une population d'enfants dysphasiques (Tallal et Percy, 1973), ces deux populations, dyslexique et dysphasique, présentant toutes deux des troubles de nature phonologique.

ceux des contrôles (plus jeunes) uniquement pour les intervalles courts. De plus, des corrélations fortes ont été retrouvées avec les tests de lecture, et en particulier avec la lecture de pseudo-mots qui requiert un décodage phonologique. Les auteurs ont donc fait l'hypothèse d'un déficit de perception auditive de bas niveau touchant le traitement auditif rapide chez les enfants dyslexiques, qui affecterait les capacités phonologiques nécessaires à l'apprentissage de la lecture. Ceci serait plus précisément lié à un déficit de traitement des changements rapides dans le signal de parole, tels les changements acoustiques rapides de fréquences et d'intensité (transitions de formants) (Tallal, 2004) ; par exemple entre les syllabes /ba/ et /da/, les indices permettant de différencier ces deux syllabes apparaîtraient au niveau de transitions de formants dans les 40ms initiales. Ces résultats expérimentaux ont été répliqués (Cohen-Mimran et Sapir, 2007), et des arguments neurobiologiques ont été apportés (Gaab, Gabrieli, Deutsch, Tallal et Temple, 2007; Raschle, Chang et Gaab, 2011), notamment sur des enfants pré-lecteurs à risque de dyslexie (Raschle, Stering, Meissner et Gaab, 2014). Mais de nombreuses études n'ont pas pu retrouver de résultats similaires (Agus, Carrión-Castillo, Pressnitzer et Ramus, 2014; Chiappe, Stringer, Siegel et Stanovich, 2002), par exemple lorsque des stimuli de nature verbale étaient présentés (Goswami, Fosker, Huss, Mead et Szucs, 2011) ou n'ont pas retrouvé de liens avec les capacités phonologiques (Marshall, Snowling et Bailey, 2001). Une étude longitudinale a été menée par David Share et collaborateurs (Share, Jorm, Maclean et Matthews, 2002) auprès de 500 enfants suivis de l'âge de cinq ans jusqu'à neuf ans. Les résultats ont montré un déficit des capacités de jugement d'ordre temporel de stimuli auditifs chez les futurs dyslexiques, mais seulement pour les intervalles longs, un résultat inverse à celui obtenu par Tallal. A neuf ans, leurs performances dans la tâche de jugement d'ordre temporel étaient similaires aux performances des groupes contrôles appariés sur l'âge ou le niveau de lecture. Bien qu'il y ait eu une corrélation fiable entre déficits temporels et conscience phonologique à l'entrée de l'école, les déficits temporels à cinq ans ne prédisaient pas les futures habilités phonologiques ou en lecture. Ils prédisaient en revanche des caractéristiques ayant trait au langage oral, telles que le vocabulaire et les capacités de compréhension. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que les déficits auditifs temporels chez les enfants dyslexiques peuvent être associés aux mêmes symptômes de type dysphasique observés par Tallal et collaborateurs, mais ne sont pas en cause dans les déficits phonologiques qui caractérisent spécifiquement les enfants dyslexiques.

### **2.3.2. Déficit de détection des changements d'amplitude**

Un autre courant théorique relatif aux déficits de traitement auditif concerne la détection de changement d'amplitude sonore (Goswami, Thomson, Richardson, Stainthorp, Hughes et al., 2002). Des études ont en effet montré que les enfants dyslexiques présentent des difficultés à percevoir les modulations d'amplitudes lentes, qui affecteraient la détection du rythme de la parole et la prosodie (Leong et Goswami, 2014a, 2014b). L'enveloppe d'amplitude de la parole est dite 'à variation lente' quant à son contour d'énergie, contenant une série de schémas de modulation d'amplitude à différentes fréquences temporelles. Ces taux ont différents « rise-time » (soit le temps nécessaire pour atteindre le pic d'amplitude maximum).

Ces patterns de modulation d'amplitude lente seraient les supports de l'émergence de la conscience phonologique, sur les unités sub-phonémiques (la syllabe par exemple) disponibles avant l'apprentissage de la lecture (Goswami, 2015). Goswami et collaborateurs (Goswami, Fosker, et al., 2011) se sont intéressés à la perception d'un contraste de parole synthétique (ba / wa). Les auteurs ont comparé un contraste basé sur la vitesse du taux de variation de l'information de fréquence (durée de transition des formants) par rapport à un contraste basé sur la vitesse du taux de variation de la modulation d'amplitude (rise-time). Les résultats ont montré que les enfants dyslexiques avaient une excellente discrimination phonétique basée sur la durée de la transition des formants, qui est même apparue supérieure à celle des enfants normo-lecteurs, contrairement aux résultats obtenus dans le cadre de l'hypothèse d'un déficit de traitement auditif rapide<sup>6</sup>. En revanche, ils présentaient de faibles capacités de discrimination lorsque celle-ci était basée sur des variations de l'enveloppe d'amplitude. Ce déficit serait également présent en comparaison avec des enfants de même niveau de lecture (Goswami, Wang, Cruz, Fosker, Mead et al., 2011; Poelmans, Luts, Vandermosten, Boets, Ghesquiere et al., 2011), et expliquerait 25% de la variance sur les tâches de lecture ou transcription (Goswami et al., 2002). Une étude longitudinale a confirmé le rôle de cette capacité de traitement auditif dans le développement de la lecture et la dyslexie en particulier (Boets, Vandermosten, Poelmans, Luts, Wouters et al., 2011). Ces travaux sur la détection des changements d'amplitude ont initialement porté sur des stimuli de parole, mais des études sur le rythme musical ont montré que ce déficit serait lié à un déficit sensoriel non spécifique à la parole. Martina Huss et collaborateurs (Huss, Verney, Fosker, Mead et Goswami, 2011) ont en effet montré que la perception 'métrique' musicale, c'est-à-dire la détection de changement d'une structure musicale rythmique, était liée à la perception des changements d'amplitude (« rise-time ») et était prédictive des capacités de conscience phonologique et de lecture, représentant plus de 40% de la variance en lecture chez les enfants normo-lecteurs et dyslexiques. Une autre étude émanant de la même équipe (Goswami, Huss, Mead, Fosker et Verney, 2013) a également montré que ce déficit de traitement de rythme reste présent lorsque les enfants sont comparés à un groupe apparié sur le niveau de lecture et leurs données longitudinales confirment que ces capacités de traitement auditif sont de bons prédicteurs du développement de la lecture (voir aussi l'étude de Flaunacco, Lopez, Terribili, Zoia, Buda et al., 2014, sur les liens entre traitement auditif, perception, et production de rythme, phonologie et lecture). Des hypothèses quant aux atteintes neurobiologiques en cause dans ce déficit ont été émises récemment (Goswami, 2011).

D'autres hypothèses d'un déficit de traitement auditif de bas niveau chez les personnes dyslexiques ont été développées et une revue méta-analytique a été publiée par Jarmo Hämäläinen et collaborateurs (Hämäläinen, Salminen et Leppänen, 2013). Des résultats contradictoires peuvent apparaître entre les études, en particulier en fonction des différentes techniques de mesure employées. Mais cette revue montre qu'il existe des différences

---

<sup>6</sup> A noter qu'aucun enfant ne présentait de troubles associés de type dysphasique dans cette étude.

statistiquement décelables dans le traitement auditif des personnes dyslexiques comparées à des contrôles normo-lecteurs sur les mesures de détection de durée de signal, de détection des modulations d'amplitude lentes ('rise-time' et autres indices de modulations d'amplitude), et la détection de modulations de fréquences lentes et rapides. L'ensemble de ces données suggère un déficit de traitement temporel auditif de bas-niveau chez les personnes dyslexiques, qui pourrait être en cause dans le trouble d'acquisition du langage écrit qu'elles présentent.

## 2.4. Déficit de perception catégorielle des phonèmes

D'autres études se sont plus spécifiquement intéressées aux capacités de traitement auditif des sons de parole. Maria Mody et collaborateurs (Mody, Studdert-Kennedy et Brady, 1997; Studdert-Kennedy et Mody, 1995) ont notamment souhaité tester l'hypothèse d'un déficit des traitements auditifs rapides développée par Tallal au niveau du signal de parole, en faisant varier certains paramètres d'une tâche de discrimination de paires de syllabes (/ba/ - /da/). Les auteurs ont montré que des étudiants faibles lecteurs présentaient des difficultés de discrimination entre les deux syllabes qui ne reflétaient pas un problème de détection des changements rapides de fréquence au niveau des consonnes, mais plutôt une confusion perceptive entre deux phonèmes proches sur le plan phonétique, rejetant un déficit de nature auditive pour un déficit spécifique à la parole (« speech-specific ») (voir aussi Studdert-Kennedy, 2002). De nombreuses études ont ainsi mis en évidence un déficit de traitement de la parole chez les personnes dyslexiques en utilisant des tâches de discrimination de syllabes variant sur une seule caractéristique phono-articulatoire, telle que *le voisement*, c'est-à-dire s'il y a une vibration des cordes vocales ou non, comme entre /ta/ et /da/ ou encore *le lieu d'articulation*, qui peut être par exemple bilabial, comme pour /ba/, ou dental pour /da/ (Adlard et Hazan, 1998; Hurford, 1990; Masterson, Hazan et Wijayatilake, 1995). Cette capacité de discrimination de phonèmes est dépendante de la perception catégorielle des phonèmes, un phénomène que nous allons ici décrire, avant de nous intéresser à son rôle dans la dyslexie.

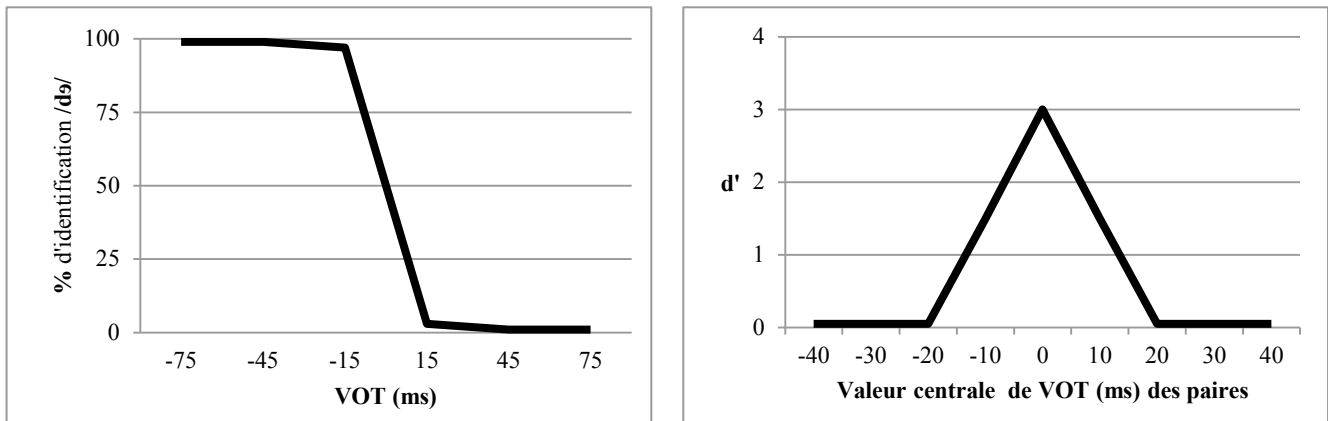
### 2.4.1. Définitions

La perception catégorielle des phonèmes fait référence à notre capacité à catégoriser en unités les variations d'un même phonème, c'est-à-dire à catégoriser certaines variations du signal de parole comme faisant partie d'une même unité phonémique (Liberman, Harris, Hoffman et Griffith, 1957) alors que d'autres variations de même ampleur seront interprétées comme relatives à des phonèmes différents. Un son de parole peut prendre différentes formes acoustiques en fonction de différentes caractéristiques phono-articulatoires (e.g. le lieu d'articulation, ou le voisement). Ces caractéristiques permettent de définir les phonèmes sur le plan phonétique. Cependant, ces caractéristiques ont une *variance* importante et peuvent se décliner de façon continue, évoquant une *continuité* du signal acoustique. La variance correspond au fait qu'un même phonème peut être réalisé de façon très différente selon le locuteur (son sexe, son âge, son humeur, son accent,...), selon le rythme de parole (lent, rapide, avec émotion....) et selon le contexte phonémique dans lequel il est produit

(phénomène de coarticulation). Ceci nécessite que certaines variations des traits phonétiques ne soient pas jugées pertinentes. La continuité du signal correspond au fait que certaines paires de phonèmes se démarquent par une seule caractéristique phonétique qui peut se décliner sur un continuum (e.g. entre /t/ et /d/, on peut décliner le voisement, /t/ étant une consonne non voisée et /d/ étant voisée). Des variations acoustiques minimales entre certains points du continuum vont être perçues car elles permettent de distinguer deux phonèmes, tandis que d'autres variations acoustiques, ne se situant pas de part et d'autre de cette frontière catégorielle, ne seront pas perçues, car non pertinentes dans la langue utilisées et caractérisant seulement différentes réalisations d'un même phonème, c'est-à-dire d'une même catégorie (Liberman et al., 1957). Ainsi, deux variations entre des sons de parole équivalentes quant aux différences acoustiques en jeu vont tantôt être perçues et attribuées à deux phonèmes différents si les deux sons se situent de part et d'autre de la frontière catégorielle, tantôt ne pas être distinguées et considérées comme deux réalisations d'un même phonème si les deux sons se situent d'un même côté de la frontière catégorielle. Ceci définit la perception catégorielle des phonèmes (Liberman, Cooper, Shankweiler et Studdert-Kennedy, 1967).

#### 2.4.2. Mesures de la perception catégorielle

Sur le plan expérimental, la perception catégorielle des phonèmes a été mise en évidence grâce à la création d'un continuum de parole artificielle qui va d'une catégorie perceptive à une autre. Par exemple, entre deux consonnes occlusives, l'une voisée et l'autre non-voisée, le voisement peut être défini selon un continuum temporel, le VOT (Voice Onset Time), qui correspond théoriquement au délai entre le relâchement de l'occlusion et le début de la vibration des cordes vocales. Ainsi entre les syllabes /tə/ et /də/, le VOT sera long pour la syllabe contenant l'occlusive non voisée /tə/ et court pour la syllabe avec la consonne voisée /də/. Deux tâches sont classiquement utilisées pour évaluer la perception catégorielle des phonèmes. Dans une *tâche d'identification* de phonèmes, le sujet entend un son issu de ce continuum et doit juger de son identité phonémique, c'est-à-dire déterminer quel est le phonème entendu (e.g. un /t/ ou un /d/). Dans ce type de tâche, une frontière catégorielle apparaît à un certain point du continuum, c'est-à-dire que les réponses du sujet basculent de façon radicale d'une catégorie phonémique à une autre (Figure 1). Les valeurs asymptotiques qui se rapportent à la pente au niveau de la frontière catégorielle (e.g. à 0 ms de VOT) et aux effets planchers et aux effets plafonds vont donc fournir des indices quant à la précision de la perception catégorielle. Dans une *tâche de discrimination*, le sujet entend deux sons issus de ce continuum, qu'il doit juger comme identiques ou différents. Le sujet jugera *identiques* ces deux sons s'il s'agit de deux variations du même phonème, c'est-à-dire deux allophones, puis soudainement, au niveau de la frontière catégorielle, il percevra deux phonèmes distincts et jugera donc la paire comme *différente*, alors qu'elle est caractérisée par une différence acoustique aussi minime que celle présente entre les deux allophones. Un pic de discrimination est alors identifiable au niveau de la frontière catégorielle, et plus il est élevé (sur une mesure de % de bonnes réponses ou un indice d'), plus la frontière catégorielle est précise (Figure 1).



**Figure 1.** (Serniclaes, 2011). Illustration de la perception catégorielle des contrastes de VOT sur le continuum /tə/ - /də/ sur une tâche d'identification (à gauche), de discrimination (à droite).

Ces deux tâches sont théoriquement étroitement liées entre elles. En effet, si deux signaux sont identifiés comme appartenant à deux catégories différentes de phonèmes, alors ils devraient également être correctement discriminés. Ainsi les performances en identification sont classiquement utilisées pour calculer des probabilités de discriminations correctes et définir des courbes de discrimination prédites. De nombreux auteurs considèrent que la perception est dite catégorielle quand, d'une part les performances en identification révèlent une frontière catégorielle nette et quand d'autre part, ceci est couplé à une performance en discrimination proche de 100% pour deux stimuli appartenant à chacune des catégories étudiées, et proche du hasard pour deux stimuli de même catégorie (Breier, Gray, Fletcher, Diehl, Klaas et al., 2001). Cependant, les courbes de discrimination prédites sous-estiment en général les capacités de discrimination observées (Liberman et al., 1957), suggérant qu'une perception catégorielle efficiente n'empêche pas une certaine sensibilité aux propriétés acoustiques considérées comme non pertinente dans une langue donnée.

#### 2.4.3. Développement de la perception catégorielle chez les enfants tout-venant

A la naissance, les enfants sont capables de distinguer de nombreuses variations acoustiques dans la parole, incluant des contrastes qui ne sont pas utilisés dans leur langue maternelle. Ces variations de traits apparaissent ainsi comme universelles ; quasiment tous les phonèmes de toutes les langues sont détectés par les nouveau-nés. Mais progressivement, les enfants vont se spécialiser pour les différences pertinentes, en fonction de la langue ou des langues utilisées dans leur environnement ; ils délimitent ainsi graduellement des frontières catégorielles pour les catégories de phonèmes pertinentes dans leur(s) langue(s) (Kuhl, 2004; Werker et Tees, 1984).

Dans un article de revue de la littérature, Serniclaes (2011) souligne que le regroupement de traits universels en des catégories phonémiques spécifiques à la langue est un processus complexe. Par exemple, concernant la perception du VOT, une sensibilité à -30ms et +30ms a été mise en évidence chez des enfants âgés de six mois dans différents contextes linguistiques, chez des singes par des études électro-physiologiques, et chez des adultes sur des stimuli non verbaux dans des conditions analogues au traitement du VOT ou dans des études

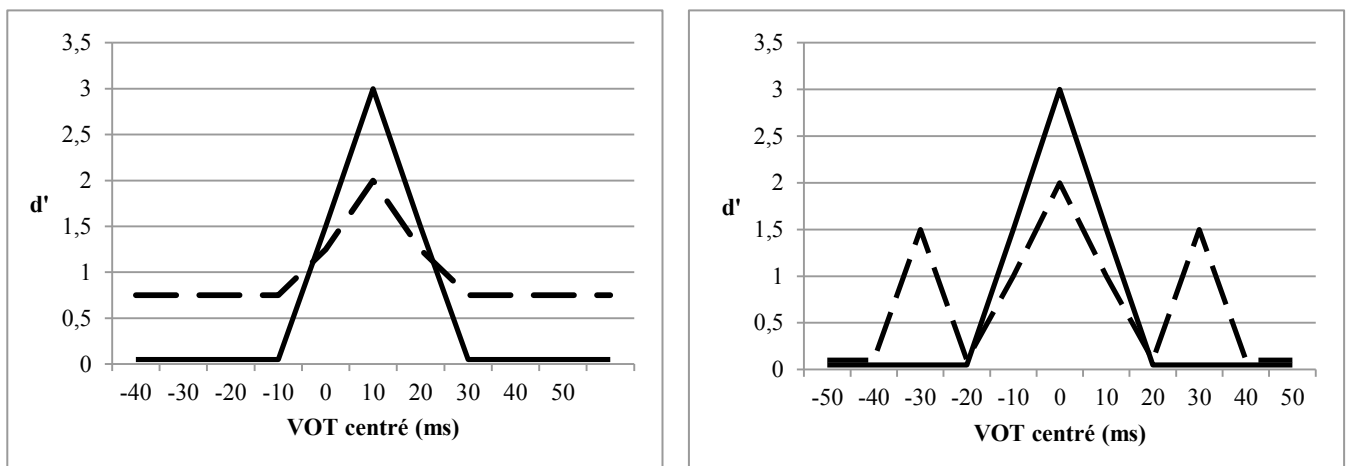
neurophysiologiques ; cette sensibilité serait donc universelle. Mais dans des langues telles que le français, la frontière catégorielle se situe à un VOT de 0ms. Serniclaes souligne donc que l'acquisition de cette nouvelle frontière catégorielle nécessite la perception et le 'couplage' de différents seuils acoustiques (telle la perception de l'ordre temporel de deux événements : l'occlusion et la vibration des cordes vocales, 0 ms correspondant à la limite entre anticipation du voisement sur l'occlusion et délai du voisement sur l'occlusion). Il est donc également nécessaire d'inhiber les deux autres frontières catégorielles. Cette acquisition se fait graduellement (Hoonhorst, Medina, Colin, Markessis, Radeau et al., 2011 ; Medina, Hoonhorst, Bogliotti et Serniclaes, 2010) de façon implicite chez la plupart des enfants, mais pourrait être altérée chez certains, pour des raisons génétiques, les amenant à une sensibilité aux frontières universelles, et donc à une perception des allophones dans leur langue maternelle.

#### **2.4.4. Perception allophonique chez les enfants dyslexiques**

De nombreuses études ont en effet montré que les enfants et adultes dyslexiques présentent des capacités de perception catégorielle des phonèmes atypiques, comme illustré dans la Figure 2. Ils présentent de plus faibles capacités d'identification et de discrimination autour de la frontière catégorielle, c'est-à-dire une perception inter-catégorielle moins efficiente, mais de meilleures capacités de discrimination entre des paires de stimuli de même catégorie (allophones), c'est-à-dire une meilleure perception intra-catégorielle (Bogliotti, Serniclaes, Messaoud-Galusi et Sprenger-Charolles, 2008; Godfrey, Syrdal-Lasky, Millay et Knox, 1981; et Noordenbos et Serniclaes, 2015; Reed, 1989; voir pour des revues récentes Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2015; Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Demonet, 2001; Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carre et Sprenger-Charolles, 2004; Vandermosten, Boets, Luts, Poelmans, Wouters et al., 2011; Werker et Tees, 1987).

Certains auteurs ont en effet montré que les capacités de discrimination des dyslexiques entre des phonèmes de différentes catégories sont plus faibles que celles attendues sur la base de leurs capacités d'identification (Brandt et Rosen, 1980), mais le déficit de perception catégorielle a également été rapporté dans des tâches d'identification, marqué par une plus faible pente de la courbe d'identification au niveau de la frontière catégorielle et des erreurs aux extrémités du continuum (Manis, McBride-Chang, Seidenberg, Keating, Doi et al., 1997; Paul, Bott, Heim, Wienbruch et Elbert, 2006; Reed, 1989; Zhang, Zhang, Shu, Xi, Wu et al., 2012). Ces erreurs aux extrémités du continuum peuvent se traduire par une faible largeur asymptotique, relative à la différence entre les asymptotes les plus proches des scores extrêmes de 0% et 100%. Serniclaes et collaborateurs (Serniclaes et al., 2001) affirment que les performances sur les tâches d'identification et de discrimination apportent toutes deux des informations pertinentes pour l'étude de la perception de la parole dans la dyslexie, bien que le déficit retrouvé en discrimination soit souvent plus fort qu'en identification, sans doute car la tâche de discrimination est plus à même de révéler une capacité atypique de perception intra-catégorielle, c'est-à-dire une perception allophonique, chez les sujets dyslexiques (Noordenbos et Serniclaes, 2015).

Ce phénomène de perception allophonique (Figure 2) a été étudié de façon approfondie dans l'étude de Serniclaes et collaborateurs (Serniclaes et al., 2004). Cette étude a été menée auprès d'enfants dyslexiques en utilisant des continuums portant sur des différences de voisement, incluant trois paires différentes de phonèmes (/pa/ - /ba/, /ka/ - /ga/, /to/ - /do/). Les résultats ont montré un pic de discrimination plus faible au niveau des frontières phonémiques chez les enfants dyslexiques par rapport à un groupe contrôle de même âge, mais un second pic était également identifié aux alentours de -30 ms de VOT, c'est-à-dire au sein d'une catégorie, pour le groupe dyslexique seulement. Cette seconde 'frontière' correspond à une frontière universelle, prédisposition phonétique qui n'aurait pas été inhibé chez les enfants dyslexiques.



**Figure 2.** (Noordenbos et Serniclaes, 2015). Illustration du déficit de perception catégorielle des contrastes de VOT sur le continuum /tə/ - /də/ dans la dyslexie. A gauche, une atteinte caractérisée par une faible discrimination inter-catégorielle et une meilleure discrimination intracatégorielle. A droite, une perception allophonique, caractérisée par une faible discrimination inter-catégorielle et des pic de perception intra-catégorielle reflet d'une sensibilité à certaines caractéristiques allophoniques.

Selon Serniclaes (2011) le manque de précision aux frontières catégorielles chez les personnes dyslexiques reflèterait un retard développemental (quantitatif), tandis que la sensibilité allophonique serait une déviance spécifique (qualitative). Le terme de retard développemental peut poser question puisque le manque de précision catégorielle est retrouvé également chez les adultes dyslexiques. Par contre, ces données suggèrent que ce déficit de perception inter-catégorielle pourrait être une conséquence du déficit en lecture plutôt que sa cause. Cependant des études ont montré que la perception allophonique reste présente même lors de comparaisons avec un groupe de même niveau de lecture (Bogliotti et al., 2008; Manis et al., 1997; Noordenbos et Serniclaes, 2015)], tandis qu'aucun déficit de perception catégorielle n'a été mis en évidence chez des adultes illettrés (Serniclaes, Ventura, Morais et Kolinsky, 2005). De plus, une étude longitudinale (Noordenbos, Segers, Serniclaes, Mitterer et Verhoeven, 2012a) a montré que les enfants à risque de dyslexie, risque basé sur la présence d'antécédents familiaux, présentaient un mode de perception allophonique en grande section de maternelle, associé à une faible conscience phonologique, contrairement aux enfants qui ne présentaient pas de risque de dyslexie a priori. Mais en CP, ces enfants à risque passaient d'une perception allophonique à une perception catégorielle basée sur les frontières de la langue, avec une amélioration de la précision pour tous les sujets. Il semble ainsi que



l'enseignement de la lecture induise une amélioration de la perception des frontières catégorielles pertinentes de la langue, ce qui a également été mis en évidence dans une étude de Burnham (2003) ; les données de cette étude semblent d'ailleurs suggérer que la perception de contrastes de phonèmes n'appartenant pas à la langue maternelle, donc potentiellement allophonique pour la langue maternelle, est minime à six ans comparée à des groupes d'âge de quatre ans ou huit ans. Ainsi, il apparaît que le manque d'expérience en lecture des personnes dyslexiques ne peut expliquer le déficit en perception catégorielle, au vu des données sur les enfants pré-lecteurs issues de cette étude longitudinale et des données recueillies auprès des adultes illettrés ou auprès d'enfants normo-lecteurs de même niveau de lecture.

Cependant un certain nombre d'études n'ont pas mis en évidence de trouble de la perception catégorielle sur le plan comportemental chez les personnes dyslexiques (Chiappe et al., 2002; Hazan, Messaoud-Galusi, Rosen, Nouwens et Shakespeare, 2009; Robertson, Joanisse, Desroches et Ng, 2009; Vandermosten et al., 2011). Outre les questions méthodologiques, notamment les variations selon les continuums utilisés (Adlard et Hazan, 1998; Godfrey et al., 1981; Masterson et al., 1995; Mody et al., 1997)<sup>7</sup>, et les questions d'hétérogénéité de la population dyslexique que nous aborderons dans la Partie 4<sup>8</sup>, des éclairages quant à ces données discordantes ont été apportés par les études qui se sont intéressées aux fondements neurobiologiques de la perception allophonique. Deux études ont été menées par Noordenbos et collaborateurs, auprès d'enfants à risque de dyslexie (Noordenbos, Segers, Serniclaes, Mitterer et Verhoeven, 2012b) et d'adultes dyslexiques (Noordenbos, Segers, Serniclaes et Verhoeven, 2013), utilisant la négativité de discordance (Mismatch Negativity ou MMN) enregistrée par EEG, une onde qui traduit la détection d'un changement du stimulus. Dans la première étude, les résultats ont montré que pour des stimuli de même catégorie phonémique (allophones), une réponse MMN n'était présente que pour les enfants à risque de dyslexie, tandis que pour les stimuli inter-catégoriels, des réponses MMN étaient présentes dans les deux groupes, avec cependant des pics d'amplitude moins grands des réponses MMN pour les enfants à risque de dyslexie. Dans la seconde étude, les réponses MMN d'adultes dyslexiques ont été comparées aux performances comportementales, et étonnamment, alors que les tâches de perception catégorielle n'étaient pas en faveur d'une perception allophonique, le pattern de réponses neuronales était similaire à celui obtenu dans l'étude précédente. Le fait que les stimuli allophoniques aient provoqué une activité neuronale chez les dyslexiques en l'absence de réponses comportementales suggérerait que des processus d'inhibition sont à l'œuvre au niveau cognitif chez les enfants dyslexiques (Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2015). Une étude en IRMf montre également des activations corticales atypiques chez les personnes

---

<sup>7</sup> Serniclaes souligne notamment que les continuums doivent contenir des frontières universelles (c'est-à-dire présentes dans d'autres langues) pour qu'une perception allophonique puisse être mise en évidence.

<sup>8</sup> Nous avons cependant déjà évoqué cette question à propos des liens entre perception catégorielle et conscience phonologique, en citant les études qui tendent à montrer que le déficit de perception catégorielle ne serait présent que pour les sous-groupes de dyslexiques présentant un trouble de conscience phonologique.

dyslexiques au cours d'une tâche de perception catégorielle de phonèmes, tandis que les réponses comportementales sont similaires à celles des normo-lecteurs. Cette étude montre que les différences d'activations concernent bien des zones clés dans la perception du langage. Une étude en imagerie par PET scan (tomographie par émissions de positrons) suggère un rôle prépondérant du cortex prémoteur gauche, près de Broca (Dufor, Serniclaes, Sprenger-Charolles et Demonet, 2009).

#### **2.4.5. Spécificité verbale du trouble et conscience phonologique.**

Une des études princeps du phénomène de perception allophonique dans la dyslexie a été réalisée par Serniclaes et collaborateurs en 2001 (2001). Dans cette étude, les auteurs ont souhaité tester la spécificité verbale du déficit de perception catégorielle et ont ainsi proposé à des enfants dyslexiques des analogues sinusoïdaux des sons de parole, construits à partir d'un continuum de sons ayant pour extrêmes les syllabes /ba/ - /da/, et modélisant le lieu d'articulation. Ces stimuli sont ambigus, puisqu'ils peuvent être perçus soit comme des sons de parole artificiels, soit comme des sifflements, selon l'indication donnée au sujet quant à la nature verbale ou non des stimuli. Les résultats ont montré que le déficit de perception catégorielle, caractérisé principalement par une meilleure perception intra-catégorielle, est présent lorsque les stimuli sont présentés comme des sons de parole, et non quand ils sont présentés comme des sifflements, alors que l'information acoustique est identique. Ces résultats ont été confirmés par des études en neuroimagerie montrant que cette information donnée au sujet quant à la nature du stimulus induit une augmentation de l'activité corticale au niveau du cortex prémoteur gauche, du réseau temporel supérieur et pariétal inférieur chez les sujets normo-lecteur, tandis que chez les sujets dyslexiques cette augmentation de l'activité corticale est moins marquée et moins latéralisée (Dufor, Serniclaes, Sprenger-Charolles et Demonet, 2007 ; Dufor et al., 2009). Alors que certains auteurs ont suggéré que le déficit de perception catégorielle dans la dyslexie pourrait être lié à la perception d'indices temporels au niveau du traitement auditif (Vandermosten et al., 2011) et, plus précisément, que la sensibilité aux allophones pourrait être liée à un déficit de détection des changements d'amplitude (Goswami, Fosker, et al., 2011), et/ou à un déficit de discrimination des fréquences du signal de la parole tel que postulé par Paula Tallal (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007) (voir aussi (Zhang et McBride-Chang, 2010), sur les liens entre sensibilité auditive rythmique et temporel, perception de la parole, conscience phonologique et lecture), ces données suggèrent que ce déficit serait spécifique aux processus de traitement de la parole. Ce déficit de traitement de la parole affecterait en aval le développement des représentations des phonèmes et de la conscience phonologique, et ainsi l'apprentissage des correspondances graphème-phonème, et donc l'acquisition du langage écrit (Serniclaes, 2011).

Quelques données sont en effet en faveur d'un lien entre ce déficit de perception catégorielle et le trouble de conscience phonologique classiquement retrouvé dans les populations dyslexiques. Manis et collaborateurs (1997) ont utilisé une tâche d'identification sur un continuum de voisement (VOT) /p/ - /b/ pour estimer les capacités de perception catégorielle de groupes dyslexiques, l'un présentant un trouble de la conscience phonologique et l'autre ne présentant pas un tel trouble. Un déficit de perception catégorielle a été mis en évidence

seulement pour le groupe présentant un trouble de la conscience phonologique. De plus, des corrélations ont été retrouvées entre capacités de perception catégorielle et conscience phonologique, tout comme dans l'étude de Breier et collaborateurs (2001). Ce lien a également été mis en évidence auprès de populations de sujets normo-lecteurs (McBride-Chang, 1996) ; une étude d'entraînement des capacités de discrimination de la parole suggère notamment un lien de causalité avec la conscience phonologique (Hurford, 1990). De tels résultats ont également été montrés en contexte de trouble du langage oral (Collet, Colin, Serniclaes, Hoonhorst, Markessis et al., 2012). Dans cette étude, neuf enfants présentant un trouble spécifique du langage oral ont été entraînés pendant deux semaines sur une tâche de discrimination de paires de phonèmes. Après la période d'entraînement, les frontières catégorielles de ces enfants sont plus nettes que celles d'un groupe d'enfants n'ayant pas été entraînés, et leurs capacités de conscience phonologique ont davantage augmenté (cf. Chapitre 2.2.1.3 pour le détail de cette étude).

Les théories explicatives phonologiques et auditives sont nombreuses mais s'articulent toutes autour de la conscience phonologique, processus cognitif fondamental pour l'apprentissage de la lecture et impliqué dans la dyslexie. Ces données, que l'on peut unifier autour d'une 'théorie phonologique', ont conduit certains à considérer un trouble de nature phonologique comme cause unique proximale de la dyslexie (Ramus, 2003 ; Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote et al., 2003; Snowling, 2001; Vellutino et al., 2004). L'hypothèse d'un déficit des représentations phonologiques pourrait être liée à ce trouble de conscience phonologique. En amont, un trouble du traitement auditif de bas niveau pourrait expliquer ce déficit de représentations phonologiques et/ou de conscience phonologique. Pour certains auteurs, ce déficit auditif serait spécifique au traitement de la parole, et bien que certaines études n'aient pas mis en évidence de déficit de perception de la parole chez les personnes dyslexiques (Ramus et Ahissar, 2012; Ziegler, Pech-Georgel, George et Lorenzi, 2009), des protocoles de recherches s'avèrent donner des résultats intéressants. Souhila Messaoud-Galusi et collaborateurs (Messaoud-Galusi, Hazan et Rosen, 2011) soulignent que des différences émergent dans les capacités perceptives des sujets dyslexiques lorsque les informations acoustiques de parole sont limitées ou ambiguës, telles les épreuves de perception dans le bruit (Ziegler et al., 2009) ou les épreuves de perception catégorielle de phonèmes. Ce déficit de perception catégorielle chez les personnes dyslexiques est notamment caractérisé par une perception allophonique, et pourrait rendre compte du trouble de conscience phonologique. Ces liens entre perception catégorielle, conscience phonologique, et dyslexie n'ont cependant pas été solidement démontrés au travers d'études d'entraînement chez des sujets dyslexiques, qui constituent l'argument le plus solide en faveur de liens de causalité. Ces questions font l'objet d'études que nous avons menées dans ce travail de thèse (Etude III et Etude IV).

### 3. Théories visuelles et attentionnelles

---

Malgré la multiplicité des arguments à l'appui de l'hypothèse d'un déficit phonologique à l'origine de la dyslexie développementale, on ne peut réduire les troubles dyslexiques à cette seule dimension. La lecture est une activité complexe, qui implique une multitude de processus cognitifs et requiert notamment un traitement visuel efficace des graphèmes, à l'origine de toute possible analyse phonologique et sémantique. Morgan, en 1896, avait d'ailleurs supposé des troubles visuels à l'origine de la dyslexie que présentait son patient, parlant alors de « cécité verbale congénitale ». Bien que les théories phonologiques aient pris une place très importante par la suite dans les courants théoriques explicatifs, de nombreux chercheurs ont continué de s'intéresser aux capacités visuelles des enfants dyslexiques. Nous distinguerons ici deux grands courants théoriques : l'hypothèse d'un trouble magnocellulaire et les hypothèses attentionnelles que l'on peut relier à ce courant théorique, et l'hypothèse d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel, à laquelle nous allons particulièrement nous intéresser puisqu'elle constitue un enjeu majeur de ce travail de thèse dans toutes les études menées.

#### 3.1. Théorie magnocellulaire et troubles de l'attention spatiale

##### 3.1.1. La théorie magnocellulaire

La voie magnocellulaire est une voie visuelle sensible aux basses fréquences spatiales et aux hautes fréquences temporelles, et qui assurerait notamment la vision du mouvement. William Lovegrove et collaborateurs (Lovegrove, Bowling, Badcock et Blackwood, 1980) furent parmi les premiers à mettre en évidence un déficit de la sensibilité au contraste spatial chez des sujets dyslexiques, amenant d'autres études à considérer le rôle particulier de la voie magnocellulaire dans la dyslexie. L'étude de Livingstone et collaborateurs (Livingstone, Rosen, Drislane et Galaburda, 1991) a également fortement contribué à ce courant en montrant que les sujets dyslexiques présentaient lors d'enregistrements EEG une réponse corticale différente de celle des sujets normo-lecteurs lorsqu'ils étaient exposés à des stimuli de faible contraste visuel. De plus, des données histologiques post-mortem montraient une désorganisation des couches magnocellulaires du corps géniculé latéral. De même, Guinevere Eden et collaborateurs (Eden, VanMeter, Rumsey, Maisog et Zeffiro, 1996) ont observé chez des sujets dyslexiques une sensibilité réduite aux points en mouvement (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler et Stein, 1995), associée à une hypoactivation de l'aire V5<sup>9</sup>, zone cérébrale sur laquelle les cellules magnocellulaires du système visuel se projettent. D'autres arguments neurophysiologiques et comportementaux ont été apportés (Demb, Boynton et

---

<sup>9</sup> Appelée aussi aire MT ou aire du mouvement

Heeger, 1998; Kubova, Kuba, Peregrin et Novakova, 1996; Romani, Conte, Callieco, Bergamaschi, Versino et al., 2001; Talcott, Hansen, Assoku et Stein, 2000 ; Talcott, Hansen, Willis-Owen, McKinnell, Richardson et al., 1998) et notamment dans les liens qu'entretiennent ces processus magnocellulaires avec la lecture (Boden et Giaschi, 2007; Kevan et Pammer, 2008). John Stein (1994) suggère notamment qu'une atteinte de la voie magnocellulaire affecterait en particulier le contrôle oculomoteur, du fait de ses projections au niveau du colliculus supérieur, structure sous-corticale qui est principalement en jeu dans le contrôle des mouvements des yeux. L'efficacité des saccades oculaires étant essentielle dans la lecture, cette atteinte pourrait être la cause proximale d'un trouble d'acquisition de la lecture. Mais certains auteurs ont suggéré que le manque d'expérience en lecture pourrait expliquer les déficits liés à la voie magnocellulaire (Olulade, Napoliello et Eden, 2013). Cependant, des déficits ont bien été mis en évidence encore récemment lors des comparaisons avec des groupes de même niveau de lecture (Gori, Cecchini, Bigoni, Molteni et Facoetti, 2014). Bart Boets et collaborateurs (Boets, Wouters, van Wieringen, De Smedt et Ghesquière, 2008) ont également montré dans une étude longitudinale que la sensibilité visuelle aux mouvements dynamiques en grande section de maternelle était liée aux compétences orthographiques et était prédictive des capacités de lecture et d'orthographe en CP (Kevan et Pammer, 2009).

### **3.1.2. Un déficit magnocellulaire amodal, l'inclusion de la phonologie et des troubles moteurs**

Mais la spécificité visuelle de la théorie magnocellulaire a rapidement été remise en cause. En effet, la dissociation mise en évidence chez les enfants dyslexiques entre le traitement des stimuli dynamiques (en mouvement) et le traitement de stimuli statiques en modalité visuelle a été recherchée en modalité auditive par Caroline Witton et collaborateurs (Witton, Talcott, Hansen, Richardson, Griffiths et al., 1998). Les résultats ont montré que les personnes dyslexiques sont moins sensibles à la fois à des taux particuliers de modulation de fréquence auditive rapide et à des stimuli visuels en mouvement, et que pour l'ensemble des sujets, les performances entre ces deux tâches sont très corrélées, et corrélaient avec la lecture de pseudo-mots. Des résultats similaires ont été retrouvés concernant le lien entre lecture de pseudo-mots et trouble magnocellulaire, suggérant pour de nombreux auteurs l'implication de processus phonologiques, puisque la lecture de pseudo-mots impliquerait de façon dominante un décodage phonologique (Cestnick et Coltheart, 1999; Spinelli, Angelelli, De Luca, Di Pace, Judica et al., 1997). Laurie Cestnick et Max Coltheart (1999) ont d'ailleurs émis l'hypothèse d'un lien entre la tâche visuelle de détection de mouvements classiquement utilisée dans le cadre des théories magnocellulaires et la lecture de pseudo-mots du fait de l'implication des magnocellules du corps géniculé médial, relais sous-cortical des voies auditives. Albert Galaburda et collaborateurs (Galaburda, Menard et Rosen, 1994) avaient effectivement mis en évidence des anomalies structurelles des magnocellules du corps géniculé médial (impliqué dans le traitement auditif) comme retrouvé au niveau du corps géniculé latéral (impliqué dans le traitement visuel). Dans l'étude longitudinale de Boets et collaborateurs (2008) un modèle de la théorie magnocellulaire amodale a été évalué en utilisant une méthode d'analyse de voie causale sur une population d'enfants plus ou moins à risque de dyslexie. Les résultats ont

montré que le traitement auditif dynamique en grande section de maternelle était lié à la perception de la parole (à travers une tâche de perception de la parole dans le bruit) évaluée au début du CP, qui elle-même était liée à la conscience phonologique évaluée au cours du 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> mois de CP. De même, le traitement visuel dynamique en grande section de maternelle était lié à la capacité orthographique en début de CP (à travers une tâche de connaissance de lettres épurée des influences phonologiques par un traitement statistique). Par la suite, la conscience phonologique, et la capacité orthographique étaient des prédicteurs uniques de la lecture et de l'orthographe à la fin du CP.

Outre les troubles visuels et phonologiques, la théorie magnocellulaire s'est également montrée potentiellement explicative des troubles moteurs de nature cérébelleuse que présenteraient les enfants dyslexiques, le cervelet pouvant être considéré comme appartenant au système magnocellulaire (Stein, 2014). La théorie cérébelleuse est issue de l'observation chez des sujets dyslexiques de problèmes d'équilibre et de coordination, qui seraient liés à une hypoactivation du cervelet (Fawcett, Nicolson et Dean, 1996; Nicolson, Fawcett, Berry, Jenkins, Dean et al., 1999; Nicolson, Fawcett et Dean, 2001) et seraient en lien avec le trouble phonologique (Rae, Harasty, Dzendrowskyj, Talcott, Simpson et al., 2002). Nous ne rentrerons pas davantage dans le détail de ce courant théorique, en particulier car les mécanismes en jeu manquent de clarté (Stoodley et Stein, 2013).

Etant donné que la voie magnocellulaire se projette au niveau du cortex pariétal impliqué dans les processus d'attention spatiale (Downar, Crawley, Mikulis et Davis, 2000; Laycock, Crewther et Crewther, 2008), la théorie magnocellulaire a également été intégrée à des courants de recherches qui se sont focalisés sur l'hypothèse de déficits attentionnels en cause dans la dyslexie. Stein et Walsh en 1997 écrivaient : *“The m-stream culminates in the posterior parietal cortex, which plays an important role in guiding visual attention. The evidence is consistent with an increasingly sophisticated account of dyslexia that does not single out either phonological or visual or motor deficits. Rather, temporal processing in all three systems seems to be impaired”* (Stein et Walsh, 1997 , p.147). Cestnick et Coltheart (Cestnick et Coltheart, 1999) ont d'ailleurs également suggéré que le lien entre trouble magnocellulaire et trouble de la lecture de pseudo-mots retrouvé dans leur étude pourrait être lié au fait que la lecture de pseudo-mot nécessite une répartition sérielle gauche-droite de l'attention à travers la séquence de lettres, et les systèmes neuronaux impliqués dans ce processus attentionnel pourraient également jouer un rôle dans la tâche visuelle magnocellulaire de perception de mouvements. Des données recueillies en MEG (Pammer, Hansen, Holliday et Cornelissen, 2006) ont effectivement confirmé le rôle du cortex pariétal postérieur dans l'identification des mots écrits, en lien avec un traitement attentionnel spatial.

### **3.1.3. Les troubles de l'attention visuelle**

Utilisant des paradigmes de recherche de cibles et d'orientation de l'attention visuelle, de nombreuses recherches se sont intéressées à l'hypothèse d'un déficit de l'attention visuelle dans la dyslexie. Casco et collaborateurs (Casco, Tressoldi et Dellantonio, 1998) ont administré à un groupe d'enfants normo-lecteurs des épreuves de barrage de cibles et des épreuves de lecture. Leurs résultats montrent que les capacités d'attention visuelle des enfants sont corrélées à leurs capacités de lecture. Iles et collaborateurs (Iles, Walsh et Richardson,

2000) ont mis en évidence des capacités de recherche visuelle sérielle déficitaires chez des sujets dyslexiques, corrélées à leur performance dans une tâche de perception de mouvement, amenant les auteurs à conclure à un déficit d'attention visuelle qui serait donc lié à un dysfonctionnement magnocellulaire. Des difficultés d'orientation et de focalisation attentionnelle ont également été mises en évidence grâce à des tâches de détection de cibles avec indicage spatial (Bednarek, Saldana, Quintero-Gallego, Garcia, Grabowska et al., 2004; Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola et Mascetti, 2000). Facoetti et collaborateurs (Facoetti, Paganoni et Lorusso, 2000) ont observé, à l'aide d'une tâche de détection de cible, que le groupe de sujets dyslexiques présentait une distribution spatiale diffuse de l'attention visuelle contrairement au groupe de sujets normo-lecteurs. Les auteurs ont interprété ces résultats dans le cadre de l'hypothèse d'un déficit magnocellulaire dans la dyslexie. Une étude longitudinale (Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli et Facoetti, 2012) menée de la grande section de maternelle au CE1 a également montré que les capacités d'orientation de l'attention visuelle (à travers une tâche de recherche visuelle et une tâche de détection de cibles avec indicage spatial) initiales étaient prédictives des capacités de lecture ultérieures. L'existence d'une distribution spatiale asymétrique de l'attention visuelle évoquant une 'mini' hémignégligence gauche a également été démontrée chez des sujets dyslexiques, et interprétée comme une sous-estimation de la partie gauche causée par un biais attentionnel droit qui serait lié à un dysfonctionnement du cortex pariétal droit (Facoetti et Molteni, 2001; Facoetti, Turatto, Lorusso et Mascetti, 2001; Gabay, Gabay, Schiff, Ashkenazi et Henik, 2013; Hari, Renvall et Tanskanen, 2001).

Ces mécanismes attentionnels pariétaux permettraient le codage pré-orthographique visuel des lettres et de leur position, bien que non spécifique au traitement des lettres (Pammer, Lavis, Hansen et Cornelissen, 2004; Vidyasagar, 2004), et permettrait ainsi la segmentation des mots en graphèmes et le décodage phonologique, d'où leur implication dans la lecture de pseudo-mots (Facoetti, Zorzi, Cestnick, Lorusso, Molteni et al., 2006; Kinsey, Rose, Hansen, Richardson et Stein, 2004; Ruffino, Gori, Boccardi, Molteni et Facoetti, 2014). Mais un lien plus direct entre des déficits attentionnels et les capacités phonologiques a été mis en évidence par l'étude des phénomènes d'attention auditive.

#### **3.1.4. Un déficit attentionnel amodal, inclusion de la phonologie**

Des difficultés similaires d'orientation de l'attention dans des tâches visuelles et dans des tâches auditives ont été mises en évidence chez des sujets dyslexiques (Facoetti, Lorusso, Paganoni, Cattaneo, Galli et al., 2003; Geiger, Cattaneo, Galli, Pozzoli, Lorusso et al., 2008), même lors de comparaisons avec un groupe de même niveau de lecture (Facoetti, Lorusso, Cattaneo, Galli et Molteni, 2005). L'hypothèse d'un déplacement attentionnel ralenti amodal en contexte dyslexique (« sluggish attentional shifting theory » ou SAS theory) (Hari et Renvall, 2001) permet de rendre compte de la plupart des troubles attentionnels et visuels évoqués ci-dessus, ainsi que les troubles de traitement auditif rapide de Tallal et collaborateurs (cf. Partie 2.3.1) (Hari et al., 2001). Cette théorie postule un trouble du désengagement attentionnel, altérant la focalisation attentionnelle sur les items suivants, et ainsi le traitement temporel. Ce déficit affecterait donc le traitement séquentiel rapide des informations, quelle que soit la modalité sensorielle, visuelle, auditive ou même tactile. En

1995 déjà, Farmer et Klein écrivaient : *“A review of the literature reveals considerable evidence for a deficit in dyslexics in stimulus individuation tasks (e.g., gap detection) and temporal order judgments in both the auditory and visual modalities. The possibility that a general temporal processing deficit is associated with dyslexia [...] is demonstrated”* (Farmer et Klein, 1995, p.460). Une étude de Facoetti et collaborateurs (Facoetti, Ruffino, Peru, Paganoni et Chelazzi, 2008) a confirmé que le trouble attentionnel relèverait bien d’un problème d’engagement et désengagement attentionnel et non de mécanismes d’attention spatiale. Cette amodalité du déficit SAS a été confirmée par des données EEG (Lallier, Tainturier, Dering, Donnadiou, Valdois et al., 2010). Facoetti et collaborateurs (Facoetti, Trussardi, Ruffino, Lorusso, Cattaneo et al., 2010) ont également montré une diffusion anormale de l’attention spatiale en modalité visuelle et auditive chez les dyslexiques, même lors de comparaisons avec un groupe de même niveau de lecture, et ces mécanismes multi-sensoriels d’attention spatiale expliquaient 31% de la variance en lecture de pseudo-mots dans leur étude. La même équipe a également publié la même année les résultats d’une étude menée auprès d’enfants pré-lecteurs à risque de dyslexie (Facoetti, Corradi, Ruffino, Gori et Zorzi, 2010), montrant que ces derniers présentaient déjà un trouble d’attention visuelle compatible avec la théorie SAS, avant même l’apprentissage de la lecture. Un effet de l’expérience en lecture ne semble donc pas en cause.

Le lien avec la lecture de pseudo-mots, qui requiert à la fois des processus d’attention visuelle sérielle et des habiletés phonologiques permettant le décodage, pose la question de l’intrication de ces deux types de déficit, visuel et phonologique, dans la lecture et son développement. Il a en effet été montré (Buchholz et McKone, 2004) que les déficits dans les tâches de recherche visuelle sont corrélés avec les habiletés phonologiques et de nombreuses études concluant à un déficit SAS amodal ont été menées auprès d’enfants et de jeunes adultes dyslexiques qui présentent un déficit de conscience phonologique (Lallier, Donnadiou, Berger et Valdois, 2010; Lallier, Tainturier, et al., 2010; Lallier, Thierry, Tainturier, Donnadiou, Peyrin et al., 2009). Pour Renvall et Hari, qui se sont intéressés aux réponses corticales dans une tâche de traitement auditif rapide (2002), le problème de désengagement attentionnel décrit par la théorie SAS pourrait expliquer les difficultés de perception phonémique à l’origine de représentations phonologiques imprécises. Mais pour certains auteurs, le trouble visuel prime. Par exemple, Vidyasagar et Pammer (2010) font l’hypothèse que ce déficit gêne avant tout le balayage visuel sériel de la séquence de lettres du mot à lire, induisant ainsi un trouble de la segmentation graphémique, qui pourrait induire des difficultés de segmentation phonémique et des troubles associés en conscience phonologique. D’autres études suggèrent que ce déficit visuel serait indépendant des habiletés phonologiques et/ou auditives (Franceschini et al., 2012; Gabrieli et Norton, 2012). Buchholz et McKone ont écrit : *“dyslexia could result, in individual subjects, from visual deficits, or from auditory deficits, or perhaps from a combination of both caused by a general problem with the development of magnocellular paths in both perceptual systems”* (Buchholz et McKone, 2004, p.39). Une étude récente s’est intéressée à cette multi-sensorialité du déficit de traitement rapide non pas dans une perspective amodale mais plutôt trans-modale. Harrar et collaborateurs (Harrar, Tammam, Perez-Bellido, Pitt, Stein et al., 2014) ont en effet mis en évidence un ralentissement du déplacement attentionnel lorsque les sujets dyslexiques passaient de stimuli visuels à des stimuli auditifs, mais non l’inverse, rejoignant les théories en faveur d’un trouble



d'intégration multi-sensorielle dans la dyslexie (Blau, Reithler, van Atteveldt, Seitz, Gerretsen et al., 2010 ; Blau, van Atteveldt, Ekkebus, Goebel et Blomert, 2009; Blomert, 2011). Selon Harrar et collaborateurs (2014), ce déficit SAS trans-modal pourrait être en lien avec une atteinte magnocellulaire.

En résumé, la théorie magnocellulaire est rapidement apparue comme non spécifique à la modalité visuelle, incluant des composantes attentionnelles et auditives, qui ont amené à intégrer certains des troubles de nature phonologique que nous avons passés en revue dans la partie précédente de ce chapitre. Ces troubles de nature phonologique apparaissent ainsi comme la probable cause proximale de la dyslexie, et la théorie magnocellulaire et les théories attentionnelles et auditives qui y sont plus ou moins reliées rejoignent donc la théorie phonologique dominante, renforçant l'hypothèse que la dyslexie relève d'une cause unique de nature phonologique, telle que soutenue par certains auteurs (Ramus, 2003 ; Ramus et al., 2003; Snowling, 2001; Vellutino et al., 2004).

Nous soulignons également que les hypothèses passées ici en revue recouvrent des termes très variés pour désigner le trouble supposé en cause (« trouble du désengagement », « orientation attentionnelle », « orientation spatiale », « sensibilité aux stimuli dynamiques », « déficit du système transitoire »...) et des paradigmes très différents (des tâches très variées : indiçage spatial, recherche visuelle, tâche de jugement temporels... et des paramètres variés : durée des intervalles, fréquences...). Il est de plus difficile d'isoler de façon univoque ce qui relève d'un processus magnocellulaire dans les protocoles de traitement de stimuli rapides (Skottun, 2011; Skottun et Skoyles, 2011). Il est ainsi difficile d'extraire de façon précise et consistante la nature exacte des déficits cognitifs en jeu, c'est-à-dire un modèle précis, qui s'intégrerait à un modèle de lecture incluant les processus attentionnels en cause. De plus, certains auteurs suggèrent que le trouble d'attention visuelle dans les tâches de recherche de cibles sérielle ne serait pas lié à une atteinte magnocellulaire (Lallier, Donnadieu et Valdois, 2013b; Wright, Conlon et Dyck, 2012).

### 3.2. Le trouble de l'empan visuo-attentionnel

Les troubles d'attention visuelle que nous venons de passer en revue seraient associés aux troubles phonologiques classiquement décrits (cf. Partie 2) et concerneraient les capacités de traitement rapide, sériel. Un autre courant théorique s'est intéressé à l'attention visuelle dans la dyslexie, soutenu par l'équipe de Sylviane Valdois et collaborateurs, qui ont développé l'hypothèse d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel (VA). Cette hypothèse a émergé de l'observation clinique d'enfants dyslexiques ne présentant aucune atteinte phonologique ou verbale, mais souffrant pourtant d'un trouble sévère d'acquisition de la lecture dont l'origine semblait de nature visuo-attentionnelle, concernant plus spécifiquement les capacités de traitement simultané.

En 1977, Ellis et Miles se sont intéressés aux capacités de traitement de séquences de chiffres chez de jeunes dyslexiques (Ellis et Miles, 1977) à travers un paradigme de présentation tachistoscopique, c'est à dire une présentation très brève, ne permettant pas un traitement sériel de l'information. Les résultats de cette étude ont mis en évidence un déficit de ce traitement visuel pour le groupe dyslexique, même lorsque comparé à un groupe de même

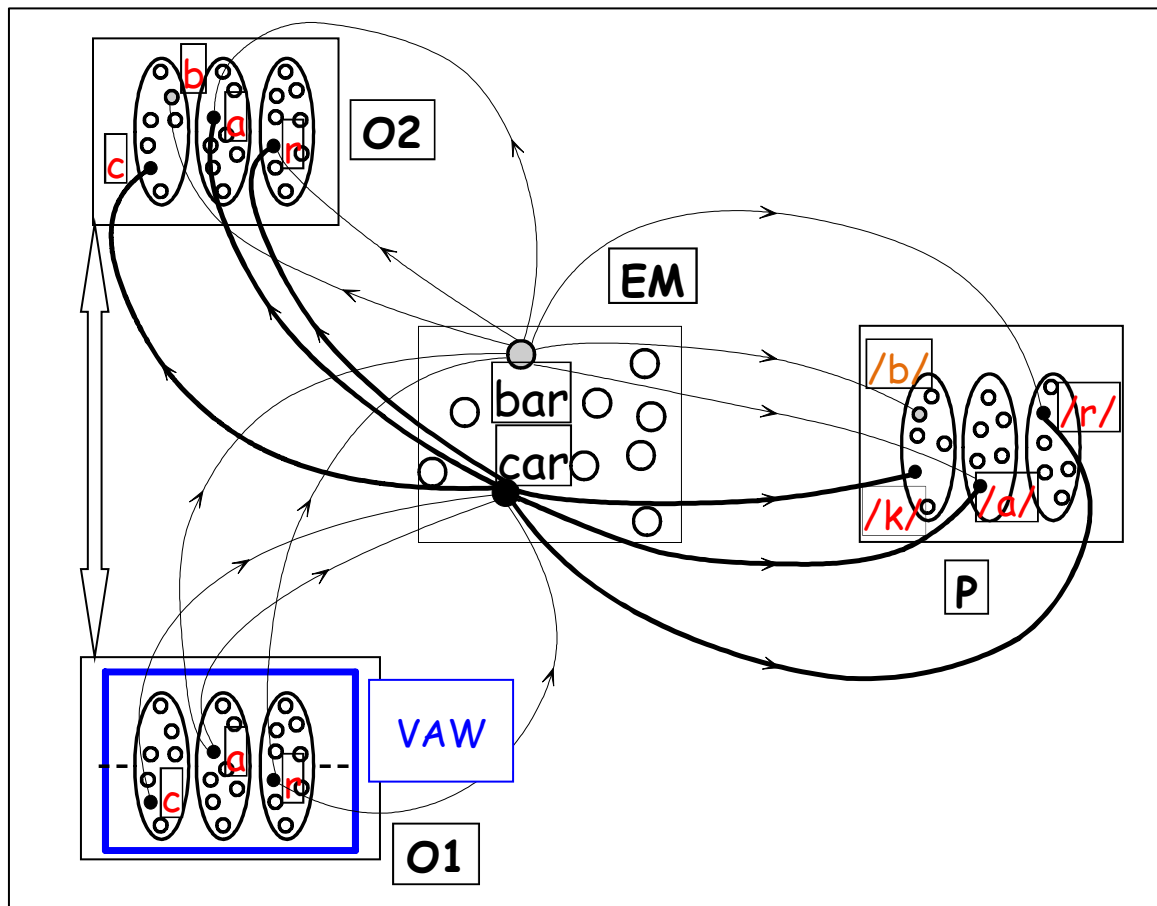
niveau de langage écrit. Des études plus récentes ont confirmé ces données. Hawelka et Wimmer (2005) ont en effet montré chez des sujets dyslexiques un trouble du traitement de séquences de chiffres présentées très brièvement : le temps de présentation de la séquence nécessaire à l'identification d'un chiffre cible était significativement plus élevé pour le groupe dyslexique que pour le groupe témoin. Les auteurs ont pu démontrer que ce trouble était indépendant de toute atteinte phonologique. Ils suggèrent en revanche que les performances sont à mettre en lien avec un trouble du traitement parallèle, qui permet au sujet d'adopter une procédure globale de lecture, rapide et efficace (cf. Partie 4.2.1). De plus, Pammer et collaborateurs (2004) ont pu observer un trouble du traitement de séquences de symboles chez des sujets dyslexiques. Leurs performances, dans une tâche de reconnaissance d'une séquence de symboles présentée brièvement, étaient inférieures à celles du groupe contrôle et corrélées aux performances en lecture. Les auteurs ont également montré que les compétences phonologiques ou de mémoire verbale à court terme ne pouvaient rendre compte du lien entre les capacités de lecture et celles de traitement de la séquence. Dans une autre étude (Jones, Branigan et Kelly, 2008), la même épreuve a été administrée à des adultes dyslexiques, associée à une tâche de recherche de cibles, les cibles étant des barres verticales ou obliques. Une différence de performances entre le groupe dyslexique et le groupe témoin a été retrouvée sur ces deux types de tâches. Ces données suggèrent donc un trouble du traitement simultané de nature visuelle, puisque indépendant des capacités verbales/phonologiques chez les dyslexiques.

### **3.2.1. L'empan VA et le modèle ACV98**

L'hypothèse d'un trouble de l'empan VA permet de rendre compte de l'ensemble de ces données. Selon Bosse et collaborateurs (Bosse, Tainturier et Valdois, 2007), l'empan VA se définit comme la quantité d'éléments visuels distincts traités en parallèle dans une configuration. Ainsi, les difficultés rencontrées par les sujets dyslexiques et rapportées dans les études ci-dessus pourraient être la conséquence d'un faible empan VA, c'est-à-dire d'une limitation de l'attention visuelle distribuée sur un ensemble d'éléments distincts, qui altère le traitement simultané des éléments de la séquence visuelle présentée.

La notion d'empan VA est dérivée du modèle connexionniste multitraces de lecture (Figure 3) développé par Ans, Carbonnel et Valdois (Ans et al., 1998) (modèle ACV98), lui conférant une base théorique solide. Ce modèle de lecture permet le traitement d'items mono- et polysyllabiques à travers deux procédures de lecture, une procédure globale et une procédure analytique. Pour ce faire, un processus de traitement VA de l'information orthographique portée par l'item (mots ou pseudo-mots) présenté au réseau a été inclus. Ce processus a été modélisé sous forme d'une fenêtre VA, à travers laquelle les différentes informations orthographiques de l'item sont extraites simultanément. La taille de cette fenêtre, et donc la quantité d'éléments visuels distincts pouvant être traités en parallèle, peut varier et détermine ainsi la procédure de lecture adoptée par le réseau. Lors d'une procédure de lecture globale, la fenêtre VA est étendue sur l'ensemble du mot. Les lettres vont activer des unités orthographiques d'entrée de manière distribuée, ce qui va permettre de générer les formes orthographiques et phonologiques correspondant à l'ensemble du mot. Cette procédure va donc permettre de traiter des mots familiers, qui seront ainsi rapidement analysés. Mais en cas

d'échec de la procédure globale, par exemple pour les mots non familiers présentant de nombreux voisins orthographiques, le réseau bascule en mode analytique. La fenêtre VA se réduit pour une analyse sérielle de chaque partie de l'item, avec l'activation d'un réseau de connexions sous-tendant des connaissances orthographiques et phonologiques à un niveau sub-lexical (syllabes et graphèmes). La forme phonologique du mot ou pseudo-mot est ensuite générée à partir du pattern d'activation des unités phonologiques de sortie.



**Figure 3.** (Ans, Carbonnel et Valdois, 1998). Architecture du modèle connexionniste multitracés de lecture. O1 = couche orthographique d'entrée, O2 = couche orthographique de sortie, EM = mémoire épisodique, P = couche phonologique de sortie, VAW = fenêtre visuo-attentionnelle. Les unités de O1 situées à l'intérieur de la fenêtre visuo-attentionnelle sont toutes activées de manière équivalente. Elles sont reliées à toutes les unités en EM, elles-mêmes reliées à toutes les unités en P et en O2 ; les connexions sont symbolisées par les flèches noires, plus elles sont épaisses, plus le poids synaptique est proche de 1. La double flèche représente la procédure de comparaison qui a lieu entre l'écho orthographique issu de O2 et le pattern d'activation issu de O1.

Dans ce modèle, les processus VA sont donc d'une importance primordiale et déterminent l'efficacité des procédures de lecture. Les auteurs font l'hypothèse qu'un trouble au niveau de la fenêtre VA va donc altérer en premier lieu la procédure globale. En effet, une réduction du nombre de lettres traitées en parallèle dans une séquence – un mot - va empêcher l'activation de connaissances sur la forme orthographique globale du mot. De plus, une réduction sévère

de la taille de la fenêtre VA va gêner la procédure analytique, en empêchant l'identification des unités sub-lexicales, parfois composées de trois ou quatre lettres en français.

Afin d'explorer l'hypothèse qu'un tel déficit puisse être à l'origine d'une dyslexie développementale, cette notion d'empan a été opérationnalisée. Deux tâches ont été développées pour mesurer l'empan VA, une tâche de report partiel et une tâche de report global. Ces tâches sont inspirées des travaux d'Averbach et Sperling (Valdois, Bosse et Tainturier, 2004) sur les processus de mémoire visuelle non permanente. De nombreuses études ont eu recours à ce type de tâches pour rendre compte des processus VA impliqués dans le traitement parallèle d'informations multiples (Bundesen, 1990; Duncan, Bundesen, Olson, Humphreys, Chavda et al., 1999; Giesbrecht, Dixon et Kingstone, 2001; Habekost et Rostrup, 2007; Kyllingsbaek et Bundesen, 2007). Les tâches de report classiquement utilisées pour mesurer l'empan VA consistent à présenter une séquence de cinq lettres très brièvement, en l'occurrence pendant 200 ms, soit environ le temps d'une fixation oculaire en lecture, afin de s'assurer qu'une seule prise d'information visuelle ait eu lieu. Dans la tâche de report global, le sujet a pour consigne de rapporter immédiatement verbalement le nom de toutes les lettres présentées dans la séquence, indépendamment de leur position. Le nombre de lettres correctement rapportées permet d'estimer la taille de l'empan VA, puisqu'il correspond au nombre de lettres qui ont pu être identifiées simultanément en une fixation. Pour la tâche de report partiel, une barre verticale est présentée sous une des lettres immédiatement après la présentation de la séquence et pendant 50ms ; cette barre indique la lettre à rapporter. La barre n'apparaissant qu'après la séquence et aléatoirement sur l'une des cinq positions possibles, l'empan VA doit se répartir sur l'ensemble de la séquence pour que les lettres cibles soient identifiées ; les performances seront donc dépendantes de la taille de l'empan VA. De plus, une tâche contrôle a été développée et est systématiquement proposée dans les études que nous citons ci-dessous. Dans cette tâche contrôle, une seule lettre est présentée très brièvement, suivie d'un masque, et doit être identifiée. Elle permet de s'assurer que le déficit identifié par les tâches de report de lettres est bien lié à un trouble du traitement simultané et non à un problème d'identification des lettres isolées.

### **3.2.2. Arguments expérimentaux**

L'hypothèse qu'un trouble de l'empan VA puisse être impliqué dans la dyslexie a fait l'objet de nombreuses recherches. Initialement, une étude de cas (Valdois, Bosse, Ans, Carbonnel, Zorman et al., 2003) a permis de montrer une double dissociation entre trouble de l'empan VA et trouble phonologique chez deux jeunes garçons dyslexiques, Laurent et Nicolas. Des tâches de report de lettres et des épreuves métaphonologiques leur ont été administrées, et leurs performances ont été comparées à des groupes de sujets normo-lecteurs, appariés en âge ou en niveau de lecture. Les performances de Nicolas sur les tâches phonologiques sont semblables à celles des sujets normo-lecteurs de même âge chronologique ; mais sur les tâches de report de lettres, ses résultats révèlent un profil très atypique suggérant un déficit de l'empan VA. A l'inverse, Laurent ne présente aucun trouble objectivable de l'empan VA mais ses performances sont déficitaires sur les épreuves métaphonologiques. Ces résultats ont été généralisés ensuite par deux études de groupes auprès d'enfants français, anglais (Bosse et al., 2007) et portugais (Germano, Reilhac, Capellini et Valdois, 2014). Ces études ont montré que

la plupart des enfants dyslexiques présentaient soit un trouble phonologique isolé, soit un trouble de l'empan VA isolé. On note que ces travaux ont été menés dans différentes langues et les études réalisées auprès de sujets bilingues ont montré une modulation des effets du trouble de l'empan VA selon les caractéristiques de la langue (Lallier, Acha et Carreiras, 2015; Lallier, Valdois, Lassus-Sangosse, Prado et Kandel, 2014; Valdois, Peyrin, Lassus-Sangosse, Lallier, Demonet et al., 2014). D'autres travaux confirment cette double dissociation entre trouble de l'empan VA et trouble phonologique, décrivant des cas de dyslexie avec un trouble de l'empan VA mais des compétences phonologiques préservées (Dubois, Kyllingsbaek, Prado, Musca, Peiffer et al., 2010; Valdois, Bidet-Ildei, Lassus-Sangosse, Reilhac, N'Guyen-Morel et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003 Zorman, Carbonnel, et al., 2003; Valdois, Peyrin, et al., 2014) et à l'inverse, des cas de dyslexie avec empan VA préservé mais un déficit des habiletés phonologiques (Lallier, Donnadieu, et al., 2010; Valdois, Bosse, et al., 2003). Notons que dans l'étude de Lallier et collaborateurs le trouble phonologique était associé à un déplacement attentionnel ralenti en modalité visuelle et auditive, tandis que l'empan VA était préservé. Le trouble de l'empan VA est donc bien distinct du trouble d'attention visuelle décrit dans la théorie SAS.

Concernant le lien entre empan VA et lecture, les analyses de corrélations et de variances réalisées dans les études de groupes que nous venons de citer ont montré que l'empan VA est bien lié aux capacités de langage écrit des personnes dyslexiques. Des études ont également été menées auprès d'enfants tout venant, et montrent que l'empan VA joue un rôle déterminant dans l'apprentissage de la lecture. Une analyse transversale (Bosse et Valdois, 2009) a en effet permis d'étudier la contribution spécifique de l'empan VA sur les capacités de lecture tout au long de l'école primaire. Les analyses statistiques réalisées sur les performances en lecture, en report de lettres et en métaphonologie, de 417 enfants de CP, CE2, et CM2, ont montré une contribution unique de l'empan VA, indépendamment des capacités phonologiques, sur les performances en lecture pour chacun des trois groupes. L'empan VA joue un rôle critique dès le CP dans l'acquisition des capacités de décodage (lecture de pseudo-mots et mots réguliers) et, de façon stable du CP au CM2, dans l'acquisition des connaissances spécifiques de l'orthographe des mots (lecture de mots irréguliers). Ces données ont été confirmées très récemment en néerlandais, une langue plus transparente que le français (van den Boer, van Bergen et de Jong, 2015). Cette étude, réalisée auprès de 117 enfants d'un niveau équivalent au CE2, 225 enfants d'un niveau CM1 et 111 enfants d'un niveau CM2, montre en effet une contribution spécifique de l'empan VA sur la fluence de lecture (items correctement lus par minute) de mots et de pseudo-mots, ainsi que sur le niveau de connaissances orthographiques (tâche de choix orthographique et dictée de mots), après contrôles des capacités de mémoire verbale à court terme, de conscience phonologique, et de dénomination rapide. Une étude de Bosse et collaborateurs (Bosse, Chaves, Largy et Valdois, 2015) a également comparé les capacités d'encodage orthographique chez des enfants normo-lecteur entre deux conditions de présentation visuelle de pseudo-mots : une condition dans laquelle un traitement global était possible, et une condition dans laquelle les unités sub-lexicales des pseudo-mots étaient présentées les unes après les autres. Les résultats ont montré que cette dernière condition, qui force un traitement analytique tel que rencontré en cas de trouble de l'empan VA, amenait à de plus faibles

performances, suggérant ainsi un rôle non négligeable de l'empan VA dans l'apprentissage orthographique.

Par ailleurs, afin de mieux saisir la nature du trouble de l'empan VA, l'influence de différentes conditions spatiales de présentations brèves de séquences de caractères a été étudiée dans un travail de thèse réalisé par Delphine Lassus-Sangosse (2008). On peut en effet faire l'hypothèse que si l'empan VA relève bien de processus de traitement VA simultané, alors une modification spatiale des séquences ne devrait pas affecter ce traitement parallèle. En revanche, lors d'un traitement sériel, les modifications spatiales induiraient un coût en termes de déplacement attentionnel ce qui affecterait le traitement en le ralentissant ou diminuant les performances. Deux types de conditions spatiales ont ainsi été étudiés : une condition ciblant l'espacement des lettres et une condition ciblant l'orientation de la séquence. Les résultats montrent que les enfants dyslexiques présentent un déficit dans les épreuves de report de lettres quel que soit le format de présentation des séquences de lettres (condition espacée, condition proche, report horizontal, report vertical). Un effet de longueur des séquences a cependant été mis en évidence. Or l'effet de longueur est considéré comme le reflet d'un traitement analytique, séquentiel, alors que l'absence d'un tel effet traduit un traitement parallèle, une stratégie de lecture globale (Cohen, Dehaene, Vinckier, Jobert et Montavont, 2008; Juphard, Carbonnel et Valdois, 2004; Valdois, Carbonnel, Juphard, Baciú, Ans et al., 2006). Mais les résultats de l'étude sur l'espacement suggèrent que le traitement tendrait à devenir sériel seulement lorsque le seuil de l'empan VA est atteint ou dépassé, c'est-à-dire lorsque la quantité d'éléments présentés dépasse la quantité maximale que les enfants peuvent traiter. D'autre part, il a été montré que les effets de longueur dans la lecture de pseudo-mots, qui reflètent un traitement sériel, impliqueraient également l'empan VA (Valdois et al., 2006), puisque dans ce cas, des unités sub-lexicales impliquant des graphèmes multi-lettres seraient en jeu et nécessiteraient un empan VA suffisant pour les traiter. De plus, l'étude de Van den Boer et collaborateurs (van den Boer, de Jong et Haentjens-van Meeteren, 2013) montre un effet de longueur dans la lecture de mots et de non-mots dépendant des capacités d'empan VA chez des enfants normo-lecteurs, un empan plus réduit conduisant à davantage d'effet de longueur puisqu'altérant le traitement global des mots.

Enfin, des données ont été recueillies quant aux fondements neurobiologiques du trouble de l'empan VA et s'accordent sur l'implication des lobules pariétaux supérieurs de façon bilatérale. Une hypoactivation de ces régions est constatée lors de tâches qui requièrent un traitement visuel simultané (Lobier, Peyrin, Pichat, Le Bas et Valdois, 2014; Peyrin, Demonet, N'Guyen-Morel, Le Bas et Valdois, 2011; Peyrin, Lallier, Demonet, Pernet, Baciú et al., 2012; Reilhac, Peyrin, Demonet et Valdois, 2013), tout comme dans une tâche de report de lettres (Peyrin, Lallier et Valdois, 2008). D'autre part, il a été montré que ces régions sont en jeu dans le traitement pré-orthographique de séquences de caractères chez des adultes normo-lecteurs (Lobier, Peyrin, Le Bas et Valdois, 2012), et qu'elles sont liées aux effets de longueurs observés dans la lecture de pseudo-mots (Valdois et al., 2006) et s'activent d'autant plus que la présentation visuelle d'un mot dégrade le traitement parallèle du mot (Cohen et al., 2008). Comme déjà noté dans le cadre des théories attentionnelles liées à l'hypothèse magnocellulaire, le cortex pariétal est impliqué dans les processus attentionnels et son rôle dans les processus de traitement simultané conscient est donc plausible. Mais cette atteinte

corticale ‘asensorielle’ pose la question de la spécificité du trouble à la modalité visuelle, et réinterroge la nature visuelle du trouble de l’empan VA avec la dyslexie. Nous explorons à présent ces questions.

### 3.2.3. Trouble du traitement simultané amodal, exclusion de la phonologie

Le trouble de l’empan VA dans la dyslexie est par définition lié à la modalité visuelle. Mais c’est bien un trouble du traitement simultané qui est au cœur de cette définition et des données sont maintenant disponibles quant à l’implication de ce trouble sur le plan auditif. Deux études ont été réalisées. La première a montré, utilisant une tâche d’écoute dichotique<sup>10</sup> de syllabes, que les enfants dyslexiques présentaient un trouble du traitement simultané auditif, et les performances corrélaient avec le trouble de l’empan VA mesuré par les tâches classiques visuelles de report de lettres ; tous les enfants qui présentaient un déficit d’écoute dichotique présentaient également un trouble de l’empan VA (Lallier, Donnadiou et Valdois, 2013a). Dans une seconde étude (Lallier et al., 2013b), une tâche de recherche visuelle et une tâche de recherche auditive ont été utilisées. Cette dernière impliquait de détecter un ton parmi d’autres présentés simultanément. Les performances du groupe contrôle étaient inférieures à celle du groupe dyslexique dans la tâche visuelle et dans la tâche auditive, mais ces différences n’étaient pas significatives. Cependant, les performances étaient influencées par le nombre de distracteurs seulement pour le groupe contrôle. De plus, les performances dans la tâche auditive et dans la tâche visuelle corrélaient fortement avec les scores obtenus sur une épreuve de lecture de mots irréguliers et avec les mesures classiques de l’empan VA.

Ces données interrogent le rôle de cette composante auditive du trouble de l’empan ‘sensori-attentionnel’ dans la dyslexie, soulevant la question de l’indépendance entre trouble de l’empan VA et trouble phonologique évoquée ci-dessus. En effet, tout comme pour les théories visuelles précédentes que nous avons décrites, ces données pourraient suggérer que le trouble auditif soit responsable d’un trouble phonologique, rejoignant l’hypothèse phonologique unitaire qui suggère que le trouble de nature verbale est la cause proximale d’une dyslexie. Ces questions rejoignent également les critiques qui ont pu être développées à l’égard de la théorie de l’empan VA concernant l’utilisation des tâches de report de lettres comme mesure de l’empan VA. En effet, les tâches de report de lettres impliquent de rapporter verbalement le nom d’une lettre (report partiel) ou d’un ensemble de lettres (report global), et nécessitent donc un accès au code phonologique, un stockage en mémoire à court terme verbale et une dénomination orale. En effet, certaines études n’ont pas pu mettre en évidence de différence de performances entre dyslexiques et normo-lecteurs lorsque les tâches visuelles n’impliquaient aucune composante verbale (Shovman et Ahissar, 2006), soit du fait de l’absence de réponse orale (Hawelka et Wimmer, 2008) soit du fait de l’utilisation de

---

<sup>10</sup> Une tâche d’écoute dichotique consiste à présenter simultanément deux sons différents, un dans chaque oreille.

stimuli alphanumériques (verbalisable), pour lesquels des différences entre dyslexiques et normo-lecteurs sont observées, versus non alphanumérique (non verbalisable) pour lesquels on n'observe pas toujours de différences entre les groupes. Ziegler et collaborateurs (Ziegler, Pech-Georgel, Dufau et Grainger, 2010) se sont intéressés à cette question. Une tâche de reconnaissance de cible en choix forcé utilisant des séquences de lettres, chiffres, et symboles présentés très brièvement a été administrée à des enfants dyslexiques. Les résultats mettent en évidence un déficit du traitement des séquences alphanumériques mais des performances similaires entre le groupe dyslexique et le groupe contrôle lors du traitement des séquences de symboles. D'après les auteurs, puisque seul le traitement des caractères présentant un code phonologique apparié est déficitaire, un déficit de l'appariement entre les codes visuels et les codes phonologiques serait à l'origine du déficit de traitement des séquences des enfants dyslexiques. Ils rejettent ainsi l'hypothèse d'un trouble de l'empan VA et soutiennent une approche phonologique unitaire de l'origine cognitive de la dyslexie, le trouble phonologique restant toujours au cœur des déficits observés.

De nombreuses données vont cependant à l'encontre de l'hypothèse qu'un trouble du traitement auditif simultané lié au trouble de l'empan VA serait responsable d'un trouble phonologique qui rendrait compte de façon directe du lien avec la dyslexie, ou que ce trouble phonologique serait explicatif du trouble de l'empan VA du fait de la composante verbale en jeu dans les tâches de report de lettres. Tout d'abord, comme nous l'avons vu dans la partie précédente décrivant les arguments expérimentaux, la plupart des études ayant utilisé les tâches de report de lettres ont montré un trouble de l'empan VA chez des enfants dyslexiques en l'absence d'un déficit de nature phonologique. Ceci a également été mis en évidence dans les études menées par Marie Lallier et collaborateurs (Lallier et al., 2013a; Lallier et al., 2013b), qui montrent que les performances des enfants dyslexiques sur les tâches auditives et visuelles de traitement simultané ne sont pas corrélées avec les épreuves de conscience phonologique. Chez les enfants tout venant, la contribution de l'empan VA sur les capacités de langage écrit a été mise en évidence après contrôle des capacités de mémoire verbale à court terme, de conscience phonologique, et de dénomination rapide (Bosse et Valdois, 2009; van den Boer et al., 2015). Une autre étude a montré que les performances sur les épreuves de report de lettres ne corrélaient pas avec les capacités de dénomination rapide (van den Boer et al., 2013).

D'autre part, des études ont montré que les performances ne sont pas affectées par la réalisation, pendant l'épreuve de report de lettres, d'une tâche de répétition sub-vocale, activité articuloire concurrente bloquant la mise en mémoire du nom des lettres (Lassus-Sangosse, N'Guyen-Morel et Valdois, 2008; Pelli, Burns, Farrell et Moore-Page, 2006; Valdois et al., 2004; Valdois, Lassus-Sangosse et Lobier, 2012). De plus, lorsqu'on propose à des enfants dyslexiques une tâche de lettres en rafale, semblable à la tâche de report global en terme d'évocation verbale et de maintien de l'information en mémoire verbale à court terme, leurs performances ne diffèrent pas de celles d'enfants normo-lecteurs. Les performances diffèrent uniquement sur la tâche de report global; la tâche de lettres en rafales, qui ne requiert pas de traitement simultané, ne pose pas de difficultés aux enfants dyslexiques (Lassus-Sangosse et al., 2008). Par ailleurs, nous pouvons remarquer que dans la tâche de report partiel, une seule lettre est à dénommer, ce qui limite l'implication de processus



verbaux. Par conséquent, si la tâche de report global était affectée par les capacités phonologiques ou de mémoire verbale à court terme des sujets dyslexiques, alors la tâche de report partiel devrait être mieux réussie que la tâche de report global. Or, ce n'est pas le cas ; la plupart des études montrent que les performances en report partiel sont aussi déficitaires que celles en report global chez les sujets dyslexiques et qu'il existe une forte corrélation entre ces deux tâches, entre .69 et .80 selon les études (Bosse et al., 2007; Bosse et Valdois, 2009; Prado, Dubois et Valdois, 2007).

De plus, nous avons montré que le trouble de l'empan VA est généralisable à des stimuli non-alphanumériques (Lobier, Zoubrinetzky et Valdois, 2012). Une tâche de catégorisation visuelle sans report verbal, mais impliquant un traitement simultané de caractères alphanumériques et non alphanumériques a été développée. Les résultats montrent que les scores de 108 enfants tout-venant corrèlent avec les scores obtenus sur la tâche de report de lettres et avec les compétences en lecture. De plus, 16 enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA ont montré des scores significativement inférieurs à ceux d'un groupe témoin, quel que soit le type d'élément visuel à traiter, alphanumérique ou non alphanumérique, sans interaction du groupe avec le type de stimuli. Ces résultats suggèrent que le trouble de l'empan VA identifié par les tâches de report n'est pas le reflet de faibles habilités phonologiques chez les enfants dyslexiques, puisque le déficit est également présent, et de même ordre, lorsqu'on utilise une tâche non verbale. De plus, il est indépendant du type de stimuli visuels, ce qui soutient l'hypothèse d'un déficit général du traitement visuel simultané en contexte dyslexique. Il a également été montré au niveau neurobiologique que les personnes dyslexiques présentent une hypoactivation des lobules pariétaux supérieurs quel que soit le type de stimuli traité (Lobier et al., 2014). Concernant les études précédemment citées ayant amené à des conclusions contradictoires, il apparaît que les tâches expérimentales utilisées ne remplissent pas les critères de mesure de l'empan VA, soit du fait de temps de présentation des séquences trop élevés (Hawelka, Huber et Wimmer, 2006) qui n'excluaient pas des captures visuo-attentionnelles multiples, soit du fait du choix de la tâche. En effet, l'utilisation d'une tâche d'identification, telle que dans l'étude de Ziegler et collaborateurs (2010), est problématique pour le traitement de symboles inconnus, ceci étant dû à la limitation de l'empan mnésique pour les symboles non familiers (Pelli et al., 2006). Dans notre étude (Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012), l'utilisation d'une tâche de catégorisation a permis de s'affranchir de tels effets puisque le sujet n'avait pas à mémoriser l'identité des caractères. Nous pouvons d'ailleurs noter ici que l'utilisation d'une tâche de catégorisation a permis de s'intéresser au trouble de l'empan VA au sein d'une hiérarchie des traitements visuels impliqués dans la lecture. Les processus de catégorisation visuelle précédant les processus d'identification, notre étude montre que le trouble de l'empan VA est lié à un déficit précoce du traitement visuel, c'est-à-dire en amont des processus d'identification visuelle, et semble donc bien relever de processus visuo-attentionnels. Le cadre de la théorie de l'attention visuelle (TVA) de Bundesen (1990) permet d'envisager un déficit de traitement visuel précoce à l'origine du trouble de l'empan VA, se situant au niveau de la vitesse de traitement, qui reflète les ressources attentionnelles disponibles lors du traitement (Bogon, Finke et Stenneken, 2014; Dubois et al., 2010; Lobier, Dubois et Valdois, 2013).

Un trouble du traitement simultané a également été mis en évidence dans une tâche non verbale impliquant un mouvement de pointage (Valdois et al., 2011). Cette étude présente le cas de Martial, un jeune garçon présentant de bonnes capacités de langage oral, de conscience phonologique et de mémoire verbale à court terme, mais dont les capacités de traitement simultané sur les tâches de report de lettres sont extrêmement limitées, tout comme ses capacités de lecture. Cette étude montre que Martial est également très peu performant dans une tâche complexe de pointage de cibles impliquant un traitement VA simultané ; les séquences motrices, plutôt que d'être réalisées dans une approche globale du mouvement complet, sont réalisées comme une succession d'unités motrices indépendantes les unes des autres. En revanche, dans une tâche motrice ne requérant pas de traitement simultané, les performances de Martial sont dans la norme, excluant un trouble moteur plus global.

Ainsi de nombreux arguments ont été apportés en faveur d'un trouble du traitement simultané dans la dyslexie, dont les conséquences sur le traitement visuel seraient la cause proximale d'un trouble du développement de la lecture, bien que les atteintes puissent également concerner la modalité auditive. Les troubles auditivo-phonologiques, tels ceux passés en revue dans la partie précédente de ce chapitre apparaissent bien indépendants de ce trouble de traitement simultané, et des arguments ont été apportés en faveur de cette dissociation au niveau cérébral. En effet, une étude en IRMf (Peyrin et al., 2012) a été réalisée en proposant deux tâches à deux jeunes adultes dyslexiques : une tâche phonologique de jugement de rimes, et une tâche visuelle de catégorisation. FG qui a obtenu des performances déficitaires sur les épreuves de report global et partiel présente un dysfonctionnement des lobules pariétaux supérieurs lors de la tâche visuelle, mais ses régions périsylviennes gauches sont normalement activées lors de la tâche phonologique. En revanche, LL présente un trouble de la conscience phonologique, associé à une sous-activation des régions périsylviennes gauches, sans dysfonctionnement des régions pariétales supérieures lors de la tâche visuelle. Nous avons donc de multiples preuves d'une dissociation entre trouble phonologique et trouble de l'empan VA au niveau cognitif, mais également au niveau neurobiologique, le premier étant vraisemblablement en lien avec un dysfonctionnement des régions périsylviennes gauche, tandis que le second relève d'une atteinte des lobules pariétaux supérieurs.

Dans cette troisième partie du Chapitre 1, nous avons passé en revue les théories explicatives qui concernent des composantes cognitives visuelles et attentionnelles. La théorie magnocellulaire a notamment fait l'objet de nombreuses études et hypothèses quant au rôle de ce déficit touchant le traitement visuel, mais elle est rapidement apparue comme non spécifique à la modalité visuelle, incluant des composantes attentionnelles et auditives, qui ont amené à intégrer certains des troubles de nature phonologique que nous avons passés en revue dans la partie précédente de ce chapitre. Ces troubles de nature phonologique apparaissent ainsi comme la probable cause proximale de la dyslexie.

En revanche, concernant la théorie de l'empan VA à laquelle nous nous sommes plus particulièrement intéressés, puisqu'elle concerne toutes les études menées dans ce travail de thèse, nous avons passé en revue de nombreux arguments comportementaux en faveur d'une **dissociation cognitive** entre trouble de l'empan VA et trouble phonologique. Cependant, cette

dissociation n'a jamais été étudiée en confrontant au sein d'une même population la théorie du trouble de l'empan VA et la théorie d'un trouble de perception catégorielle des phonèmes. Cette question sera explorée dans une des études que nous avons menées (Etude III). Des arguments ont également été apportés en faveur d'une *dissociation neuronale* (Peyrin et al., 2012), le trouble phonologique relevant d'un dysfonctionnement des régions périsylviennes gauche, tandis que le trouble de l'empan VA serait lié à une atteinte des lobules pariétaux supérieurs. Il reste à savoir si une *dissociation comportementale* peut également être mise en évidence au niveau des performances en langage écrit, dissociation qui permettrait l'identification de sous-groupes dyslexiques plus homogènes, relevant soit d'un trouble phonologique, soit d'un trouble de l'empan VA. Nous allons examiner cette question ci-dessous, puisqu'elle constitue un des objectifs de ce travail de thèse (Etude I et II en particulier), qui rejoint une réflexion plus globale quant à l'hétérogénéité de la dyslexie qui concerne l'ensemble des études menées dans cette thèse.

## 4. Hétérogénéité de la dyslexie

---

Comme nous venons de le voir, la théorie du trouble de l'empan VA se place dans une perspective multifactorielle de la dyslexie, c'est-à-dire qu'elle tient compte de son hétérogénéité, mais ce n'est pas la première et la seule. Nous allons ici tout d'abord passer en revue des études qui se sont spécifiquement intéressées à cette question de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie. Dans une seconde partie, nous étudierons l'hétérogénéité comportementale des performances en langage écrit rencontrée parmi la population dyslexique. Cette hétérogénéité comportementale soutient bien l'hypothèse d'une hétérogénéité cognitive, puisqu'en appliquant un raisonnement logique nous pouvons affirmer qu'il est peu probable qu'un seul et unique déficit, tel que promu par l'hypothèse d'un trouble phonologique comme cause proximale unique de la dyslexie, puisse rendre compte de l'hétérogénéité comportementale des dyslexies. Cependant, nous verrons dans une troisième partie que ces liens entre profils cognitifs et profils comportementaux en langage écrit ne sont pas aussi évidents qu'ils n'en ont l'air.

Ces questions ont des enjeux majeurs, notamment sur le plan clinique, face au constat que font les professionnels d'une si grande hétérogénéité comportementale de la population dyslexique, qui interroge sans cesse les divers facteurs de risque et de protection, et surtout les causes directes et indirectes de ce trouble de la lecture, dans une perspective de remédiation éclairée, ciblée, adaptée à chacun. La compréhension de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie, ou plutôt des dyslexies, sur le plan théorique est donc fondamentale. Elle constitue cependant un défi sur le plan scientifique face à la complexité du phénomène que soulève cette approche.

### 4.1. Hétérogénéité cognitive

Nous avons passé en revue ci-dessus de nombreuses théories cognitives qui se veulent explicatives de la dyslexie et, cette liste n'est pas exhaustive. Cette multiplicité des théories soulève des questions quant à l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique. Ramus et Ahissar (2012) s'étonnent du grand nombre de tâches sur lesquelles des déficits sont retrouvés pour la population dyslexique. Selon eux, des liens sont sans doute à faire entre certaines théories, mais pour cela des progrès sont encore à faire dans notre compréhension des mécanismes cognitifs en jeu, en lien avec les progrès de la psychologie cognitive elle-même, et de la science en général (imageries cérébrales, progrès techniques de mesure, génétique...). Nous avons vu que des hypothèses ont été développées quant aux liens entre la théorie phonologique et d'autres déficits sensoriels ou attentionnels, mais la question de la cause proximale, ou celle d'une nécessaire combinaison de troubles, reste posée. D'autre part, certaines théories, telle la théorie du trouble de l'empan VA, se placent dans une perspective où l'hétérogénéité causale est prise en compte, c'est-à-dire que l'hypothèse est soutenue dans un cadre théorique incluant d'autres causes possibles au trouble de la lecture, mais qui s'appliquent à des sous-populations différentes. Ceci souligne l'importance de confronter différentes théories au sein d'une même population et de s'intéresser aux performances individuelles. En effet, dans les études que nous avons passées en revue jusque-là, excepté concernant la théorie de l'empan VA, nous n'avons discuté que de l'observation de différences de moyennes. Or les moyennes ne sont que le reflet de tendances globales qui peuvent masquer l'hétérogénéité de la population, c'est-à-dire les différences individuelles. Ainsi, si une différence de moyenne entre dyslexiques et groupe contrôle est retrouvée quasi systématiquement concernant les compétences phonologiques, des études ont montré que ce trouble phonologique ne concerne qu'une sous-partie de la population (cf. études ci-dessous dans le cadre de la théorie VA, ou voir aussi l'étude de (White, Milne, Rosen, Hansen, Swettenham et al., 2006), dans laquelle un déficit phonologique a été identifié chez seulement 12 sujets sur les 23 sujets dyslexiques qui composaient leur échantillon). Ceci semble valable pour toutes les théories que nous avons évoquées jusqu'alors. En effet, par exemple concernant le déficit de traitement auditif rapide, l'étude initiale de Tallal (1980) avait montré qu'au-delà de la différence de performances moyennes entre le groupe dyslexique et le groupe contrôle, seulement 50% des enfants testés étaient concernés par ce trouble auditif. Une proportion similaire était retrouvée dans l'étude de Share (2002) concernant les capacités de traitement auditif mais pour des intervalles inter-stimuli longs. Hämäläinen et collaborateurs concluent également d'après leur revue de littérature que *"at least a subgroup of individuals with dyslexia have auditory processing problems in dynamic and speech prosody-related sound features (FM, AM, rise time, duration) as well as in perception of sound frequency"* (Hämäläinen et al., 2013, p.424). Concernant la présence d'un trouble moteur, des proportions très variables de ce trouble ont été retrouvées dans la population dyslexique (Chaix, Albaret, Brassard, Cheuret, de Castelnau et al., 2007; Ramus et al., 2003; Stein, 2001; van Daal et van der Leij, 1999).

Ainsi, plutôt que s'opposer, ces différentes théories peuvent être considérées dans une perspective multifactorielle de la dyslexie. Nous allons donc dans cette partie passer en revue différentes études qui ont spécifiquement intégré cette hétérogénéité cognitive, en commençant par l'hypothèse d'un trouble de la dénomination rapide (RAN) qui se place dans la perspective d'un Double Déficit. Nous présenterons ensuite une série d'études ayant eu

pour objectifs de confronter au sein d'une même population, par des analyses au niveau individuel, différentes théories explicatives. Enfin, des arguments neurobiologiques en faveur de cette hétérogénéité cognitive seront explorés succinctement.

#### **4.1.1. RAN et hypothèse d'un double déficit**

L'hypothèse d'un Double Déficit développée par Wolf et Bowers (1999) fut une des premières, avec l'hypothèse de l'empan VA, à considérer la dyslexie développementale comme pouvant résulter de déficits cognitifs multiples et indépendants et à intégrer cette hétérogénéité comme une composante à part entière dans son modèle théorique. Selon cette hypothèse, un déficit phonologique et un déficit des processus qui sous-tendent la dénomination rapide automatisée (RAN) représenteraient deux sources indépendantes d'un trouble d'acquisition de la lecture (King, Giess et Lombardino, 2007; Manis, Doi et Bhadha, 2000; Plaza et Cohen, 2003), relevant de processus cognitifs indépendants (Araujo, Pacheco, Faisca, Petersson et Reis, 2010; Impu, Shwetha et Shyamala, 2011; Park et Lombardino, 2013). Des études longitudinales sont venues apporter des arguments en faveur de cette hypothèse (Compton, DeFries et Olson, 2001; Dandache et al., 2014; Papadopoulos, Georgiou et Kendeou, 2009; Torppa, Parrila, Niemi, Lerkkanen, Poikkeus et al., 2013). Boets et collaborateurs (2010) ont par exemple montré que les capacités phonologiques et les capacités de dénomination rapide (RAN) étaient les meilleurs prédicteurs, respectivement, de la précision en lecture et de la vitesse de lecture.

Cette hypothèse a été remise en cause par l'étude de Vaessen et collaborateurs (Vaessen, Gerretsen et Blomert, 2009) qui suggère que le trouble de dénomination rapide identifié chez certains dyslexiques aurait une origine phonologique, comme déjà évoqué par de précédentes études (Pennington, Cardoso-Martins, Green et Lefly, 2001; Ramus et al., 2003; Schatschneider, Carlson, Francis, Foorman et Fletcher, 2002). Schatschneider et collaborateurs (2002) ont dans ce sens souligné les corrélations fréquentes entre capacités phonologiques et RAN influençant les comparaisons de sous-groupes (groupe avec un seul déficit en phonologie ou RAN et groupe avec un double déficit), et le fait que, les scores en RAN étant plutôt liés à la vitesse de lecture, cette mesure de RAN pourrait n'être qu'une forme de mesure précoce de la vitesse de lecture. En effet, les différences de mesures entre RAN et compétences phonologiques (respectivement une mesure de vitesse et une mesure de score) pourraient expliquer que chacune de ces mesures rendent compte de composantes différentes de la lecture. Cependant, l'étude de Powell et collaborateurs (Powell, Stainthorp, Stuart, Garwood et Quinlan, 2007), réalisée auprès d'un millier d'enfants tout-venant âgés de sept à dix ans, montre que le RAN n'est pas relié aux capacités de conscience phonologique ni de mémoire verbale à court terme, et que le lien entre RAN et vitesse de lecture n'est pas le simple reflet des capacités de vitesse de traitement. Une étude plus récente portant également sur plus d'un millier d'enfants a finalement montré que les capacités cognitives prédictrices des capacités en RAN variaient avec l'âge, ce qui pourrait expliquer en partie l'inconsistance de l'ensemble de ces résultats (Decker, Roberts et Englund, 2013). Seuls les scores sur les tâches d'accès lexical étaient des prédicteurs stables, présents à tout âge, suggérant que le RAN est dépendant de multiples processus cognitifs : des processus d'accès lexical et d'autres processus variant avec l'âge.

Cette théorie a ouvert plus largement la voie à des hypothèses théoriques qui tiennent compte de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie. Badian (1997) a par exemple étendu l'hypothèse d'un double déficit à celle d'un triple déficit. Un trouble visuo-orthographique pourrait constituer une troisième cause de dyslexie développementale (Badian, 2005). L'étude de Ho et collaborateurs (Ho, Chan, Tsang et Lee, 2002), par l'analyse des profils cognitifs d'enfants dyslexiques chinois, soutient cette hypothèse de déficits multiples à l'origine des dyslexies développementales. Notons que dans cette étude, seulement 15% des enfants dyslexiques présentent un déficit phonologique.

#### 4.1.2. La multifactorialité de la dyslexie

Cette approche considérant l'existence de déficits multiples dans la dyslexie s'est cependant tout d'abord trouvée en opposition avec l'hypothèse phonologique unitaire. Des études ont été menées sur la prévalence de chacun des troubles et certaines ont soutenu l'hypothèse d'un déficit phonologique comme cause proximale de la dyslexie. Autrement dit, la théorie phonologique pourrait rendre compte de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie, les déficits cognitifs autres, telles les atteintes visuelles ou motrices n'étant que des troubles associées à ce déficit phonologique, comme nous l'avons évoqué dans les Parties 3.1.2 et 3.1.4. Ainsi, les données individuelles de l'étude de Ramus et collaborateurs (2003) menées auprès de 16 dyslexiques montrent que tous souffrent d'un trouble phonologique (sur la base de faibles performances en RAN, en conscience phonologique ou en répétition de pseudo-mots), 10 présentent un déficit auditif, dont 2 présentent également un trouble du traitement visuel de type magnocellulaire, et 3 un trouble cérébelleux, ce dernier étant également présent sans trouble auditif associé pour un des sujets. Pour les auteurs, ces données suggèrent que le trouble phonologique est la cause proximale et suffisante, celui-ci étant présent chez cinq enfants sans que ne soit associé un trouble sensoriel ou moteur. Précédemment, une étude de Morris et collaborateurs (Morris, Stuebing, Fletcher, Shaywitz, Lyon et al., 1998) menée auprès de 232 enfants avait permis d'identifier sept sous-types cognitifs de dyslexie, dont quatre incluaient un déficit de conscience phonologique, avec des implications variables de la dénomination rapide et de la mémoire verbale à court terme. Le cinquième semblait relever d'un déficit de dénomination rapide uniquement et les deux derniers de déficits plus globaux. Pour les auteurs, ces données étaient en faveur d'une hétérogénéité relative, *“children with reading disability usually display impairments on phonological awareness measures, with discriminative variability on other measures involving phonological processing, language, and cognitive skills”* (Morris et al., 1998, p. 347). Dans une étude similaire à celle de Ramus et collaborateurs (2003) menée auprès de 15 adultes dyslexiques polonais, Reid et collaborateurs (Reid, Szczerbinski, Iskierka-Kasperek et Hansen, 2007) ont pu identifier un trouble phonologique chez 13 des sujets, plus ou moins associé à un déficit visuel magnocellulaire ou à un trouble moteur, mais aucun trouble sensori-moteur associé n'était retrouvé pour neuf des sujets qui ne présentaient qu'un trouble phonologique. Les deux derniers sujets sans trouble phonologique présentaient soit un trouble cérébelleux, soit un trouble visuel magnocellulaire. Les auteurs concluaient ainsi, contrairement aux conclusions de Ramus et collaborateurs et bien que leur sujets dyslexiques soient quasiment tous déficitaires sur le plan phonologique, que *« the best account of these data is in terms of*

*different sub-types of dyslexia with different underlying causes, such as phonological, visual magnocellular and cerebellar, or a combination of these* » (Reid et al., 2007, p.1). Souhaitant tester cette hypothèse multifactorielle, Menghini et collaborateurs (Menghini, Finzi, Benassi, Bolzani, Facoetti et al., 2010) ont proposé à un groupe d'enfants dyslexiques des tâches phonologiques (fluence phonologique, contrepèteries, répétition de non-mots), des tâches visuelles (perception spatiale, rotation spatiale, perception de mouvements) et des tâches exécutives et d'attention. Les résultats ont montré que seuls 18% des sujets ne présentaient qu'un trouble phonologique, tandis que la grande majorité (77%) présentait un trouble phonologique associé à d'autres déficits, et 30% présentaient une autre combinaison de troubles, sans trouble phonologique. Les auteurs soulignaient également que les capacités non-phonologiques rendaient compte de 23% de la variance en lecture de mots. Ces données sont bien en faveur de l'hypothèse multifactorielle de la dyslexie ; selon les auteurs les atteintes neurocognitives ne sont donc pas limitées au domaine linguistique et ces facteurs non verbaux doivent être pris en compte.

De nombreuses études ont ainsi eu pour objectif de tester, au sein d'une même population, différentes théories explicatives, et ont identifié des sous-groupes cognitifs variés. On note que certaines indiquent une forte prévalence de cas présentant de multiples déficits (Chung, Ho, Chan, Tsang et Lee, 2010; Ziegler, Castel, Pech-Georgel, George, Alario et al., 2008), une combinaison de déficits distincts qu'Heim et collaborateurs désignent comme une 'empreinte' (« fingerprints »), et différentes empreintes, c'est-à-dire différents profils cognitifs, caractérisent ainsi différents groupes dyslexiques (Heim, Tschierse, Amunts, Wilms, Vossel et al., 2008). Dans une revue récente de la littérature concernant l'hétérogénéité cognitive qui sous-tend cette hypothèse multifactorielle, Heim et Grande (2012) soulignent les bénéfices qu'il peut y avoir à tenir compte de cette variabilité cognitive de la dyslexie, par exemple en terme de remédiation, plutôt que de tenter de l'atténuer. Ces considérations sont également primordiales afin d'identifier 'au plus près' les facteurs de risques et facteurs de protection face à la dyslexie. Pennington et Bishop (2009) avaient d'ailleurs souligné dans une revue de littérature que la dyslexie est complexe et multifactorielle, et implique l'interaction de multiples facteurs de risque et facteurs de protection. Par exemple, Plakas et collaborateurs (Plakas, van Zuijlen, van Leeuwen, Thomson et van der Leij, 2013) ont montré dans une étude longitudinale que les capacités de traitement de fréquence et d'amplitude ('rise-time') sont toutes deux identifiables comme facteurs de risques dans une population d'enfants pré-lecteurs identifié comme 'à risque', mais n'ont pas de pouvoir prédictif des capacités de lecture ultérieures. De meilleures compétences syntaxiques précoces dans le groupe à risque qui n'est pas devenu dyslexique pourraient indiquer un facteur de protection contre les effets négatifs des difficultés de traitement auditif identifié. Ainsi, les auteurs concluent que les capacités de traitement auditif ne peuvent être considérées comme des prédictifs uniques (« single-cause predictors ») de la dyslexie, mais sont plus probablement des facteurs de risque génétique qui s'ajoutent à une combinaison de facteurs, avec des effets cumulatifs sur les processus cognitifs critiques pour l'apprentissage du langage écrit.

Dans une étude en 2012, Pennington et collaborateurs (Pennington, Santerre-Lemmon, Rosenberg, MacDonald, Boada et al., 2012) ont également eu pour objectif de confronter

différents modèles théoriques : une cause phonologique unique, une cause unique variable définissant des sous-types cognitifs (telle la vitesse de traitement, la dénomination rapide, ou les capacités de langage), une combinaison de troubles intégrant un déficit phonologique et une autre atteinte cognitive, une combinaison de troubles cognitifs (au moins deux) quels qu'ils soient, et un modèle hybride intégrant tous les modèles précédents. Les résultats de cette étude sont en faveur du modèle hybride, dont le pouvoir prédictif sur les cas de dyslexie futurs et actuels surpasse celui de tous les autres modèles. *“There are multiple possible pathways to dyslexia, some involving single deficits and some involving multiple deficits”* (Pennington et al., 2012, p. 215). Des données en faveur de ce modèle ont également été apportées par une étude récente de Pacheco et collaborateurs (Pacheco, Reis, Araújo, Inácio, Petersson et al., 2014). Mais en 2006, Pennington soulignait : *« Much of this subtyping work relied on statistical techniques, like cluster analysis, to identify subtypes that occupy particular regions of the multivariate continuum. But it soon became evident that these techniques would also find clusters in random data. So, while the subtypes identified might be statistically reliable, there was no guarantee that they were valid. Without a strong cognitive theory of reading development, which specifies how multiple cognitive processes interact to produce skilled reading, it is difficult to interpret subtypes identified by such statistical methods »* (Pennington, 2006, p. 400). La théorie du trouble de l'empan VA (cf. Partie 3.2) se place dans cette perspective d'une hétérogénéité cognitive de la population dyslexique en référence à un modèle théorique cognitif fort, le modèle ACV98 (Ans et al., 1998). Dans ce modèle, le rôle de l'empan VA dans la lecture est explicité, ainsi que son interaction avec les processus phonologiques, et de nombreuses études ont identifié des sous-groupes distincts présentant soit un trouble de nature phonologique, soit un trouble de l'empan VA, soit un double déficit, ou encore une absence de déficit qui laisse envisager d'autres troubles non identifiés, non inclus dans le modèle théorique (cf. Partie 0).

#### **4.1.3. Les arguments neurobiologiques**

Des arguments neurobiologiques ont été apportés en faveur de cette hétérogénéité cognitive. Dans le cadre de la théorie d'un double déficit, l'étude de Norton et collaborateurs (Norton, Black, Stanley, Tanaka, Gabrieli et al., 2014) a montré une dissociation entre un dysfonctionnement fronto-pariétal gauche, responsable d'un trouble de conscience phonologique, et un dysfonctionnement de la zone V1 du cervelet droit, responsable d'un déficit de dénomination rapide, telle la dissociation retrouvée sur le plan comportemental. On rappelle que le même type de résultats, mais concernant d'autres zones corticales, ont été retrouvés concernant les dissociations entre trouble phonologique et trouble de l'empan VA (cf. Partie 0) (Peyrin et al., 2012). L'étude de van Ermingen-Marbach et collaborateurs (van Ermingen-Marbach, Grande, Pape-Neumann, Sass et Heim, 2013) apporte également des arguments en faveur d'une dissociation neurofonctionnelle entre deux groupes de dyslexiques, l'un caractérisé par un trouble phonologique, l'autre ne présentant pas de déficits phonologiques. Heim et collaborateurs (Heim, Grande, Meffert, Eickhoff, Schreiber et al., 2010) ont également montré que les différentes 'empreintes' cognitives retrouvées pour des sous-groupes dyslexiques correspondaient à différents patterns d'activation des zones frontales et pariétales impliquées dans la lecture. Une étude récente de Jednorog et



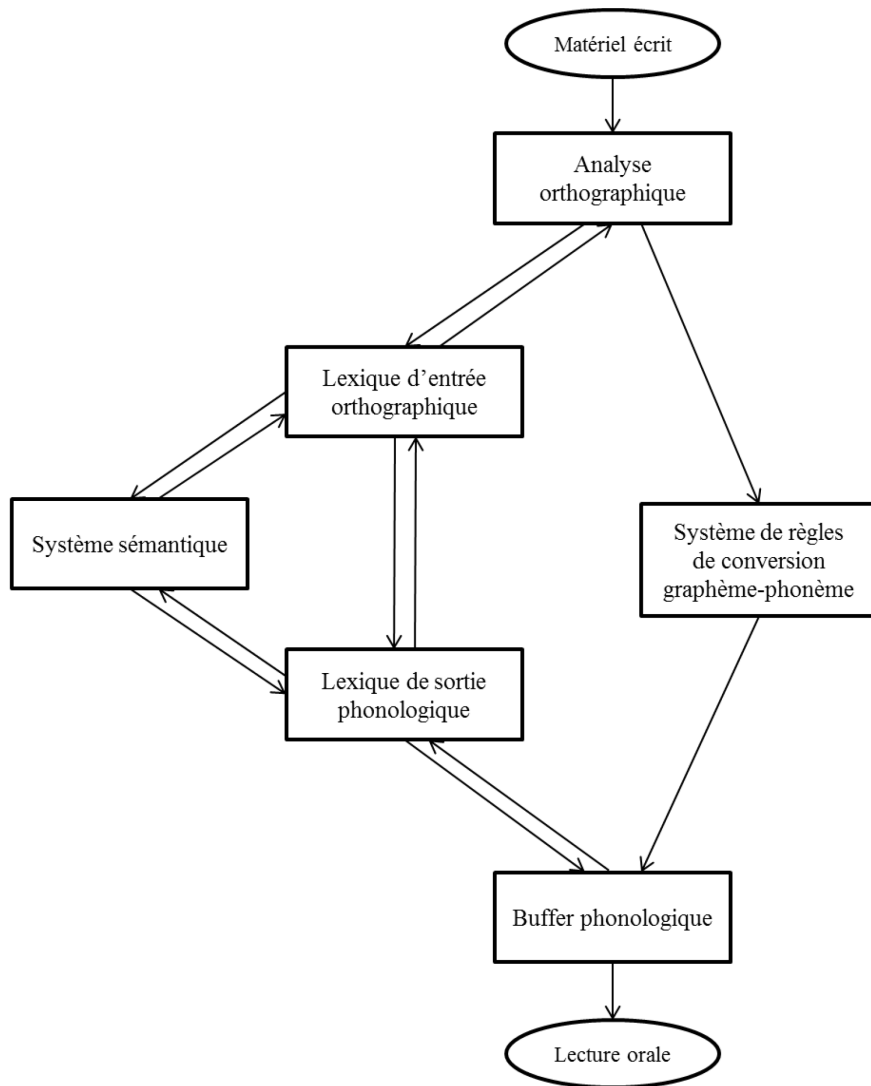
collaborateurs (Jednorog, Gawron, Marchewka, Heim et Grabowska, 2014) montre également que différents sous-groupes cognitifs (un groupe avec trouble phonologique, un avec trouble de dénomination rapide, et un avec trouble de type magnocellulaire altérant le désengagement attentionnel auditif ou visuel) sont caractérisés par différents profils neuro-structuraux (volume de matière grise), des profils neuroanatomiques distincts qui permettent d'identifier 79% des cas comme appartenant à tel ou tel groupe cognitif.

Hadzibeganovic et collaborateurs (Hadzibeganovic, van den Noort, Bosch, Perc, van Kralingen et al., 2010) ont également souligné dans une revue de littérature inter-langues sur des données neurocognitives que, même au sein d'une même langue, divers sous-types neurocognitifs peuvent être identifiés. Des conclusions similaires ont été apportées par l'étude de Pernet et collaborateurs (Pernet, Andersson, Paulesu et Demonet, 2009) dont le titre explicite clairement cette idée : « *When All Hypotheses are Right: A Multifocal Account of Dyslexia* ». Comme souligné par van-Ermingen-Marbach et collaborateurs (2013), ces données permettent de mieux comprendre les résultats hétérogènes des études s'intéressant aux bases neurobiologiques de la dyslexie. Cette prise en compte de l'hétérogénéité cognitive est donc essentielle pour aller vers une meilleure compréhension de la dyslexie.

## 4.2. Hétérogénéité comportementale en langage écrit

### 4.2.1. Modèle double-voie et classification classique

L'hétérogénéité cognitive observée parmi la population dyslexique va de pair avec une forte hétérogénéité comportementale, c'est-à-dire l'observation de profils très variés de capacités en langage écrit. Des systèmes de classification ont été développés pour réduire cette hétérogénéité, c'est à dire identifier des sous-groupes plus homogènes (Heim et Grande, 2012; Heim et al., 2008; King et al., 2007). Le système de classification le plus classiquement utilisé actuellement fait référence au modèle double-voie de la lecture (Figure 4) (voir (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon et Ziegler, 2001), pour une version implémentée du modèle, nommé modèle DRC pour « Dual Route Cascade Model » ; voir (Perry, Ziegler et Zorzi, 2010), pour la version implémentée la plus récente de ce type de modèle, nommé modèle CDP++ pour « Connectionist Dual Process Model »). Ce modèle postule l'existence de différentes étapes dans l'identification des mots écrits, à travers deux 'voies' de lecture, c'est-à-dire deux procédures : une procédure lexicale et une procédure sub-lexicale, qui interviennent après une étape d'analyse orthographique. Dans le cas d'une procédure de traitement lexical, il s'agit d'une analyse globale du mot, qui va permettre l'activation des connaissances sur la forme orthographique puis phonologique du mot. Le mot peut aussi être traité séquentiellement, par une procédure sub-lexicale, dite phonologique, par laquelle les graphèmes sont identifiés, puis convertis en phonèmes, qui sont ensuite assemblés pour obtenir la forme phonologique globale du mot.



**Figure 4.** Architecture du modèle double-voie de la lecture selon Coltheart et collaborateurs (Coltheart et al., 2001). La voie lexicale, à gauche, implique après l'analyse orthographique du mot l'activation d'une représentation orthographique, au niveau du lexique orthographique et donne accès à la forme phonologique associée à ce mot et à son sens. La voie sub-lexicale, à droite, implique une segmentation du mot en unités orthographiques, les graphèmes, qui vont être convertis en phonèmes selon un système de correspondance graphème-phonème. Puis les informations phonologiques vont être stockées au niveau du buffer phonologique de la mémoire verbale à court terme, pour une lecture oralisée du mot.

Ce modèle a initialement été conçu pour rendre compte des profils neuropsychologiques de dyslexies acquises. En effet, il est observé, suite à des lésions cérébrales, des troubles de la lecture des mots nouveaux et des pseudo-mots, tandis que des mots familiers peuvent être correctement lus. D'autres cas de dyslexies acquises se caractérisent par un profil inversé, c'est-à-dire une incapacité à identifier des mots familiers, en particulier irréguliers, tandis que les pseudo-mots ou mots réguliers peuvent être correctement lus. Cette double dissociation a pu être interprétée dans le cadre du modèle double-voie. En effet le trouble de la lecture de mots nouveaux sans atteinte des mots familiers peut être lié à une lésion de la voie sub-

lexicale phonologique, amenant la personne à ne pouvoir utiliser que sa voie lexicale, d'où une lecture limitée aux mots familiers, connus ; ce profil a été qualifié de dyslexie phonologique. Le trouble de la lecture de mots irréguliers peut à l'inverse être lié à une lésion de la voie lexicale ; les mots réguliers et les pseudo-mots peuvent en effet alors être décodé par la voie sub-lexicale, ce qui n'est pas possible pour les mots irréguliers (qui sont alors régularisé ; e.g. 'orchestre' lu /ɔʁkɛstʁ/) ; ce profil est appelé dyslexie de surface. Une atteinte des deux voies de lecture, c'est-à-dire lorsque les deux tableaux cliniques se cumulent, renvoie à une dyslexie mixte.

#### 4.2.2. Classification des dyslexies développementales

Dans le cas des dyslexies développementales, des profils similaires ont été décrits. En 1970, Boder a décrit trois types de dyslexies sur la base de données comportementales en lecture (Boder, 1970), que l'on peut rapprocher de la classification basée sur le modèle double-voie : les dyslexies dysphonétiques liées à des difficultés de décodage amenant les enfants à lire de façon globale, les dyslexies dyséidétiques qui regroupaient les enfants lisant très lentement, comme s'ils découvraient à chaque fois le mot pour la première fois, et les dyslexies dysphonéidétiques, caractérisées par les deux types de difficultés. Mais les termes de dyslexie phonologique, dyslexie de surface et dyslexie mixte ont rapidement remplacé dans la littérature les termes dysphonétique, dyséidétiques et dysphonéidétiques, chacun pouvant respectivement s'apparenter à l'autre. Cette référence au modèle double-voie s'est rapidement imposée dans la littérature scientifique mais également sur le plan clinique. En effet, une classification faisant référence à un modèle neuropsychologique général du fonctionnement de la lecture a été perçue comme plus pertinente que les classifications basées seulement sur les descriptions de différences comportementales individuelles en lecture parmi la population dyslexique (Boder, 1970; Doehring, Trites, Patel et Fiedorowicz; Lovett, 1984), bien que des classifications basées sur des modèles développementaux aient également été développés (Bakker, 1992; Frith, 1986; Mitterer, 1982; Seymour et Macgregor, 1984). De plus, des rapprochements ont pu être faits entre ces modèles et les profils issus du modèles double-voie, ainsi qu'avec d'autres modèles, notamment connexionnistes, permettant de rendre compte de profils similaires (Harm et Seidenberg, 1999; Plaut, McClelland, Seidenberg et Patterson, 1996).

Ainsi il a été décrit des cas de dyslexies phonologiques caractérisées par un trouble de la lecture de pseudo-mots mais une lecture de mots irréguliers relativement préservée (Campbell et Butterworth, 1985; Howard et Best, 1996; Lallier, Donnadiou, et al., 2010 & Valdois, 2010; Snowling et Hulme, 1989; Temple et Marshall, 1983; Valdois, Bosse, et al., 2003) et des cas présentant des profils inversés caractérisant les dyslexies de surface (Castles et Holmes, 1996; Dubois, De Micheaux, Noel et Valdois, 2007; Goulandris et Snowling, 1991; Hanley et Gard, 1995; Romani et Stringer, 1994; Valdois, Bosse, et al., 2003). Dans les études de groupes, ces sous-types ont été souvent identifiés sur la base de déséquilibres relatifs entre les performances en lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots (Castles et Coltheart, 1993 ; Cestnick, 2001; Douklias, Masterson et Hanley, 2009; Lorusso, Cantiani et Molteni, 2014; Zabell et Everatt, 2002) (d'autres études encore seront évoquées par la suite). Des techniques de régression ont notamment été utilisées pour identifier les dyslexiques présentant un

déséquilibre entre lecture de pseudo-mots et lecture de mots irréguliers plus large que celui attendu, au vu des données issues d'un groupe contrôle sur la relation linéaire entretenue entre ces deux types d'items en lecture.

Des patterns similaires ont également été décrits sur le versant orthographique, c'est-à-dire en situation de dictée de pseudo-mots vs mots irréguliers, dans des études de cas (Brunsdon, Coltheart et Nickels, 2005; Hanley, Hastie et Kay, 1992; Temple, 1986) ou des études de groupes (Cholewa, Mantey, Heber et Hollweg, 2010) montrant une concordance avec les profils de lecture (Angelelli, Judica, Spinelli, Zoccolotti et Luzzatti, 2004; Curtin, Manis et Seidenberg, 2001). Mais les profils ne sont pas toujours concordants lorsqu'une technique classique de dissociation est adoptée (dictée de pseudo-mots vs de mots irréguliers), dans la mesure où les dyslexies de surface semblent souvent associées à des dysorthographies de surface (déficit en dictée de mots irréguliers mais dictées de pseudo-mots préservés), mais les dyslexies phonologiques sont souvent associées à des dysorthographies mixtes (déficit en dictée de mots irréguliers et de pseudo-mots) (Curtin et al., 2001; Valdois, Bosse, et al., 2003). Des profils opposés (dyslexie phonologique et dysorthographie de surface) ont même été rapportés (Romani, Di Betta, Tsouknida et Olson, 2008).

En lecture, les données montrent que peu d'enfants présentent une dyslexie de surface ou une dyslexie phonologique pure ; la plupart des dyslexiques sont en effet déficitaires sur tous les types de mots et présentent donc un profil de dyslexie mixte. La prévalence des dyslexies mixtes dans la population dyslexique varie en effet entre 53% et 76% en fonction des études (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang et Petersen, 1996; Peterson, Pennington et Olson, 2013; Sprenger-Charolles, Cole, Lacert et Serniclaes, 2000; Sprenger-Charolles, Siegel, Jiménez et Ziegler, 2011 pour une revue inter-langues; Stanovich, Siegel et Gottardo, 1997; Ziegler et al., 2008).

D'autre part, certaines études ont basé leurs analyses de régression sur un groupe contrôle apparié sur l'âge de lecture. Ainsi, dans une étude de Manis et collaborateurs (1996), 12 des 17 dyslexiques phonologiques définis sur la base d'un groupe contrôle apparié sur l'âge ont été également qualifiés de dyslexiques phonologiques sur la base des comparaisons avec niveau de lecture. Mais pour le groupe dyslexique de surface, un seul des 15 individus a pu être défini comme dyslexique de surface avec cette méthode. De même, dans l'étude de Stanovich et collaborateurs (1997), l'utilisation d'un groupe apparié sur le niveau de lecture a permis d'identifier 17 dyslexiques phonologiques, mais un seul dyslexique de surface, alors que les méthodes d'analyse basées sur un groupe contrôle apparié sur l'âge ont permis de distinguer les mêmes dyslexiques phonologiques, mais 15 dyslexiques de surface ont pu être identifiés. Ainsi, lorsqu'un groupe contrôle apparié sur le niveau de lecture est pris en compte lors des analyses de régression, la proportion de dyslexies de surface est réduite drastiquement. Ceci a conduit les auteurs (Manis et al., 1996); (Stanovich et al., 1997) à faire l'hypothèse que les dyslexies de surface représenteraient davantage un retard de développement de la lecture, plutôt qu'un trouble spécifique développemental. Cependant, comme évoqué par Douklias et collaborateurs (2009) et précédemment par Coltheart (1987), l'âge de lecture est basé sur des tests impliquant une mesure des mots correctement lus, et ces tests contiennent souvent de nombreux mots irréguliers. Donc lors des comparaisons entre dyslexiques de surface et contrôles appariés sur le niveau de lecture, il sera difficile de mettre

en évidence des différences entre ces deux groupes sur la base de leur performance en lecture de mots irréguliers, contrairement aux dyslexiques phonologiques. Très récemment, une étude de Wybrow et Hanley (2015) a d'ailleurs montré que la proportion de dyslexiques de surface est équivalente à la proportion de dyslexiques phonologiques lorsque le groupe contrôle pour les dyslexiques de surface est apparié sur le niveau de lecture de pseudo-mots et sur le niveau de lecture de mots irréguliers pour les dyslexiques phonologiques. Cependant, une étude longitudinale a montré une relative stabilité de ces sous-types après un délai d'environ cinq ans (Peterson, Pennington, Olson et Wadsworth, 2014), cette stabilité étant meilleure pour les dyslexiques phonologiques que de surface, et les sous-types ne se sont pas révélés informatifs quant au pronostic de la dyslexie (voir aussi (Manis et Bailey, 2008).

Ces données soulèvent la question de la validité de ces sous-types comportementaux pour l'identification de sous-groupes plus homogènes. Nous allons ci-dessous développer cette question, en passant en revue des études qui se sont intéressées aux liens entretenus entre le profil comportemental en langage écrit, et le profil cognitif sous-jacent.

### 4.3. Relations entre déficits cognitifs et profils en lecture

Tout l'intérêt d'une classification réside dans sa capacité à regrouper des entités en catégories, c'est-à-dire à établir un classement permettant d'organiser nos connaissances, afin d'en faciliter la compréhension. Dans une perspective de compréhension des fondements cognitifs de la dyslexie, la question du lien entre l'hétérogénéité comportementale en lecture et l'hétérogénéité cognitive prend tout son sens. En effet, nous pouvons nous demander ici si la classification en sous-types sur la base des profils comportementaux reflète des sous-types pertinents en termes d'atteinte neuropsychologique. En effet, en pratique clinique, ce n'est pas le type de dyslexie en lui-même qui s'avère intéressant, mais plutôt le déficit cognitif sous-jacent qu'il peut refléter, notamment dans une perspective de remédiation. Le profil comportemental en lecture peut permettre d'identifier les atteintes cognitives proximales au niveau des voies de lecture (e.g. un déficit du système de conversion graphème-phonème au niveau de la voie lexicale) mais l'identification du trouble cognitif distal (e.g. un trouble phonologique) peut s'avérer essentielle dans le choix des méthodes de remédiation. Nous interrogeons ici les liens entre ces troubles distaux, les troubles proximaux et les profils comportementaux en lecture.

Dans le cadre de la théorie du Double Déficit, c'est la distinction entre des profils caractérisés par un déficit de vitesse, et ceux davantage caractérisés par un déficit en précision qui est interprétée comme le reflet de l'hétérogénéité cognitive considérée dans ce cadre théorique. Wolf et Bowers (1999) évoquent ainsi la classification proposée par Lovett en 1984 et font l'hypothèse d'un lien entre les profils caractérisés par un déficit de vitesse (lenteur d'identification des mots) et un déficit de dénomination rapide (RAN) au niveau sous-jacent, tandis que les dyslexiques présentant un trouble phonologique montrent un profil en lecture davantage caractérisé par des difficultés de précision (erreurs d'identification des mots). Les individus caractérisés par un Double Déficit ont par conséquent des profils de déficit en lecture plus sévères, cumulant les deux types de déficits (vitesse et précision). Ceci a été répliqué dans des études plus récentes (Compton et al., 2001; Katzir, Kim, Wolf, Morris et

Lovett, 2008; Papadopoulos et al., 2009; Shany et Breznitz, 2011). L'étude longitudinale de Torppa et collaborateurs (2013) montre également qu'un trouble isolé de la conscience phonologique est prédictif des performances en dictées de pseudo-mots et en vitesse de lecture, tandis qu'un déficit isolé en vitesse de dénomination (RAN) est prédictif de la vitesse de lecture, et c'est le groupe caractérisé par un double déficit qui montre les difficultés les plus sévères en lecture et dictée. Cette classification est critiquable, pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment (cf. Partie 4.1.1) et l'étude de Torppa montre d'ailleurs que le déficit en vitesse de lecture prédit par les performances sur les épreuves de RAN est prédit également par les capacités de conscience phonologique. De plus, comme Douklias et collaborateurs (2009), on peut s'interroger sur la nature des difficultés rencontrées par les dyslexiques 'de vitesse' ("speed dyslexics"), qui plutôt qu'interprétés comme souffrant d'un déficit de vitesse pourraient souffrir d'un déficit lexical comme cause proximale unique, la voie lexicale permettant justement une lecture globale rapide, ce qui renverrait finalement aux profils de dyslexie de surface.

#### 4.3.1. Les dyslexies phonologiques et les dyslexies de surface

Selon le modèle double-voie de lecture, la dyslexie phonologique relève d'une atteinte de la voie sub-lexicale, c'est-à-dire des capacités de conversion des graphèmes en phonèmes, tandis que la dyslexie de surface relève d'une atteinte de la voie lexicale, c'est-à-dire des capacités de reconnaissance globale des mots, dépendant du fonctionnement du lexique orthographique (Castles et Coltheart, 1993 ). Ces distinctions permettraient ainsi « *the identification and understanding of different varieties of developmental dyslexia* » (Castles, 2006, p.49). Les simulations réalisées sur la version implémentée du modèle (DRC) (Coltheart et al., 2001) ont confirmé ces prédictions sur les profils de dyslexies acquises : une diminution de la réactivité des unités du lexique orthographique (par une augmentation de la valeur des paramètres de l'échelle de fréquence) conduit à un profil de dyslexie de surface. Une modification du paramètre de vitesse de traitement sériel de la séquence par la voie sub-lexicale (par une augmentation du critère d'activation du phonème) conduit à un profil de dyslexie phonologique. Dans le contexte des dyslexies développementales, des données expérimentales récentes sont en faveur de cette hypothèse (McArthur, Kohnen, Larsen, Jones, Anandakumar et al., 2013) et le modèle DRC s'est avéré pertinent pour simuler des profils développementaux de dyslexies phonologiques ou de surface (Ziegler et al., 2008). Cette étude montre cependant que les déficits cognitifs sous-jacents à ces profils peuvent être multiples. En effet, les auteurs ont proposé un ensemble de tâches visant à évaluer chacun des composants du modèle et ont montré que, plutôt que de présenter un déficit ou même des déficits sur une seule des voies de lecture, les sujets dyslexiques présentaient de multiples déficits sur les deux voies de lectures, les déficits les plus marqués concernant les processus phonologiques impliqués dans les deux voies de lecture. Ces données étaient corroborées par les simulations du modèle (grâce à un bruit introduit sur les différents composants du système). Les auteurs notaient en particulier que les dyslexiques de surface présentaient des déficits d'accès orthographique (évalués par une mesure de l'effet de supériorité des mots dans une tâche de recherche de lettres dans des mots et non-mots) mais présentaient surtout des déficits que les auteurs désignent comme « phonologiques par nature » au niveau de la

dénomination d'image (évaluant le lexique phonologique) et au niveau de l'appariement de phonème (évaluent la procédure de conversion graphème-phonème). Cette étude présente des limites méthodologiques, du fait d'un faible nombre de participants au vu des objectifs de prévalence de l'étude, et des conclusions faites quant à l'efficacité des différents composants du modèle sur la base d'une seule tâche visant à évaluer chacun des composants. De plus, une confusion peut apparaître dans cette étude entre les troubles cognitifs proximaux liés à l'efficacité des deux voies de lecture, et les troubles cognitifs distaux (tel par exemple un trouble phonologique), c'est-à-dire situés en amont du fonctionnement des deux voies de lecture, mais qui pourraient potentiellement interférer avec ces dernières.

La conception classique de la dyslexie phonologique néanmoins soutenue par cette étude est qu'elle résulterait d'un trouble de nature phonologique. Le plus souvent, on considère que c'est un trouble de la conscience phonologique qui représenterait le *trouble distal*, qui pourrait altérer le développement et le fonctionnement de la voie sub-lexicale, ce dernier représentant le *trouble proximal*, et conduisant ainsi à un profil de dyslexie phonologique (*trouble comportemental*). Ce modèle est soutenu par de nombreuses études (Campbell et Butterworth, 1985; Curtin et al., 2001; Farah, Stowe et Levinson, 1996; Hanley et Gard, 1995; Niolaki, Terzopoulos et Masterson, 2014; Romani et al., 2008; Snowling et Hulme, 1989). De plus, les tâches de conscience phonologique semblent particulièrement liées aux capacités de lecture de pseudo-mots chez les enfants dyslexiques (Bosse et al., 2007; Romani et al., 2008), comme chez les enfants tout-venant (Bosse et Valdois, 2009). Des liens entre la lecture de pseudo-mots et des troubles du traitement auditif ont également été soulignés (Tallal, 1980). Concernant les profils en dictée, les études montrent également que les dysorthographies phonologiques seraient liées à des troubles de nature phonologique (Cholewa et al., 2010), la dictée de pseudo-mots apparaissant étroitement liée aux capacités phonologiques (Curtin et al., 2001; Romani et al., 2008; Valdois, Bosse, et al., 2003), puisque la conversion de phonèmes en graphèmes nécessite avant tout un traitement phonologique et des capacités de conscience phonologique, afin de produire dans l'ordre tous les graphèmes correspondant aux phonèmes perçus. D'autres études ont par ailleurs montré que les dyslexies phonologiques pourraient être liées de façon distale à des troubles magnocellulaires (Borsting, Ridder, Dudeck, Kelley, Matsui et al., 1996) ou de traitement temporel trans-modalitaire (Cestnick, 2001). Mais comme nous l'avons vu précédemment (cf. Partie 3.1.4 et Partie 3.1.2), ces deux types de troubles restent donc liés à une approche phonologique.

La conception phonologique reste donc dominante pour rendre compte des dyslexies phonologiques, et tend même à concerner les dyslexies de surface. En effet, l'étude de Ziegler et collaborateurs (2008) rejoint l'approche phonologique unitaire en montrant que les dyslexies de surface seraient également liées à des déficits phonologiques, mais présentant des degrés de sévérité variés, un trouble phonologique léger amenant à un profil de surface, un trouble sévère à un profil de dyslexie phonologique (Griffiths et Snowling, 2002). Des données comportementales en faveur de cette hypothèse phonologique dans la dyslexie de surface sont relevées dans la littérature (Jimenez, Rodriguez et Ramirez, 2009; Sprenger-Charolles et al., 2000; Zabell et Everatt, 2002).

Certains auteurs suggèrent également que le trouble spécifique de l'apprentissage lexical en cause dans la dyslexie de surface (Romani et al., 2008) pourrait être lié à un déficit de

dénomination rapide automatisée (RAN) (Douklias et al., 2009) reflétant une atteinte des capacités à associer de façon arbitraire un stimulus visuel et un stimulus verbal (telle l'association entre un mot irrégulier et sa prononciation, contrairement à l'association d'un mot régulier et de sa prononciation dont les relations sont non arbitraires, puisque régulières) (Manis, Seidenberg et Doi, 1999).

Cependant, comme déjà évoqué précédemment, la capacité des processus de nature phonologique à rendre compte de l'ensemble du spectre dyslexique a été remise en cause. Il est clairement établi que certains cas de dyslexies ne présentent pas de trouble de nature phonologique ou verbale (Friedmann et Nachman-Katz, 2004; Friedmann et Rahamim, 2007; McCloskey et Rapp, 2000). En particulier des cas prototypiques de dyslexies de surface sans trouble de conscience phonologique, de mémoire verbale ou du langage oral ont été décrits (Brunsdon et al., 2005; Dubois et al., 2007; Hanley et Gard, 1995; Peyrin et al., 2012; Romani, Ward et Olson, 1999; Rowse et Wilshire, 2007; Valdois, Bosse, et al., 2003).

D'autres prédictions quant à la nature des déficits sous-jacents aux sous-types de dyslexies sont issues du modèle connexionniste de Harm & Seidenberg (1999) (HS99). Ce dernier, contrairement au modèle DRC développé pour rendre compte des compétences d'adultes déjà lecteurs, a été développé pour rendre compte des dyslexies développementales, sur la base du modèle en triangle de Seidenberg & McClelland (1989) (SM89). Selon ce modèle, les dyslexies phonologiques seraient dues à des représentations phonologiques dégradées (bruit introduit au niveau du module de codage phonologique) et les dyslexies de surface représenteraient un retard de développement général de la lecture (diminution des ressources computationnelles générales), comme évoqué précédemment du fait des données de comparaison avec des groupes appariés sur l'âge de lecture (Manis et al., 1996) (cf. Partie 0). Le profil de dyslexie de surface résulterait ainsi davantage de facteurs environnementaux défavorables que de l'atteinte d'une composante cognitive spécifique (Stanovich et al., 1997). L'étude de Talcott et collaborateurs (Talcott, Witton et Stein, 2013) suggère par exemple que les dyslexies de surface relèvent d'un retard dans la trajectoire développementale, tandis que les dyslexies phonologiques relèvent d'un développement atypique en lien avec un déficit de discrimination auditive lié à une faible conscience phonologique. Sur le versant orthographique, l'étude de Curtin et collaborateurs (2001) soutient également l'hypothèse d'un retard développemental en cause dans la dysorthographe de surface, du fait de patterns en dictée similaires à ceux d'enfants plus jeunes, contrairement aux dysorthographies phonologiques (voir aussi l'étude de (Bailey, Manis, Pedersen et Seidenberg, 2004) en faveur de cette hypothèse sur une tâche d'apprentissage de l'orthographe de pseudo-mots).

L'étude récente de Peterson et collaborateur (Peterson et al., 2013) a eu pour objectif de comparer les prédictions du modèle DRC avec celle du modèle HS99. Les données sont en faveur d'un déficit de codage phonologique dans la dyslexie phonologique, comme prédit par les deux modèles. Mais concernant les dyslexies de surface, les données de cette étude suggèrent une atteinte du codage orthographique et montrent un pattern de performances qualitativement différent de celui des contrôles, même lorsque comparé avec un groupe de même niveau de lecture. Ceci apparaît en accord avec les prédictions du modèle DRC et en désaccord avec celles du modèle HS99 (voir aussi l'étude de (McDougall, Borowsky, MacKinnon et Hymel, 2005).



Le modèle ACV98 (Ans et al., 1998) (cf. Partie 3.2.1) permet de faire d'autres prédictions, notamment en précisant la nature du déficit touchant le lexique orthographique qui serait responsable du profil de dyslexie de surface. Selon le modèle ACV98 le déficit en cause dans une dyslexie de surface pourrait être de nature visuelle, impactant de façon secondaire le lexique orthographique, et rejoignant ainsi les conclusions d'études citées ci-dessus quant à l'existence de profils de dyslexie de surface ne présentant aucune atteinte de nature verbale. En effet, le modèle ACV98 permet de simuler un profil de dyslexie phonologique en appliquant une lésion au niveau du module phonologique, tandis qu'une dyslexie de surface est simulée en réduisant la fenêtre visuo-attentionnelle<sup>11</sup>. Cette réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle a comme équivalent psychologique un trouble de l'empan VA tel que décrit dans la Partie 3.2. Ainsi, un empan VA réduit pourrait entraver la création des traces orthographiques et affecter la lecture des mots irréguliers, tandis que les mots réguliers et les pseudo-mots pourraient être lus de façon sérielle avec un empan réduit, amenant donc à un profil de dyslexie de surface (Valdois et al., 2004). En accord avec cette hypothèse, un trouble de l'empan VA (sans trouble phonologique) a été mis en évidence dans de nombreuses études sur les dyslexies de surface (Bouvier-Chaverot, Peiffer, Nguyen-Morel et Valdois, 2012; Dubois et al., 2010; Niolaki et al., 2014; Peyrin et al., 2012; Valdois, Bosse, et al., 2003; Zoccolotti, De Luca, Di Pace, Judica, Orlandi et al., 1999), et des données montrent qu'un groupe dyslexique avec trouble de l'empan VA a de plus faibles performances en lecture de mots irréguliers qu'un groupe dyslexique avec trouble phonologique (Bosse et Valdois, 2003). Ceci est également valable sur le versant orthographique dans la plupart des études ici citées, des profils de dysorthographe de surface étant décrits dans ces études dans le contexte d'un trouble de l'empan VA. De plus, l'apprentissage de l'orthographe apparaît bien plus efficace chez des enfants normo-lecteurs lorsqu'un traitement global est possible, comparé à un traitement analytique contraint, tel que causé par un trouble de l'empan VA (Bosse et al., 2015).

Pour résumer, la plupart des modèles semblent s'accorder sur la présence d'un déficit cognitif de nature phonologique explicatif de la dyslexie phonologique. Concernant la dyslexie de surface, un trouble de l'empan VA pourrait être en cause comme suggéré par le modèle ACV98, affectant le développement du lexique orthographique. Cependant, ces hypothèses se confrontent à la complexité de la dimension développementale de la dyslexie. En effet, certaines études ont souligné la complexité des interactions entre les profils comportementaux basés sur le modèle double-voie et les troubles cognitifs distaux (Lorusso et al., 2014),

---

<sup>11</sup> D'autres patterns lésionnels ont également été implémentés : le modèle ACV98 permet de simuler un profil de dyslexie phonologique en appliquant une lésion au niveau du module phonologique ou au niveau de la procédure de comparaison entre O1 et O2, tandis que la dyslexie de surface a été simulée en réduisant la fenêtre visuo-attentionnelle, mais également en appliquant des lésions au niveau des liaisons entre la mémoire épisodique et la couche orthographique de sortie. Nous n'avons ici évoqué que les lésions qui semblent pertinentes en contexte développemental, au vu des données comportementales par ailleurs obtenues qui sont citées à la suite, et évoquées dans l'article de (Ans et al., 1998).

notamment car une variabilité des troubles cognitifs semble pouvoir être identifiée au sein d'un même sous-type comportemental de dyslexie (Ziegler et al., 2008) et ou de dysorthographe (Cholewa et al., 2010), suggérant une relation 'many-to-one' plutôt que 'one-to-one' entre profil cognitif et profil comportemental en langage écrit (Pennington, 2006). De plus, nous allons maintenant voir que les cas de dyslexies mixtes apportent de nouveaux éclairages, qui suggèrent des relations non univoques entre le fonctionnement des deux voies de lecture (trouble proximal) et les troubles cognitifs distaux.

#### 4.3.2. Les dyslexies mixtes

La plupart des études qui se sont intéressées aux sous-types de dyslexie se sont focalisées sur les dyslexies phonologiques et de surface ; très peu d'études ont été menées spécifiquement sur les profils des dyslexies mixtes. Pourtant, ce sous-type s'avère être le profil de dyslexie le plus fréquent, estimé entre 53% et 76% selon les études (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et al., 1996; Sprenger-Charolles et al., 2000; Sprenger-Charolles et al., 2011 for a cross-language review; Stanovich et al., 1997; Ziegler et al., 2008), et même à 90% dans l'étude de Douklias et collaborateurs (2009). Les dyslexies mixtes sont classiquement interprétées comme le résultat d'une atteinte des deux voies de lecture, et donc d'un double déficit, conduisant à l'accumulation des deux profils : un tableau clinique de dyslexie phonologique et un tableau de dyslexie de surface (Manis et al., 1996; McArthur, Kohnen, et al., 2013; Niolaki et al., 2014). Dans le cadre de la théorie d'un double déficit phonologique et de dénomination rapide (RAN), les données sont également en faveur d'un profil de dyslexie plus sévère pour le groupe concerné par le double déficit, c'est-à-dire un profil de dyslexie mixte, bien que celui-ci ne soit pas toujours ainsi dénommé, comparé aux groupes ne présentant qu'un déficit unique (en RAN ou en phonologie) (Compton et al., 2001; Manis et al., 2000; Papadopoulos et al., 2009). Ces données suggèrent que plus il y a de déficits cognitifs, plus le trouble en langage écrit sera sévère (Chung et al., 2010). Cependant, cette interprétation est difficilement compatible avec la prévalence des dyslexies mixtes. En effet, le modèle double-voie ne permet pas d'expliquer pourquoi il serait plus probable de cumuler deux déficits plutôt qu'un seul. Une telle prépondérance d'un double déficit semble au contraire statistiquement improbable et devrait être cognitivement et neurologiquement expliquée si elle est observée. Ainsi la prévalence des dyslexies mixtes apparaît contradictoire avec les prédictions du modèle double-voie.

D'autres approches théoriques suggèrent que la dyslexie mixte pourrait être la conséquence d'un déficit cognitif unique phonologique. Nous nous appuyons ici sur la théorie de l'auto-apprentissage de David Share qui postule que le développement de la lecture, et notamment des connaissances orthographiques, repose principalement sur les habiletés phonologiques (Cunningham, Perry, Stanovich et Share, 2002; Share, 1995, 1999). En effet, selon cette théorie, l'enfant qui rencontre un mot pour la première fois va le décoder en appliquant les règles de conversion graphème-phonème. Puis au fur et à mesure de ses rencontres avec le mot, c'est-à-dire de la mise en œuvre d'un décodage phonologique, l'enfant pourra stocker la forme orthographique du mot en mémoire à long terme. Les décodages phonologiques réussis vont donc graduellement améliorer la trace en mémoire de la forme orthographique du mot, et ce mécanisme d'auto-apprentissage permettra ensuite une reconnaissance globale, rapide, du

mot. Ainsi, l'hypothèse d'auto-apprentissage suggère que si un enfant dyslexique présente un déficit phonologique, ceci affectera ses capacités de décodage phonologique, et donc de lecture de mots nouveaux et de pseudo-mots. Un décodage erroné des mots l'empêchera de mémoriser les formes orthographiques ce qui affectera le développement du lexique orthographique (Manis, Custodio et Szeszulski, 1993). L'enfant présentera donc également par conséquent un trouble de la lecture de mots (réguliers et irréguliers), dû à l'impact de ce mauvais décodage sur le dispositif d'auto-apprentissage. Le profil sera donc celui d'une dyslexie mixte, due à un déficit phonologique dans le contexte d'un développement conjoint des deux voies de lecture reposant principalement sur les capacités de décodage phonologique. Cette approche théorique d'un rôle central des processus phonologiques dans le développement des deux voies de lecture est tout à fait conforme avec l'hypothèse explicative phonologique unitaire et est soutenue par des données issues des modélisations. En effet, les simulations réalisées sur le modèle HS99 (Harm et Seidenberg, 1999) montrent qu'un déficit phonologique modéré affecte d'abord la lecture de pseudo-mots, mais affectera également la lecture de mots si un déficit plus sévère est implémenté. Cette « hypothèse de sévérité » a été validée par des données comportementales (Manis et al., 1996; Peterson et al., 2013). On note que Peterson et collaborateurs identifient cependant des cas de dyslexie phonologique présentant un trouble phonologique sévère, mais ils restent rares. De plus, ces données montrent que les dyslexies mixtes sont plus fréquentes chez les dyslexiques plus jeunes, ce qui est compatible avec l'hypothèse d'une forte interdépendance des deux voies de lecture en début d'apprentissage, telle que postulée par l'hypothèse d'auto-apprentissage. Ainsi, l'hypothèse d'auto-apprentissage appliquée au modèle double-voie et le modèle HS99 supportent l'hypothèse d'un déficit unique phonologique comme cause de la dyslexie mixte. Cependant, ils ne permettent pas de rendre compte de la prévalence des profils mixtes, à moins d'expliquer pourquoi les déficits phonologiques sont plus souvent sévères plutôt que modéré ou léger dans la population dyslexique.

Le modèle ACV98 (Ans et al., 1998) rejoint cette hypothèse phonologique des dyslexies mixtes mais offre également une autre alternative. Selon ce modèle, un déficit phonologique pourrait affecter le développement des unités lexicales en mémoire orthographique, et donc non seulement la lecture des pseudo-mots, mais également la lecture des mots (réguliers et irréguliers), d'où un profil de dyslexie mixte dû à une cause phonologique unique. Mais l'intérêt de ce modèle réside dans le fait qu'il introduit une autre dimension explicative : le trouble de l'empan VA. Comme nous l'avons vu, l'empan VA constitue un élément clé du développement de la lecture, et il a été montré en particulier que les capacités d'empan VA sont prédictives des capacités de lecture des mots (réguliers et irréguliers) mais également des pseudo-mots (scores et temps) (Bosse et Valdois, 2009). De plus, une étude en neuroimagerie a souligné le rôle des processus visuo-attentionnels dans la lecture de pseudo-mots (Valdois et al., 2006). En effet, l'empan VA est crucial pour le traitement de mots irréguliers, puisqu'il doit être assez large pour permettre une activation de la forme orthographique globale du mot en mémoire, mais il est aussi impliqué dans la procédure sub-lexicale analytique, car la plupart des unités sub-lexicales (morphèmes, syllabes ou graphèmes) sont composées de plusieurs lettres dont le traitement simultané nécessite un empan VA suffisamment large. Ainsi, un trouble isolé de l'empan VA peut se traduire par des difficultés en lecture de mots et de pseudo-mots, et peut donc être à l'origine d'un profil de dyslexie mixte. Une étude de cas

vient à l'appui de cette hypothèse (Valdois et al., 2011). Elle décrit le cas de Martial, un jeune garçon de neuf ans présentant une dyslexie mixte sévère. Martial montre de bonnes compétences verbales et phonologiques, c'est-à-dire un bon niveau de langage oral, des capacités de conscience phonologique normales pour son âge (malgré son trouble sévère de la lecture, ce qui est remarquable sachant la réciprocity du développement de ces deux compétences), et des capacités de mémoire verbale à court terme également dans la moyenne. En revanche, il présente un empan VA très réduit (deux lettres en moyenne rapportées sur les cinq dans la tâche de report global) et une répartition attentionnelle atypique (report partiel). Sur une tâche d'identification des lettres dans un mot présenté très brièvement, il n'identifie qu'environ trois lettres en moyenne quelle que soit la longueur du mot. De plus, Martial est très peu performant dans une tâche complexe de pointage de cibles impliquant un traitement VA simultané. En revanche, il n'a pas de difficultés à identifier des séries de lettres présentées très rapidement de façon séquentielle. Ainsi, l'étude du cas de Martial illustre la prédiction du modèle ACV98 selon laquelle une dyslexie mixte peut être la conséquence d'un trouble isolé des capacités de traitement visuel simultané (l'empan VA). Ceci est également compatible avec les données de l'étude de groupe de Bosse et Valdois (Bosse et Valdois, 2003). Dans cette étude, le groupe dyslexique présentant un trouble isolé de l'empan VA montre un déficit en lecture de mots (score et vitesse) mais également un déficit de la vitesse de lecture des pseudo-mots. De plus, les simulations de dyslexies de surface acquises sur le modèle ACV98 ont montré qu'une réduction sévère de la fenêtre visuo-attentionnelle affecte également la procédure analytique. Les conséquences en contexte développemental pourraient être d'autant plus importantes si des mécanismes d'auto-apprentissage sont en jeu même au niveau du développement des capacités de décodage phonologique (Share, 1995 ; Share, 1999), c'est-à-dire ici en l'occurrence de la procédure analytique ; au fur et à mesure que l'enfant fait du décodage phonologique, il infère de nouvelles associations graphème-phonème, ce qui contribue à améliorer ses capacités analytiques. Si un déficit est présent au niveau de la procédure analytique, qu'il soit d'ailleurs d'origine phonologique ou visuo-attentionnelle, cela va donc impacter d'autant plus le développement de cette procédure, creusant l'écart avec des enfants de même âge au fil du temps.

Les prédictions faites dans le cadre du modèle ACV98 pour ce qui concerne l'apprentissage de la lecture offrent donc un cadre théorique multifactoriel et considèrent un développement conjoint, interactif, des deux procédures de lecture, permettant de rendre compte des profils de dyslexie mixte, et notamment de leur prévalence. Nous pouvons en effet considérer qu'un déficit phonologique unique peut expliquer les profils de dyslexie mixte en altérant les mécanismes d'auto-apprentissage en jeu dans le développement du lexique orthographique. De plus, un trouble de l'empan VA isolé peut également induire un profil de dyslexie mixte en altérant le traitement global et le traitement analytique des mots. Enfin bien sûr, un double déficit, phonologique et VA, pourrait être à l'origine d'une dyslexie mixte. Ainsi, dans ce contexte une dyslexie mixte pourrait résulter de trois types de déficits : un déficit phonologique, un déficit de l'empan VA et un double déficit. Cette hypothèse d'hétérogénéité cognitive dans la dyslexie mixte est en accord avec les données de prévalence de ce trouble : puisque différents troubles cognitifs explicatifs sont possibles, cela augmente d'autant la probabilité de rencontrer ce profil dans la population dyslexique.

### 4.3.3. L'analyse des erreurs

Outre l'analyse des profils de lecture selon le type de mot lu (mots irréguliers ou pseudo-mots), l'analyse des erreurs de lecture et de transcription offre également un terrain de réflexion quant aux conséquences comportementales en lecture des troubles cognitifs sous-jacents distaux et proximaux. Nous avons vu au début de ce chapitre (cf. Partie 1.2) que l'analyse des erreurs, dès le début du XXe siècle, a participé au développement de théories explicatives visuelles, les confusions entre 'p' et 'b' étant interprétées comme des erreurs d'analyse visuo-spatiale. Cependant, dans les années 70s, ces mêmes erreurs avaient été réinterprétées sous l'angle de la phonologie, les phonèmes /p/ et /b/ étant phonétiquement proches. L'interprétation des erreurs est ainsi délicate, différents types de troubles pouvant induire des erreurs en apparence semblables. Nous allons tenter ici de passer brièvement en revue les types d'erreurs et les mécanismes cognitifs sous-jacents proximaux et distaux en cause. Il est à noter que les analyses d'erreurs sont rares dans les études de groupes et sont en général réalisées dans les études de cas.

Dans l'étude de Valdois et collaborateurs (Valdois, Bosse, et al., 2003) qui décrit le cas de Laurent, dont la dyslexie phonologique apparait d'origine phonologique (sans trouble de l'empan VA), et le cas de Nicolas, qui présente un trouble de l'empan VA (sans trouble phonologique) associé à un profil de dyslexie de surface, on remarque que la plupart des erreurs de Nicolas sur la lecture de mots irréguliers sont des erreurs de régularisation. Laurent, quant à lui, fait des erreurs de lexicalisation, c'est à dire qu'il produit des mots au lieu de lire un pseudo-mot. En orthographe, la dictée de mots irréguliers est déficitaire pour les deux adolescents mais Nicolas fait de nombreuses erreurs phonologiquement plausibles ainsi que des erreurs visuelles, contrairement à Laurent. La dictée de pseudo-mots est déficitaire pour Laurent seulement. Ainsi, les sous-types classiques de dyslexies amènent à des types d'erreurs différents, et ces derniers pourraient refléter les différents troubles cognitifs distaux en cause (Curtin et al., 2001; Manis et al., 1996).

Dans le contexte d'un déficit phonologique sont attendues des erreurs phonologiques, en lecture comme en dictée, telles :

- des erreurs de discrimination induisant des confusions entre des phonèmes proches sur le plan phonétique (e.g. des confusions entre phonèmes voisés et non-voisés), dues à une atteinte des capacités de perception des phonèmes et/ou des représentations phonologiques,
- des erreurs d'ordre (des phonèmes et donc des graphèmes), des omissions, des ajouts ou des complexifications, dues à un déficit de conscience phonologique et/ou à une atteinte des représentations phonologiques.

A l'inverse, si le déficit en cause n'est pas de nature phonologique, par exemple dans le cas d'un trouble de l'empan VA isolé, alors on pourrait relever des erreurs de régularisation en lecture et des erreurs phonologiquement plausibles en dictée (Romani et al., 2008); voir aussi (Hanley et al., 1992), pour l'étude d'un cas de dysorthographe de surface, sans trouble phonologique), erreurs qui témoignent de capacités phonologiques préservées. Un trouble de l'empan VA, qui perturbe la répartition de l'attention visuelle sur la séquence de lettres qui constitue le mot ou le pseudo-mot à lire devrait induire :

- des erreurs d'omissions puisque un empan VA réduit ne permet pas de traiter toutes les lettres du mot,
- des erreurs sur les graphèmes contextuels, puisqu'ils nécessitent la prise en compte simultanée de plusieurs graphèmes du mot (celui ciblé et les lettres contextuelles dont son traitement va dépendre),
- des erreurs de découpage sur les graphèmes multi-lettres (« parsing errors »), c'est-à-dire la prise en compte d'unités graphémiques plus petites,
- des erreurs de confusion entre lettres visuellement proches puisque les ressources attentionnelles modulent le traitement de l'identité des lettres (cf. Partie 3.2.3 sur les liens avec la TVA de Bundesen) et des erreurs d'ordre des lettres potentiellement secondaires aux difficultés de traitement de l'identité.

Certaines de ces erreurs ont en effet été décrites dans le contexte de trouble de l'empan VA (Bouvier-Chaverot et al., 2012; Martinet et Valdois, 1999), ou encore chez des enfants dyslexiques dont le profil pourrait évoquer un trouble de l'empan VA, en l'absence de troubles phonologique, et chez qui des paralexies avec des mots visuellement similaires mais plus fréquents ont également été rapportées (Valdois, Gérard, Vanault et Dugas, 1995). En transcription, l'impact d'un trouble de l'empan VA sur le développement orthographique (Bosse et al., 2015) pourrait avoir pour conséquence :

- la production de plus de séquences illégales, c'est-à-dire de séquences orthographiques incluant une suite de lettres qui n'est jamais rencontrées dans la langue (e.g. 'verrbe', la séquence *rrb* n'étant jamais rencontrée en langue française), due à une moins bonne appréhension des contraintes et des patterns orthographiques fréquents dans la langue (Martinet et Valdois, 1999),
- des omissions, des erreurs contextuelles et des erreurs d'ordre des lettres, tout comme en lecture. On peut également supposer que des incertitudes quant aux lettres finales, qui sont souvent muettes en français et ne peuvent être retrouvées sur une base phonologique, pourraient induire des omissions ou des ajouts à ce niveau.

Dans l'étude du cas de Martial (Valdois et al., 2011), les auteurs relèvent plus de 75% d'erreurs qu'ils qualifient d'erreurs visuelles en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots (erreur d'identité de lettres, omissions, erreurs de découpages des graphèmes multi-lettres, erreurs contextuelles et plus rarement des erreurs d'ordre des lettres). De plus, Martial n'a fait aucune confusion entre des lettres phonologiquement proches mais visuellement éloignées. En dictée de mots, 93% de ses erreurs étaient phonologiquement plausibles (75% si l'on retient des critères de classification des erreurs plus sévère) et son score en dictée de pseudo-mots était dans la moyenne pour son âge.

Pour conclure, l'analyse des erreurs permet sans doute de faire des inférences quant aux déficits sous-jacents. Cependant, de même que les inférences que l'on peut tirer quant aux déficits cognitifs sous-jacents à partir de l'étude des dissociations entre mots irréguliers et pseudo-mots peuvent s'avérer erronées, les inférences sur les troubles cognitifs que l'on peut faire à partir des types d'erreurs doivent être prudentes. Ces liens méritent d'être davantage explorés.

Dans cette dernière partie du Chapitre 1, nous avons vu que les arguments plaçant pour une hétérogénéité cognitive de la population dyslexique sont nombreux et solides. Des études ont eu en effet pour objectifs de confronter, au sein d'une même population, différentes théories explicatives que nous avons passées en revue précédemment, et l'observation de profils cognitifs et cérébraux distincts viennent soutenir cette hypothèse d'une hétérogénéité cognitive. Ainsi, certaines théories explicatives, plutôt que de s'exclure, semblent concerner des sous-groupes distincts, comme considéré dans le cadre théorique du déficit de RAN ou celui du déficit de l'empan VA.

Au niveau comportemental, c'est-à-dire dans l'observation des profils de langage écrit des personnes dyslexiques, une hétérogénéité est constatée par tous les cliniciens et chercheurs, et a conduit au développement de systèmes de classification afin d'identifier des sous-groupes plus homogènes. Le système de classification le plus répandu est basé sur le modèle double-voie, distinguant dyslexie phonologique, dyslexie de surface et dyslexie mixte. Bien que certaines données soient en faveur de relations univoques, une à une, entre profils cognitifs et types de dyslexies, de nombreuses études visant à comparer les profils cognitifs des dyslexiques phonologiques vs de surface ne permettent pas de mettre en évidence des profils cognitifs contrastés. En fait, un trouble phonologique a été rapporté non seulement dans la dyslexie phonologique, mais également dans la dyslexie de surface. De même, le trouble de l'empan VA, fréquemment associé à des profils de dyslexie de surface, pourrait également être en jeu dans le traitement sub-lexical dont la perturbation est associée aux dyslexies phonologiques. Les cas de dyslexies mixtes pourraient permettre d'apporter des éclairages sur ces questions, mais n'ont pourtant que très peu été étudiés, bien que ce profil apparaisse comme le plus fréquent. La prévalence des dyslexies mixtes semble peu compatible avec l'hypothèse de relations univoques entre les atteintes cognitives et les profils de lecture car il faudrait postuler une forte prévalence des doubles déficits dans la population dyslexique. Or, il peut paraître statistiquement moins probable de voir survenir un double déficit plutôt qu'un seul. En revanche, l'hypothèse qu'un trouble phonologique, un trouble de l'empan VA, ou un double déficit puissent rendre compte chacun indépendamment d'un profil de dyslexie mixte permettrait de rendre compte de cette prévalence de façon directe. C'est à cette hétérogénéité cognitive dans la dyslexie mixte que sera consacrée notre première étude (Etude I), incluant une analyse des erreurs qui, comme nous l'avons vu, pourrait permettre de mettre en évidence des indices qualitatifs du trouble cognitif sous-jacent. Puis dans une seconde étude, nous nous intéresserons à un cas de dyslexie phonologique ne présentant pas de trouble phonologique (Etude II).

Une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la population dyslexique pourrait permettre de mieux cibler les moyens d'interventions permettant de remédier au trouble (Heim et Grande, 2012 ; Heim et al., 2008; Pacheco et al., 2014). La validation de cette hypothèse constitue un des principaux objectifs de deux études que nous avons menées dans ce travail de thèse (Etude IV et Etude V). Dans cette perspective, une revue de la littérature concernant les méthodes de remédiation des dyslexies est proposée dans le chapitre suivant.

## Chapitre 2. REMEDIATION DES DYSLEXIES

Dans le premier chapitre de ce manuscrit, nous avons passé en revue de nombreuses théories cognitives explicatives de la dyslexie et les arguments en faveur de liens de causalité entre les déficits cognitifs et le trouble du développement de la lecture. Les études d'entraînement, qui constituent l'argument le plus solide en faveur du lien de causalité (cf. Chapitre 1.1.3), ont cependant été volontairement peu développées car nous allons nous y intéresser spécifiquement dans ce second chapitre. Mais outre les *implications théoriques* que peuvent avoir ces études, ce sont surtout leurs *implications cliniques* thérapeutiques qui représentent le plus grand enjeu. En effet, la dyslexie est une cause de handicap scolaire et social dans nos sociétés occidentales où le langage écrit est largement sollicité pour tout type d'activités (à l'école surtout mais aussi à l'âge adulte pour conduire, échanger des courriers, se servir d'un ordinateur...). Chez les enfants, elle est responsable de nombreux échecs scolaires dont les premières conséquences peuvent être d'ordre psychologique (Zorman, 2001), avec notamment une perte de l'estime de soi (Smith et Nagle, 1995), jusqu'à des troubles comportementaux et émotionnels envahissants, telle la dépression (Maughan, Rowe, Loeber et Stouthamer-Loeber, 2003; Sahoo, Biswas et Padhy, 2015; Willcutt et Pennington, 2000). La dyslexie est également un facteur de l'illettrisme, qui est responsable de difficultés d'insertion sociale et professionnelle (Delahaie, Billard, Calvet, Gillet, Tichet et al., 1998; Delahaie, Pointeau, Tichet et Vol, 2002). Michel Zorman écrivait en 2001 : « *En l'absence de toute prise en charge, sans soutien efficace, l'enfant dyslexique va évoluer inexorablement vers l'illettrisme et la précarité. Lutter contre l'illettrisme et la précarisation rend nécessaire la mise en place d'un repérage systématique et précoce et des aides spécifiques* » (Zorman, 2001, p.14). Cependant, pour développer des aides efficaces, il est nécessaire de bien comprendre le trouble que l'on souhaite traiter ; la théorie prend donc de nouveau ici toute son importance.

Nous allons dans ce chapitre nous intéresser aux méthodes de remédiation<sup>12</sup> de la dyslexie développées à la lumière des avancées théoriques que nous avons passées en revue dans le premier chapitre. Dans une première partie, nous traiterons des questions méthodologiques et de leurs implications en abordant les différents niveaux d'intervention qui sont concernés, les moyens de validation des effets d'une méthode de remédiation, et les modalités d'une méthode efficace qui découlent de la littérature scientifique. Puis dans une seconde partie, nous passerons en revue les études qui ont cherché à cibler les troubles cognitifs sous-jacents

---

<sup>12</sup> Le terme de 'remédiation' a été préféré aux termes 'rééducation' ou 'revalidation' car ces derniers évoquent davantage une volonté de rétablissement d'un état antérieur, ce qui n'a que peu de sens dans le contexte des troubles développementaux. De plus, ce terme permet de couvrir un large champ de méthodes, allant des méthodes d'entraînement aux techniques de compensation, toutes visant à **remédier** au trouble, terme défini comme le fait d' « *atténuer un mal physique ou le guérir* », ou « *combattre quelque chose de mauvais, supprimer un inconvénient* » (Remédier. (s.d.). Dans Dictionnaire Larousse en ligne. Repéré à <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/remedier/67984>)



supposés en cause, que nous déclinerons en deux grands ensembles : les méthodes ciblant les troubles phonologiques et auditifs, et les méthodes visuo-attentionnelles.

Cette revue ne se veut pas exhaustive : nous avons ciblé les méthodes ayant amené à des publications récentes, mais également les méthodes phares issues des grands courants théoriques que nous avons passés en revue dans le premier chapitre, ainsi que les études ayant tenu compte de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie.

## 1. Considérations théoriques et méthodologiques générales

---

De très nombreuses méthodes de remédiation de la dyslexie ont été développées, mais proportionnellement, peu reposent sur des appuis théoriques solides et peu ont fait l'objet d'une démarche de validation rigoureuse. Or face à ce développement croissant des méthodes, il est primordial de garder une posture critique et développer une réflexion éclairée quant aux tenants et aboutissants de ces méthodes (Lobier et Valdois, 2009). Nous nous intéresserons dans cette partie aux questions suivantes : quels sont les niveaux d'intervention possibles et leurs implications théoriques ? Quels sont les critères permettant de juger de l'efficacité d'une méthode ? Quelles sont les modalités recommandées pour qu'une méthode soit efficace ?

### 1.1. Les différents niveaux d'intervention

La dyslexie étant définie par des atteintes neurobiologiques, cognitives et comportementales (cf. Chapitre 1.1), les méthodes de remédiation peuvent intervenir à chacun de ces niveaux. Nous déclinerons ici les implications théoriques de chacun de ces niveaux et les différentes stratégies d'intervention correspondantes. Mais il est tout d'abord important de souligner que les études menées sur les moyens d'améliorer le langage écrit ne concernent pas toujours la population dyslexique en particulier, et relèvent aussi du domaine pédagogique. Nous ferons donc d'abord le point sur cette distinction et sur les apports de certaines études ayant évalué l'efficacité des interventions pédagogiques, puis nous nous intéresserons aux différents niveaux d'intervention auprès de la population dyslexique.

#### 1.1.1. Les interventions pédagogiques

La distinction entre les études portant sur l'évaluation d'entraînements s'adressant aux enfants tout-venant, ou même aux faibles lecteurs, et ceux s'adressant aux enfants dyslexiques est primordiale. En effet, les objectifs sont alors différents, puisque la population est de nature différente, et les réponses semblent d'ailleurs être différentes. Les interventions auprès des enfants tout-venant sont souvent proposées dans le cadre scolaire et sont ainsi souvent qualifiées d'interventions *pédagogiques*. Elles concernent pour beaucoup les méthodes d'apprentissage de la lecture, mais également la prise en charge des enfants en difficultés. Elles ont pour objectifs de prévenir les difficultés de lecture et d'orthographe et d'améliorer l'apprentissage du langage écrit. Dans les pays anglo-saxons, les troubles du langage écrit relèvent avant tout de réponses pédagogiques, et ainsi de nombreuses études incluent à la fois

et sans distinction des enfants faibles lecteurs et des enfants dyslexiques, ces deux groupes étant tous deux en difficultés, bien que pour des raisons différentes.

Parmi ces réponses pédagogiques, de nombreuses études se sont spécifiquement intéressées à l'importance des entraînements phonologiques et du décodage phonologique (entraînement des correspondances grapho-phonémiques), dont les effets sur les capacités de lecture ont été validés par des méta-analyses (Bus et van IJzendoorn, 1999; Ehri et al., 2001) voir aussi la méta-analyse de (Richardson et Lyytinen, 2014) sur la méthode GraphoGame). En particulier, la méta-analyse du National Reading Panel Report (Ehri et al., 2001) qui a porté sur 52 études scientifiques montre que les méthodes qui incluent un entraînement à la conscience phonologique améliorent les capacités de lecture significativement plus que celles qui ne l'incluent pas. Mais ces données montrent également que l'impact de ces entraînements est plus fort dans les populations à risque ou normales que chez les dyslexiques. Il a également été souligné que ce type d'entraînement phonologique n'est pas non plus suffisant (Bus et van IJzendoorn, 1999; Slavin, Lake, Chambers, Cheung et Davis).

L'observation d'une variation des effets en fonction du niveau de capacités des enfants a conduit à adapter les interventions en fonction des réponses des enfants aux interventions. C'est le principe du modèle RTI (Response to Intervention) qui permet de fournir des réponses pédagogiques différenciées en fonction des besoins, et a été appliqué dans de nombreuses écoles aux USA et en Angleterre, comme un outil d'intervention et de dépistage des enfants à besoins spécifiques (Fletcher et Vaughn, 2009; O'Connor, Bocian, Beach, Sanchez et Flynn, 2013). Ce modèle se décline en trois niveaux (trois tiers), et comprend la mise en place de programmes d'enseignements basés sur les connaissances scientifiques actuelles, le suivi des progrès au niveau de la classe et le dépistage des enfants en difficulté (Tiers1). Pour ces enfants, des interventions supplémentaires sont alors proposées (Tiers2), qui sont intensifiées, et incluent éventuellement une prise en charge spécialisée, si de nouveau les réponses sont insuffisantes (Tiers3) (Al Otaiba, Wagner et Miller, 2014; Justice, 2006). C'est ce type de modèle qui a conduit certains auteurs à définir les enfants dyslexiques sur la base de leur évolution, c'est-à-dire à considérer que les non-répondants au Tiers3 sont les enfants dyslexiques (Vellutino, Scanlon, Small et Fanuele, 2006); ce type de modèle permettrait de différencier les difficultés en lecture dues à un problème d'enseignement ou à d'autres facteurs environnementaux de celles dues à un véritable trouble d'apprentissage (Vellutino et al., 1996). Les programmes d'entraînement utilisés dans ces études sont largement axés sur le décodage phonologique (Torgesen, 2002; Vellutino et al., 2004) qui s'avère l'entraînement le plus efficace pour améliorer le langage écrit des enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture (Galuschka et al., 2014). Ainsi, ces études permettent d'attester du rôle clé des processus phonologiques dans le développement du langage écrit, mais, ne ciblant pas spécifiquement la population dyslexique, elles ne permettent pas de tirer de conclusions en termes de causalité concernant la dyslexie.

Bien que le modèle RTI soit critiquable (Elliott et Grigorenko, 2014), il permet de fournir des réponses précoces adaptées, sans attendre le diagnostic d'une dyslexie. En l'occurrence, les études montrent que grâce à ce type de modèle, la proportion d'enfant en difficultés peut passer de 30% environ (Tiers2) à environ 5% (Torgesen, 2002). Ces données suggèrent ainsi qu'une réponse pédagogique doit tout d'abord être proposée aux enfants en difficulté, qu'il est

nécessaire d'identifier. Puis un programme de remédiation, intégré à une démarche de soins, en général en orthophonie, doit être mis en place pour les enfants qui restent en difficulté malgré cette réponse pédagogique (Billard et Touzin, 2009). C'est à cette prise en charge spécifique des enfants dyslexiques que nous allons maintenant nous intéresser.

### 1.1.2. Les interventions auprès de la population dyslexique

Les interventions auprès de la population dyslexique peuvent se décliner en trois niveaux, correspondant aux trois niveaux d'atteintes que concerne la dyslexie : le niveau neurobiologique, le niveau cognitif sous-jacent, et le niveau comportemental, c'est-à-dire le traitement direct des symptômes, en l'occurrence le trouble de la lecture et de l'orthographe. Ces différents niveaux d'interventions nous permettent également de faire le parallèle ici avec les différents niveaux d'observations qui peuvent être adoptés pour étudier les effets d'une rééducation. Ils font partie d'un ensemble de critères qui devraient être considérés dans le choix de toute méthode de rééducation afin de mieux évaluer la crédibilité et le potentiel (Lobier et Valdois, 2009) (Tableau 1). Par exemple, une méthode entraînant les capacités de conscience phonologique chez les enfants dyslexiques doit améliorer la conscience phonologique elle-même, ce qui doit induire une amélioration du langage écrit, car c'est bien le but visé, et cela doit se traduire également par une modification du fonctionnement cérébral. Dans ce cas, tous les critères sont remplis pour suivre un raisonnement logique de causalité. Par ailleurs, nous verrons qu'à l'intérieur de chacun de ces niveaux peuvent correspondre différentes stratégies d'intervention : le 'rétablissement' de la fonction, la réorganisation fonctionnelle, liée également à l'exploitation des fonctions intactes (compensation), et l'aménagement des conditions d'exercices de la fonction (Seron et Van der Linden, 2000). Nous allons ici décrire chacun de ces niveaux, en précisant leurs implications théoriques et les stratégies qui y sont reliées.

**Tableau 1.** Présentation des niveaux d'expression du trouble dyslexique, des niveaux d'intervention possibles, des effets attendus de la remédiation, et des enjeux théoriques et cliniques associés. Adapté de (Lobier et Valdois, 2009).

	<b>Expression du trouble dyslexique</b>	<b>Intervention</b>	<b>Validation</b>	<b>Enjeux</b>
<b>Niveau neurobiologique</b>	Dysfonctionnement cérébral	Neurofeedback, TMS...	Modification des profils d'activation	Enjeu théorique (causalité) et clinique
<b>Niveau cognitif</b>	Dysfonctionnement cognitif	Entraînement des processus cognitifs distaux déficitaires	Amélioration des processus cognitifs	Enjeu théorique (causalité) et clinique
<b>Niveau comportemental</b>	Trouble du langage écrit	Entraînement au langage écrit (troubles proximaux) Adaptation	Amélioration de la précision et/ou de la vitesse de lecture et des capacités orthographiques	Enjeu clinique

### *a) Le niveau neurobiologique*

Deux grands domaines d'intérêt sont à distinguer au niveau neurobiologique concernant la remédiation de la dyslexie. Un premier domaine concerne les méthodes qui visent à remédier au trouble du langage écrit en agissant directement sur les zones cérébrales concernées. Il s'agit ici de mettre en place des méthodes permettant le 'rétablissement' de la fonction, et/ou induisant une réorganisation fonctionnelle (compensation), en se concentrant sur les phénomènes neurobiologiques sous-jacents au trouble. Dans le cas de la remédiation de la dyslexie, ce type d'approche peut regrouper les traitements médicamenteux et nutritifs (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007), mais également les techniques de neurofeedback et de stimulation magnétique transcranienne. En ce qui concerne les techniques de stimulation magnétiques transcranienne, Costanzo et collaborateurs (Costanzo, Menghini, Caltagirone, Oliveri et Vicari, 2013) publient en 2013 la première étude montrant une amélioration de la lecture chez des adultes dyslexiques consécutive à une stimulation magnétique transcranienne appliquée au niveau du lobule pariétal inférieur (IPL) et du gyrus temporal supérieur (STG), à droite et à gauche. Des effets différents ont été obtenus en fonction de la zone stimulée sur les listes de mots, de pseudo-mots et la lecture de textes. Les auteurs suggèrent des rôles différents de ces zones et des fonctions cognitives qui y sont reliées, en termes de déficits et de mécanismes de compensation. Mais aucun test n'a été proposé au niveau cognitif permettant d'approfondir les implications théoriques de ces résultats. D'autre part, seuls des effets transitoires sont ici étudiés. Une étude a été très récemment publiée par Heth et Lavidor (2015) montrant des effets à plus long terme. La stimulation était administrée sur cinq sessions et était appliquée dans cette étude sur la zone V5 du cortex visuel, composée d'une majorité d'entrée magnocellulaire. Les résultats ont montré un effet de la stimulation sur la lecture (principalement sur la vitesse), comparée à une stimulation simulée (placebo), effet qui se maintenait après une semaine. Les effets au niveau cognitif sous-jacent dans le cadre de la théorie magnocellulaire ont également été étudiés, et l'amélioration de la vitesse de dénomination de lettres et de chiffres, mais pas des capacités de recherche visuelle de symboles, a été interprétée par les auteurs comme la preuve d'une influence spécifique de V5 sur la vitesse de traitement orthographique en accord avec la théorie magnocellulaire. Des progrès restent à faire concernant notre compréhension de ces mécanismes et d'autres études doivent être réalisées pour confirmer l'efficacité à long terme d'une telle intervention. Mais comme discuté par certains auteurs (Krause et Cohen Kadosh, 2013; Vicario et Nitsche, 2013) ce type d'intervention offre des perspectives prometteuses, bien que la prudence soit de mise face à ce type de technique (Davis, 2014). Concernant les techniques de neurofeedback, dont l'action sur le fonctionnement cérébral est indirecte, puisque répondant simplement à un effet de conditionnement opérant, des études suggèrent un effet de ce type de technique sur les capacités de lecture (Nazari, Mosanezhad, Hashemi et Jahan, 2012; Walker et Norman, 2006) et de dictée (Breteler, Arns, Peters, Giepman et Verhoeven, 2010) des enfants dyslexiques. Les études dans ce domaine sont encore peu nombreuses.

Le second domaine d'intérêt d'une approche neurobiologique dans le cadre de la remédiation des dyslexies concerne l'investigation des conséquences neurobiologiques d'une intervention. Il s'agit ici de l'étude des phénomènes de plasticité cérébrale faisant suite à une intervention.

Ce type de données représente un critère de validation de l'efficacité d'un traitement et des implications théoriques sous-jacentes (Lobier et Valdois, 2009). De nombreuses recherches ont ainsi couplé des données comportementales avec des données neurofonctionnelles pour étudier les effets d'un entraînement à la lecture et/ou d'un entraînement cognitif, la plupart portant sur des entraînements de nature phonologique (pour une revue récente voir l'article de Pammer, 2014). Les études montrent pour la plupart que les améliorations des capacités de lecture sont couplées à une augmentation de l'activité cérébrale des régions typiquement sous-activées au niveau de l'hémisphère gauche pour les entraînements de nature phonologique. Les phénomènes de plasticité cérébrale hors intervention corroborent ces données : une 'réactivation' au niveau de l'hémisphère gauche est relevée, accompagnée également d'une modification de l'activité des régions de l'hémisphère droit, marqueur de phénomènes de compensation (Hoeft, McCandliss, Black, Gantman, Zakerani et al., 2011). Bien que des progrès aient été faits dans notre compréhension de ces phénomènes de plasticité et de leurs liens au niveau cognitif et comportemental, et bien que les études montrent l'existence d'une grande plasticité cérébrale à la suite de divers types d'interventions, « *la spécificité des changements au niveau cognitif et neuronal observés au cours du développement, soit du fait de mécanismes de compensation, soit sous l'effet de traitement, reste à déterminer* » (Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques, 2007, p.490). Le titre de l'article de Pammer en rend bien compte : « *Brain Mechanisms and Reading Remediation: More Questions Than Answers* » (Pammer, 2014).

#### **b) Le niveau cognitif sous-jacent distal**

Il s'agit ici de considérer les moyens d'interventions permettant de remédier à la dyslexie en agissant sur une ou des fonctions cognitives sous-jacentes supposées en cause. Celles-ci doivent être ciblées sur la base d'un cadre théorique précis et solide (Lobier et Valdois, 2009), tels ceux passés en revue dans le Chapitre 1.2 et Chapitre 1.3. Mais cette approche cognitive doit également tenir compte de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie, dont nous avons fait état dans le Chapitre 1.4. En effet, comme souligné par Lobier et Valdois, les méthodes de remédiation basées sur l'entraînement des fonctions cognitives sous-jacentes tiennent rarement compte de l'hétérogénéité de la population dyslexique et « *elles manquent souvent de préciser à quel sous-type d'enfants elles s'appliquent. Cette non prise en compte de l'hétérogénéité des troubles sous-jacents pourrait notamment expliquer pourquoi aucune méthode de traitement actuellement évaluée ne semble permettre à l'ensemble des sujets traités de progresser* ».

Ce sont principalement ce type d'études que nous passerons en revue dans la partie suivante de ce chapitre (Partie 2), parce qu'elles présentent deux grands intérêts. Tout d'abord elles ont une implication théorique importante en termes de causalité. En effet, comme noté dans le Chapitre 1.1.3.1, si un déficit a été identifié au temps 1 puis qu'un entraînement du mécanisme cognitif est proposé, et qu'au temps 2 (post-entraînement) on observe non seulement une amélioration du mécanisme cognitif ciblé, mais aussi et surtout une amélioration consécutive des capacités de lecture, alors il est plus que probable que cette amélioration en lecture soit due au lien de causalité qu'entretiennent le déficit cognitif et le trouble de la lecture. D'autre part, en visant le déficit cognitif sous-jacent supposé en cause dans le trouble du développement de la lecture, on peut théoriquement espérer une meilleure

généralisation des effets, comparé aux méthodes entraînant spécifiquement la lecture pour lesquelles les effets pourraient se limiter aux items entraînés. On cherche ici en effet à agir davantage sur la cause que sur les symptômes, ce qui pourrait également induire des effets à plus long terme.

Les stratégies de remédiation ici en jeu concernent le rétablissement des fonctions (de la fonction cognitive sous-jacente et du langage écrit), sans doute lié à une réorganisation fonctionnelle, mais peut également concerner l'exploitation des fonctions intactes. On peut en effet envisager qu'une rééducation cible une fonction cognitive sous-jacente, non pas en cause dans le trouble mais supposée liée à des mécanismes de compensation. C'est par exemple le cas des techniques d'imagerie mentale et les études menées dans ce domaine montrent des effets positifs de telles méthodes. Elles incluent en général directement le langage écrit, comme c'est le cas de la méthode visuo-sémantique (Valdois, De Partz, Seron et Hulin, 2003), ou du programme Seeing Stars (Bell, 1997) utilisé dans l'étude de Krafnick et collaborateurs (Krafnick, Flowers, Napoliello et Eden, 2011), qui inclut également un entraînement phonologique. La spécificité de l'effet des processus d'imagerie mentale ne peut donc être directement démontrée ici, mais elles apportent des pistes de remédiation intéressantes. Ces études, en intégrant directement du matériel écrit, relèvent cependant davantage du niveau d'intervention comportemental que nous détaillons ci-dessous.

### ***c) Le niveau comportemental, la lecture et l'orthographe***

Le dernier niveau d'intervention concerne les méthodes qui incluent directement un matériel écrit : les *entraînements au langage écrit*, qui relèvent de stratégies de 'rétablissement' de la fonction et agissent sur les processus cognitifs proximaux, et les *adaptations*, qui relèvent de stratégies d'aménagement des conditions d'exercices de la fonction et visent ainsi à rendre le trouble du langage écrit moins invalidant au quotidien. Nous décrivons ici ces deux types d'interventions.

*Les adaptations* sont tous les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour contourner le handicap, c'est-à-dire limiter ses répercussions sur la vie quotidienne. Dans le cas de la dyslexie, elles concernent donc en général le champ de la pédagogie, car c'est à l'école que les enfants sont le plus pénalisés par leur trouble, qui devient alors un réel handicap. Classiquement, elles relèvent d'aménagements des dispositifs d'enseignement, et peuvent viser soit certains paramètres de la situation (e.g. proposer des textes plus courts, ou laisser plus de temps de lecture), soit certaines dimensions des conduites à émettre (e.g. encourager la personne à demander de l'aide dès que nécessaire, par exemple la lecture par un tiers), soit à éviter la situation qui génère le handicap (e.g. proposer une interrogation orale des connaissances plutôt qu'une interrogation écrite) (Seron et Van der Linden, 2000). Les adaptations pédagogiques apparaissent indispensables (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007), en particulier devant la persistance du trouble (Prior, Smart, Sanson et Oberklaid, 1999; Shaywitz, Fletcher, Holahan, Shneider, Marchione et al., 1999). Mais « *cette "pédagogie du contournement" n'est pas signe que l'on baisse les bras face au problème, bien au contraire. Elle est le moyen donné à l'enfant d'acquiescer tout ce qu'il est capable d'acquiescer, malgré son handicap face à la lecture. Comme on ne demande pas à un enfant en fauteuil roulant de gravir les marches de l'escalier pour*

*entrer à l'école, on ne peut pas demander à un enfant dyslexique de tout acquérir par le biais de la lecture. Face à une pédagogie adaptée à son handicap, l'enfant pourra conserver sa motivation, son goût d'apprendre, son estime de lui-même, sans lesquels l'apprentissage ne peut se faire* » (Bosse, 2004, p.250). Les adaptations peuvent concerner d'autres champs de la vie quotidienne, telles les activités culturelles et de loisirs. Par exemple, l'utilisation de livres en version audio, pour les enfants comme pour les adultes dyslexiques, peut être un moyen d'accéder à une culture littéraire en contournant le trouble du langage écrit. Les adaptations visuelles, qui visent à une meilleure lisibilité, concernent également un champ plus large que la pédagogie, et seront développées dans la Partie 2.2.3.

Les méthodes d'*entraînements au langage écrit* sont les méthodes d'intervention les plus utilisées en tant que stratégie de soins de la dyslexie, mais également dans une approche pédagogique plus large comme évoquée ci-dessus (Partie 1.1.1). En effet, ce type de méthode qui inclut directement un matériel écrit s'avère plus efficace que les méthodes ciblées uniquement sur les fonctions cognitives sous-jacentes. Plusieurs méta-analyses montrent ainsi que les entraînements phonologiques sont plus efficaces quand ils sont associés à un matériel écrit, c'est-à-dire quand le lien avec les lettres est également entraîné (Bus et van IJzendoorn, 1999; Ehri et al., 2001). Une étude a également montré que ceci est particulièrement valable pour les enfants à risque de dyslexie (Hatcher, Hulme et Snowling, 2004). D'après la méta-analyse de Galushka et collaborateurs (2014) les entraînements qui incluent une 'instruction phonique', c'est-à-dire un enseignement systématique des correspondances graphèmes-phonèmes et des stratégies de décodage à travers des activités de lecture et d'écriture, seraient même les seuls entraînements dont l'efficacité auprès d'enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture est statistiquement confirmée. Des études ont été menées auprès d'enfants dyslexiques dans le cadre du modèle double-voie de la lecture, visant à améliorer le fonctionnement de la voie sub-lexicale en entraînant les conversions graphèmes-phonèmes, c'est-à-dire le décodage phonologique, et/ou à améliorer la voie lexicale en renforçant les connaissances orthographiques. Dans une étude récente, McArthur et collaborateurs (McArthur, Castles, Kohnen, Larsen, Jones et al., 2013) ont proposé ces deux types d'entraînement à 104 enfants dyslexiques. L'entraînement lexical reposait sur des listes de mots irréguliers, que l'enfant devait écrire et les mots mal orthographiés étaient corrigés puis travaillés dans des exercices avec réponses en choix multiples. Une progression de la difficulté à mesure des séances et en fonction des réussites de l'enfant était intégrée. L'entraînement phonique incluait divers exercices d'association entre support verbal et support visuel (e.g. associer deux lettres pour créer une syllabe), avec une progression de la lettre, à la syllabe, au mot et jusqu'à la phrase, mais n'utilisait que des mots réguliers. Chaque entraînement était proposé 30 minutes/jours, cinq jours par semaine pendant huit semaines. Les résultats ont montré comme attendu des effets différents selon les types de mots évalués : l'entraînement phonique amenait à une meilleure progression en lecture de non-mots que l'entraînement lexical, qui lui à l'inverse amenait à une meilleure lecture de mots irréguliers nouveaux. L'entraînement mixte faisait progresser la lecture sur tous les types de mots. De plus, lorsque l'entraînement phonique était proposé avant l'entraînement lexical, les effets sur la lecture étaient plus importants que lorsque l'ordre inverse était proposé (voir aussi l'étude de répliquabilité de (McArthur, Kohnen, Jones, Eve, Banales et al., 2015). Cet effet de l'ordre des interventions paraît compatible avec l'hypothèse de Share qui suggère un développement

conjoint des deux voies de lecture basé sur les capacités de recodage phonologique (Share, 1995). Une étude réalisée en 2010 par Morris et collaborateurs (Morris, Lovett, Wolf, Sevcik, Steinbach et al., 2012) compare les effets de différents programmes d'entraînement à la lecture, notamment un entraînement au décodage phonologique, couplé à d'autres types d'entraînements plus lexicaux ou à des entraînements non liés au langage écrit utilisés comme contrôle, proposés une heure par jour pendant 70 jours. Les résultats montrent que les programmes associant l'entraînement au décodage phonologique à un autre type d'entraînement sont les plus efficaces, sans effet de facteurs tels que le niveau socio-culturel ou le QI. Des effets différents sont obtenus sur les capacités d'identification des mots en termes de précision et vitesse, ou encore sur les tests de compréhension écrite ou de vocabulaire, en fonction des programmes proposés. Mais les évaluations réalisées un an après montrent que ces différences ne sont présentes qu'à court terme et les effets à long terme deviennent alors similaires. Une autre étude suggère également que la combinaison des deux types d'intervention, phonologique sub-lexicale (considérée comme relevant de processus bottom-up) et lexicale (considérée comme relevant de processus top-down), proposés en alternance d'une session à l'autre, est plus efficace que lorsqu'un seul type d'intervention est proposé (Gustafson, Falth, Svensson, Tjus et Heimann, 2011). Dans ces études cependant, les participants ne sont pas strictement dyslexiques, quasiment tous les faibles lecteurs étant inclus, et l'hétérogénéité de la population n'est pas prise en compte.

Des études de cas ont été menées sur des profils particuliers de dyslexie, dyslexies phonologiques ou dyslexies de surface, amenant à des effets spécifiques en fonction de la stratégie de lecture visée, lexicale pour les dyslexies de surface (Broom et Doctor, 1995b; Brunson et al., 2005) ou sub-lexicale pour les dyslexies phonologiques (Broom et Doctor, 1995a). Rowse et Wilshire (Rowse et Wilshire, 2007) se sont intéressés à deux cas de dyslexie. WB présente une dyslexie phonologique et NS une dyslexie de surface. Deux méthodes d'intervention ont été proposées : une méthode visant la procédure sub-lexicale à travers une exposition répétée à des mots incluant les mêmes correspondances graphème-phonème, et une méthode visant la procédure lexicale par des exercices d'analyse de la forme visuelle globale des mots. Une amélioration de la lecture de pseudo-mots a été mise en évidence chez WS à la suite de la méthode sub-lexicale seulement, et NS a montré des progrès à la suite des deux méthodes sur tous les types de mots, sans différence significative entre les deux méthodes. Une étude de groupe a été réalisée auprès de dyslexiques de surface, à qui un entraînement lexical a été proposé, grâce à un protocole de présentation rapide de mots (Judica, Luca, Spinelli et Zoccolotti, 2002). Le traitement s'avère efficace comparé à un groupe contrôle non entraîné, mais les gains sont similaires sur les mots et non-mots et l'effet de longueur des mots, caractéristique d'une procédure de traitement sub-lexical, reste présent. Les données suggèrent que c'est la vitesse de traitement visuel de l'information qui s'améliore mais la stratégie de lecture semble rester la même.

Ces études tiennent compte de l'hétérogénéité des profils de dyslexie dans le choix des méthodes de remédiation du trouble, mais nous notons que les résultats ne sont pas toujours cohérents avec les processus ciblés, sans doute du fait de l'intrication des deux voies de lecture dans le développement, et de la complexité des liens entre les profils en lecture et les atteintes cognitives proximales et distales. De plus, ces méthodes cherchent à remédier



directement au trouble visible sur le plan comportemental en lecture (un trouble lexical ou sub-lexical) sans s'intéresser à la déficience cognitive qui pourrait en être la cause. Certaines études ont tenté de tenir compte de l'hétérogénéité cognitive en proposant des entraînements à la lecture ciblant des profils de troubles cognitifs distaux particuliers. Par exemple, dans le cadre de l'hypothèse du Double Déficit, Lovett et collaborateurs (Lovett, Steinbach et Frijters, 2000) se sont intéressés à l'effet de deux types de programmes, un programme d'entraînement au décodage phonologique, et un programme d'entraînement à l'identification de mots, auprès d'un groupe dyslexique déficitaire en RAN (sans trouble phonologique) et un groupe dyslexique déficitaire en phonologie (sans déficit en RAN). Les résultats ne montrent pas de différence entre les groupes en fonction de l'entraînement réalisé contrairement aux hypothèses proposées par les auteurs. Ces derniers suggèrent que tous les participants ont bénéficié des deux programmes car tous les groupes présentent un déficit d'identification des mots (que cible un des programmes) ; et bien que le groupe RAN ne présente pas strictement de déficit phonologique, il présente des difficultés de lecture de pseudo-mots suggérant que les capacités de décodage phonologique peuvent être améliorées. Ainsi, la prise en compte de l'hétérogénéité de la population dyslexique n'est pas apparue ici pertinente, mais il semble que la classification utilisée ne cible pas de façon précise le déficit cognitif sous-jacent, et celui-ci, quoi qu'il en soit, n'est pas spécifiquement visé par le programme d'entraînement.

## 1.2. Modalités de traitement, les grandes lignes

Quelle doit être la durée d'un programme de remédiation ? Quelle est la fréquence optimale des séances de remédiation ? Quelle doit être la nature du matériel ? Ces questions relatives aux modalités d'un programme de remédiation sont essentielles et doivent être précisément décrites dans toute étude de validation, afin d'en assurer la reproductibilité. Il est certain qu'on ne peut répondre à chacune de ces questions de façon générale, les modalités optimales d'un traitement étant sans aucun doute spécifiques à chaque traitement et soumises à des variations individuelles, notamment en fonction de la sévérité et de la nature de la dyslexie. Mais nous allons ici tenter de faire le point sur les modalités générales de traitement qui semblent permettre l'efficacité de ce dernier.

Tout d'abord, nous avons vu ci-dessus que lorsque du matériel écrit est directement inclus dans le programme de remédiation, les résultats sont meilleurs que lorsque le programme n'inclut pas de matériel écrit. Il est également nécessaire que le programme soit intensif (Billard et Touzin, 2009), de l'ordre de quatre à cinq séances par semaine, et « moyennant cette intensité, de bons résultats peuvent être obtenus sur des durées de rééducation relativement courtes (de l'ordre de six semaines) » (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007). Dans le bilan d'expertise scientifique de l'INSERM il est également souligné que l'apprentissage doit être explicite et répétitif, et être réalisé en petit groupe ou de façon individuelle, avec des renforcements positifs. Ces conclusions ne sont cependant pas spécifiquement issues d'études portant sur des enfants dyslexiques, mais sur des enfants mauvais lecteurs, en général dans le cadre d'interventions pédagogiques. Ces données s'appuient notamment en partie sur les conclusions de la méta-analyse de Ehri et collaborateurs (Ehri et al., 2001). Cette méta-analyse montre également que les effets sont plus importants lorsque les protocoles expérimentaux sont rigoureux. D'autre part, il est

souligné par Billard et Touzin (Billard et Touzin, 2009) que la progression de l'enfant au sein d'un programme de remédiation doit être établie sur la base de ses connaissances. Nous ajoutons qu'une prise en compte de cette progression à mesure du programme peut sans doute renforcer son efficacité.

L'utilisation d'un programme informatisé permet de répondre à cette demande, de façon bien plus stricte et directe que dans le cas d'une intervention humaine, qui pourrait interférer dans le rythme de progression (Regtvoort et van der Leij, 2007). Un programme informatisé peut permettre en effet d'adapter en temps réel les tâches proposées au niveau de compétences de l'enfant, en fonction de son âge, de la sévérité du trouble et de sa progression (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007). Il permet également ainsi un meilleur suivi de la progression de l'enfant, par un enregistrement en temps réel des performances. De plus, l'utilisation d'un logiciel permet également d'intensifier le programme en proposant des exercices quotidiens, réalisés de façon relativement autonome à la maison. D'autre part, les programmes informatisés permettent de fournir un matériel attractif, à travers les animations et les feedback immédiats qui peuvent être fournis (Falth, Gustafson, Tjus, Heimann et Svensson, 2013) et prendre la forme d'un jeu. Enfin, l'utilisation d'un programme informatisé présente également des avantages techniques indéniables : les paramètres des stimuli, qu'ils soient auditifs ou visuels, peuvent être parfaitement maîtrisés. En somme, proposer une rééducation sous forme de logiciel plutôt que sous forme papier présente des avantages à plusieurs niveaux : concernant la motivation des enfants, le suivi de la progression, les paramètres de présentation des stimuli... Ainsi, il a été montré que l'utilisation d'un programme d'entraînement informatique chez des enfants à risque de retard de lecture donne de meilleurs résultats que l'utilisation du même type d'entraînement sur base papier (Mioduser, Tur-Kaspa et Leitner, 2000; Saine, Lerkkanen, Ahonen, Tolvanen et Lyytinen, 2011) et cet outil a depuis longtemps déjà été envisagé comme un outil tout à fait pertinent (Torgesen et Barker, 1995).

### 1.3. La démarche de validation de l'efficacité

Les études de remédiation des dyslexies, quel que soit leur niveau d'intervention, neurobiologique, cognitif, ou comportemental, doivent apporter la preuve de l'efficacité du programme proposé. Comment établir l'efficacité d'une intervention ? La première étape est bien sûr de montrer qu'un changement est présent après l'intervention, c'est-à-dire que celle-ci a eu un effet, et si possible que cet effet soit démontré à chacun des niveaux décrits ci-dessus, neurobiologique, cognitif et comportemental (Lobier et Valdois, 2009). Mais bien sûr cela ne peut être tenu pour preuve de l'efficacité. Il faut en effet démontrer que le changement ne se serait pas produit sans l'intervention. Ceci implique de contrôler l'effet d'une évolution spontanée qui, en particulier chez les enfants, pourra être liée aux effets de maturation naturelle, c'est-à-dire au développement normal de l'enfant. Cette démonstration concerne également le contrôle d'éventuels effets test-retest, qui a été mis en évidence pour une grande variété de tests dans le domaine du langage écrit (McArthur, 2007). Ces derniers peuvent également être contrôlés en utilisant avant et après le traitement des tâches en tout point semblables sur les dimensions jugées pertinentes mais composées d'items différents, ce qui permettra de s'assurer de la généralisation des progrès. Il faut également montrer que ce

changement n'aurait pas eu lieu sans cette intervention en particulier, c'est-à-dire éliminer un effet placebo ou effet Hawthorne, et établir ainsi la spécificité de l'effet de l'intervention. Les placebos sont utilisés pour créer des essais cliniques 'en aveugle' dans lesquels les participants ne savent pas s'ils reçoivent le traitement actif ou non, afin que les effets puissent être mesurés indépendamment des attentes des participants ; l'effet placebo fait donc référence à l'effet que pourrait créer la croyance d'une personne quant à l'efficacité d'une intervention (Draper, 2000). L'effet Hawthorne fait généralement référence aux effets qui résultent de la conscience qu'ont les participants d'être le sujet d'une expérience<sup>13</sup> (Draper, 2000). Par ailleurs, la mise en évidence d'un changement à la suite d'une intervention peut se trouver contrainte par des limites temporelles. En effet, le changement pourra être 'visible' plus ou moins immédiatement à la suite de l'intervention, c'est-à-dire qu'un changement peut survenir directement à la suite de l'intervention, ou n'apparaître que plus tard si l'intervention s'intègre dans un processus développemental plus global (Jucla, 2010). Une autre limite temporelle a trait à la durabilité du changement. La persistance à long terme des bénéfices de l'intervention est en effet un critère supplémentaire en faveur de l'efficacité d'une intervention (Lobier et Valdois, 2009).

Des paradigmes inter-groupes, intra-groupes et des paradigmes individuels peuvent être mis en place (Seron, 2000), permettant le contrôle des différents effets que nous venons d'évoquer. Le paradigme le plus robuste est le paradigme inter-groupe. Il implique la comparaison de deux groupes, le groupe expérimental et un groupe témoin qui pourra soit bénéficier d'un traitement pour lequel des effets différents sont attendus par rapport à l'intervention proposée au groupe expérimental, soit ne bénéficier d'aucun traitement. Dans le cas où le groupe témoin ne bénéficie d'aucun traitement, seul l'effet de l'évolution spontanée, due au temps écoulé, et les effets test-retest pourront être contrôlés. Pour contrôler les effets placebo et Hawthorne qui peuvent induire des résultats positifs sans aucun lien avec le traitement présumé, le groupe témoin doit recevoir un traitement 'contrôle' de durée et d'intensité comparable, et c'est la différence des effets de l'intervention entre ces deux groupes qui attestera de l'effet spécifique de l'intervention évaluée. De plus, pour éviter un biais d'échantillonnage, la répartition entre les groupes, expérimentaux et témoins, doit être aléatoire, et les sujets et expérimentateurs ne doivent pas être informés de leur groupe d'appartenance. Cette procédure d'essais cliniques contrôlés randomisés en double aveugle est classiquement adoptée dans le domaine médical. Mais beaucoup d'essais cliniques de

---

<sup>13</sup> Cet effet a pour la première fois été décrit par Elton Mayo, suite à une série d'études sur la productivité d'ouvriers dans lesquelles étaient manipulées diverses conditions (salaires, éclairage, temps de pause...) mais chaque changement entraînait une hausse de la productivité, même lors d'un retour aux conditions initiales de travail. Les variables manipulées ne semblaient donc pas en cause et selon Mayo, c'est donc le sentiment d'être étudié qui restait constant et pouvait donc être interprété comme à l'origine des effets observés (Draper, 2000). L'effet Hawthorne se rapproche donc de l'effet placebo, car tous deux sont des effets psychologiques provoqués par les participants et non par l'intervention. Mais l'effet placebo dépend de la perception qu'ont les participants de bénéficier d'une intervention efficace, tandis que l'effet Hawthorne ne reposerait que sur le fait de participer à une étude, c'est-à-dire le fait d'être l'objet d'une attention particulière (Draper, 2000).

traitements de la dyslexie ne respectent pas totalement cette procédure (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007), difficile à mettre en place dans la mesure où les expérimentateurs sont souvent conscient du contexte théorique leur permettant de déduire quelle intervention est jugée efficace. De plus, ces procédures soulèvent des questions sur le plan éthique, puisqu'il peut être jugé comme injuste de permettre à certains de bénéficier d'une intervention supposée efficace et pas à d'autres, ceux qui constitueront le groupe témoin. Pour pallier à ce problème, on propose en général le traitement expérimental au groupe témoin dans un second temps. Les paradigmes intra-groupes et les évaluations individuelles se basent quant à eux principalement sur une évaluation de l'évolution temporelle des effets. On peut par exemple citer le paradigme temporel avec suspension sélective, qui postule que si un traitement est proposé à un temps  $t$ , alors un effet doit être observé au temps  $t+1$  mais non au temps  $t+2$  si le traitement a été arrêté ; les conclusions sur l'effet spécifique du traitement seront d'autant plus robustes si l'amélioration est de nouveau visible lorsque le traitement est repris, c'est le paradigme ABA (Seron, 2000). Mais cela suppose que des effets à long terme ne soient pas attendus, or ce sont bien des améliorations durables qui sont en général visées. De plus des effets Hawthorne négatif peuvent induire une suspension de l'efficacité, le patient n'étant plus l'objet d'attention (Seron, 2000). Une ligne de base pré-traitement apparaît donc plus adéquate, mais nécessite, comme les paradigmes précédents, une stabilité temporelle de l'évolution.

Il est également important d'évoquer ici que ces paradigmes inter- et intra-groupes sont soumis à des problèmes d'hétérogénéité des groupes. Au niveau inter-groupes, il est bien sûr primordial que le degré de sévérité du trouble soit équivalent mais de plus, aux niveaux inter- et intra-groupes, d'autres facteurs cognitifs seront responsables d'une variabilité interindividuelle des effets, facteurs qui doivent pouvoir être théorisés en amont. Ceci permettra de préciser pour la reproductibilité des effets quels sont les patients qui peuvent bénéficier de l'intervention et quels sont ceux qui n'en bénéficieront pas ou peu.

Dans cette première partie du chapitre consacré à la remédiation des dyslexies, nous avons vu que les interventions peuvent se décliner à plusieurs niveaux, du niveau neurobiologique jusqu'au niveau comportemental, c'est-à-dire à un niveau cognitif proximal, en ciblant directement l'activité de lecture ou de transcription. Bien que ces interventions ciblant directement le langage écrit puissent apparaître en général plus efficaces, le déficit proximal étant directement ciblé, ce sont les interventions ciblées sur le déficit cognitif distal qui nous intéressent plus spécifiquement dans ce travail de thèse. En effet, ces interventions, dès lors qu'aucun matériel écrit n'est inclus, présentent un grand intérêt sur le plan théorique pour la validation de relations de causalité, un enjeu majeur pour toutes les théories explicatives que nous avons passées en revue dans le Chapitre 1. En effet, si en entraînant le processus cognitif déficitaire supposé en cause, une amélioration du processus et une amélioration consécutive des capacités de langage écrit sont constatées, alors nous pouvons supposer que cette amélioration du langage écrit est due à un lien de causalité entre le déficit cognitif et le trouble du langage écrit. Néanmoins, certaines modalités de traitement doivent être prises en compte pour espérer une efficacité sur les capacités de traitement du langage écrit. En effet, nous avons vu qu'un programme d'entraînement doit être intensif (quatre à cinq séances par

semaine), ce qui permet des améliorations sur des périodes relativement courtes (de l'ordre de six semaines). L'utilisation de programmes informatisés présente de nombreux avantages, facilitant cette contrainte d'intensité (l'entraînement peut être réalisé à la maison, en relative autonomie), et permettant une adaptation directe des exercices en fonction des performances de l'enfant et de ses progrès.

D'autre part, afin de valider l'efficacité d'un programme d'entraînement, il faut pouvoir démontrer qu'un changement a eu lieu après l'intervention, et que ce changement est bien lié à l'intervention elle-même. Le paradigme inter-groupes, avec comparaison d'un groupe expérimental avec un groupe contrôle à qui est proposée une intervention pour laquelle ne sont pas attendus les mêmes effets (programme contrôle), paraît être le paradigme le plus robuste. En effet, il permet ainsi de contrôler les effets de maturation, des effets test-retest, et des effets placebo, qui ne sont pas contrôlés dans le cas d'un groupe contrôle qui ne bénéficierait d'aucune intervention. Une évaluation du langage écrit sur des items différents mais en tout point semblables sur certains aspects permettra également de s'assurer d'une généralisation des progrès. Une inversion des sujets entre le groupe contrôle et le groupe expérimental permet de proposer un protocole éthique, où tous les sujets bénéficient du programme jugé le plus efficace, et permet d'en étudier les effets à plus long terme. Enfin, l'hétérogénéité de la population doit être prise en compte, et théorisée en amont, afin de pouvoir préciser pour la reproductibilité des effets quels sont les patients qui peuvent bénéficier de l'intervention et quels sont ceux qui n'en bénéficieront pas ou peu. Nous avons tenu compte de l'ensemble de ces données pour l'étude de remédiation que nous avons menées (Etude IV), et la question de l'hétérogénéité de la population dyslexique et de son implication en termes de remédiation est au cœur de ce travail de thèse.

Dans la partie suivante de ce chapitre, nous allons donc nous intéresser aux études ayant eu pour objectifs de tester l'efficacité de méthodes de remédiations ciblant les déficits cognitifs distaux défendus par certaines théories explicatives que nous avons abordées dans le premier chapitre. Dans la perspective d'hétérogénéité causale que nous soutenons dans ce travail, et au vu des théories explicatives que nous avons plus particulièrement ciblées, la théorie d'une perception catégorielle allophonique et la théorie d'un trouble de l'empan VA, nous nous concentrerons sur deux grands champs théoriques : les méthodes qui relèvent de la modalité phonologique et auditive, et les méthodes ciblant les processus d'attention visuelle.

## 2. Les méthodes de remédiations cognitives

---

Après ces considérations théoriques et méthodologiques, nous allons dans cette partie nous intéresser aux méthodes de remédiations cognitives des troubles sous-jacents, c'est-à-dire des méthodes ciblant spécifiquement les processus cognitifs que nous avons identifiés dans le Chapitre 1 comme ayant un probable rôle causal. Nous passerons d'abord en revue des méthodes ciblant des processus auditivo-phonologiques, et en particulier les capacités de discrimination phonémique, puis les méthodes intervenant sur la modalité visuelle, principalement dans le domaine de l'attention visuelle. Nous évoquerons également des méthodes d'adaptations tenant compte des processus de traitement visuel.

Nous ciblerons autant que possible dans cette partie les études portant sur des enfants dyslexiques. Cependant, nous avons constaté que certaines études portent sur des enfants ‘en difficulté’ d’apprentissage de la lecture, sans que le diagnostic de dyslexie ne soit clairement précisé. Nous nous intéresserons donc également à ce type d’étude qui peut potentiellement inclure des sujets dyslexiques.

## 2.1. Les méthodes phonologiques et auditives

Comme nous l’avons déjà évoqué précédemment (cf. Partie 1.1.1) les interventions pédagogiques incluant un entraînement phonologique s’avèrent efficaces auprès des enfants en difficultés d’apprentissage de la lecture. Nous allons ici passer en revue des méthodes principalement basées sur un entraînement des processus phonologiques et auditifs ; nous verrons que la plupart incluent un matériel écrit, ce qui ne nous permettra pas dans ce cas de conclure quant à la spécificité causale du ou des processus sur la dyslexie. Mais cette revue nous permettra d’explorer les méthodes dites ‘phonologiques’ les plus courantes, leur efficacité, et leurs effets sur certains processus cognitifs. Nous verrons également que certaines études incluent des entraînements plus ‘pures’ qui paraissent efficaces, nous permettant de discuter de la causalité.

### 2.1.1. Les méthodes centrées sur la conscience phonologique

Dans l’étude de Torgesen et collaborateurs (Torgesen, Alexander, Wagner, Rashotte, Voeller et al., 2001), deux programmes appariés en termes de durée (8 semaines) et d’intensité (2 sessions de 50 min par jour) mais différant quant à l’implication d’un entraînement de la conscience phonologique ont été proposés à un groupe d’enfants présentant un trouble du développement de la lecture et un déficit de conscience phonologique. Le programme Lindamood (Lindamood Phoneme Sequencing®) est considéré comme l’entraînement le plus ‘phonologique’. Le premier objectif de ce programme est d’améliorer les capacités de discrimination des phonèmes les plus communs en anglais. Cet objectif est visé à travers une instruction des mouvements articulatoires spécifiques à chaque phonème et l’apprentissage des associations entre le phonème et l’image d’une bouche prononçant le phonème. Les phonèmes sont présentés par paires, les paires étant constituées de deux phonèmes proches, différant uniquement sur le voisement (e.g. /t/ et /d/). Le second objectif est que l’enfant utilise ces connaissances pour traiter des séquences de phonèmes, représentées par des séries de photos de formes de bouche ou de blocs de couleurs. Puis des lettres sont introduites en lieu et place des images de bouche et des blocs de couleurs. Les enfants apprennent ensuite à encoder puis décoder des syllabes, au travers de séries de mots ou de pseudo-mots variant sur un seul phonème. Tous les phonèmes de la langue sont ainsi progressivement introduits. En parallèle, des listes de mots irréguliers sont proposées ; les mots doivent être lus en appliquant les règles de conversion graphème-phonème apprises, puis les enfants doivent repérer la partie irrégulière de la séquence. Des lectures de textes sont également proposées. Au total, 10% du temps du programme est consacré à un entraînement à l’identification visuelle de mot (« sight word practice »). Dans le second programme étudié, Embedded Phonics, l’entraînement est davantage axé sur le développement du langage écrit lui-même, c’est-à-dire sur

l'identification et la transcription de mots et de phrases (50% du temps est consacré à la lecture ou la transcription dans un contexte écrit signifiant), bien qu'une phase du programme soit orientée également sur le décodage phonologique. La 1ère session comprend de la lecture et transcription de mots, avec présentation répétitive pour entraîner l'identification. Puis un entraînement au décodage phonologique est proposé à travers une instruction des règles de conversion graphème-phonème et de certains patterns phonétiques. Puis des activités de lecture de textes sont proposées avec, en fonction du type d'erreur, un feedback donné sur les erreurs, soit de nature phonologique, soit en faisant appel au sens du texte. La 2ème session contient des exercices sensiblement similaires à ceux de la première session, mais également des exercices de transcription de phrases que l'enfant doit élaborer à partir des listes de mots travaillés au cours de la session. Les résultats montrent que ces deux programmes ont des effets similaires sur la conscience phonologique (mais pas la dénomination rapide), et sur la précision en lecture, lorsque comparés à une ligne de base antérieure, et ces effets sont stables deux ans après l'intervention. Il n'y a pas non plus d'effet des capacités initiales phonologiques. Ainsi, cette étude suggère qu'un entraînement plus axé sur le développement de la conscience phonologique s'avère aussi efficace qu'un programme directement centré sur le langage écrit, et que l'hétérogénéité cognitive (niveau phonologique initial) de la population n'a pas d'influence. L'étude d'Eden et collaborateurs (Eden, Jones, Cappell, Gareau, Wood et al., 2004) montre cependant que suite au programme Lindamood, les neuf dyslexiques ayant suivi le programme 'réactivent' les régions périsylvienne gauche atteintes, associé à une augmentation de l'activité de la même région controlatérale (à droite) et des régions pariétales bilatérale qui pourrait suggérer le développement de mécanismes de compensations. Une réactivation du gyrus temporal supérieur gauche a également été mise en évidence (Simos, Fletcher, Bergman, Breier, Foorman et al., 2002) suite au programme Lindamood ou au programme Phono-graphix® entraînant lui aussi le décodage phonologique grâce à trois niveaux d'instruction : le code basique (correspondance graphème-phonème 1:1), le code avancé (correspondance 1:2 et 2:1), et la gestion multi-syllabique (travail de la combinatoire sur des mots de deux à cinq syllabes). Les huit enfants dyslexiques ici inclus présentent tous en amont un trouble phonologique. Il a été montré par la suite que le programme Phono-graphix® permettrait d'améliorer la conscience phonologique et les effets sur les capacités de langage écrit ont été confirmés (Endress, Weston, Marchand-Martella, Martella et Simmons, 2007; Wright et Mullan, 2006). Ainsi, on pourrait supposer que ces entraînements axés sur la conscience phonologique permettent d'améliorer cette dernière, chez les enfants présentant un déficit dans ce domaine (Simos et al., 2002; Torgesen et al., 2001), ce qui entraîne une réorganisation neurofonctionnelle et une amélioration de la lecture consécutive. Mais puisque tous ces entraînements incluent également un matériel écrit, et que des effets similaires ont été observés entre un entraînement plus axé sur la conscience phonologique et un qui l'est moins, il est également possible que les effets soient liés à une amélioration directe des processus de lecture, qui induit une amélioration de la conscience phonologique, perceptible également au niveau neuronal mais simplement due à l'amélioration du niveau de lecture.

Dans l'étude de Joly-Pottuz et collaborateurs (Joly-Pottuz, Mercier, Leynaud et Habib, 2008), un entraînement à la conscience phonologique sans aucun matériel écrit a été proposé à un groupe d'enfants dyslexiques pendant trois semaines, 15 à 25 minutes par jour. Mais aucun

effet n'a été mis en évidence, ni en lecture, ni même en conscience phonologique. C'est seulement lorsque l'entraînement est combiné à un entraînement articulatoire que des effets sont visibles en conscience phonologique ; les effets sont cependant significatifs en production de la parole (répétition), et concernant la lecture de mots les effets sont visibles après six semaines d'entraînements combinés, sans que l'on puisse distinguer les effets dus à la combinaison des entraînements de ceux liés au temps, un temps qui serait peut être nécessaire pour assurer un transfert en lecture. Les auteurs suggèrent que puisque les deux types d'entraînements nécessitent l'accès aux représentations phonologiques, en particulier au niveau des phonèmes, il est possible que les effets soient dus à une amélioration des représentations phonémiques et/ou de leur accès. Le même raisonnement peut être appliqué concernant le rôle des capacités de perception catégorielle des phonèmes qui ont pu être entraînées à travers ces deux méthodes. Enfin, du fait du caractère prédictif des performances dans une tâche motrice de tapping sur l'efficacité des entraînements, les auteurs suggèrent également le rôle de processus auditifs non spécifiques à la parole. Ces composantes peuvent chacune être liées entre elles et on ne peut ici les distinguer. Nous allons nous intéresser plus spécifiquement à certaines de ces composantes ci-dessous.

### **2.1.2. Les méthodes centrées sur le traitement auditif temporel**

Un des programmes d'entraînement au traitement auditif temporel le plus étudié est le programme Fast ForWord®. Ce programme informatisé a été étudié dans le contexte de l'hypothèse développée par Tallal d'un déficit de perception auditive de bas niveau lié au traitement auditif rapide chez les enfants dyslexiques, qui affecterait les capacités phonologiques nécessaires à l'apprentissage de la lecture (cf. Chapitre 1.2.3.1). Le programme a donc pour objectif d'améliorer le traitement auditif rapide des personnes dyslexiques, grâce à plusieurs types d'entraînement : un entraînement à la discrimination de séquences temporelles de sons, et d'autres types d'exercices de conscience phonologique et de compréhension orale utilisant des sons de parole modifiée. Dans ces exercices, les transitions rapides de fréquences et les sons brefs sont effectivement amplifiés et allongés de manière adaptative, c'est-à-dire que les modifications sont ajustées à partir des performances du sujet en temps réel, afin de faciliter l'intelligibilité de la parole dans les exercices. Ayant montré initialement des effets positifs sur les capacités de langage oral d'enfants dysphasiques lors de l'utilisation des sons de parole modifiée comparée à une condition en parole normale (Tallal, Miller, Bedi, Byrna, Wang et al., 1996), ce programme a été par la suite proposé à des enfants dyslexiques. L'étude de Temple et collaborateurs (2003) montre ainsi que l'utilisation de Fast ForWord® pendant huit semaines, 100 minutes par jour, quatre à cinq jours par semaines permet d'améliorer les capacités de lecture et de langage oral des participants dyslexiques, comparés au groupe contrôle qui n'est soumis à aucune intervention. Les données recueillies en IRMf montrent également que ces progrès sont accompagnés d'une augmentation de l'activité cérébrale dans le cortex temporo-pariétal et le gyrus frontal inférieur gauche, jusqu'à rejoindre un niveau d'activation proche de celui des contrôles dans des tâches phonologiques, et associé à une activité compensatoire dans l'hémisphère droit. Une autre étude menée en IRMf par Gaab et collaborateurs (2007) a montré une perturbation de la réponse neuronale aux transitions acoustiques rapides par rapport aux transitions lentes chez un groupe d'enfants



dyslexiques avant la remédiation. Après huit semaines d'entraînement, les données montrent une amélioration significative en langage oral et en lecture, couplée à une normalisation des réponses neuronales aux transitions rapides au niveau du cortex prémoteur gauche. Cependant, ces études n'incluent pas de groupe contrôle dyslexique ni de programme placebo. D'autres études, notamment menées en français (logiciel Akoustik ; (Barbier, 2003) n'ont pas montré de bénéfices par rapport à d'autres méthodes plus standards (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007) ou par rapport aux effets d'un programme similaire mais utilisant une parole naturelle, non modifiée (Habib, Rey, Daffaure, Camps, Espesser et al., 2002). D'autres études ne montrent pas de bénéfices à long terme (Hook, Macaruso et Jones, 2001), ou des bénéfices sur le traitement auditif et/ou phonologique mais pas en lecture (McArthur, 2009) voire même aucun bénéfice ni en langage ni en lecture (Pokorni, Worthington et Jamison, 2004). Une méta-analyse (Strong, Torgerson, Torgerson et Hulme, 2011) réalisée sur six études dont la méthodologie est relativement solide conclut sur l'absence d'un bénéfice spécifique du programme Fast ForWord®. Cependant, dans l'article de Michel Habib et collaborateurs (2002), une seconde étude a été réalisée en tenant compte de l'hétérogénéité cognitive du groupe dyslexique. Les données de cette seconde étude montrent que les progrès sont corrélés avec les capacités de jugements d'ordre temporel évaluées chez les enfants dyslexiques initialement, elles-mêmes améliorées après l'entraînement. Ainsi, les entraînements basés sur l'utilisation d'exercices phonologiques en parole ralentie pourraient être efficaces seulement lorsqu'un déficit spécifique des capacités de traitement auditif temporel a été identifié. Ce programme comprenait cependant un entraînement direct de la conscience phonologique. D'autre part, une étude a montré que, même lorsque couplé à un programme d'entraînement visuo-orthographique, aucun progrès en lecture à court terme n'était observé (Jucla, 2010). Cependant, des effets significatifs ont pu être mis en évidence à plus long terme.

Kujala et collaborateurs (Kujala, Karma, Ceponiene, Belitz, Turkkila et al., 2001) ont étudié les effets d'un entraînement à la perception de séquences de tons mais ils n'ont inclus aucun son de parole dans leur programme, contrairement au logiciel Fast ForWord®, afin de pouvoir juger du caractère auditif et non spécifiquement verbal du déficit supposé en cause dans la dyslexie, selon l'hypothèse développée par Tallal. Les auteurs ont ainsi proposé à 24 dyslexiques un entraînement qui consiste à apparier une séquence de tons avec une séquence visuelle de petits rectangles noirs, les changements de hauteur, de durée et d'intensité étant respectivement représentés de façon visuelle par la position verticale, la longueur et l'épaisseur des rectangles sur l'écran. Les résultats ont montré un effet significatif de l'entraînement sur la lecture de mots courts par rapport à un groupe contrôle non entraîné, associé à une meilleure détection des variations sonores et une amélioration de la réponse MMN au niveau du cortex auditif. Les auteurs soulignaient le caractère novateur de cette étude qui était alors la première à apporter des arguments forts en faveur d'un déficit du traitement auditif général, non spécifique à la parole, en cause dans la dyslexie. Cependant, le programme proposé incluait également des stimuli visuels, et entraîner donc les capacités d'intégration audio-visuelle, en faveur de l'hypothèse d'un trouble d'intégration multi-sensorielle dans la dyslexie (Blau et al., 2010 ; Blau et al., 2009; Blomert, 2011), ne permettant donc pas de conclure quant au rôle causal spécifique du déficit de traitement auditif non verbal.

D'autres types d'entraînements temporels auditifs ont été développés. Dans l'étude de Schäffler et collaborateurs (Schäffler, Sonntag, Hartnegg et Bischer, 2004) diverses tâches impliquant un traitement auditif temporel ont été utilisées : jugement d'ordre temporel, binaural ("side order") ou monaural ("time order"), détection de différences d'intervalles, de fréquences, et d'intensité. Ces mêmes tâches étaient ensuite utilisées dans un programme d'entraînement adaptatif, permettant donc de tenir compte de l'hétérogénéité de la population, à raison d'une séquence de 10-15 minutes par jour pendant 50 jours (10 jours par tâche, une tâche par jour). Les données de 43 sujets dyslexiques ont été comparées à un groupe contrôle sans intervention et à un groupe placebo. Les résultats montrent un effet de l'entraînement sur les capacités phonologiques (discrimination de deux mots proches phonétiquement) et sur les capacités orthographiques en transcription, avec une analyse des erreurs qui montre que ce sont les erreurs auditives qui sont largement réduites. Fostick et collaborateurs (Fostick, Eshcoly, Shtibelman, Nehemia et Levi, 2014) ont également proposé à un groupe dyslexique plusieurs types d'entraînements auditifs mais leur design permet une distinction entre un entraînement sollicitant un traitement temporel (jugement d'ordre temporel), et un entraînement sans traitement temporel (discrimination d'intensité) ; un 3<sup>ème</sup> sous-groupe ne bénéficiait d'aucun traitement. Les résultats montrent qu'après seulement cinq jours d'entraînement, les performances en lecture de pseudo-mots du sous-groupe ayant bénéficié d'un entraînement au traitement temporel ont augmentées, ainsi que les performances sur la tâche de jugement d'ordre temporel et sur les tâches de conscience phonologique, tandis que les deux autres sous-groupes n'ont pas progressé sur ces tâches.

Dans le cadre de la théorie défendue par Goswami et collaborateurs (cf. Chapitre 1.2.3.1) d'un déficit de traitement du rythme de la parole, dû à un trouble auditif de détection des changements d'amplitude, un entraînement au traitement de rythmes, par des exercices d'ajustement d'intervalles incluant des stimuli verbaux et non verbaux, a été proposé à neuf enfants dyslexiques pendant six semaines (Thomson, Leong et Goswami, 2013). Neuf autres enfants dyslexiques suivaient un programme d'entraînement à la discrimination auditive de paires de syllabes, Phonomena®, et 12 autres ne bénéficiaient d'aucun traitement. Les deux programmes ont conduit à des progrès significatifs et équivalents sur les tâches de conscience phonologique mais aucun effet significatif n'a été démontré en langage écrit. Nous pouvons également évoquer ici les articles qui se sont intéressés aux effets d'entraînement musicaux sur les capacités de langage, oral et écrit (Overy, 2003; Tierney et Kraus, 2013) voir (Taub et Lazarus, 2013) pour une étude chez des élèves tout-venant). Cogo-Moreira et collaborateurs ont cependant mené une revue de la littérature qui les conduit à la conclusion suivante : « *There is no evidence available from randomized controlled trials on which to base a judgment about the effectiveness of music education for the improvement of reading skills in children and adolescents with dyslexia.* » (Cogo-Moreira, Andriolo, Yazigi, Ploubidis, Brandao de Avila et al., 2012, p.1).

### **2.1.3. Les méthodes centrées sur la discrimination des phonèmes**

La dernière catégorie de méthodes de remédiation de nature auditivo-phonologique que nous allons traiter concerne les méthodes centrées sur la perception et la discrimination des phonèmes, face aux déficits décrits dans le Chapitre 1.2.4. Les entraînements à la

discrimination de paires de syllabes tels que celui proposé par le logiciel Play-On® (Danon-Boileau et Barbier, 2002) entrent dans cette catégorie. Play-On® est un programme qui vise à entraîner la discrimination de phonèmes et la lecture grâce à un jeu portant sur l'opposition de voisement entre deux phonèmes présentés dans des syllabes (e.g. /p/ et /b/ ou /t/ et /d/). L'enfant entend une syllabe et voit apparaître sur l'écran deux syllabes écrites (e.g. 'pi' et 'bi') parmi lesquelles il doit choisir la bonne réponse. Dans une étude réalisée par Magnan et collaborateurs (Magnan, Ecalle, Veillet et Collet, 2004), cet entraînement a été proposé à 14 dyslexiques pendant cinq semaines, à raison de deux sessions de 15 minutes par jour, quatre jours par semaine. Le groupe a été divisé en deux, et chaque groupe alternait entre une période d'entraînement et une période sans intervention, le premier groupe commençant par l'intervention et le second servant initialement de groupe contrôle. Les résultats montrent un effet de l'intervention dans une tâche de lecture de mots que les auteurs interprètent comme relevant des capacités de recodage phonologique, car la tâche consiste à reconnaître un mot parmi des intrus phonologiques ou visuels ou sans rapport, en incluant les réponses phonologiquement plausibles comme bonnes réponses. La 3<sup>ème</sup> évaluation du premier groupe montre un maintien des effets après plus d'un mois d'arrêt de l'entraînement. Ce programme a également montré des bénéfices préventifs dans une étude menée auprès d'une population à risque de dyslexie (Magnan et Ecalle, 2006). Cette étude montre également un effet du lieu de l'entraînement, du tuteur présent, et de la familiarité à l'utilisation d'un ordinateur, puisque le groupe entraîné à la maison, sous supervision parentale et familiarisé à l'utilisation d'un ordinateur, a plus bénéficié du programme que le groupe peu familiarisé à l'outil informatique entraîné à l'école avec un expérimentateur neutre. Mais on ne peut ici distinguer les effets de l'usage de l'ordinateur, les effets du lieu, du tuteur présent et leur conséquence motivationnelle. Une autre étude a été réalisée (Veillet, Magnan, Ecalle, Thai-Van et Collet, 2007) auprès de 23 dyslexiques présentant une discrimination allophonique ; 23 sujets non dyslexiques servaient de groupe contrôle. Le logiciel Play-On® était utilisé par le groupe expérimental pendant cinq semaines, quatre jours par semaine, avec une session de 30 minutes par jour. Les résultats montrent une amélioration de la perception catégorielle pour le groupe expérimental, accompagnée d'un transfert en lecture phonologique sur une tâche similaire à celle utilisée dans l'étude de Magnan et collaborateur (2004). Ces améliorations sont également accompagnées d'une modification du système médial olivo-cochléaire (MOC) des voies auditives ascendantes, impliqué dans les mécanismes de perception de la parole dans le bruit. Une corrélation est ainsi relevée entre le fonctionnement de ce système cochléaire, et les progrès en lecture : plus l'asymétrie se renforce en faveur de l'oreille droite, c'est-à-dire que l'asymétrie gauche initialement identifiée dans le groupe dyslexique diminue, plus le niveau de lecture s'améliore. Mais aucune corrélation significative n'a été retrouvée avec les modifications des frontières catégorielles observées.

Le contexte théorique de ces études utilisant le logiciel Play-On® est centré sur la composante phonémique du logiciel mais on ne peut faire l'impasse sur le matériel écrit qu'inclut ce programme. En effet, il est possible que l'entraînement aux associations entre stimulus verbal et stimulus écrit compris dans le logiciel soit directement à l'origine des progrès en lecture, sans que les capacités de perception et de discrimination de phonèmes n'interviennent au niveau sous-jacent. Le logiciel Phenomena® qui consiste en un entraînement à la discrimination de paires de syllabes sans utiliser de matériel écrit n'a pas

montré d'effets en langage écrit dans un groupe dyslexique, mais des progrès significatifs ont été relevés sur les tâches de conscience phonologique (Thomson et al., 2013). Ceci avait déjà été démontré auprès d'enfants faibles lecteurs avec un logiciel similaire entraînant la discrimination de voyelles et de syllabes sur une période de trois à quatre jours seulement, à raison de 30 à 45 minutes d'entraînement par jour (Hurford, 1990). Le logiciel Phonomena® a également été utilisé auprès d'enfants tout-venant (Moore, Rosenberg et Coleman, 2005) et une amélioration des capacités phonologique et de la lecture de pseudo-mots a été mise en évidence. Cependant, ces effets ne sont pas associés à une amélioration des performances sur la tâche de perception catégorielle des phonèmes, remettant en cause l'implication des capacités auditivo-phonologiques. Mais puisque cette étude ne concerne pas la population dyslexique et que la perception catégorielle de ces enfants n'est pas déficitaire, il est possible que des effets plafonds soient en cause. De plus, comme démontré par Noordenbos et collaborateurs (Noordenbos et al., 2013), les données comportementales ne reflètent pas toujours les processus neuro-auditifs sous-jacents. Ainsi, dans le cadre de la théorie d'une perception allophonique dans la dyslexie, Serniclaes et collaborateurs soulignent : *“What is needed to remediate allophonic perception is to modify the boundaries that are used to discriminate and segment speech sounds, something that is not guaranteed with classical methods. Until now, only a handful of studies have tried to remediate allophonic perception in people affected by dyslexia”* (Serniclaes, Collet et Sprenger-Charolles, 2015, p.5).

Dans le cadre de son travail de thèse, Caroline Bogliotti (2005) a proposé à cinq enfants dyslexiques un programme visant à entraîner la perception catégorielle des phonèmes grâce à des exercices de discrimination de phonèmes (entraînés à être perçus comme appartenant à des catégories différentes) et d'allophones (entraînés à être perçus comme appartenant à la même catégorie phonémique). Les enfants ont été entraînés 30 minutes par jour, quatre à cinq fois par semaine pendant cinq semaines et leurs performances ont été comparées à celles d'un groupe de cinq enfants dyslexiques non-entraînés. Cet entraînement par 'apprentissage discriminant' n'a cependant pas eu l'effet attendu sur les capacités de perception catégorielle. En effet, les frontières phonémiques n'ont pas été renforcées et les frontières allophoniques ont été davantage marquées, ou du moins davantage révélées. Les capacités de lecture n'ont pas été évaluées. Une autre méthode a été utilisée récemment dans une étude réalisée par Gregory Collet et collaborateurs (2012), méthode adaptée d'une tâche de 'déclin perceptif' (« perceptual fading ») (Jamieson et Morosan, 1989). Le principe de cette méthode est de réduire progressivement la distance acoustique entre deux phonèmes. En l'occurrence dans cette étude, les paires varient sur un continuum de VOT entre les syllabes /də/ et /tə/, à travers cinq niveaux de difficulté dans une tâche de discrimination avec feedback, le niveau le plus facile comprenant les paires les plus éloignées (50 ms) sur le continuum. Dès que l'enfant atteint un taux de réussite de 70%, le niveau suivant de difficulté lui est proposé, c'est-à-dire que la différence de VOT est alors réduite de 10 ms. Chacun des phonèmes est représenté par un personnage issu d'un livre pour enfant, renommé Dom ou Tom en référence au phonème associé, respectivement /d/ et /t/. Neuf enfants présentant un trouble spécifique du développement du langage oral ont bénéficié de ce programme pendant deux périodes de deux semaines comprenant chacune neuf sessions d'environ 25 minutes d'entraînement. Leurs performances ont été comparées à celles d'un groupe contrôle présentant également un trouble du langage oral mais non entraîné. Les résultats montrent que cette méthode

d'entraînement à la perception catégorielle a bien les effets escomptés sur les capacités d'identification et de discrimination de phonèmes, les frontières catégorielles étant plus nettes après l'entraînement, par comparaison avec le groupe contrôle. Les frontières allophoniques sont initialement renforcées après une première phase d'entraînement (neuf sessions), comme observé dans l'étude de Bogliotti (2005), mais ces pics de discrimination prennent ensuite place aux frontières phonémiques, après 18 sessions d'entraînement. De plus, une nette amélioration de la conscience phonémique est également observée. Les capacités de langage écrit n'ont pas été évaluées après l'entraînement dans cette étude mais on note que les performances en langage écrit des sujets étaient bien en dessous du niveau attendu pour leur âge au moment des évaluations initiales (-1.5SD). Suivant le raisonnement que les capacités de perception allophonique chez les enfants dyslexiques sont responsables du défaut de conscience phonologique caractérisant certaines dyslexies, lui-même responsable du trouble du langage écrit, nous pouvons supposer qu'une telle méthode pourrait s'avérer efficace dans la dyslexie développementale.

En résumé, quasiment toutes les études de remédiation de la dyslexie portant sur les capacités de discrimination auditive incluent un matériel écrit. Les deux études de remédiation ciblant spécifiquement le déficit de perception catégorielle des enfants dyslexiques n'ont pas proposé d'évaluation des capacités de lecture, et dans l'étude de Collet et collaborateurs réalisées auprès d'enfants dysphasiques, aucune méthode contrôle n'a été proposée. Une telle étude a cependant des enjeux majeurs sur le plan clinique, pour aider les enfants dyslexiques, mais aussi sur le plan théorique, pour tester l'hypothèse d'une relation causale entre le déficit de perception catégorielle et le trouble en lecture.

## 2.2. Les méthodes visuelles et visuo-attentionnelles

Bien que la plupart des méthodes de remédiation de la dyslexie concernent directement les capacités de langage écrit au niveau comportemental et/ou les capacités auditivo-phonologiques, des méthodes ciblées sur les capacités de traitement visuel et visuo-attentionnel ont également été développées, issues de divers contextes théoriques, tels que ceux abordés dans le chapitre précédent (cf. Chapitre 1.3). Ce courant s'intègre en partie dans une approche multifactorielle de la dyslexie, c'est-à-dire tenant compte de l'hétérogénéité des processus en jeu et de l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique qui en découle. En effet, les méthodes orientées sur les processus phonologiques s'avèrent tout à fait efficaces chez certains dyslexiques, mais d'autres ne répondent pas comme attendu à ce type de remédiation (Valdois, 2010). C'est donc également face à cette résistance aux remédiations classiquement utilisées que d'autres types de méthodes ont été développés, en parallèle de nouvelles théories explicatives visuo-attentionnelles.

Nous allons tout d'abord aborder les méthodes développées dans le cadre des théories d'un déficit de l'orientation de l'attention, puis nous nous intéresserons aux études de remédiation dans le cadre de l'hypothèse d'un trouble de l'empan VA. Enfin, nous traiterons d'un autre niveau d'intervention, qui concerne non pas les méthodes d'entraînement mais les techniques d'adaptations visuelles qui visent à améliorer les capacités de lecture des personnes dyslexiques par des changements de paramètres de la situation.

### 2.2.1. Dans le cadre des théories d'un trouble de l'orientation de l'attention

De nombreuses études de remédiation menées dans le cadre des théories d'orientation de l'attention (cf. Chapitre 1.3.1.3) sont basées sur la classification de la dyslexie de Bakker (1992), qui postule que les dyslexiques L-type 'surexploitent' leur hémisphère gauche pour lire alors que l'apprentissage de la lecture aurait dû commencer par une utilisation de l'hémisphère droit ; les dyslexiques P-type sont caractérisés par une utilisation excessive persistante des stratégies de lecture précoces de l'hémisphère droit. Cette classification est basée sur les profils de vitesse et d'erreurs de lecture. Le programme, appelé Visual Hemisphere Specific Stimulation (VHSS), consiste à présenter rapidement des mots dans l'hémichamp controlatéral à l'hémisphère sous-exploité, afin de permettre une normalisation de l'implication de chaque hémisphère ainsi que de l'attention visuelle. Les entraînements sont en général dans ces études pratiqués pendant 45 minutes, deux fois par semaine, pendant environ quatre mois. Une étude de Facoetti et collaborateurs (Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umilta et Mascetti, 2003) a montré que ce programme permet d'améliorer les capacités inhibitrices des processus d'attention visuo-spatiale, par comparaison avec un programme classique incluant principalement un entraînement de la conscience phonologique qui n'induit pas d'effet sur l'attention visuelle (voir aussi (Lorusso, Facoetti, Toraldo et Molteni, 2005) pour une étude des effets du programme VHSS sur la distribution spatiale de l'attention visuelle). De plus, le programme VHSS s'est avéré plus efficace sur la vitesse et la précision de lecture que le programme phonologique classique. D'autres études suggèrent que le programme VHSS a cependant également un effet sur les capacités de conscience phonologique, ce qui est évocateur du caractère amodal du trouble supposé en cause (cf. Chapitre 1.3.1.4) et que les effets seraient surtout centrés sur la précision en lecture plutôt que la vitesse (Lorusso, Facoetti, Paganoni, Pezzani et Molteni, 2006; Lorusso et al., 2005). D'autre part, dans l'étude de Lorusso et collaborateurs (Lorusso, Facoetti et Bakker, 2011) le programme VHSS a été comparé à d'autres types d'entraînement, et notamment un entraînement similaire mais avec une présentation centrale des mots, mais aussi des entraînements avec une présentation aléatoire dans l'hémichamp droit ou gauche, ou une présentation inversée (vers l'hémisphère déjà surexploité). Les résultats ont montré des gains différents selon le type de présentation. Les présentations latéralisées qui ciblent les types de dyslexie, L-type ou P-type, sont les plus efficaces, et se distinguent des programmes avec présentations centrales longues ou présentations inversées. Mais les gains obtenus avec une présentation centrale rapide ne se distinguent pas significativement du programme VHSS (voir aussi (Berends et Reitsma, 2005). Une étude précédente similaire avait montré que cette présentation rapide centrale était la plus efficace sur les capacités de transcription de mots et pseudo-mots, et le programme VHSS n'avait pas montré d'effet significatif en lecture et en dictée (Lorusso, Facoetti et Molteni, 2004). Il est donc possible que les progrès constatés en lecture soient en fait la conséquence d'une amélioration des capacités générales d'identification des mots suite à l'entraînement à la reconnaissance rapide de mots. Du matériel écrit étant inclus, les processus d'attention spatiale ne sont peut-être pas en cause dans les améliorations des capacités de langage écrit constatées à travers ces études ; ils en sont peut-être seulement la conséquence. Par exemple dans l'étude de Facoetti et collaborateurs (2003), les effets en lecture étaient plus importants pour le programme VHSS

que pour le programme classique, mais il est possible que l'absence d'effet sur les capacités d'attention visuo-spatiale suite au programme classique soit liée à une modification des capacités de lecture insuffisante pour entraîner à son tour une modification des capacités d'attention visuo-spatiale, ou à une amélioration de l'attention visuelle liée au programme VHSS mais sans lien avec les capacités de lecture.

Dans une étude récente, Franceschini et collaborateurs (Franceschini, Gori, Ruffino, Viola, Molteni et al., 2013) ont proposé à 10 enfants dyslexiques un programme de remédiation très attractif pour les enfants consistant à pratiquer un jeu vidéo d'action, dans le but d'améliorer l'efficacité de la voie magnocellulaire-dorsale impliquée dans les processus d'attention visuelle et ainsi la lecture (cf. Chapitre 1.3.1.3 Chapitre 1.3.1.4). Neuf sessions de 80 minutes par jour réparties sur deux semaines étaient proposées aux enfants. Les effets ont été comparés à ceux d'un groupe dyslexique qui pratiquait dans les mêmes conditions un jeu vidéo 'sans action', c'est-à-dire très similaire au programme expérimental, mais dont les caractéristiques, selon les auteurs, n'entraîneraient pas une stimulation de la voie dorsale magnocellulaire contrairement au jeu d'action. Les résultats ont montré un effet du jeu vidéo d'action sur les capacités de focalisation attentionnelle, de distribution spatiale de l'attention visuelle, et de traitement temporel intermodal (indiciage spatial auditif et stimuli visuels), ainsi que sur la lecture de pseudo-mots et de textes, contrairement au jeu 'sans action' pour lequel aucun effet significatif n'est relevé sur aucune de ces variables. Aucun des entraînements n'a eu d'effet sur les capacités de conscience phonologique. Les auteurs concluent donc que ce programme « *demonstrate the causal role of visual spatial and crossmodal temporal attention in dyslexia.* » (Franceschini et al., 2013, p.465). Cependant, le programme d'entraînement sollicite de nombreux processus et ne permet donc pas de distinguer quels sont les processus réellement en cause. En effet, les effets pourraient être dus à une amélioration générale des capacités attentionnelles, ce qui est en soi une donnée intéressante, mais le protocole ne permet pas de tester directement les hypothèses de causalité sous-jacentes.

### **2.2.2. Dans le cadre de la théorie de l'empan visuo-attentionnel**

Une étude de remédiation d'un cas de dyslexie de surface chez un enfant présentant de bonnes compétences phonologiques mais des particularités de traitement visuo-attentionnel, évoquant un trouble de l'empan VA, a été initialement publiée par Valdois et Launay (Valdois et Launay, 1999). Les auteurs ont proposé à cet enfant un entraînement des capacités de traitement visuo-attentionnel et de la voie lexicale à travers des exercices de repérage visuel (rechercher une cible parmi des distracteurs), d'imagerie mentale (associés à des questions portant sur les caractéristiques physiques du mot et des exercices d'épellation), et d'analyse de séquences (e.g. lecture verticale ou mots collés). Des progrès en lecture et en dictée ont été observés, associés à une amélioration des capacités de traitement visuo-attentionnel et des données évoquant une amélioration de la voie lexicale (e.g. une disparition des effets de longueur de mots qui traduit le recours à une procédure de lecture globale et non plus analytique). D'autres exercices ciblant les mêmes objectifs ont également été décrits plus tard par ces auteurs (Launay et Valdois, 2004) (e.g. jeu des sept erreurs). Cependant, dans cette première étude de remédiation, l'hypothèse de l'implication d'un trouble de l'empan VA n'avait pas été évaluée directement.

Bedoin et collaborateurs (Bedoin, Kéïta, Leculier, Roussel, Herbillon et al., 2010) ont également étudié un programme d'entraînement informatisé à la focalisation de l'attention visant les dyslexies de surface ('FocalDivi', édité depuis sous le nom de SWITCHIPIDO®), arguant un défaut d'inhibition des détails au détriment du traitement global de l'information visuelle qui serait en cause dans le trouble de l'empan VA. Deux sessions de deux semaines comprenant chacune 10 séances de 20 minutes ont été proposées. Comparé au groupe contrôle bénéficiant d'exercices de vocabulaire, une amélioration du déficit de focalisation visé, ainsi que des capacités de lecture et de dictée, a été constatée suite à l'entraînement pour le groupe de sept enfants présentant une dyslexie de surface. Cependant, aucun test de significativité n'a été réalisé et ce déficit d'inhibition n'est pas inclus dans le cadre théorique du trouble de l'empan VA. Un logiciel de rééducation a également été développé par Basset-Reyne, Métral et Pinazo (Basset-Reyne, Metral et Pizano, 2007) destiné à élargir la fenêtre attentionnelle chez les dyslexiques présentant une dyslexie de surface (Fenêtre attentionnelle®). Ce trouble de la fenêtre attentionnelle et le ciblage sur les dyslexies de surface évoque un lien avec la théorie du trouble de l'empan VA, mais les processus cognitifs ici ciblés ne sont pas précisément décrits et aucune étude de validation n'a été menée à notre connaissance.

Dans le cadre précis de la théorie du trouble de l'empan VA, une méthode de remédiation appelée COREVA® a été développée (Valdois, Bosse et Peyrin, 2014) contenant un programme rigoureux sur six semaines, à raison de 20 minutes par jour, six jours par semaine, visant à augmenter la taille de l'empan VA et ainsi les capacités de langage écrit. Le programme contient 450 exercices impliquant les capacités de recherche et de discrimination visuelle, d'appariement visuel et 'd'analyse par découpage' (« parsing »), toutes sollicitant les capacités de traitement simultané et visant leur amélioration. Il a effectivement été montré que les tâches de recherche visuelle et de discrimination visuelle impliquent l'empan VA et sont liées aux capacités de lecture chez les personnes dyslexiques (Lallier et al., 2013b). Il a également été montré que les tâches d'appariement visuel chez des dyslexiques avec trouble de l'empan VA impliquent les lobules pariétaux supérieurs (Reilhac et al., 2013) en cause dans le trouble de l'empan VA (cf. Chapitre 1.3.2.2). De plus, les erreurs de découpage seraient associées au trouble de l'empan VA (cf. Chapitre 1.4.3.3). Des stimuli non verbaux (e.g. des images d'objets, ou des scènes visuelle) et verbaux (lettres, séquences de lettres, mots) sont utilisés dans les exercices, et le nombre d'éléments à traiter varie de 1 élément à cinq éléments, avec une progression allant d'un élément à traiter dans des exercices principalement non verbaux à cinq éléments à traiter dans des exercices principalement verbaux. Le programme COREVA® a été évalué chez une enfant bilingue dyslexique, MP, ayant appris à lire en français et espagnol. La dyslexie pourrait être qualifiée de dyslexie mixte en français (l'espagnol est une langue transparente qui ne contient donc pas de mots irréguliers). Les évaluations neuropsychologiques ont montré que MP présente de bonnes capacités en langage oral, conscience phonémique (en français comme en espagnol) et mémoire verbale, et elle ne présente pas de trouble attentionnel de type TDAH. En revanche, les tâches de report global et partiel de lettres et de chiffres ont mis en évidence un trouble de l'empan VA. MP a été suivie sur 17 mois au total, avec une ligne de base initiale sur trois mois, puis la période de rééducation, puis un suivi à long terme. A la suite du programme COREVA®, l'empan VA de MP a augmenté, pour atteindre un niveau normal pour son âge. Un transfert en lecture est également observé, avec un effet de l'entraînement sur les



performances en lecture de listes de mots isolés et de textes, effets plus marqués en français qu'en espagnol, comme prédit du fait d'un rôle plus marqué de l'empan VA en français, une langue qui inclut des graphèmes multi-lettres contrairement à l'espagnol. Un maintien à long terme des progrès a également été observé. Enfin, ces résultats sont corroborés par des données d'imagerie neurofonctionnelle (IRMf) qui montrent une réactivation des lobules pariétaux supérieurs après l'intervention. Bien que ces données suggèrent que l'empan VA est bien impliqué dans le programme de remédiation COREVA®, l'inclusion d'un matériel écrit peut amener à douter de la spécificité VA de l'intervention et ne permet pas une démonstration causale univoque.

Un programme informatisé sans présentation de mots écrits a donc été développé, par Muriel Lobier et Julien Diard, en concertation avec Sylviane Valdois, dans le cadre du mémoire de Master 2 de Recherche en Neuropsychologie de Muriel Lobier (2008). Ce programme étant informatisé, il permet, contrairement au programme COREVA®, d'implémenter des temps de présentation visuelle courts permettant de cibler un traitement simultané et ainsi de contraindre le traitement VA. Il permet également de s'adapter en temps réel aux performances de l'enfant. Ce logiciel sera décrit dans l'Etude IV (0) qui a pour objectif d'en tester l'efficacité sur l'empan VA et sur la lecture. Ce programme n'a en effet pas encore été testé, mais il présente les caractéristiques d'un programme potentiellement efficace et permettant de tester les hypothèses de causalité sous-jacentes. Il s'inscrit en effet dans un cadre théorique précis et solide, celui de la théorie du trouble de l'empan VA (cf. Chapitre 1.3.2) et vise une rééducation cognitive spécifique de ce trouble ; l'absence d'un entraînement direct à la lecture, aucun mot écrit n'étant inclus dans les entraînements, permettra de tester la causalité supposée entre le développement de l'empan VA et le développement du langage écrit. Si les autres modalités d'une prise en charge efficace (e.g. une pratique intensive et régulière) sont appliquées (cf. Partie 1.2), ce programme devrait s'avérer efficace pour les personnes dyslexiques qui présentent un trouble de l'empan VA.

### **2.2.3. Les méthodes d'adaptation visuelle**

La dernière catégorie de méthodes visuelles que nous abordons ici concerne non pas l'entraînement des fonctions cognitives reliées au traitement visuel, mais les méthodes d'adaptations visuelles qui permettent de modifier certains paramètres de la situation à l'origine du trouble, c'est-à-dire en l'occurrence une modification des conditions de l'activité de lecture (cf. Partie 1.1.2. sous partie c) de ce chapitre).

Nous allons cependant commencer par décrire une catégorie de méthodes qui, au-delà des effets immédiats attendus suite à la modification de certains paramètres de la situation, vise des modifications neurophysiologiques et des effets à long terme. Dans le cadre de la théorie magnocellulaire, une méthode d'occlusion de l'œil gauche a montré des effets bénéfiques sur l'instabilité du contrôle binoculaire qu'induirait un trouble magnocellulaire, et sur la lecture, lorsque comparée à l'utilisation de lunettes placebo, sans occlusions, transparentes (Stein et Fowler, 1985) ou équipées d'un filtre jaune (Stein, Richardson et Fowler, 2000), chez des enfants dyslexiques présentant une instabilité binoculaire. Mais les auteurs ont pu remarquer que l'utilisation du filtre jaune avait conduit à des effets plus importants que l'utilisation des filtres transparents (Stein, 2014). Cet effet a fait l'objet d'une étude qui a montré des effets

significatifs de ces filtres sur la perception visuelle de mouvements, sur les capacités de convergence et d'accommodation, et sur la lecture, avec un maintien à trois mois de ces effets, par rapport à l'utilisation de filtre 'neutre' (Ray, Fowler et Stein, 2005). Les auteurs ont fait l'hypothèse que les filtres jaunes permettent une sur-stimulation des cellules magnocellulaires en inhibant d'autres types de réponses cellulaires au niveau de la rétine. Mais des études électro-physiologiques ont apporté des arguments à l'encontre de cette explication (Skottun et Skoyles, 2007). L'utilisation de filtres bleu a également montré des effets bénéfiques et une autre explication physiologique, incluant le rôle du système magnocellulaire dans le contrôle des rythmes diurnes/nocturnes et l'hypothalamus, a été développée (Stein, 2014) ; des effets indésirables tels des maux de têtes ont cependant été décrits. L'utilisation de filtres de couleurs a également été développée dans le cadre des études portant sur le stress visuel, un 'dysfonctionnement' qui toucherait les personnes dyslexiques ou non, caractérisé par divers symptômes : douleurs des yeux, déformations visuelles et illusions, perte d'acuité, migraine... et qui entrainerait des troubles de la lecture (Wilkins, Huang et Cao, 2004). Bouldoukian et collaborateurs (Bouldoukian, Wilkins et Evans, 2002) ont étudié l'efficacité de transparents de couleur appliqués sur une page de texte visant à réduire les symptômes de stress visuel et ainsi améliorer la vitesse de lecture dans une population présentant un ou des troubles spécifiques d'apprentissages. Les transparents de couleur ont été choisis individuellement pour une minimisation optimale des symptômes de stress visuel telle que prônée par Wilkins et collaborateurs ; des transparents filtrant les rayons ultraviolets ont été utilisés comme contrôle. Un effet supérieur des transparents de couleurs sur la vitesse de lecture a été observé, bien que la taille des effets soit modérée (augmentation d'environ 4% de la vitesse de lecture). Hall et collaborateurs ont mené récemment une étude visant à comparer l'utilisation des filtres de couleur développés dans le cadre de la théorie du stress visuel et ceux développés dans le cadre de la théorie magnocellulaire (Hall, Ray, Harries et Stein, 2013). Cette étude réalisée en double aveugle auprès de 73 enfants présentant un retard de lecture (18 mois minimum) a montré que tous les types de filtres ont un effet sur les capacités de langage écrit, avec cependant un effet supérieur des filtres bleus et jaunes issus de la théorie magnocellulaire par rapport à ceux proposés dans le cadre de la théorie du stress visuel. Cependant, ces méthodes ont été critiquées. Une étude réalisée auprès d'enfants présentant des troubles de la lecture n'a d'ailleurs pas montré d'effets significatifs de l'utilisation des filtres visant à réduire le stress visuel (Ritchie, Della Sala et McIntosh, 2011), conclusion appuyée par des revues méthodiques de la littérature sur le sujet (McIntosh et Ritchie, 2012; Uccula, Enna et Mulatti, 2014). Des méta-analyses et une évaluation qualitative de huit études avec essais contrôlés randomisés n'ont pas apporté de preuves convaincantes des effets de l'utilisation de filtres de couleurs chez les personnes présentant un trouble de la lecture (Albon, Adi et Hyde, 2008), mais les auteurs suggèrent que des effets bénéfiques pourraient être présents pour un sous-groupe de cette population.

D'autres recherches ont été menées quant aux paramètres de présentation du matériel écrit qui permettraient d'améliorer la lecture des personnes dyslexiques. Les effets de l'augmentation de l'espacement entre les lettres d'un mot et entre les mots dans un texte ont fait l'objet de nombreuses recherches. Ces effets sont liés à un phénomène d'encombrement perceptif, plus communément appelé 'crowding', qui concerne les difficultés qui peuvent être éprouvées dans la reconnaissance d'un objet lorsque celui-ci est entouré d'objets similaires, difficulté qui

diminue à mesure que l'on augmente l'espace entre la cible et les objets qui l'entourent jusqu'à un seuil d'espacement critique (Rosen, Chakravarthi et Pelli, 2014). Ce phénomène n'est pas spécifique au traitement des lettres, ni même à la modalité visuelle, mais il jouerait un rôle dans la dyslexie. Des études tendent en effet à montrer que les personnes dyslexiques seraient plus sensibles à ce phénomène d'encombrement, ce qui induirait une diminution de la vitesse de lecture et des erreurs d'identification, qui pourraient être liées aux difficultés d'encodage de position des lettres, et pourraient avoir pour origine des mécanismes attentionnels impliquant la voie magnocellulaire (pour une revue récente voir (Gori et Facoetti, 2015). Martelli et collaborateurs (Martelli, Di Filippo, Spinelli et Zoccolotti, 2009) ont ainsi montré que le seuil d'espacement critique entre une lettre cible et deux lettres disposées de chaque côté est plus important chez des enfants dyslexiques que pour le groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs, alors que les seuils d'identification de lettres isolées sont similaires entre les deux groupes. L'augmentation de l'espacement n'est cependant pas bénéfique pour tous les enfants. Dans une seconde expérience, les auteurs se sont intéressés à la vitesse de lecture en fonction de la taille des mots, une augmentation de la taille d'un mot modifiant à la fois la taille des lettres mais également leur espacement. Les résultats ont montré que les enfants dyslexiques atteignent un seuil maximal de vitesse de lecture pour une taille de mots supérieure à celle des enfants normo-lecteurs, seuil prédit par les performances issues de la première expérience (voir aussi l'étude de (O'Brien, Mansfield et Legge, 2005) concernant l'effet de taille dans la lecture de phrases chez les enfants dyslexiques et le lien avec le déficit d'encodage de position des lettres dans la dyslexie). Les auteurs font l'hypothèse que la lenteur en lecture qui caractérise la dyslexie pourrait être due à un phénomène de 'sur-crowding'. Cependant, lorsque le crowding est 'compensé' par une augmentation de l'espacement entre les lettres, la vitesse de lecture maximum des enfants dyslexiques reste inférieure à celle des enfants contrôles. Une étude réalisée par Zorzi et collaborateurs (Zorzi, Barbiero, Facoetti, Lonciari, Carrozzi et al., 2012) auprès de 74 enfants dyslexiques français et italien a également montré qu'une augmentation de l'espacement des lettres et des mots dans un texte permet une augmentation significative de la vitesse de lecture de ces enfants et une réduction de leurs erreurs de lecture. Une comparaison avec un groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs suggère que ces derniers ne bénéficieraient pas de l'espacement du texte, les différences entre ces deux conditions n'étant pas significatives ni en vitesse ni en précision. Ces résultats sont en faveur d'une spécificité des effets de crowding dans la dyslexie. Mais on note concernant la vitesse de lecture que l'interaction entre le type de groupe (dyslexique ou normo-lecteur) et le type de texte (normal ou espacé) n'est qu'à la limite du seuil de significativité, et d'autres études, telles celles de Martelli et collaborateurs décrites ci-dessus, ont montré un effet de l'espacement chez les normo-lecteurs (voir aussi (Chung, 2002), amenant à douter de la spécificité du crowding dans la dyslexie. Ce type de résultats conserve cependant tout son intérêt en termes d'adaptation : la mise en évidence de conditions de présentation visuelle qui facilitent la lecture des enfants dyslexiques est précieuse pour permettre de réduire leur handicap.

Dans l'étude de Perea et collaborateurs (Perea, Panadero, Moret-Tatay et Gómez, 2012), une autre condition d'espacement a été introduite, en comparaison avec la condition d'espacement des lettres. Les auteurs ont en effet étudié les effets d'un espacement syllabique (e.g. 'hò tel' comparé à 'h ô t e l' et à une condition normale 'hôtel') sur une tâche de décision lexicale

auprès d'une population d'adultes et d'enfants normo-lecteurs, et de 18 enfants dyslexiques. Alors que l'espacement des lettres a conduit à des temps de réaction plus courts par rapport à la condition de présentation normale des mots pour tous les groupes, et moins d'erreurs chez les dyslexiques, la condition syllabique n'a produit aucun effet par rapport à la condition normale et ce, dans aucun des groupes (voir aussi (Muncer et Jandreau, 1984) pour une étude chez des adultes normo-lecteurs). Ainsi, bien qu'altérant la forme globale du mot, ce qui aurait pu affecter le traitement du mot en tant qu'unité lexicale, comme le fait un espacement des lettres trop important dans les études qui se sont intéressées au crowding (Chung, 2002 ; Cohen et al., 2008; Spinelli, De Luca, Judica et Zoccolotti, 2002), cette condition syllabique n'est pas apparue délétère pour le processus d'identification du mot. Elle n'est pas non plus apparue comme bénéfique, et les processus de 'désencombrement perceptif' ne semblent donc pas ici en jeu. Mais d'autres processus liés au traitement visuel pourraient intervenir, en particulier si la population dyslexique était sélectionnée sur la base de ses capacités d'empan VA. On peut en effet supposer que ce type de présentation pourrait bénéficier seulement aux enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA. En effet, le trouble de l'empan VA est un trouble du traitement simultané ; or, le découpage syllabique visuel, processus inhérent à l'apprentissage de la lecture (Ecalte, Magnan, Bouchafa et Gombert, 2009; Jimenez, Garcia, O'Shanahan et Rojas, 2010), requiert la prise en compte simultanée non seulement des lettres qui composent la syllabe mais également des unités qui entourent cette syllabe. Une modification de la présentation des mots qui rendrait les syllabes saillantes, par exemple par un espacement, pourrait donc être bénéfique aux enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA par rapport aux enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble de l'empan VA. Ce type de présentation n'a pas fait l'objet, à notre connaissance, d'autres publications que celles ici citées, bien qu'il soit utilisé sur le plan pédagogique et notamment pour les enfants en difficulté (Cox, 1994). La question de l'efficacité de ce type de méthode d'adaptation chez des enfants avec trouble de l'empan VA a donc fait l'objet d'une étude dans ce travail de thèse (Etude V).

Cette dernière partie du Chapitre 2 a été consacrée aux études portant sur des méthodes de remédiations qui ciblent des processus cognitifs potentiellement en cause dans la dyslexie, tels que soutenus par les théories explicatives phonologiques et visuelles passées en revue dans le premier chapitre, ainsi qu'à des études portant sur des techniques d'adaptations visuelles. Nous avons pu constater que très peu d'études ont porté sur des méthodes n'incluant aucun matériel écrit, permettant de tester de façon solide l'hypothèse de causalité entre les processus cognitifs inclus et le trouble du développement de la lecture.

Concernant les méthodes portant sur des processus auditivo-phonologiques, nous nous sommes plus particulièrement intéressées aux méthodes ciblant les processus de discrimination auditive. Le programme d'entraînement de la perception catégorielle des phonèmes développé et étudié auprès d'enfants dysphasiques par Collet et collaborateurs (2012) est particulièrement intéressant. En effet, il n'inclut aucun matériel écrit et un effet sur les capacités de conscience phonologique a été démontré. Nous pouvons supposer que si les capacités de perception allophonique chez les enfants dyslexiques sont responsables du défaut de conscience phonologique caractérisant certaines dyslexies, lui-même responsable du

trouble du langage écrit, une telle méthode pourrait s'avérer efficace sur les capacités de conscience phonologique et de lecture de ces enfants, et pourrait permettre d'attester de ces relations causales supposées. Cette hypothèse sera évaluée dans le cadre de ce travail de thèse (Etude IV).

Concernant les méthodes visuelles, nous nous sommes plus particulièrement intéressées aux méthodes ciblant le trouble de l'empan VA. Des données sont en faveur d'un bénéfice de l'entraînement de l'empan VA chez les enfants dyslexiques présentant un tel trouble. Mais aucune étude n'a été menée sur la base d'un entraînement qui ne solliciterait pas directement les capacités de langage écrit, permettant de tester l'hypothèse de causalité sous-jacente. Un tel programme a cependant été développé mais n'a pas encore été étudié. Nous allons donc évaluer les effets de ce programme dans le cadre de ce travail de thèse (Etude IV). D'autre part, nous avons vu qu'une méthode d'adaptation visuelle qui rendrait les syllabes saillantes pourrait améliorer les capacités de lecture des enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA. Notre dernière étude sera consacrée à cette question (Etude V).

## PROBLEMATIQUES ET OBJECTIFS GENERAUX

---

L'objectif principal de ce travail de thèse est de mieux comprendre l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique, sous l'angle de deux théories explicatives auxquelles nous nous sommes plus particulièrement intéressées : la théorie du déficit de l'empan VA et la théorie phonologique. Dans cette perspective, deux grands axes de recherche ont été développés. Nous nous sommes tout d'abord interrogées sur les relations entretenues entre les profils de lecture, notamment selon la classification du modèle double-voie, et les déficits cognitifs hypothétiquement explicatifs. Puis nous nous sommes interrogées sur la prise en compte de cette hétérogénéité dans la remédiation de la dyslexie, un axe de recherche qui nous permet également d'étudier la relation de causalité entre le déficit cognitif et le trouble du développement de la lecture.

Ces objectifs découlent de plusieurs constats suite à l'état des lieux que nous avons proposé dans les deux premiers chapitres de ce manuscrit, desquels nos problématiques et hypothèses ont été extraites. Ces constats sont les suivants :

- Une hétérogénéité cognitive et une hétérogénéité comportementale, c'est-à-dire concernant les profils de lecture, caractérisent la population dyslexique. Or les liens qu'entretiennent ces deux niveaux d'hétérogénéité ne semblent pas clairement établis. En effet, de nombreuses études portant sur les profils cognitifs des dyslexiques phonologiques vs de surface ne permettent pas de mettre en évidence des profils cognitifs contrastés. Un trouble phonologique a été décrit non seulement dans la dyslexie phonologique, mais également dans la dyslexie de surface. De même, le trouble de l'empan VA, fréquemment associé à des profils de dyslexie de surface, pourrait également être en jeu dans le traitement sub-lexical dont la perturbation est associée aux dyslexies phonologiques. Les cas de dyslexies mixtes pourraient apporter des éclairages sur ces questions, mais n'ont été que peu étudiés, bien que ce profil apparaisse comme le plus fréquent. La forte prévalence des dyslexies mixtes semble en effet peu compatible avec l'hypothèse de relations univoques entre les atteintes cognitives et les profils de lecture car il faudrait postuler une forte prévalence de doubles déficits dans la population dyslexique. En revanche, l'hypothèse qu'un trouble phonologique, un trouble de l'empan VA, ou un double déficit puissent rendre compte chacun indépendamment d'un profil de dyslexie mixte permettrait de rendre compte de cette forte prévalence. C'est à cette hétérogénéité cognitive dans la dyslexie mixte que sera consacrée notre première étude (Etude I), incluant une analyse des erreurs qui pourrait permettre de mettre en évidence des indices qualitatifs du trouble cognitif sous-jacent. Puis dans une seconde étude, nous nous intéresserons au cas d'un jeune dyslexique présentant un profil de dyslexie phonologique sans trouble phonologique associé (Etude II).

- Concernant plus spécifiquement l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie, bien que de nombreux arguments aient été apportés en faveur d'une dissociation entre trouble de l'empan VA et trouble phonologique, cette dissociation n'a jamais été étudiée en confrontant au sein d'une même population la théorie du trouble de l'empan VA et la théorie d'un trouble de perception catégorielle des phonèmes. Cette question sera explorée dans la troisième étude que nous avons menées (Etude III), dans laquelle nous nous intéresserons spécifiquement aux

liens entre perception catégorielle, conscience phonologique, empan VA et dyslexie. Cette étude pourrait ainsi permettre de renforcer l'hypothèse de l'existence de sous-types cognitifs distincts.

- D'autre part, la nature causale de ces liens entre déficit de perception catégorielle, déficit de conscience phonologique, et trouble du développement de la lecture, et, indépendamment, entre déficit de l'empan VA et trouble du développement de la lecture a été théorisée et argumentée. Mais ces relations de causalité n'ont pas été solidement démontrées au travers d'études d'entraînements chez des sujets dyslexiques. Des données montrant qu'un entraînement de la fonction cognitive supposée en cause améliore consécutivement les fonctions qui y sont reliées (par exemple la conscience phonologique suite à un entraînement à la perception catégorielle) et surtout améliore les capacités de lecture constituent l'argument le plus solide en faveur de liens de causalité. Cependant, afin de s'assurer que l'effet sur la lecture est spécifiquement dû à l'amélioration de la fonction cognitive sous-jacente, aucun matériel écrit ne doit être inclus dans les entraînements. Or, très peu de programmes d'entraînement n'incluant aucun matériel écrit ont été étudiés<sup>14</sup>. Nous avons ainsi étudiés dans une quatrième étude deux programmes d'entraînement, l'un ciblant spécifiquement la perception catégorielle, et l'autre ciblant spécifiquement l'empan VA (Etude IV).

- Une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la population dyslexique, telle que visée dans les trois premières études, pourrait permettre de mieux cibler les moyens d'interventions permettant de remédier au trouble. Nous pouvons en effet supposer que si le trouble cognitif sous-jacent explicatif a bien été identifié et est spécifiquement visé dans les moyens de remédiation mis en œuvre, les améliorations consécutives en lecture seront plus importantes, avec une meilleure généralisation des progrès, que si les méthodes de remédiations restent génériques, portant sur tout processus cognitif potentiellement impliqué. La validation de cette hypothèse constitue donc également un des objectifs de notre quatrième étude, mais concerne aussi la dernière étude que nous présenterons (Etude V). Celle-ci porte sur l'hypothèse qu'une méthode d'adaptation visuelle qui rendrait les syllabes saillantes pourrait améliorer les capacités de lecture des enfants dyslexiques présentant spécifiquement un trouble de l'empan VA.

---

<sup>14</sup> A notre connaissance, seule l'étude de Kujala et collaborateurs (Kujala et al., 2001) porte sur un tel entraînement, en l'occurrence audiovisuel, et a fait l'objet d'une étude scientifique rigoureuse.

## Chapitre 3. PARTIE EXPERIMENTALE

Pour chacune des études présentées, nous commencerons par un rappel des enjeux théoriques et cliniques, et nous présenterons les objectifs et les hypothèses. Puis seront détaillés la méthodologie et les résultats. Ces derniers seront ensuite discutés sur le plan théorique et méthodologique, avant de terminer sur un encadré incluant un bref résumé présentant les principaux résultats et les conclusions de l'étude. L'ensemble de ces travaux sera ensuite synthétisé dans une discussion générale, qui constitue le dernier chapitre de ce manuscrit.

Avant de présenter chacune des études réalisées dans le cadre de ce travail, nous allons tout d'abord aborder les aspects méthodologiques communs à l'ensemble des études. Nous décrirons précisément en premier lieu les modalités des protocoles communes à toutes les études, notamment les épreuves de lecture et les épreuves visuo-attentionnelles et phonologiques qui ont été utilisées de façon systématique (à l'exception de la dernière étude qui ne contient pas d'épreuves phonologiques). Puis nous présenterons certaines caractéristiques communes des participants et des échantillons normatifs utilisés. Ces données concernant les épreuves utilisées et les caractéristiques des participants ne seront donc plus rappelées par la suite. Enfin, nous aborderons les points relatifs aux analyses statistiques.

### 1. Méthodologie générale

---

#### 1.1. Protocoles communs aux études

##### 1.1.1. Passation

Les passations pour la population dyslexique ont été menées individuellement soit au CHU de Grenoble (CRTLA), soit en cabinet d'orthophonie. Pour les populations contrôles, les passations ont eu lieu à l'école, de façon individuelle, sur les temps scolaires. Les expérimentateurs étaient soit neuropsychologues, soit orthophonistes, soit étudiants de Master 2 de Psychologie, sous notre tutelle ; tous ont été spécifiquement formés à la passation des expérimentations concernées. Tous les expérimentateurs disposaient d'un document détaillant la passation de chaque épreuve, et notamment les consignes, afin de garantir la standardisation des passations. Les passations avaient lieu dans une pièce calme. De courtes pauses étaient proposées lorsque l'enfant montrait des signes de fatigue ou d'inattention. Les épreuves ont été proposées dans un ordre aléatoire, sauf si un ordre spécifique était nécessaire ; ces particularités seront détaillées dans les études concernées.

##### 1.1.2. Les épreuves de lectures



### **a) *Mesure de l'âge de lecture***

L'âge de lecture, ou âge lexique, ou niveau de lecture, a été calculé à partir du Test de l'Alouette (Lefavrais, 1965). Ce test consiste à lire un texte de 265 mots, sur une planche comportant également des images. L'enfant doit lire le texte à voix haute de son mieux, c'est-à-dire avec précision et rapidité, pendant un temps limité à trois minutes maximum. Le texte ne véhicule que peu de sens, et l'enfant ne peut donc s'appuyer que de façon limitée sur le contexte sémantique pour compenser d'éventuelles difficultés d'identification des mots écrits (Stanovich, 1980). Le texte contient également des mots rares. L'âge lexique est mesuré en tenant compte de la vitesse de lecture et du nombre d'erreurs ; un score corrigé est calculé qui correspond au nombre de mots lus pondéré par le temps et le nombre d'erreurs ; on peut ensuite établir une correspondance entre ce score corrigé et un âge de lecture estimé.

### **b) *Lecture de listes de mots***

L'évaluation des capacités d'identification de mots, réguliers et irréguliers, et de pseudo-mots a été réalisée dans chacune des études par un test extrait de l'ODEDYS (Outil de Dépistage des Dyslexies, (Jacquier-Roux, Valdois et Zorman, 2002) (*Annexe I et II*). Les enfants ont pour consigne de lire le plus vite possible et en faisant le moins d'erreurs possible deux listes de vingt mots peu fréquents et deux listes de vingt mots fréquents. Une liste contient des mots réguliers, l'autre liste contient des mots irréguliers. Les deux listes, pour chaque niveau de fréquence, ont été appariées au niveau du nombre de syllabe et de la classe grammaticale de chaque mot. Les enfants doivent également lire deux listes de vingt pseudo-mots (*e.g.* pacirande), appariés en nombre de syllabes et de lettres aux mots réguliers de la liste de haute fréquence et de basse fréquence. Les mots et pseudo-mots sont présentés en colonnes, écrits en minuscule, en Times 14. Les enfants doivent les lire à voix haute de haut en bas. Les enfants sont informés de la nature des items (mots ou pseudo-mots) avant la lecture de chaque liste. Les temps de lecture et les erreurs ont été relevés pour chacune des listes. Pour toutes les analyses et toutes les études, un score composite a été calculé pour chaque catégorie de mots ou pseudo-mots qui correspond aux scores et temps (cumulés ou moyens) sur les hautes et basses fréquences.

### **1.1.3. *Mesure de l'empan visuo-attentionnel***

Afin d'évaluer l'empan VA, c'est-à-dire mesurer le nombre de caractères qui peuvent être traités simultanément, deux tâches ont été développées, une tâche de report partiel de lettres et une tâche de report global de lettres. Elles s'accompagnent d'une tâche contrôle d'identification de lettres isolées. Les tâches de report, inspirées des travaux d'Averbach et Sperling (Outil de Dépistage des Dyslexies, Valdois et al., 2004) sur les processus de mémoire visuelle non permanente, consistent à présenter des séquences de cinq lettres pendant 200 ms. Ce temps d'exposition est suffisant pour permettre un traitement visuel, mais trop court pour réaliser une saccade oculaire avec reprise d'information (Pelli et al., 2006), ce qui garantit qu'un traitement parallèle soit bien sollicité. Un espacement suffisant entre les lettres a également été inséré afin de limiter les effets de masquage latéral (*crowding*) (Pelli, Tillman, Freeman, Su, Berger et al., 2007). Dans la tâche de report global, le sujet doit rapporter immédiatement toutes les lettres présentées dans la séquence, indépendamment de

leur position. Pour la tâche de report partiel, une barre verticale est présentée sous une des lettres immédiatement après la présentation de la séquence et pendant 50 ms ; cette barre indique la lettre à rapporter.

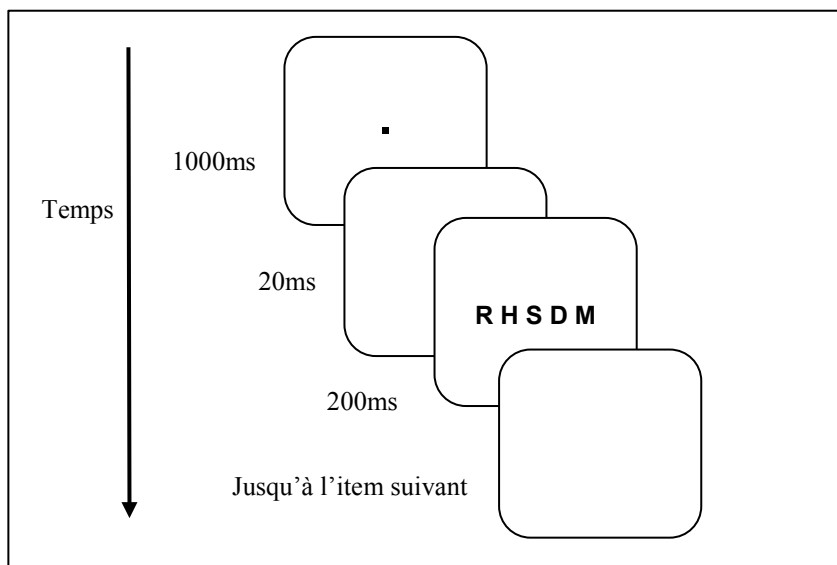
Bien que ces tâches impliquent une réponse verbale, nous rappelons comme évoqué dans le 0) que de nombreuses données montrent que ces tâches sollicitent avant tout les capacités de traitement visuel simultané et permettent ainsi de mesurer l'empan VA. Nous rappelons ainsi les principaux arguments : 1) les performances dans ces tâches ne sont pas sensibles à la charge en mémoire de travail verbale (Lassus-Sangosse et al., 2008; Valdois et al., 2012) ; 2) les mesures sont corrélées avec une tâche de catégorisation non verbale, incluant un matériel non verbal, mais sollicitant un traitement simultané de caractères (Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012) ; 3) les régions pariétales impliquées dans les traitements attentionnels sont sous-activées chez les dyslexiques avec trouble de l'empan VA que l'on utilise la tâche de report de lettres (Peyrin et al., 2008) ou des épreuves de catégorisation non verbale (Lobier et al., 2014 ; Peyrin et al., 2011 ; Peyrin et al., 2012).

Pour toutes les tâches décrites ci-dessous, l'enfant est placé assis face à l'écran, avec une distance de 60 cm entre son visage et l'écran, en s'assurant de l'absence de reflet lumineux sur l'écran. Les tâches sont affichées sur un ordinateur PC en utilisant le logiciel E-prime™ (Psychology Software Tools, Inc.)

#### ***a) Le report global***

*Stimuli.* Dans l'épreuve de report global, 20 séquences de cinq lettres ont été construites de façon pseudo-aléatoire à partir de 10 consonnes (B, D, F, H, L, M, P, R, S, T). Chaque lettre apparaît dix fois, deux fois dans chacune des cinq positions, et jamais deux fois dans la même séquence. Les séquences ne représentent jamais le squelette d'un vrai mot (e.g. FLMBR pour flamber). Deux lettres adjacentes ne correspondent jamais à un graphème français (digraphe ; e.g. PH, ou TH) ou à un bigramme fréquent en français (e.g. TR, PL, ou BR). Les lettres sont présentées en majuscules (Geneva 24 ; 7 mm de hauteur, 5,5 mm de largeur), en noir sur fond blanc, au centre de l'écran. Elles sont espacées de 1 cm (1,2°) depuis le centre de la lettre jusqu'au centre de la lettre adjacente, afin de minimiser l'effet de masquage latéral. La taille angulaire des séquences est de 5,4°.

*Procédure.* Un point de fixation apparaît au centre de l'écran pendant 1000ms, puis un écran blanc apparaît pendant 20 ms. Une séquence de cinq lettres apparaît ensuite au centre de l'écran pendant 200 ms. Le sujet doit alors restituer toutes les lettres qu'il a identifiées, l'ordre de restitution des lettres n'est pas pris en compte. La procédure est schématisée dans la Figure 5. Après avoir noté la réponse, l'expérimentateur passe à la séquence suivante. Les 20 séquences de test sont précédées de 10 séquences d'entraînements, pendant lesquelles un feed-back est donné à l'enfant. Aucun feed-back n'est donné au cours de la phase de test. Le nombre total de lettres correctement dénommées (max = 100), indépendamment de la position de la lettre, est enregistré (il s'apparente donc à un pourcentage de réussite).

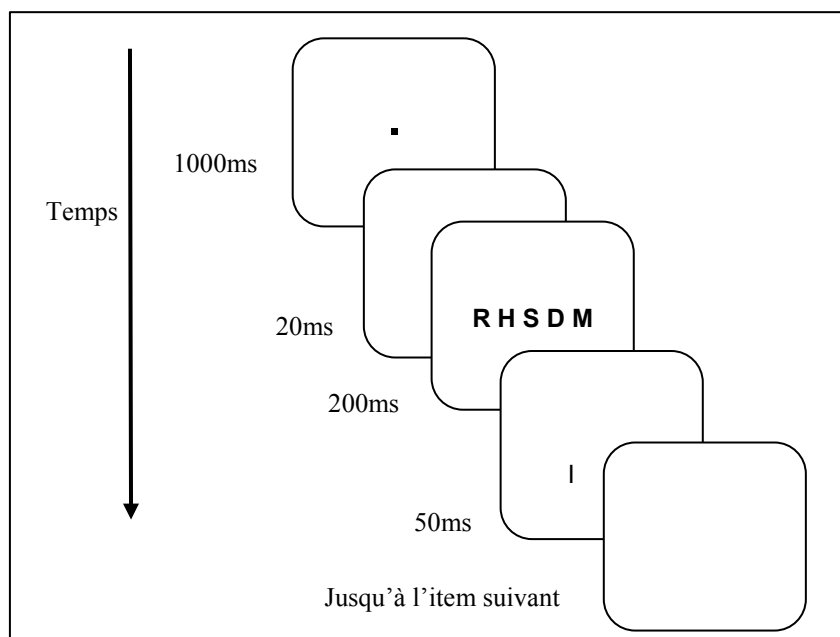


**Figure 5.** Illustration de la procédure utilisée dans l'épreuve de report global

### ***b) Le report partiel***

*Stimuli.* Dans l'épreuve de report partiel, 50 séquences de cinq lettres ont été construites de façon pseudo-aléatoire à partir des 10 mêmes consonnes (B, D, F, H, L, M, P, R, S, T) que celles utilisées dans l'épreuve de report global, et en respectant les mêmes contraintes. Chaque lettre apparaît cinq fois dans chacune des cinq positions, soit 25 fois, jamais deux fois dans la même séquence. Les conditions de présentations des séquences sur l'écran sont les mêmes que pour le report global. Une lettre cible est indiquée dans chacune des séquences par une barre verticale noire qui apparaît à une distance d'un centimètre sous une des lettres de la séquence. Chacune des lettres devient la lettre cible une fois dans chacune des positions de la séquence.

*Procédure.* Comme pour l'épreuve de report global, un point de fixation apparaît au centre de l'écran pendant 1000ms, puis un écran blanc apparaît pendant 20 ms. Une séquence de cinq lettres apparaît ensuite au centre de l'écran durant 200 ms, suivie immédiatement et pendant 50 ms par la barre verticale indiquant la position de la lettre cible. Le sujet ne doit alors restituer que la lettre indiquée. La procédure est schématisée dans la Figure 6. Après avoir noté la réponse, l'expérimentateur passe à la séquence suivante. Les 50 séquences de test sont précédées, pour chaque tâche, de 10 séquences d'entraînements, pendant lesquelles il est possible de donner un feedback. Aucun feedback n'est donné au cours de la phase de test. Le nombre total de lettres correctement identifiées (max = 50) est enregistré ; il a été, dans la plupart des études présentées ici, transformé en pourcentage de réussite.



**Figure 6.** Illustration de la procédure utilisée dans l'épreuve de report partiel

### *c) L'identification de lettres isolées*

Afin de s'assurer que le déficit identifié par les tâches de report de lettres est bien lié à un trouble du traitement simultané et non à un problème d'identification de lettres, une tâche d'identification de lettres isolées a été développée. Chacune des 10 lettres utilisées dans les tâches de rapport sont présentées au hasard (cinq fois chacune) avec les mêmes caractéristiques physiques que dans les tâches expérimentales, à cinq durées différentes de présentation (33, 50, 67, 84 et 101 ms). Immédiatement après la disparition de la lettre, un masque (13 mm de hauteur, 37 mm de large) est affiché pendant 150ms. On demande au sujet de nommer chaque lettre immédiatement après sa présentation. Les essais de tests sont précédés de 10 essais d'entraînement (2 essais pour chaque temps de présentation) au cours desquels le sujet reçoit des feedbacks sur ses réponses. La somme des scores pour chaque durée d'affichage est enregistrée. Un score total a été calculé dans certaines études en additionnant les scores obtenus pour chacun des temps de présentation.

#### **1.1.4. Les épreuves de conscience phonologique**

La tâche d'omission de phonèmes et la tâche de segmentation de phonèmes sont issues de l'étude de Bosse et Valdois (Bosse et Valdois, 2009) et la tâche des acronymes de la batterie BELEC (Batterie d'Evaluation du Langage ECrit et de ces troubles, (Mousty, Leybaert, Alégria, Content et Morais, 1994). Pour chaque tâche, les sujets ont d'abord été entraînés sur trois items, et un feedback leur était donné. Aucun feedback n'a été fourni sur les items expérimentaux. Les scores sont enregistrés et transformés en pourcentages de réponses correctes. Ces trois tâches nécessitant une manipulation de phonèmes, il s'agit davantage d'une mesure de la conscience des phonèmes, mais que nous avons par la suite, tout au long de ce manuscrit, dénommée conscience phonologique.

### **a) L'omission de phonèmes**

Les sujets doivent omettre le premier phonème d'un mot donné à l'oral, et produire le pseudo-mot résultant (e.g. "frite" : /rit/). Vingt mots expérimentaux sont présentés. Sept mots commencent avec un phonème vocalique correspondant à un graphème multi-lettres (e.g. "outil" : /ti/) de sorte que l'omission de la première lettre (au lieu du premier phonème) amène à des réponses erronées. Neuf mots commencent par un groupe consonantique de deux lettres (e.g. "placard" : /lakar/). Quatre mots commencent par une simple consonne (e.g. "capitaine" : /apiten/) (*Annexe III*).

### **b) La décomposition de phonèmes**

Dans cette épreuve, les sujets doivent segmenter en phonèmes un mot donné à l'oral, c'est-à-dire qu'ils doivent énoncer dans l'ordre successif tous les phonèmes qui composent le mot (e.g. « four » : /f/ - /u/ - /r/). Quinze mots sont présentés, composés de trois à cinq phonèmes (quatre phonèmes par mot en moyenne) (*Annexe III*).

### **c) Acronymes**

Deux mots sont prononcés successivement (un mot par seconde). Les sujets doivent extraire le premier phonème de chaque mot et les combiner pour produire une nouvelle syllabe (e.g. "bébé" "ourson" : /bu/). Le test comprend 10 séries de deux mots constitués de 4,4 phonèmes en moyenne (entre deux et huit phonèmes). Sept mots commencent par un digraphe choisi de sorte qu'un mot erroné soit généré si la première lettre est extraite au lieu du premier phonème (e.g. "photo" "artistique" : réponse erronée /pa/ au lieu de /fa/ si le sujet s'appuie sur la forme orthographique du mot et non sur sa forme phonologique) (*Annexe III*).

## **1.1.5. Les épreuves de perception catégorielle de phonèmes**

*Stimuli.* Un continuum de VOT /də/-/tə/ dont les valeurs varient entre -75 et +75 ms, par pas de 30 ms a été créé par un synthétiseur de formants parallèles fourni par Carré (2004). Les transitions de fréquences F1, F2, et F3 sont respectivement de 200, 2200 et 3100 Hz, et la position d'équilibre se situe respectivement à 500, 1500 et 2500 Hz. La fréquence F0 est maintenue constante à 120 Hz. Chaque syllabe du continuum dure 200 ms. Ce continuum /də/-/tə/ a été choisi car la frontière catégorielle se situe autour de 0 ms de VOT dans ce contexte vocalique en français (Hoonhorst et al., 2011; Medina et al., 2010). L'étude de Hoonhorst et collaborateurs utilisant les mêmes stimuli a montré que des enfants et adultes tout-venant français perçoivent les stimuli de VOT négatif comme la syllabe /də/ et les stimuli de VOT positif comme /tə/ (Hoonhorst et al., 2011).

*Procédure.* Afin de faciliter l'association entre les sons perçus et les réponses des enfants, deux personnages dessinés sont présentés aux enfants, Dom et Tom, chacun étant associé spécifiquement à une syllabe, respectivement /də/ et /tə/. Cette présentation initiale des personnages et de la syllabe associée est réalisée au moyen d'un fichier PowerPoint®. Les enfants sont assis face à l'écran d'un ordinateur, à une distance d'environ 50cm, et les sons sont délivrés de façon binaurale par un casque (Sennheiser® HD 202).

### **a) Tâche d'identification**

*Familiarisation.* Avant la phase de test, une phase de familiarisation est proposée à l'enfant, composée d'un bloc de 20 stimuli situés aux extrémités du continuum. Dix stimuli ont un VOT de -75ms, et 10 stimuli ont un VOT de +75ms. Les stimuli sont présentés dans un ordre aléatoire à chaque fois, et donc pour chaque participant. L'enfant doit associer chaque son entendu avec le personnage correspondant, en cliquant sur la touche 1 pour le son /də/ ou 0 pour le son /tə/. Afin de faciliter cette association, les personnages sont présentés en bas de l'écran, Dom se situant à gauche (près de la touche 1) et Tom à droite (près de la touche 0), le clavier étant placé de façon centrale devant l'écran. Un intervalle de 2000 ms est présent entre la réponse de l'enfant et la présentation de l'item suivant. Après chaque réponse, un feedback est fourni sur l'écran (un écran rouge apparaît pour les réponses incorrectes, et l'image d'un cadeau apparaît au centre de l'écran pour les réponses correctes).

*Test.* Après la phase de familiarisation, la phase de test est proposée à l'enfant. La consigne lui est réexpliquée. La phase de test comprend un bloc de 60 stimuli, composé de 10 essais pour chaque valeur de VOT (-75, -45, -15, +15, +45, +75 ms). Les stimuli sont à chaque fois présentés dans un ordre aléatoire. Aucun feedback n'est fourni.

*Analyse des données.* Une méthode de régression logistique est utilisée pour extraire, à partir des courbes sigmoïdales d'identification de la syllabe /də/ (Collet et al., 2012 pour plus d'informations sur le calcul utilisé), les mesures de frontières, pentes, et des valeurs asymptotiques extrêmes (la plus élevée K1 et la plus basse K2) à partir desquelles une mesure de la largeur asymptotique a été calculée (K1-K2). Les scores relèvent d'un pourcentage de bonnes réponses. Une courbe de discrimination prédite sur des valeurs *d'* est calculée à partir de ces données selon une formule probabiliste élémentaire (Pollack et Pisoni, 1971) adaptée au paradigme AX de discrimination utilisé (Collet et al., 2012).

### **b) Tâche de discrimination**

*Familiarisation.* Une phase de familiarisation utilisant les stimuli qui se situent aux extrémités du continuum de VOT est proposée avant la phase de test. Cette phase de familiarisation comprend un bloc composé de 20 paires de stimuli (cinq essais de chacune des paires suivantes : -75/-75, -75/+75, +75/75 et +75/+75 ms), présentées à chaque fois dans un ordre aléatoire. Deux paires représentant les mêmes personnages (Dom-Dom et Tom-Tom) sont présentés en bas à droite de l'écran, près de la touche 0, que l'enfant doit presser s'il entend deux fois la même syllabe ("/də/-/də/" ou "/tə/-/tə/"). Deux paires représentant chacun des deux personnages (Dom-Tom et Tom-Dom) sont présentées en bas à gauche de l'écran, près de la touche 1, sur laquelle l'enfant doit appuyer s'il entend deux syllabes différentes (/də/-/tə/ ou /tə/-/də/). Un intervalle de 100 ms est présent entre deux stimuli d'une même paire, et de 2000 ms entre la réponse de l'enfant et la présentation de l'item suivant. Après chaque réponse, un feedback est fourni sur l'écran (un écran rouge apparaît pour les réponses incorrectes, et l'image d'un cadeau apparaît au centre de l'écran pour les réponses correctes).

*Test.* La tâche expérimentale de discrimination est présentée après la phase de familiarisation. Elle est composée d'un bloc de 80 paires de stimuli, proposés à chaque fois dans un ordre aléatoire. Le bloc est composé de cinq essais des huit paires de stimuli identiques (-75/-75, -45/-45, -15/-15, +15/+15, +45/+45, et +75/+75 ms) et de cinq essais des 10 paires comprenant

des stimuli différents (-75/-45, -45/-75, -45/-15, -15/-45, -15/+15, +15/15, +15/+45, +45/+15, +45/+75, and +75/+45 ms). Aucun feed-back n'est fourni à l'enfant durant la phase de test.

*Analyse des données.* La courbe de discrimination observée selon les valeurs  $d'$  et le VOT (-60, -30, 0, +30 and +60 ms, correspondant à la valeur centrée de VOT entre les syllabes au sein d'une paire de stimuli) est extraite de cette phase de test pour chaque sujet.

## 1.2. Les participants

### 1.2.1. Les populations d'enfants dyslexiques

Tous les enfants dyslexiques ayant participé aux expérimentations ont été diagnostiqués au CRTLA du CHU de Grenoble ou par des orthophonistes indépendants en libéral, en respectant les critères de diagnostic énoncés dans le Chapitre 1.1.1. En l'occurrence, tous ont suivi une scolarité normale, et aucun ne présente un trouble auditif ou visuel non corrigé, ou des antécédents de lésion cérébrale. Nous nous sommes également assuré de leur efficacité intellectuelle en proposant les PM38 (Raven, Court et Raven, 1998) si les résultats du WISC IV (Wechsler, 2005) n'étaient pas disponibles. Les enfants présentant un score inférieur au 25<sup>e</sup> centile sur les PM38 ou un ICV (Indice de Compréhension Verbal du WISC IV) ou IRP (Indice de Raisonnement Perceptif du WISC IV) inférieur à 85 ont été exclus. Tous les enfants ont pour langue maternelle le français. Excepté le cas que nous présentons dans l'étude II, tous les enfants ont bénéficié d'une prise en charge en orthophonie depuis au moins six mois, ce qui conforte le critère de durabilité (Vellutino et al., 2004). Les enfants présentant des troubles associés tels un trouble attentionnel de type TDAH, une dysphasie ou une dyspraxie ont été exclus. Tous les parents ou tuteurs des enfants ont signé un consentement éclairé ; un document de consentement prenant la forme d'un contrat d'engagement a également été proposé aux enfants dans l'étude longitudinale (Etude IV), afin de favoriser l'implication à long terme des enfants.

### 1.2.2. Les populations 'normatives' et groupes contrôles normo-lecteurs

Les données normatives pour les tâches visuo-attentionnelles de report partiel et report global sont issues des données recueillies lors de l'étude de Bosse & Valdois (2009) ayant exploré les capacités phonologiques et visuo-attentionnelles d'enfants tout-venant du CP au CM2, recrutés dans les écoles de la région grenobloise, tous de langue maternelle française et venant de milieux socio-culturels variés. Afin de calculer les z-scores des scores totaux de report partiel et report global, nous avons calculé les moyennes et écart types des scores de 104 enfants de CE2 et 108 enfants de CM2. Des données normatives ont été extraites spécifiquement pour les CM1 par interpolation.

Les normes pour la tâche d'omission de phonèmes et la tâche de segmentation de phonèmes ont également été extraites de la même étude (Bosse et Valdois, 2009), mais n'ont été utilisées que pour l'étude de cas (Etude II). Pour l'Etude III et l'Etude IV, 72 enfants normo-lecteurs (exclusion en cas de retard en lecture sur le test de l'Alouette supérieur ou égal à 18 mois) de langue maternelle française ont été recrutés dans les écoles de la région grenobloise (35 CE2

et 37 CM2) afin de constituer les groupes contrôle. Les trois tâches de conscience phonologique ont été proposées afin de calculer des z-scores grâce à une mesure des scores, mais également des temps de passation pour chacune des épreuves, qui n'avaient pas été enregistré dans l'étude de Bosse et Valdois. Cependant, étant donnée la variabilité obtenue en fonction des expérimentateurs, nous n'avons finalement pas retenu cette mesure. Les épreuves de perception catégorielle de phonèmes (identification et discrimination) ont également été proposées à cette population d'enfants normo-lecteurs ; cette population constitue donc en partie le groupe contrôle de l'Etude III. A noter que les enfants dyslexiques de CM1 ont été comparés aux enfants de CE2, sauf en cas de redoublement, afin d'éviter les faux positifs dans notre identification des déficits sous-jacents. Tous les parents ou tuteurs des enfants participant ont signé un consentement éclairé, et aucun résultat individuel n'a été transmis aux enseignants.

Les données normatives pour les tâches de lecture de mots et de pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2002) sont celles recueillies pour la constitution de la BALE (Batterie Analytique du Langage Ecrit) dans sa version la plus récente (Jacquier-Roux, Lequette, Pouget, Valdois et Zorman, 2010). Cette batterie a été étalonnée auprès de 536 élèves du CE1 au CM2 (CE1 : n=143, CE2 : n=127, CM1 : n=116, CM2 : n=150), venant de milieux socio-culturels variés.

### 1.3. Considérations statistiques

Divers tests ont été utilisés afin de répondre aux hypothèses. Ce sont principalement des ANOVAs et des tests t de Student pour évaluer les différences inter-groupes (groupe dyslexique versus groupe contrôle), et des ANOVAs à mesures répétées lorsque différentes variables intra-individuelles ont été considérées. Des analyses de corrélations ont également été fréquemment utilisées (r de Pearson) afin de quantifier la part de variance commune entre deux variables d'intérêt, et surtout des corrélations partielles, permettant de contrôler l'effet de certaines variables (notamment l'âge chronologique). Des analyses factorielles, des analyses de régressions, des Chi<sup>2</sup> et des t modifiés de Crawford & Howell (Crawford et Garthwaite, 2002; Crawford et Howell, 1998) ont été utilisés spécifiquement dans certaines des études.

Les conditions d'applications de chaque test ont été respectées. En particulier pour toutes les analyses paramétriques, la normalité des distributions des variables pour chaque groupe a été vérifiée. Lorsque la normalité des distributions n'était pas respectée, des transformations ont été appliquées sur les données afin d'atteindre une distribution normale selon le test de Kolmogorov-Smirnoff (jusqu'à atteindre une significativité à  $p > .20$ ). Pour les analyses de variance, l'homogénéité des variances a été testée selon le test de Levene ( $p > .05$ ).

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sous Statistica 7, à l'exception des calculs de régression logistique de l'étude III et IV, et de l'analyse de médiation de l'étude III, réalisés sous SPSS, et des t modifiés réalisés grâce aux programmes SINGLIMS.exe (Crawford et Howell, 1998) et DIFFLIMS.exe (Crawford et Garthwaite, 2002).



## 2. Etude I : Dyslexie mixte et hétérogénéité cognitive

---

Cette étude a fait l'objet d'une publication dans la revue PLoSOne en 2014 (*Annexe XI*) :

Zoubrinetzky, R., Bielle, F. et Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes: heterogeneity of mixed reading profiles. *PLoS One*, 9(6), e99337. doi: 10.1371/journal.pone.0099337

### 2.1. Enjeux théoriques et cliniques

Dans le Chapitre 1 de ce manuscrit, nous avons passé en revue différentes théories cognitives explicatives de l'hétérogénéité comportementale observée dans la population dyslexique, en particulier concernant les sous-types comportementaux classiquement étudiés et utilisés sur le plan clinique, à savoir la dyslexie phonologique, la dyslexie de surface, et la dyslexie mixte. Il apparait que les liens entre les atteintes cognitives distales, tels un trouble phonologique ou un trouble de l'empan VA, et les atteintes cognitives proximales, relevant du fonctionnement des deux voies de lecture et responsables du profil comportemental, soulèvent des questions. En effet, alors que de nombreuses études suggèrent des relations univoques 'une à une', stipulant qu'un trouble phonologique affectera la voie sub-lexicale, tandis qu'un trouble de l'empan VA affectera la voie lexicale, d'autres études soutiennent qu'un trouble phonologique pourrait affecter les deux voies de lecture. De même, l'empan VA semble également impliqué dans le traitement sub-lexical. Les cas de dyslexies mixtes et leur forte prévalence dans la population dyslexique pourraient permettre d'apporter des éclairages sur ces questions, mais n'ont pourtant que très peu été étudiés. La prévalence des dyslexies mixtes semble peu compatible avec l'hypothèse de relations univoques entre les atteintes cognitives et les profils de lecture car il faudrait postuler une prévalence de doubles déficits dans la population dyslexique. Or, il peut paraître statistiquement moins probable de voir survenir un double déficit plutôt qu'un seul. En revanche, l'hypothèse qu'un trouble phonologique, un trouble de l'empan VA, ou un double déficit puissent rendre compte chacun indépendamment d'un profil de dyslexie mixte permettrait de rendre compte de cette prévalence de façon directe.

Ces questions sont fondamentales sur le plan clinique comme sur le plan théorique, car les réponses apportées permettront de savoir si les sous-types de dyslexie basés sur les profils comportementaux en langage écrit sont pertinents pour sélectionner des groupes dyslexiques homogènes, dont l'étude peut permettre de tirer des conclusions significatives au niveau génétique, neurobiologique, cognitif et thérapeutique.

### 2.2. Objectifs et Hypothèses

L'objectif de cette étude a été d'examiner les capacités de conscience phonologique et d'empan VA d'enfants dyslexiques qui tous présentent un profil de dyslexie mixte, c'est-à-dire un déficit en lecture de mots (irréguliers et réguliers) et de pseudo-mots. La question est donc de savoir si une population homogène quant à son profil de lecture est cognitivement homogène ou pas.

Dans la première partie de l'étude 1, nous nous sommes intéressé à cette population dyslexique dans sa totalité, afin de déterminer si des sous-types cognitifs distincts peuvent être identifiés, caractérisés soit par un trouble de la conscience phonologique, soit par un trouble de l'empan VA, soit par les deux déficits. La présence de ces troubles est établie par référence à des données contrôles émanant d'enfants appariés en âge chronologique. La méthode suivie est très proche de celle utilisée par Bosse et collaborateurs (2007), mais les profils de lecture des enfants n'ont été ni contrôlés ni pris en compte dans leur étude. Une conception classique de la dyslexie basée sur le modèle double-voie prédit une large prédominance de double déficit (comorbidité entre trouble de la conscience phonologique et trouble de l'empan VA) dans la population d'enfants dyslexiques mixtes. Mais des prédictions différentes sont issues du modèle ACV98. Selon ce modèle, un seul type de déficit cognitif, qu'il soit phonologique ou de l'empan VA, peut altérer l'ensemble du système de lecture (soit les deux procédures, globale et analytique) ; la présence d'un double déficit reste dans ce cas marginale, en cohérence avec sa probabilité statistique de survenue. Dans cette première partie de l'étude, la mise en évidence de profils cognitifs distincts sera donc considérée comme un premier argument montrant que la classification basée sur le modèle double-voie n'est pas pertinente pour identifier des sous-groupes homogènes dans la population dyslexique.

Dans la seconde partie de l'étude 1, nous avons adopté le point de vue en miroir et exploré les profils de lecture des sous-groupes qui sont clairement distincts sur le plan cognitif. Nous nous sommes focalisés sur les performances en langage écrit du groupe caractérisé par un trouble phonologique isolé et celles du groupe présentant un trouble de l'empan VA isolé. Les deux groupes ont été appariés sur le niveau de lecture. Nous avons par ailleurs vérifié que les troubles cognitifs caractéristiques de chacun des deux groupes ne sont pas liés au manque d'expérience en lecture des enfants. Pour cela, des comparaisons avec un groupe contrôle apparié sur le niveau de lecture ont été réalisées.

Une analyse quantitative sur les performances en langage écrit (précision et vitesse de lecture, dictée) a ensuite été menée de façon à déterminer si un trouble phonologique affecte plus directement le traitement des pseudo-mots, et si un trouble de l'empan VA affecte plus directement le traitement des mots irréguliers, en accord avec les prédictions faites sur les profils de dyslexie phonologique et de surface. L'absence de dissociations ou de tendance forte pourra ainsi être considérée comme un argument supplémentaire montrant que des troubles cognitifs distincts ne conduisent pas nécessairement à des profils comportementaux en langage écrit distincts, autrement dit que les profils en langage écrit ne reflètent pas de façon univoque les troubles cognitifs distaux sous-jacents.

Une analyse qualitative sur les types d'erreurs a ensuite été réalisée, afin d'examiner si des signes du trouble cognitif sous-jacent peuvent tout de même être identifiés à ce niveau. Des erreurs phonologiques sont attendues pour le groupe présentant un trouble isolé de la conscience phonologique tandis que des erreurs phonologiquement plausible et des régularisations doivent prédominer pour le groupe avec trouble de l'empan VA isolé. A l'inverse, des erreurs de nature visuelle, et notamment des erreurs de découpage des graphèmes, sont attendues pour le groupe avec trouble de l'empan VA et pas dans le groupe avec trouble phonologique.

## 2.3. Partie 1. Analyses sur l'ensemble de la population

### 2.3.1. Méthodologie

#### a) *Participants*

Cent-quarante-deux enfants ont participé à cette étude : 71 enfants présentant une dyslexie et 71 enfants normo-lecteurs constituant le groupe contrôle apparié en âge chronologique (issu des données de (Bosse et Valdois, 2009)). Les enfants dyslexiques ont tous été recrutés au CRTLA du CHU de Grenoble et ont donc bénéficié d'un examen médical, orthophonique et neuropsychologique, permettant de poser le diagnostic de dyslexie et de s'assurer de l'absence de troubles associés tels une dysphasie ou un trouble attentionnel. Chaque enfant dyslexique présentait un profil de dyslexie mixte : leur score et/ou temps de lecture était déficitaire sur les listes de mots irréguliers et de pseudo-mots, à au moins 1,6 ET en dessous de la norme (ET médian pour les mots irréguliers = -4,4ET, pour les pseudo-mots = -3,8ET). Le groupe contrôle et le groupe dyslexique (Dys) étaient appariés sur l'âge chronologique (âge moyen respectif de 10ans 6 mois, ET = 16 mois et 10 ans 5 mois, ET = 14 mois ;  $t(141) = -0.33$ ,  $p = .74$ ). En revanche les deux groupes différaient quant à leur âge de lecture moyen, celui du groupe contrôle correspondant à son âge chronologique moyen (10 ans 5 mois, ET = 22 mois) tandis que le groupe dyslexique présentait un retard de plus de trois ans en moyenne (7 ans 6 mois, ET = 6 mois ;  $t(141) = 13.8$ ,  $p < .0001$ ).

#### b) *Procédure et matériel*

L'évaluation comprenait les épreuves de lecture décrites précédemment : la lecture de liste de mots, réguliers et irréguliers, et de pseudo-mots et le test de l'Alouette permettant le calcul de l'âge de lecture. Tous les enfants ont également été soumis aux trois tâches de conscience phonologiques et aux deux tâches d'empan VA, ainsi qu'à la tâche contrôle d'identification de lettres isolées, toutes décrites ci-dessus. Deux tâches de dictées de mots et de pseudo-mots ont également été proposées aux enfants dyslexiques ; elles sont présentées dans la seconde partie de l'étude (cf. a) Matériel et prédictions). Les tâches ont été présentées dans un ordre aléatoire.

### 2.3.2. Résultats

#### a) *Vue d'ensemble des performances*

Les performances du groupe d'enfants dyslexiques et du groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs ont été comparées sur chacune des tâches. Les données descriptives et les résultats des analyses de comparaison sont présentés dans le Tableau 2. Le groupe dyslexique a montré des performances significativement plus faibles sur toutes les tâches de lecture et sur toutes les tâches VA, ainsi que sur deux des trois tâches de conscience phonologique ; la différence n'est pas significative sur la tâche de segmentation de phonèmes.

**Tableau 2.** Moyennes, écart-types (ET), étendues et comparaisons du groupe dyslexique (Dys) et du groupe contrôle apparié sur l'âge chronologique (Contrôle AC) sur les mesures de l'âge chronologique, l'âge de lecture, la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps), sur les tâches d'omission et de segmentation (Segment) de phonèmes, d'acronymes, l'identification de lettres (Id. lettres), et les tâches de report global et partiel.

	Contrôle AC		Dys		Comparaisons	
	Moyenne (ET)	Min - Max	Moyenne (ET)	Min - Max	t (140)	p
Age (mois)	125,1 (13,7)	99 - 146	125,9 (16,4)	98 - 175	-0,33	0,744
Age de lecture (mois)	125,2 (22,4)	88 - 171	87,4 (5,6)	78 - 102	13,80	<0,001
Reg score (/20)	19,3 (0,8)	17 - 20	15,6 (2,7)	6 - 20	10,94	<0,001
Reg tps (sec)	16,1 (4,9)	8 - 30	49,2 (20,6)	18 - 159	-13,15	<0,001
Irreg score (/20)	17 (2,5)	10 - 20	9,8 (3,5)	1 - 20	14,08	<0,001
Irreg tps (sec)	18 (6,9)	7 - 41	60,5 (29,2)	18 - 229	-11,92	<0,001
PM score (/20)	17,8 (1,4)	14 - 20	11,5 (3,2)	3 - 18	15,12	<0,001
PM tps (sec)	22 (6,3)	11 - 43	57,7 (20,4)	19 - 192	-14,09	<0,001
Omission (%)	84,4 (16,8)	40 - 100	69,4 (21,2)	30 - 100	4,69	<0,001
Segment. (%)	57,3 (27,5)	6 - 100	53,1 (28,7)	0 - 100	0,88	0,383
Acronyme (%)	84,5 (15)	50 - 100	66,3 (24,3)	0 - 100	5,36	<0,001
Id. lettres (/50)	44,4 (6,3)	26 - 50	39,2 (7,5)	17 - 50	4,51	<0,001
Report global (%)	83,9 (9,6)	63 - 100	70 (11,6)	46 - 90	7,81	<0,001
Report partiel (%)	87,9 (8,1)	64 - 100	75 (13,1)	38 - 100	7,00	<0,001

### ***b) Analyses de corrélations***

Une analyse de corrélations a été conduite sur toutes les mesures (lecture, conscience phonologique, empan visuo-attentionnel, et âge, soit 14 variables), sur l'ensemble des participants [correction de Bonferroni :  $p < 0.05/(14*14)$ ]. Les résultats de cette analyse, avec et sans contrôle de l'âge chronologique et des capacités d'identification de lettres (corrélations partielles), sont présentés dans le Tableau 3.

De fortes corrélations sont présentes comme attendu entre les mesures reflétant les mêmes processus cognitifs, c'est-à-dire entre les mesures de lecture, entre les mesures phonologiques, et entre les mesures d'empan VA. Les mesures d'empan VA et les mesures de conscience phonologique ne sont pas significativement corrélées, suggérant que ces deux types de mesures relèvent de processus cognitifs différents. Les mesures de conscience phonologique (omission et acronyme) corrélaient fortement avec les mesure de lecture (de .31 à .45 sur les corrélations partielles) et ces dernières corrélaient également fortement avec les mesures d'empan VA (de .38 à .61 sur les corrélations partielles). On note cependant que les mesures des temps de lecture de pseudo-mots ne sont pas corrélées avec les tâches de conscience phonologique, bien que cette tâche soit considérée comme principalement liée aux compétences phonologiques.

**Tableau 3. Analyse de corrélations** sur l'âge chronologique, l'identification de lettres (Id. lettres), les tâches d'omission et de segmentation (Segment) de phonèmes, d'acronymes, de report global (RG), de report partiel (RP), l'âge de lecture (AL), la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps). **Analyse de corrélations partielles** sous la diagonale, avec contrôle de l'âge chronologique et de l'identification de lettres. (N = 142). \*  $p < .00025$  (correction de Bonferroni).

	Id. lettre	Omission	Segment	Acronyme	RG	RP	AL	Reg score	Reg tps	Irreg score	Irreg tps	PM score	PM tps
Age	.05	.00	-.02	.09	.26	.22	-.20	.20	-.20	.32*	-.22	.10	-.17
Id. lettre	--	.03	-.12	.08	.45*	.43*	-.29	.19	-.27	.22	-.29	.23	-.28
Omission		--	.41*	.47*	.20	.07	-.35*	.43*	-.30*	.48*	-.31*	.38*	-.25
Segment.			--	.38*	-.05	-.13	-.10	.22	-.01	.22	-.03	.11	.05
Acronyme				--	.15	.04	-.37*	.44*	-.32*	.44*	-.30*	.38*	-.24
RG					--	.71*	-.63*	.50*	-.63*	.61*	-.62*	.51*	-.62*
RP						--	-.54*	.44*	-.54*	.54*	-.51*	.50*	-.53*
AL							--	-.75*	.94*	-.86*	.93*	-.80*	.89*
Reg score								--	-.74*	.82*	-.68*	.85*	-.65*
Reg tps									--	-.83*	.98*	-.70*	.95*
Irreg score										--	-.82*	.80*	-.74*
Irreg tps											--	-.65*	.95*
PM score												--	-.64*
PM tps													--

### c) *Analyse en composantes principales et régression hiérarchiques*

Afin de réduire les variables permettant d'explorer les facteurs concurrents prédicteurs des capacités de lecture des enfants dyslexiques et des enfants normo-lecteurs, nous avons réalisé une analyse en composantes principales avec rotation varimax sur les trois tâches phonologiques et les deux tâches d'empan VA. Tous les facteurs dont les poids sont supérieurs à /0.70/ ont été retenus pour les interprétations. L'analyse a révélé une solution à deux facteurs. Le premier facteur rend compte de 30,8% de la variance, avec des poids factoriels élevés venant des tâches d'omission, de segmentation et d'acronymes (de 0.76 à 0.80). Ce facteur a donc été apparenté au facteur phonologique. Le second facteur reçoit des poids factoriels élevés de la tâche de report global et de la tâche de report partiel (de 0.91 à 0.92) et explique 31,4% de la variance. Ce facteur a donc été apparenté au facteur d'empan VA. Les résultats de l'analyse factorielle sont présentés dans le Tableau 4.

**Tableau 4.** Résultats de l'analyse en composante principale.

Tâches	Poids factoriels	
	Facteur 1 : Phonologique	Facteur 2 : empan VA
Omission	<b>0.80</b>	0.16
Décomposition	<b>0.76</b>	-0.20
Acronyme	<b>0.78</b>	0.11
Report global	0.12	<b>0.91</b>
Report partiel	-0.05	<b>0.92</b>

Une analyse de régression hiérarchique à partir des scores factoriels de chacun des participants dérivés de l'analyse en composante principale, a été utilisée pour explorer la contribution de chacun des facteurs aux capacités de lecture. Deux ensembles de régressions hiérarchiques ont été réalisés, afin d'évaluer la contribution spécifique de chacun des facteurs. Dans les deux cas, l'âge et les performances en identification de lettres isolées ont été entrés à l'étape 1 pour contrôler l'influence de ces variables. Nous avons ensuite forcé l'entrée soit du facteur phonologique soit du facteur d'empan VA à l'étape 2, pour évaluer la contribution unique du facteur restant à l'étape 3. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

Le modèle complet rend compte de plus de 40% de la variance des performances (score et temps) sur chaque tâche de lecture (de 42.7% à 62.4%). Le facteur phonologique et le facteur d'empan VA contribuent tous deux indépendamment aux scores (de 15.5% à 27.7%), et aux temps (de 3% à 30.2%) de lecture sur tous les types de listes. Plus particulièrement, nous soulignons qu'en accord avec la théorie de l'auto-apprentissage, les capacités phonologiques contribuent aux performances en lecture de mots irréguliers (22% pour les scores, 6% pour le temps). A l'inverse, comme nous l'avions prédit, les capacités d'empan VA rendent compte d'une part non négligeable de la variance en lecture de pseudo-mots (28% pour le score, 29% pour le temps). De plus, en accord avec les résultats de l'étude de Bosse & Valdois (2009) menée sur des enfants tout-venant d'âge similaire (Grade 3 et 5), le facteur phonologique

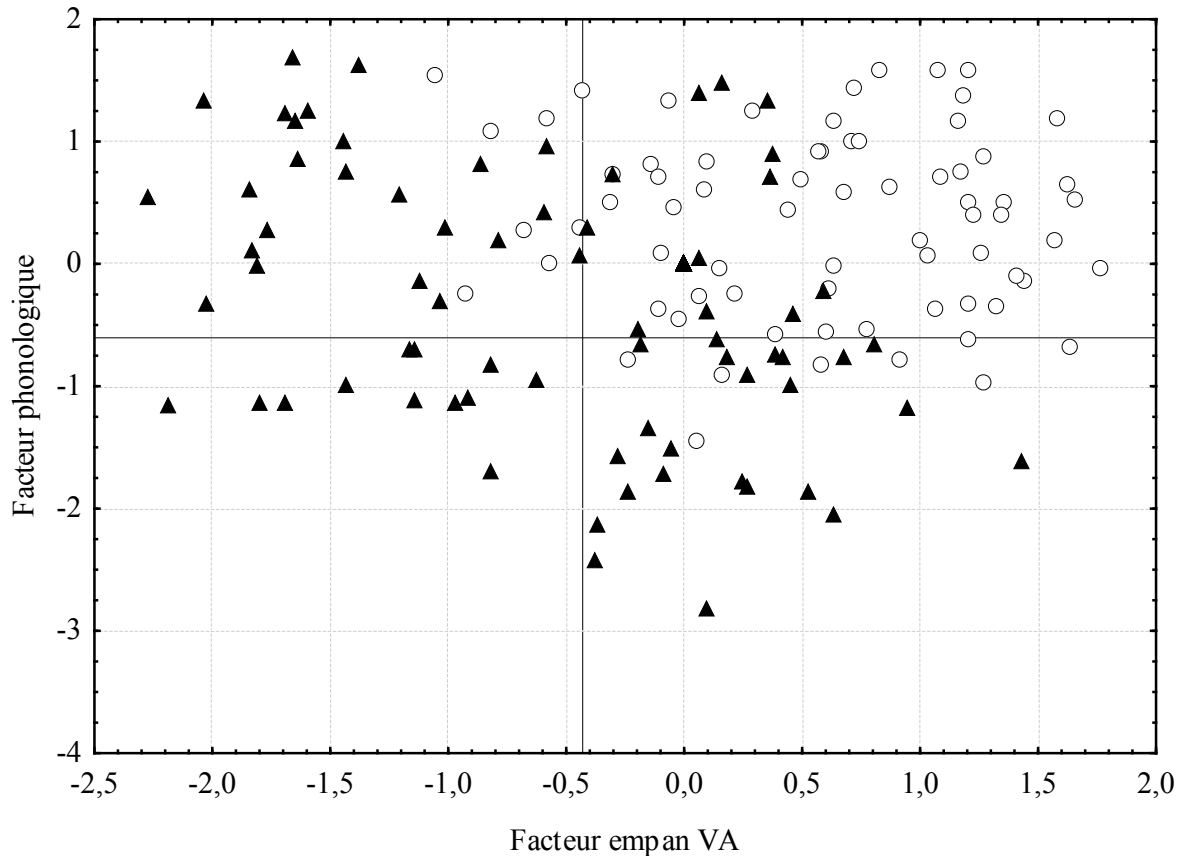
explique moins chacun des temps de lecture que ne le fait le facteur d'empan VA (de 3% à 7% pour le facteur phonologique et de 26% à 30% pour le facteur d'empan VA).

**Tableau 5. Résultats des analyses de régression hiérarchiques.** Contribution ( $R^2$ ) de chaque facteur (phonologique et empan VA) sur la lecture de mots réguliers en score (Reg score) et en temps (Reg tps), de mots irréguliers en score (Irreg score) et en temps (Irreg tps), et de pseudo-mots en score (PM score) et en temps (PM tps). La première étape correspond à l'entrée forcée de deux variables contrôles (âge chronologique et identification de lettres). \*\*\*  $p < .001$  \*\*  $p < .01$  \*  $p < .05$

Facteur	$R^2$					
	Reg score	Reg tps	Irreg score	Irreg tps	PM score	PM tps
1. Contrôle	.073**	.108***	.142***	.127***	.064**	.103***
2. Phonologique	.204***	.065**	.220***	.066***	.156***	.031*
3. Empan VA	.186***	.302***	.262***	.261***	.277***	.292***
2. Empan VA	.188***	.303***	.264***	.262***	.279***	.293***
3. Phonologique	.203***	.063***	.218***	.065***	.155***	.030**
Total	.465***	.475***	.624***	.454***	.497***	.427***

#### *d) Identification de sous-groupes cognitifs dyslexiques*

L'analyse de régression montre qu'un facteur phonologique et un facteur d'empan VA contribuent tous deux indépendamment aux performances en lecture des enfants dyslexiques et normo-lecteurs. Nous avons ainsi pu explorer l'existence de sous-groupes définis par un trouble sur chacun de ces facteurs parmi les enfants dyslexiques. Pour cela, nous avons analysé la distribution des coefficients factoriels dérivés de l'analyse en composante principale de chacun des participants. Les enfants dyslexiques dont les scores factoriels se situent en dessous du 10e centile des scores factoriels des enfants normo-lecteurs ont été considérés comme présentant un déficit sur la composante factorielle considérée, soit au seuil de -0,43 pour le facteur d'empan VA et de -0,60 sur le facteur phonologique. Les scores factoriels de chaque participant sont représentés dans la Figure 7.



**Figure 7.** Nuage de points représentant les coefficients factoriels phonologiques (en ordonnée) et d’empan VA (en abscisse) des participants dyslexiques (triangle) et des normo-lecteurs (cercle).

Bien que les profils comportementaux en lecture soient homogènes parmi les enfants dyslexiques, puisque tous présentent un profil de dyslexie mixte, leurs profils cognitifs sur la dimension phonologique et VA sont hétérogènes. Quatre sous-groupes peuvent être distingués : 23 enfants dyslexiques sont caractérisés par un déficit phonologique unique (Dys phonologique = 32%), 24 sont caractérisés par un déficit de l’empan VA (Dys empan VA = 34%), seulement 12 enfants dyslexiques présentent un double déficit (17%), et les 17% restant ne présentent aucun déficit sur les deux dimensions cognitives explorées. Nous remarquons que ces proportions sont relativement similaires à celles obtenues auprès d’une population d’enfants dyslexiques tout-venant dans l’étude de Bosse et collaborateurs (2007).

#### 2.4. Partie 2. Comparaisons entre dyslexiques mixtes phonologiques et dyslexiques mixtes avec trouble de l’empan VA

Dans la première partie de cette étude, nous avons montré que les enfants dyslexiques, bien que présentant tous un profil en lecture de dyslexie mixte, montrent des profils cognitifs variés. Ces données suggèrent que le lien entre profil de lecture et profil cognitif est plutôt faible. Dans cette seconde partie, nous avons approfondi cette question en comparant directement les performances en lecture, mais également en dictée, des deux sous-groupes d’enfants dyslexiques identifiés précédemment comme présentant un trouble phonologique



unique ou un trouble unique de l'empan VA. Une analyse quantitative des performances et une analyse qualitative, c'est-à-dire explorant le type d'erreur en lecture et en dictée, ont été menées. Sur le plan quantitatif, nous avons eu pour objectif d'explorer un possible déséquilibre entre les performances relatives au traitement des mots irréguliers et celles relatives au traitement des pseudo-mots en fonction du trouble cognitif sous-jacent. Le trouble phonologique est supposé affecter davantage la lecture de pseudo-mots, et le trouble de l'empan VA avoir davantage d'impact sur la lecture de mots irréguliers. Sur le plan qualitatif, une analyse des erreurs nous permettra d'explorer de possibles indices du trouble cognitif sous-jacent dans le type d'erreurs produit par l'enfant dyslexique en lecture et en dictée.

#### **2.4.1. Caractéristiques des deux sous-groupes dyslexiques**

Neuf enfants du groupe avec déficit phonologique et 10 enfants du groupe avec déficit de l'empan VA ont été exclus des analyses afin que les deux groupes soient appariés en âge chronologique, en âge de lecture et en capacités d'identification de lettres isolées. Quatorze dyslexiques avec déficit phonologique (Dys phonologique) et 14 dyslexiques avec déficit de l'empan VA (Dys VA) ont ainsi été retenus. Quatorze enfants du groupe contrôle normo-lecteurs ont également été aléatoirement sélectionnés jusqu'à ce que ce groupe contrôle soit apparié en âge chronologique avec les deux groupes dyslexiques (Contrôle AC). Un autre groupe contrôle apparié sur l'âge de lecture (Contrôle AL) a également été constitué, afin de vérifier si le déficit phonologique et le déficit d'empan VA des groupes dyslexiques peuvent être reliés ou non à un manque d'expérience en lecture. Un score composite (moyenne) phonologique a été calculé à partir des pourcentages de bonnes réponses sur les trois tâches de conscience phonologique. Un score composite d'empan VA a été calculé à partir des deux tâches VA de report de lettres. Des ANOVA avec comparaisons planifiées ont été réalisées sur l'ensemble des variables que nous venons d'évoquer. Les caractéristiques des quatre groupes et les résultats des analyses de comparaisons de ces quatre groupes sur chacune des variables sont présentés dans le Tableau 6.

**Tableau 6.** Moyennes, écart-types (ET), étendues et comparaisons du groupe dyslexique avec trouble de l'empan VA (Dys VA), du groupe dyslexique avec trouble phonologique (Dys Phono), du groupe contrôle apparié sur l'âge chronologique (Contrôle AC) et du groupe contrôle apparié sur l'âge de lecture (Contrôle AL), sur le score composite phonologique (Score phonologique), le score composite d'empan VA (Score empan VA), et les variables contrôles : âge, âge de lecture et capacités d'identification de lettres isolées (Id. lettres). Pour les analyses de comparaisons, les différences significatives à  $p < .05$  sont indiquées par une lettre en italique correspondant au groupe comparé.

	Dys VA (a)	Dys Phono (b)	Contrôle AC (c)	Contrôle AL (d)
Age et Tâches	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)
	Min - Max	Min - Max	Min - Max	Min - Max
Age	120.4 (14.2) <i>d</i>	122.4 (10.8) <i>d</i>	118.6 (13.1) <i>d</i>	84.3 (3.9) <i>abc</i>
	98 - 146	102 - 142	101 - 141	77 - 88
Age de lecture	86.5 (4.2) <i>c</i>	88.1 (6.9) <i>c</i>	111.2 (15.5) <i>abd</i>	87.6 (5.6) <i>c</i>
	79 - 94	78 - 99	88 - 134	79 - 101
Score phonologique	76.4 (9.4) <i>bd</i>	43.5 (12.8) <i>acd</i>	70.7 (12.9) <i>bd</i>	59.4 (18.9) <i>abc</i>
	64.4 - 92.8	17.8 - 59.4	51.1 - 94.4	17.8 - 91.7
Id. lettre	39.4 (5.3) <i>d</i>	41.6 (6.5) <i>d</i>	41.5 (6.3) <i>d</i>	30.1 (9) <i>abc</i>
	30 - 49	21 - 47	28 - 49	18 - 44
Score empan VA	63.4 (7.3) <i>bcd</i>	80.6 (4.3) <i>ad</i>	80.8 (7.3) <i>ad</i>	73.0 (9.3) <i>abc</i>
	52.5 - 73	74.5 - 88.5	70.5 - 93.5	59.5 - 95

Les résultats des analyses montrent que le score phonologique pour le groupe d'enfants dyslexiques identifié comme groupe 'Dys Phonologique' est bien significativement différent de celui du groupe contrôle apparié sur l'AC [ $F(1,52) = 26.79$  ;  $p < .001$ ], mais également de celui du groupe contrôle apparié sur l'AL [ $F(1,52) = 9.11$  ;  $p = .004$ ]. En revanche, le score phonologique du groupe Dys VA n'est pas significativement différent de celui du groupe contrôle AC [ $F(1,52) = 1.18$  ;  $p = .282$ ] et apparaît meilleur que celui du groupe contrôle AL [ $F(1,52) = 10.53$  ;  $p = .002$ ]. Le déficit phonologique est donc bien présent spécifiquement chez le groupe Dys Phonologique, et ne peut être expliqué par un manque d'expérience en lecture. De même, le score d'empan VA pour le groupe Dys VA est bien significativement différent de celui du groupe contrôle AC [ $F(1,52) = 39.77$  ;  $p < .001$ ] et de celui du groupe contrôle AL [ $F(1,52) = 12.09$  ;  $p = .001$ ]. Le groupe Dys Phonologique en revanche ne présente pas de déficit de l'empan VA [ $F < 1$ ] et ses performances en empan VA sont, comme attendu, meilleures que celles du groupe contrôle AL [ $F(1,52) = 7.64$  ;  $p = .008$ ]. Le déficit d'empan VA est donc bien présent spécifiquement dans le groupe Dys VA, et ne peut être expliqué par un manque d'expérience en lecture. D'autre part, on note que les capacités de traitement de lettres isolées du groupe Dys phonologique et du groupe Dys VA sont similaires

à celles du groupe contrôle AC [ $F < 1$  pour les deux groupes Dys] et sont meilleures que celles du groupe contrôle AL [respectivement  $F(1,52) = 19.53$  ;  $p < .001$  et  $F(1,52) = 12.77$  ;  $p < .001$ ]. Ceci suggère que les faibles habiletés des enfants plus jeunes (contrôle AL) dans le traitement de lettres isolés pourraient rendre compte de leurs faibles capacités d'empan VA ; cependant le groupe Dys VA présente un très faible empan VA même lorsque comparé à ce groupe contrôle AL, alors que ses capacités de traitement de lettres isolées sont dans la moyenne des enfants de même âge. En somme, nous avons constitué ici deux groupes dyslexiques présentant des troubles cognitifs distincts, phonologique ou d'empan VA, qui ne peuvent être expliqués par la faible expérience en lecture des enfants.

#### 2.4.2. Analyse quantitative

##### a) *Matériel et prédictions*

Les performances des deux groupes dyslexiques présentant un déficit phonologique (Dys Phonologique) ou de l'empan VA (Dys VA) sur les épreuves de lecture de mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots présentées précédemment ont été comparées (score et temps). Deux tâches supplémentaires de dictées de mots et de pseudo-mots ont également été proposées aux enfants. La tâche de dictée de mots comprend 66 mots (Martinet et Valdois, 1999), dont 22 mots très réguliers (application des règles de conversion phonème-graphème les plus fréquentes ; e.g. marmite), 22 mots inconsistants (application d'une règle de conversion rare : le phonème est inconsistant, associé à un graphème relativement rare ; e.g. cuisson), et 22 mots très irréguliers (incluant une particularité orthographique ou un graphème rare ; e.g. haricot). Les trois types de mots sont appariés en longueur et en fréquence (respectivement 126, 131 et 134 par million d'après Manulex) (Lété, Sprenger-Charolles et Colé, 2004). Tous les mots ont été mélangés de façon aléatoire puis sont toujours présentés dans le même ordre. Une dictée de pseudo-mots a également été proposée, comprenant 10 pseudo-mots bisyllabiques et 10 pseudo-mots trisyllabiques issus de l'ODEDYS (Jacquier-Roux et al., 2002). Les pseudo-mots de ces listes n'ont aucun voisin lexical.

Si les profils comportementaux en langage écrit (lecture et dictée) sont pertinents pour identifier des groupes dyslexiques distincts sur le plan cognitif, les deux groupes dyslexiques (Dys Phonologique et Dys VA) que nous avons identifiés devraient présenter des profils comportementaux en langage écrit différents. En effet, bien que les enfants dyslexiques aient tous été sélectionnés pour présenter un trouble en lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots, des différences relatives opposées pourraient apparaître entre les deux groupes dyslexiques. En l'occurrence de plus faibles capacités dans le traitement des pseudo-mots sont attendues pour le groupe Dys Phonologique par rapport au groupe Dys VA. A l'inverse, de plus faibles capacités de traitement des mots irréguliers devraient être identifiables pour le groupe d'enfants Dys VA comparés à leurs homologues présentant un trouble phonologique. Cependant, si comme nous le supposons les troubles cognitifs phonologiques ou VA peuvent tous deux avoir un impact sur les deux procédures de lecture, les deux groupes dyslexiques pourraient alors ne pas se distinguer sur les différentes tâches de lecture de mots et pseudo-mots. En revanche pour les épreuves de dictées nos prédictions sont quelque peu différentes. En effet, alors que les deux types de déficits cognitifs pourraient affecter la dictée de mots irréguliers, la dictée de pseudo-mots devrait être relativement préservée chez les enfants

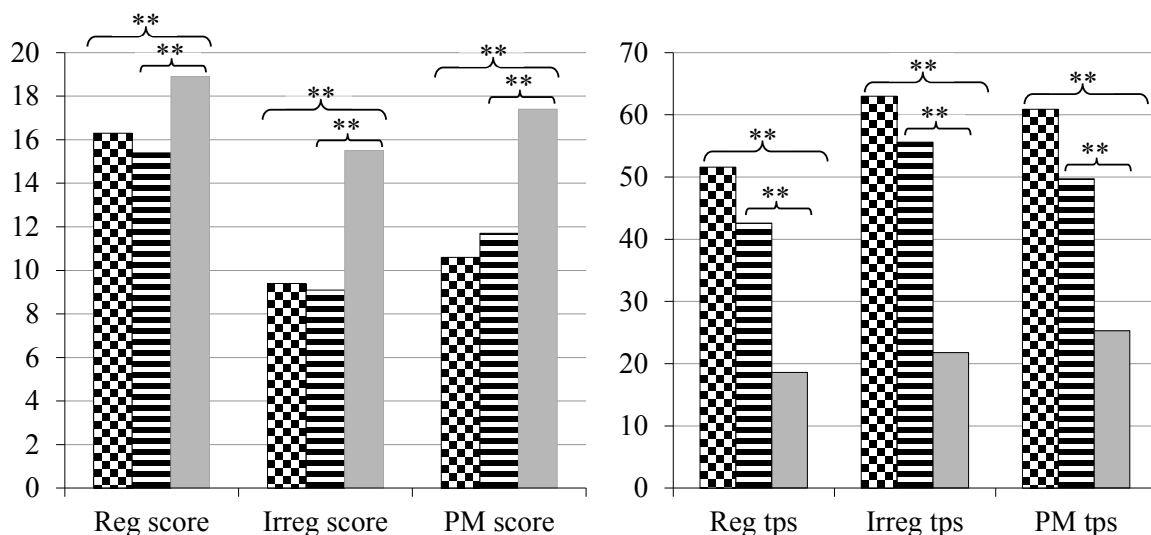
dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA, mais elle devrait être particulièrement difficile pour les enfants présentant un trouble phonologique, ce dernier affectant l'analyse des phonèmes constituant le pseudo-mot et les connaissances des conversions phonème-graphème, des processus qui devraient être efficaces chez les enfants avec trouble de l'empan VA.

### ***b) Résultats de l'analyse quantitative***

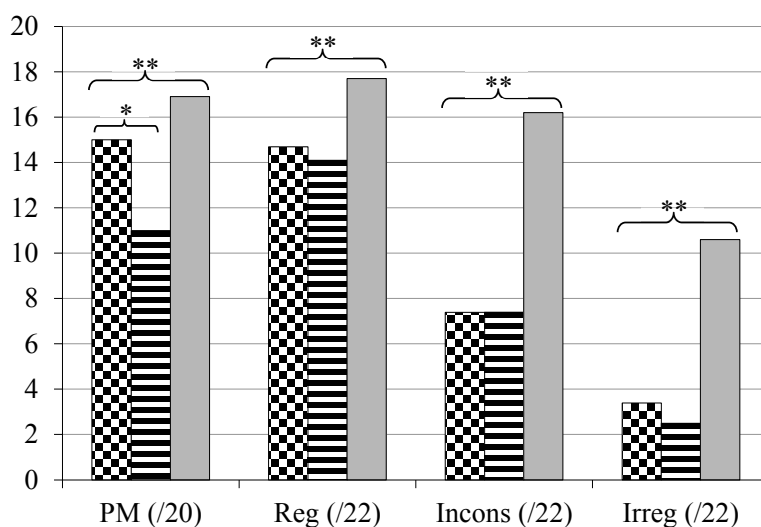
Une ANOVA avec analyses de contrastes a été réalisée sur l'ensemble des variables décrites ci-dessus pour comparer les performances des deux groupes dyslexiques entre eux et de chacun des groupes dyslexiques avec le groupe contrôle AC.

Les résultats sont présentés dans la Figure 8 et dans la Figure 9 (voir aussi *Annexe IV* pour plus de détails). En lecture, les deux groupes dyslexiques diffèrent bien du groupe contrôle AC tant en précision (score) qu'en vitesse (temps). Cependant, les deux groupes dyslexiques ont des performances très similaires en lecture de mots (score et temps). On note en particulier que la lecture de mots irréguliers n'est pas plus déficitaire pour le groupe Dys VA que pour le groupe Dys Phonologique (neuf mots correctement lus en moyenne pour les deux groupes ;  $F < 1$  pour le score et le temps). De même, la lecture de pseudo-mots est tout aussi faible dans les deux groupes Dys (11 mots correctement lus en moyenne pour le groupe Dys VA, et 12 pour le groupe Dys Phonologique ;  $F(2,39) = 2.74, p = .106$ ). On note même une tendance à la différence de temps de lecture des pseudo-mots entre les groupes mais dans le sens non attendu, le groupe Dys VA étant un peu plus lent que le groupe Dys Phonologique (respectivement 61s contre 50s ;  $F(2,39) = 3.33, p = .080$ ).

En dictée, comme en lecture, les deux groupes dyslexiques se distinguent bien du groupe contrôle AC sur tous les types de mots et de pseudo-mots, et ils présentent des performances similaires sur tous les types de mots. On note en particulier que les Dys VA ne présentent pas de performances plus faibles en dictée de mots inconsistants ou très irréguliers ( $F < 1$ ). Cependant, les deux groupes Dys ont montré des performances différentes en dictée de pseudo-mots. En effet, conformément à notre hypothèse, les performances du groupe Dys Phono sont significativement plus faibles que celles du groupe Dys VA (respectivement 11 pseudo-mots correctement transcrits contre 15 ;  $F(2,39) = 11.59, p < .01$ ), et ces dernières ne diffèrent pas de celles du groupe contrôle.



**Figure 8.** Performances du groupe Dys VA (damier), du groupe Dys Phonologique (lignes) et du groupe contrôle AC (en gris) sur les épreuves de lecture de mots réguliers (Reg) et irréguliers (Irreg) et de pseudo-mots (Breteler et al.). Les scores (max = 20) sont présentés à gauche et les temps de lecture (en seconds) sont présentés à gauche. \*\*:  $p < 0,001$  entre le groupe contrôle et chacun des groupes dyslexiques.



**Figure 9.** Performances du groupe Dys VA (damier), du groupe Dys Phonologique (lignes) et du groupe contrôle AC (en gris) sur les épreuves de dictées de pseudo-mots (Breteler et al.), mots réguliers (Reg), inconsistants (Incons) et irréguliers (Irreg). \* $p < 0,01$ ; \*\* $p < 0,001$  entre le groupe contrôle et chacun des groupes dyslexiques.

### 2.4.3. Analyse qualitative

#### a) Matériel et prédictions

L'analyse qualitative concerne les types d'erreurs produits par les enfants dyslexiques en lecture et en dictée. Nous faisons l'hypothèse que différents profils cognitifs (trouble phonologique vs trouble de l'empan VA) devrait amener à différents patterns d'erreurs. Les

erreurs relevées en lecture ont été divisées en sept catégories s'excluant mutuellement, et sept catégories non ambiguës ont également été identifiées en dictée. Ces différentes catégories sont présentées dans le Tableau 7. L'analyse des erreurs a été limitée aux mots et pseudo-mots ne présentant qu'un seul type d'erreur afin de limiter les ambiguïtés face à des erreurs plus complexes.

**Tableau 7.** Types d'erreurs considérés en lecture et en dictée de mots et pseudo-mots et exemples associés.

Type d'erreurs	Exemples
<i>En lecture</i>	
Confusions de voisement (f/v, t/d, p/b, k/g, ch/j, s/z)	JALOUX lu /chalou/
Régularisations	FEMME lu /fèm/
Omissions	ESCROC lu /esco/
Erreurs d'ordre des lettres	SOIF lu /fois/
Erreurs de découpage visuel	AVANIE lu /avan-ni/
Erreurs contextuelles	CARGO lu /carjo/
Paralexies	CARGO "cargo" lu /escargo/
<i>En dictée</i>	
Confusions de voisement (f/v, t/d, p/b, k/g, ch/j, s/z)	/carp/ écrit GARPE et non CARPE
Erreurs phonologiquement plausibles	/fam/ écrit FAME et non FEMME
Additions d'un 'e' muet finale	/mirwar/ écrit MIROIRE et non MIROIR
Omissions du 'e' muet finale	/verb/ écrit VERB et non VERBE
Erreurs contextuelles	/jenti/ écrit GANTI (/genti/) et non GENTIL
Séquences illégales	/mirwar/ écrit MIROIRR et non MIROIR
Erreur d'ordre des lettres	/frit/ écrit FIRTE et non FRITE

Des erreurs de confusions entre phonèmes voisés et non-voisés sont attendues chez les enfants Dys phonologique en lecture comme en dictée, tandis que pour les Dys VA des erreurs phonologiquement plausibles, et notamment les erreurs de régularisation de mots irréguliers, sont attendues en dictée, ces dernières nécessitant des capacités phonologiques efficaces. Sur la base de données précédentes (Valdois et al., 2011) et au vu de la nature du trouble de l'empan VA, altérant la répartition simultanée de l'attention sur l'ensemble des unités orthographiques d'un mot ou d'un pseudo-mot, nous attendons des erreurs de découpage

visuel de graphèmes multi-lettres, dues au traitement d'unités graphémiques plus petites. Mais contrairement à l'étude de Valdois et collaborateurs (2011), nous n'avons pas analysé les erreurs d'identité de lettres, qui nous paraissent trop ambiguës<sup>15</sup>. Un empan VA réduit devrait également limiter le traitement des graphèmes contextuels qui nécessitent la prise en compte des graphèmes alentours pour une application de la règle de conversion graphème-phonème adéquate (les erreurs s/z ont cependant été exclues puisqu'elles pouvaient également s'apparenter à des confusions de voisement). Un traitement visuel partiel, moins efficient, devrait également amener à des erreurs d'omissions et une difficulté à encoder l'ordre des lettres. De plus, les erreurs d'omissions, ou d'ordre des lettres pourraient amener à des paralexies de mots plus fréquents mais visuellement similaires, erreurs précédemment rapportées dans le contexte de trouble VA (Valdois et al., 1995). Cependant, alors que les erreurs de découpage devraient être relativement spécifiques à une atteinte VA, les autres types d'erreurs sont plus ambiguës et pourraient résulter d'un trouble phonologique également. Des erreurs spécifiques à un trouble de l'empan VA sont par ailleurs attendues en dictée. Une réduction de l'empan VA altérant le développement des connaissances orthographiques (Bosse et al., 2015), l'extraction des régularités statistiques orthographiques devrait être altérée, amenant à la production de séquences illégales, comme décrit pour la première fois dans l'étude de Martinet et Valdois (1999), et à une faible connaissance des contraintes purement orthographiques telles que l'inclusion ou non d'un 'e' muet final. Ce dernier type d'erreur pourrait cependant relever de stratégies mises en place par l'enfant face à ses faibles connaissances orthographiques, quelle qu'en soit l'origine (VA ou phonologique). Les erreurs contextuelles sont également attendues en dictée dans le contexte d'un trouble de l'empan VA, puisque les processus de conversion des phonèmes en graphèmes doivent également tenir compte des graphèmes alentours, qui n'ont pas été suffisamment mémorisés au moment de la lecture du fait d'un empan insuffisamment large. Cependant, comme en lecture, ce type d'erreur pourrait également refléter un déficit phonologique altérant les connaissances des relations phonème-graphème complexes. Des erreurs d'ordre des lettres en dictée sont plus spécifiquement attendues dans le contexte d'un trouble phonologique, relevant d'erreur d'ordre des phonèmes du fait d'un déficit de conscience phonémique et/ou des représentations phonologiques.

Concernant les erreurs phonologiquement plausibles en dictée, des critères plus ou moins souples peuvent être adoptés. Selon un critère strict, une erreur peut être classée comme phonologiquement plausible seulement si la forme sonore finale du mot 'sonne' comme le mot dictée en appliquant des correspondances strictes. Par exemple, le phonème /s/ doit être transcrit 'ss' si deux voyelles sont présentes autour, ou les phonèmes /t/ ou /d/ en fin de mot doivent être suivis d'un 'e' ('-te' ou '-de') car sinon ils ne se prononcent pas (muet). Mais un

---

<sup>15</sup> Les confusions m/n, a/o, ou encore d/b peuvent être de nature phonologique et/ou visuelle. Seule la confusion u/n peut être interprétée de façon non ambiguë comme étant de nature visuelle mais elle n'a pas été analysée car trop peu fréquente.

critère plus laxiste peut également être adopté, c'est-à-dire en considérant comme plausibles les graphèmes se prononçant possiblement comme le phonème dicté, quel que soit le contexte orthographique ou la fréquence des correspondances. Nous avons supposé que ces deux types d'erreurs phonologiquement plausibles doivent être associés à de bonnes capacités de traitement phonologique et pourraient donc concerner plus spécifiquement les enfants dyslexiques ne présentant qu'un trouble de l'empan VA. Mais les erreurs phonologiquement plausibles selon des critères plus strictes pourraient être peu présentes chez les enfants les plus jeunes ou du fait de difficultés de gestion des graphèmes contextuels qui peuvent également concerner les enfants avec trouble de l'empan VA.

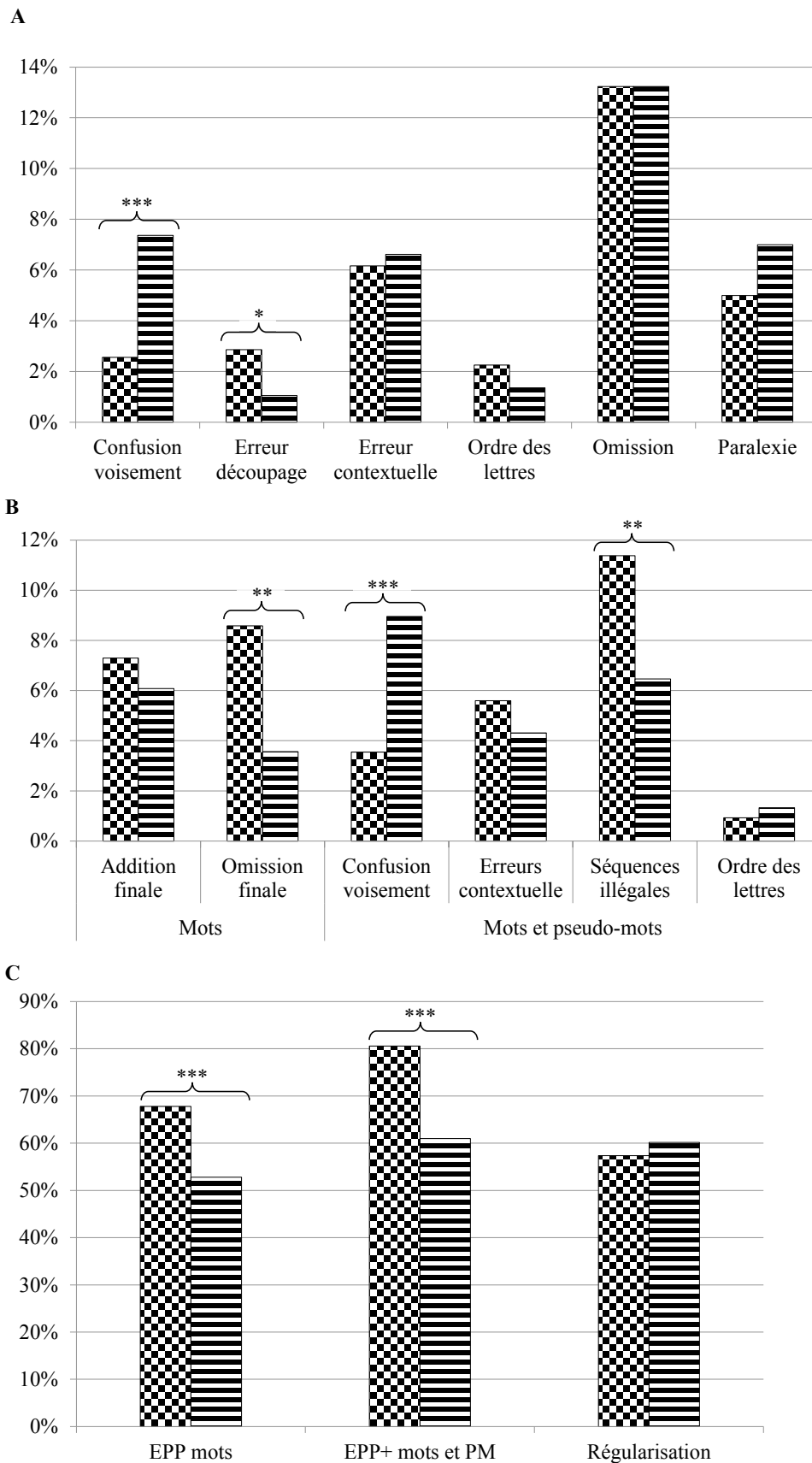
### *b) Résultats de l'analyse qualitative*

La proportion de chaque type d'erreur est présentée pour chacun des groupes dyslexiques dans le Tableau 8 et la Figure 10. Des tests Chi-deux (Chi2) ont été utilisés pour comparer les proportions de chaque type d'erreurs entre le groupe Dys Phonologique et le groupe Dys VA.

**Tableau 8.** Comparaison (Chi<sup>2</sup>) entre le groupe dyslexique présentant un trouble de l'empan VA isolé (Dys VA) et celui présentant un trouble phonologique isolé (Dys P) sur chacun des types d'erreurs. (EPP = Erreur Phonologiquement Plausible, EPP+ = critère laxiste). \*\*\* p<.001 \*\* p<.01 \*p<.05

Type d'erreurs	Dys VA		Dys P		Chi2 (1)	
<i>Lecture</i>	Confusions de voisement	17/665	2,6%	49/665	7,4%	16,33***
	Erreurs de découpage	19/665	2,9%	7/665	1,1%	5,65*
	Erreurs contextuelles	41/665	6,2%	44/665	6,6%	0,11
	Erreurs d'ordre des lettres	15/665	2,3%	9/665	1,4%	1,53
	Omissions	88/665	13,2%	88/665	13,2%	0,00
	Paralexies (mots)	21/403	5,2%	28/432	6,5%	0,61
	Régularisations (mots irréguliers)	171/298	57,4%	183/304	60,2%	0,49
<i>Dictée</i>	Additions finales (mots)	34/466	7,3%	29/477	6,1%	0,56
	Omissions finales (mots)	40/466	8,6%	17/477	3,6%	10,46**
	Confusions de voisement	19/536	3,5%	54/603	9,0%	13,85***
	Erreurs contextuelles	30/536	5,6%	26/603	4,3%	1,00
	Séquences illégales	61/536	11,4%	39/603	6,5%	8,55**
	Erreurs d'ordre des lettres	5/536	0,9%	8/603	1,3%	0,39
	EPP (mots)	316/466	67,8%	252/477	52,8%	22,09***
	EPP+ (mots)	418/466	89,7%	361/477	75,7%	32,24***
EPP+ (mots et pseudo-mots)	14/70	20,0%	7/126	5,6%	9,81*	





**Figure 10.** Pourcentage de chaque type d'erreurs pour le groupe Dys VA (damier) et le groupe Dys Phonologique (lignes), sur les tâches de lecture (A), de dictée (B) et les erreurs phonologiquement plausibles stricts (EPP) et laxistes (EPP+) et régularisations de mots irréguliers, en dictée (C). \* $p < .05$ ; \*\* $p < .01$ ; \*\*\* $p < .001$ .

En lecture, les résultats ont montré que les confusions entre consonnes voisées et non-voisées sont plus fréquentes dans le groupe Dys Phonologique que dans le groupe Dys VA où elles sont plutôt rares. A l'inverse, le groupe Dys VA produit plus d'erreurs de découpage des graphèmes multi-lettres que le groupe Dys Phonologique. Les erreurs d'omission, d'ordre des lettres et les erreurs contextuelles se trouvent en proportions similaires dans les deux groupes. Les proportions de paralexies et d'erreurs de régularisation sur les mots irréguliers sont également équivalentes entre les deux groupes. En dictée, une fréquence plus importante de confusions de voisement est retrouvée pour le groupe Dys Phonologique que pour le groupe Dys VA comme déjà identifié en lecture. Le groupe Dys VA produit en revanche plus de séquences illégales et omet plus souvent le 'e' final muet des mots que le groupe Dys Phonologique.

Les analyses en dictée montrent également que les erreurs phonologiquement plausibles sont plus fréquentes dans le groupe Dys VA que dans le groupe Dys Phonologique, quel que soit le critère retenu (strict ou laxiste). Les deux groupes ne se distinguent pas sur les erreurs contextuelles, d'ordre des lettres ou d'ajouts de lettres finales.

## 2.5. Discussion

### 2.5.1. Un profil de lecture, des profils cognitifs

Dans la première partie de cette étude, nous avons identifié, au sein d'un groupe de 71 enfants dyslexiques présentant tous un profil de dyslexie mixte, une variété de troubles cognitifs. En effet, l'analyse factorielle a permis d'isoler deux facteurs indépendants ayant une contribution significative sur les performances en langage écrit : un facteur phonologique et un facteur visuo-attentionnel. L'analyse en composantes principales a ensuite permis d'identifier quatre groupes de sujets distincts sur ces deux facteurs cognitifs : un groupe d'enfants présentant un trouble phonologique (32%), un groupe avec trouble de l'empan VA (34%), un groupe avec double déficit et un groupe ne présentant aucun de ces deux déficits (17% chacun). Ces données constituent donc une démonstration solide que des enfants dyslexiques formant un groupe homogène en termes de profils comportementaux en lecture (profil de dyslexie mixte) ne forment pas un groupe homogène au regard des troubles cognitifs sous-jacents qui peuvent être incriminés.

Les enfants sélectionnés présentaient tous de faibles performances en lecture sur tous les types d'items (mots réguliers et irréguliers, et pseudo-mots) soit au regard des scores, soit de la vitesse de lecture. Cette prise en compte des deux types de mesure indépendamment l'une de l'autre nous a paru importante pour ne pas tenir compte de différences de stratégies mises en place par les enfants, qui privilégient soit la vitesse (l'enfant choisi de privilégier la vitesse quitte à faire des erreurs) soit la précision (l'enfant sera lent car il ne souhaite faire aucune erreur). Les temps de lecture ne sont parfois pas pris en compte dans les études, alors qu'ils peuvent s'avérer plus pertinents que les scores en lecture pour évaluer un trouble de la lecture dans des langues plus transparentes que l'anglais (Sprenger-Charolles et al., 2000; Sprenger-Charolles et al., 2011). Nous soulignons également la sévérité du trouble de notre groupe dyslexique, puisqu'un retard moyen du niveau de lecture de 38 mois a été identifié chez ce

groupe âgé en moyenne de 10 ans ½ environ. D'autre part, des tâches de conscience phonologique et d'empan VA ont été proposées, ciblant deux fonctions cognitives indépendamment impliquées dans le développement de la lecture et dans la dyslexie (Bosse et al., 2007; Bosse et Valdois, 2009; Peyrin et al., 2012; Valdois et al., 2004), et définies comme deux composantes essentielles de la lecture selon le modèle ACV98 (Ans et al., 1998). Mais bien que les enfants dyslexiques montrent de faibles capacités de conscience phonologique et un faible empan VA en tant que groupe, seule une faible proportion des enfants présente un double déficit au niveau individuel. Ceci s'oppose aux interprétations classiques de la dyslexie mixte faites dans le cadre du modèle double-voie (Manis et al., 1996) selon lesquelles deux déficits devraient être en jeu : un déficit affectant le développement de la voie sub-lexicale (tel que dans la dyslexie phonologique) et un déficit affectant le développement de la voie lexicale (tel que dans la dyslexie de surface). Dans ce contexte, une majorité d'enfants présentant un double déficit aurait dû être identifié (Niolaki et al., 2014), cumulant un déficit phonologique, classiquement décrit chez les personnes présentant de faibles capacités de lecture de pseudo-mots (Campbell et Butterworth, 1985; Lallier, Donnadieu, et al., 2010; Temple et Marshall, 1983), et un déficit de l'empan VA, classiquement mentionné dans le contexte de faibles connaissances orthographiques (Bouvier-Chaverot et al., 2012; Dubois et al., 2010; Valdois, Bosse, et al., 2003). Au contraire dans notre étude, une majorité d'enfants dyslexiques (68%) présente un trouble cognitif unique, phonologique ou VA, dans des proportions équivalentes à celles retrouvées par Bosse, Tainturier et Valdois (2007), alors que cette étude avait été menée sur une population d'enfants dyslexiques tout venant, qui présentaient donc une variété de profils comportementaux en lecture. Ceci renforce donc notre hypothèse selon laquelle la sélection des enfants sur la base de leur profil en lecture n'est pas pertinente pour constituer des groupes dyslexiques homogènes sur le plan cognitif. La dyslexie mixte est ainsi caractérisée par une hétérogénéité cognitive, c'est-à-dire une relation 'many-to-one' entre le niveau cognitif distal et le niveau comportemental (Pennington, 2006). Dans ce contexte, un trouble phonologique et un trouble VA semblent chacun suffisants pour conduire à un profil de dyslexie mixte.

Les simulations du modèle HS99 (Harm et Seidenberg, 1999) avaient déjà montré qu'un profil de dyslexie mixte pouvait être induit par un trouble unique phonologique, tel que prédit par la théorie de l'auto-apprentissage (Cunningham et al., 2002; Share, 1995, 1999, 2004), qui considère que le développement des connaissances orthographiques repose principalement sur les capacités de décodage phonologique (Bowey et Muller, 2005; Cunningham, 2006; de Jong et Share, 2007; Kyte et Johnson, 2006) qui sont en jeu dans la lecture de pseudo-mots. L'identification dans notre étude d'un trouble phonologique chez les enfants présentant un profil de dyslexie mixte est également cohérente avec les descriptions de sous-groupes de dyslexiques de surface présentant un trouble phonologique (Jimenez et al., 2009; Sprenger-Charolles et al., 2000; Zbell et Everatt, 2002; Ziegler et al., 2008). Mais ces études avaient tendance à rejeter l'existence de sous-types cognitifs distincts dans la dyslexie, s'inscrivant dans le cadre de la théorie phonologique unitaire qui considère le trouble phonologique comme la seule cause proximale de la dyslexie (Ramus, 2003; Snowling, 2001; Vellutino et al., 2004).

Un des apports majeurs de notre étude est donc de montrer qu'un profil de dyslexie mixte peut être associé à un trouble de l'empan VA en l'absence de trouble phonologique. Ceci confirme les observations faites dans l'étude du cas de Martial (Valdois et al., 2011), et les prédictions du modèle ACV98 (Ans et al., 1998) dans lequel cette étude a pris ses ancrages théoriques. En effet, selon le modèle ACV98, un trouble de l'empan VA qui entraverait le traitement direct de la séquence de lettres composant un mot affecterait en premier lieu le traitement des mots irréguliers (Bosse et Valdois, 2003; Valdois et al., 2004). Cependant, les traitements analytiques mis en place pour le traitement des mots inconnus et des pseudo-mots (pour lequel un traitement global direct échoue) nécessitent également un empan suffisamment large pour traiter toutes les lettres des unités orthographiques pertinentes (graphèmes multi-lettres et syllabes), et pourrait donc être la cause d'une dyslexie mixte.

Cette étude permet de rendre compte de la forte prévalence des profils de dyslexie mixte dans la population dyslexique. En effet, un profil de dyslexie mixte pourrait résulter soit d'un trouble phonologique, soit d'un trouble de l'empan VA, soit de l'association des deux profils, soit d'autres troubles cognitifs que nous n'avons pas ici pu identifier.

### **2.5.2. Des profils cognitifs très différents, un langage écrit subtilement différent**

Bien que le profil comportemental soit homogène entre le groupe dyslexique présentant un trouble phonologique et celui présentant un trouble de l'empan VA, puisque tous deux sont caractérisés par une dyslexie mixte, nous avons souhaité explorer plus en détails le langage écrit de ces deux groupes. Leur comparaison pourrait permettre d'étudier les contributions spécifiques de chacun des troubles cognitifs sur le développement du système de lecture. Un trouble du traitement des pseudo-mots plus sévère pour le groupe phonologique et un trouble du traitement des mots irréguliers plus sévère pour le groupe VA étaient attendus. Un examen différencié des scores et de la vitesse était également pertinent puisque ces deux mesures avaient été prises en compte de façon exclusive dans notre sélection initiale (l'enfant pouvait présenter un déficit en score ou en temps sur les mots irréguliers et les pseudo-mots). Les deux groupes ont donc été appariés entre eux sur l'âge chronologique, et à un groupe contrôle de même âge, ainsi qu'à un groupe contrôle de même niveau de lecture. Ces comparaisons ont permis de montrer que le trouble cognitif identifié, phonologique ou VA, ne peut pas être lié à un manque d'expérience en lecture dans notre population dyslexique. Dans le cadre de la théorie de l'empan VA, ces données confirment les résultats obtenus dans une étude de groupe (Bosse et Valdois, 2003) et dans des études de cas (Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003).

Lorsque les deux groupes dyslexiques ont été comparés sur leurs capacités de traitement des mots réguliers et irréguliers, que ce soit en lecture ou en dictée, en score ou en vitesse, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence. Un trouble phonologique et un trouble de l'empan VA peuvent donc avoir un impact très similaire sur le développement des connaissances orthographiques et le traitement orthographique. Le rôle des habiletés phonologiques sur le développement orthographique est bien documenté (Castles et Nation, 2008; Share, 1999), mais le rôle de l'empan VA a reçu moins d'attention. Notre étude, en particulier grâce à l'épreuve de dictée, contribue à montrer un rôle spécifique de l'empan VA dans le développement des capacités orthographiques dans la dyslexie, ce qui n'avait jamais

été démontré par une étude de groupe, mais qui corrobore les données recueillies auprès de groupes d'enfants normo-lecteurs (Bosse et al., 2015; van den Boer et al., 2015). Un résultat plus inattendu concerne la lecture des pseudo-mots. Le groupe caractérisé par un trouble de l'empan VA présente en effet d'aussi faibles performances en précision qu'en vitesse de lecture de pseudo-mots que le groupe caractérisé par un trouble phonologique. Ce résultat montre donc une relation asymétrique entre trouble phonologique et lecture de pseudo-mots. Alors qu'un trouble phonologique a un effet sur la lecture de pseudo-mots, de faibles performances en lecture de pseudo-mots (précision et vitesse) ne reflètent pas forcément un trouble phonologique. Ceci est un point primordial puisqu'il existe une forte tradition dans la littérature qui considère le déficit en lecture de pseudo-mots comme la marque d'un déficit phonologique (Bradley et Bryant, 1983; Hulme, Hatcher, Nation, Brown, Adams et al., 2002; Rack, Snowling et Olson, 1992; Snowling, 2001; Wimmer, Landerl, Linortner et Hummer, 1991). Nos résultats montrent en effet que l'empan VA contribue également à la lecture de pseudo-mots, indépendamment des capacités phonologiques, corroborant les études menées sur les populations d'enfants normo-lecteurs (Bosse et Valdois, 2009; van den Boer et al., 2015), ou des populations dyslexiques (Bosse et al., 2007; Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003)<sup>16</sup>, et en accord avec les prédictions du modèle ACV98 (Ans et al., 1998). En revanche, les résultats de notre étude montrent que les performances en dictée de pseudo-mots des enfants caractérisés par un trouble phonologique sont nettement inférieures à celles du groupe VA, qui montre des performances semblables à celles du groupe contrôle. Ce résultat est conforme à nos prédictions, puisqu'une tâche de dictée de pseudo-mots relève principalement des capacités de traitement phonologique des mots à l'oral, capacités efficaces pour le groupe caractérisé par un trouble de l'empan VA unique. L'épreuve de dictée de pseudo-mots est donc ici primordiale, puisque c'est la seule tâche évaluant le langage écrit sur laquelle nos deux groupes se distinguent clairement.

Une analyse qualitative a ensuite été réalisée sur les erreurs produites par les deux groupes dyslexiques, nous permettant d'approfondir notre examen différentiel des capacités de traitement phonologique et des capacités d'empan VA sur le développement du langage écrit. Les résultats de cette analyse qualitative se sont révélés intéressants ; ils montrent que certains types d'erreurs peuvent refléter le trouble cognitif sous-jacent caractérisant chacun des groupes dyslexiques. Tout d'abord les confusions phonologiques sont préférentiellement identifiées dans le groupe présentant un trouble phonologique en lecture et en dictée, mais plutôt rares dans le groupe avec trouble de l'empan VA. De telles erreurs pourraient refléter un trouble du traitement catégoriel des phonèmes (Bogliotti et al., 2008; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004), qui serait donc en lien avec les capacités de conscience phonologique. Le fort taux d'erreurs phonologiquement plausible retrouvé chez les enfants avec trouble de l'empan VA confirme l'efficacité des traitements phonologiques chez ces

---

<sup>16</sup> Nicolas, bien que considéré comme présentant un profil de dyslexie de surface, présentait une faible vitesse de lecture des pseudo-mots, en l'absence de trouble phonologique.

derniers. En revanche, ce groupe était plus enclin que le groupe avec trouble phonologique à commettre des erreurs de découpage graphémique dans les mots, tel qu'attendu face à un enfant qui présente des difficultés à traiter de façon globale plusieurs lettres en tant qu'unité orthographique. D'autre part, ces limitations dans la prise d'informations visuelles lors d'un trouble de l'empan VA nous ont conduit à supposer que davantage de séquences illégales et d'erreurs sur les lettres muettes finales pourraient être retrouvées en dictée, ce que nos résultats confirment.

Cette étude met en évidence une hétérogénéité cognitive au sein d'une population d'enfants dyslexiques présentant un profil de lecture homogène, en l'occurrence un profil de dyslexie mixte. En effet, les résultats des analyses montrent que même si tous les enfants dyslexiques ayant participé présentent un profil de dyslexie mixte, un tiers présente un trouble de conscience phonologique, un tiers présente un trouble de l'empan VA, et les autres soit cumulent ces deux troubles, soit ne présentent aucun de ces deux troubles. De plus, l'analyse quantitative et qualitative des performances des deux sous-groupes qui présentent des profils cognitifs nettement distincts (déficit phonologique ou VA) révèle l'existence de profils de langage écrit très similaires entre ces deux sous-groupes pourtant contrastés d'un point de vue cognitif. Seules de subtiles différences ont pu être mises en évidence, montrant notamment l'importance des processus phonologiques dans la dictée de pseudo-mots, ou telles que les indices qualitatifs qui ont pu être identifiés grâce à l'analyse des types d'erreurs.

Ces données suggèrent donc que la classification des dyslexies basée sur le modèle double-voie n'est pas pertinente pour identifier des sous-groupes homogènes sur le plan cognitif dans la population dyslexique. Les futures études génétiques ou en neuroimagerie doivent pouvoir tenir compte de ces données afin d'éviter des biais potentiels liés à cette hétérogénéité cognitive dans leurs échantillons de population dyslexique.

### 3. Etude II : Un profil de dyslexie phonologique chez un enfant avec trouble de l'empan VA sans trouble phonologique

---

#### 3.1. Enjeux théoriques et cliniques

L'étude I de ce manuscrit suggère que les profils en lecture et les profils cognitifs explicatifs n'entretiennent pas de relations univoques entre eux, telles qu'attendues classiquement dans le cadre du modèle double-voie, c'est-à-dire en l'occurrence qu'une dyslexie mixte peut résulter d'un trouble phonologique, ou d'un trouble de l'empan VA, ou d'une association des deux déficits, ou encore d'autres déficits que nous n'avons pas identifiés. La seconde étude que nous présentons ici soutient cette hypothèse de relations 'many-to-one' (Pennington, 2006) entre profils cognitifs et profil comportementaux en lecture dans le contexte d'une dyslexie phonologique.

Comme évoqué dans le premier chapitre de ce manuscrit (partie 4.3) et dans l'étude précédente, nous disposons à présent d'arguments solides en faveur de l'hétérogénéité cognitive des dyslexies mixtes, mais également concernant les dyslexies de surface. Nous avons en effet passé en revue de nombreuses études qui montrent que la dyslexie de surface pourrait résulter soit d'un trouble visuo-orthographique, tel qu'induit par le trouble de l'empan VA, soit d'un trouble phonologique, en lien avec l'hypothèse de sévérité, ou n'être que le reflet d'un retard développemental, bien que cette dernière hypothèse soit vivement critiquée (Wybrow & Hanley, 2015). Concernant les dyslexies phonologiques, les données semblent plus univoques, un trouble phonologique étant quasiment systématiquement mis en cause (cf. Chapitre 1 Partie 4.3 et Etude I). Cependant, nous avons passé en revue des données montrant que la lecture de pseudo-mots et les processus phonologiques n'entretiennent pas une relation d'interdépendance univoque. Nous avons évoqué une relation asymétrique entre profil de dyslexie phonologique et trouble phonologique, en faisant l'hypothèse qu'un trouble phonologique pourrait avoir pour conséquence systématique une atteinte de la lecture de pseudo-mots, mais qu'un trouble en lecture de pseudo-mots ne serait pas toujours dû à un trouble phonologique.

Des cas de dyslexies phonologiques acquises sans trouble phonologique ont été décrits chez des adultes dyslexiques, tels des cas de patients Alzheimer présentant un trouble sélectif de la lecture de pseudo-mots mais des performances correctes sur des tâches de répétition de mots et non-mots, d'identification de phonèmes et de conscience phonologique (Caccappolo-van Vliet, Miozzo, & Stern, 2004a, 2004b). Des cas ont également été décrits suite à des lésions cérébrales. Tree et Kay (2006) décrivent notamment le cas de JH qui présente une dyslexie phonologique suite à un accident vasculaire cérébral mais de bonnes performances sur diverses tâches phonologiques (répétition de mots et non-mots, dénomination, conscience phonologique). Deux autres cas de dyslexie phonologique, mais présentant chacun un pattern différent d'atteinte phonologique (avec ou sans), ont également été décrit récemment par la même équipe. Antérieurement, seuls deux autres cas de dyslexies phonologiques acquises associées à de bonnes capacités de répétition de mots et pseudo-mots et de conscience phonologique ont été décrits (Bisiacchi, Cipolotti et Denes, 1989; Derouesné et Beauvois,

1985). Dans le contexte du modèle double-voie, la plupart des auteurs suggèrent que le trouble en lecture de pseudo-mots serait dû à une atteinte spécifique du module de conversion graphème-phonème au niveau de la voie sub-lexicale (trouble cognitif proximal).

En contexte de trouble développemental, il n'existe à notre connaissance aucune étude de cas similaire publiée. Les chercheurs et cliniciens supposent donc classiquement, comme pour la plupart des dyslexies phonologiques acquises (Max Coltheart, 1996) que c'est un trouble phonologique (trouble cognitif distal) qui est à l'origine du dysfonctionnement du module de conversion graphème-phonème. Or nous allons ici décrire le cas d'un garçon de 11 ans, Léo, présentant une dyslexie d'allure phonologique, puisque ses capacités de lecture de pseudo-mots sont déficitaires tandis que la lecture de mots irréguliers est préservée, mais qui ne présente a priori aucun trouble de nature phonologique. En revanche, Léo présente un trouble de l'empan VA. De plus, le cas de Léo présente l'intérêt de pouvoir éliminer toute influence possible d'une remédiation, puisqu'il n'a jamais bénéficié de soins spécifiques, telle une prise en charge en orthophonie. Il est primordial de pouvoir éliminer ce facteur, car il a été suggéré qu'une remédiation pourrait induire une transition d'un profil de dyslexie à un autre (Manis et al., 1996). Le cas de Léo peut donc constituer un enjeu important pour la théorie de l'empan VA, permettant de mieux appréhender les relations entre le trouble de l'empan VA et les profils en lecture des enfants présentant un tel trouble.

L'étude de cas offre l'opportunité d'un examen approfondi, détaillé, des fonctions cognitives en jeu et de leur architecture, afin de mieux saisir l'ensemble du profil et ainsi la nature du trouble et ses conséquences.

## 3.2. Objectifs et Hypothèses

Notre objectif est d'explorer de façon approfondie l'ensemble des capacités en langage écrit de Léo, et en particulier l'efficacité des deux voies de lecture. Nous avons également eu pour objectif de rendre compte au travers d'un grand nombre de tâches de ses capacités verbales et phonologiques. Nous avons également exploré ses capacités de traitement simultané visuel et notamment son empan VA. Concernant ses fonctions cognitives plus globales, nous avons évalué son efficacité intellectuelle, ses capacités d'analyse visuo-spatiale et ses capacités attentionnelles générales.

Si nous confirmons que la dyslexie phonologique que présente Léo n'a pas de liens avec un quelconque trouble verbal ou phonologique, mais entretient un lien probablement causal avec un trouble de nature visuo-attentionnel, cette étude sera la première à décrire un tel cas et apportera ainsi de nouveaux éléments quant à la compréhension des relations entre profil cognitif et profil comportemental en langage écrit.

## 3.3. Méthodologie et Résultats

### 3.3.1. Présentation du cas



Léo est un garçon âgé de 11 ans lors du premier rendez-vous au CRTLA en juillet 2012, et vient de terminer son CM2 ; il a 11 ans et 8 mois lors de notre dernier rendez-vous et il est alors en 6<sup>ème</sup>. La langue maternelle de Léo est le français ; seule cette langue est parlée à la maison, les deux parents étant également de langue maternelle française. Léo a bénéficié d'une scolarisation régulière et adéquate. Nous ne notons pas de trouble du comportement, ni d'antécédents psychiatriques ou neurologiques. L'audition est tout à fait normale. L'acuité visuelle est également sans particularité mais il est à noter que Léo a bénéficié de séances d'orthoptie pour une exophorie. Des antécédents de dyslexie sont relevés du côté maternel. Le développement du langage oral et de la motricité ont été normaux. C'est en classe de CE1 que les premières difficultés en lecture sont apparues, mais Léo n'a bénéficié, à aucun moment, d'une rééducation orthophonique.

Un retard important de l'apprentissage du langage écrit est relevé lors de la première venue de Léo, qui a alors bénéficié d'un bilan orthophonique et d'un examen médical. Le retard est alors estimé à 2 ans et 7 mois, puisque le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965) estime l'âge de lecture de Léo à 8 ans et 3 mois pour un âge chronologique de 11 ans.

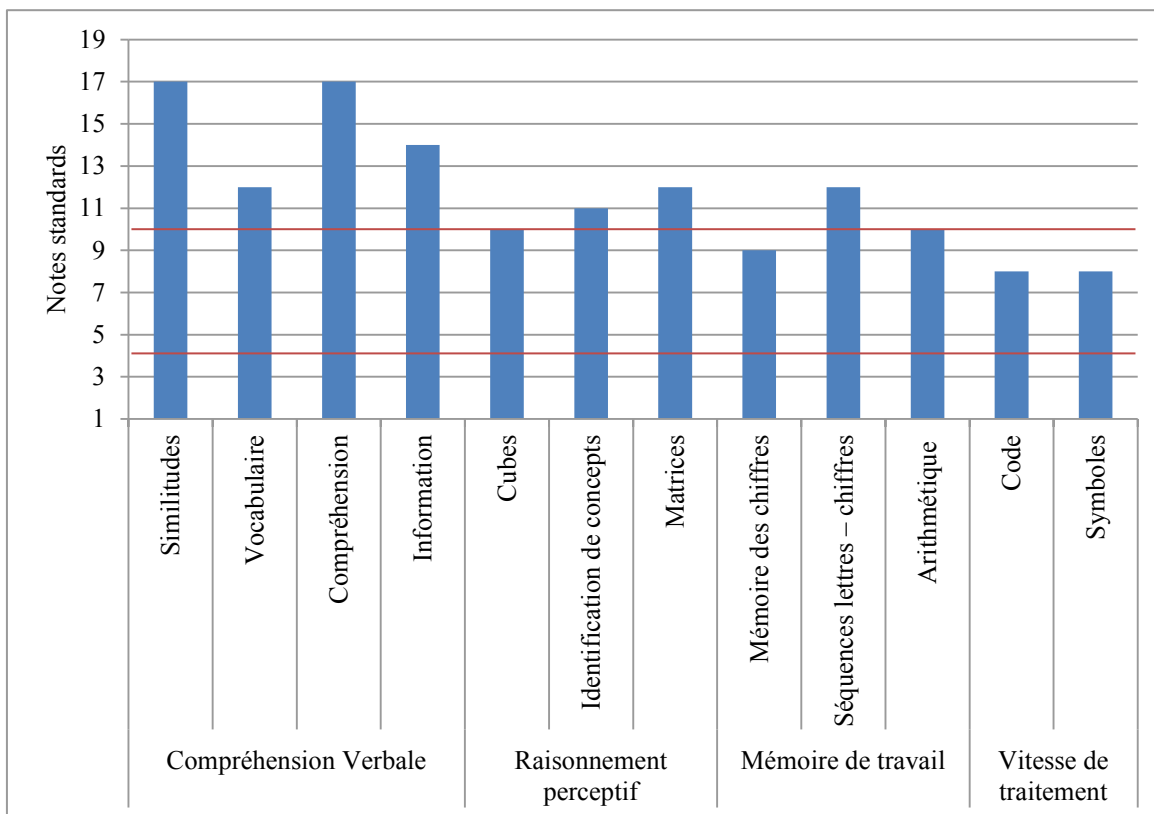
Une évaluation de l'efficacité intellectuelle (Wisc IV, (Wechsler, 2005) a été réalisée en décembre 2012 et révèle un profil verbal supérieur à la moyenne avec un indice de raisonnement verbal à 132 et un indice de raisonnement perceptif à 107<sup>17</sup> (voir Figure 11 pour le détail de chaque subtest). Une évaluation de l'attention et des fonctions exécutives (Manly, Robertson, Anderson et Mimmo-Smith, 2004) a également été proposée à Léo ; nous ne notons ni profil de type TDAH, ni syndrome dysexécutif, ni signe d'impulsivité. Seul un ralentissement est noté sur deux épreuves, dont une épreuve de recherche visuelle ; pour la seconde épreuve évaluant la flexibilité cognitive, Léo semble avoir privilégié la précision (qui est parfaite) au détriment de la vitesse. Ces données sont présentées dans la Figure 12. Les capacités perceptives visuo-spatiales de Léo sont tout à fait dans la norme des enfants de son âge (Hammill, Pearson et Voress, 1993) (Figure 13) ; aucun signe de dyspraxie (visuo-spatiale ou visuo-constructive) n'a été relevé. La mémoire de travail visuo-spatiale a également été évaluée et les résultats obtenus sont tout à fait dans la norme (Subtest Mémoire spatiale, Note standard = 9<sup>18</sup>) (Wechsler et Naglieri, 2009).

Nous recevons Léo à cinq reprises lors des vacances scolaires, de juillet 2012 à avril 2013, afin de l'évaluer dans les conditions les plus favorables possibles. Toutes les passations se sont déroulées au CRTLA du CHU de Grenoble.

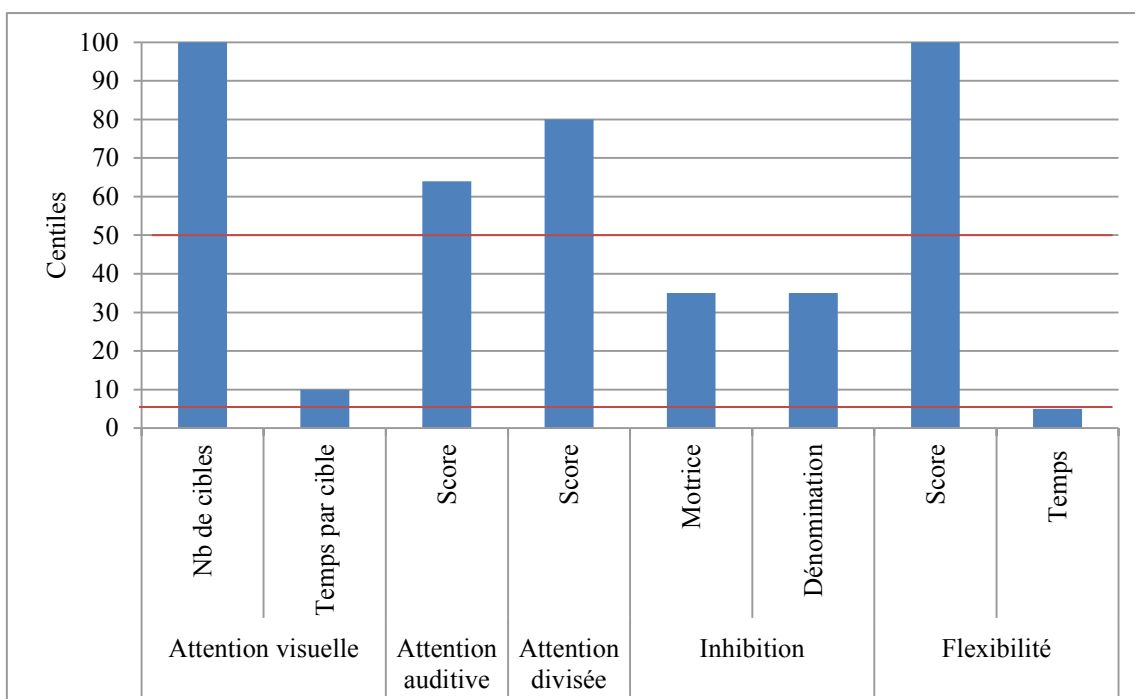
---

<sup>17</sup> On rappelle que la moyenne est à 100, ET = 15.

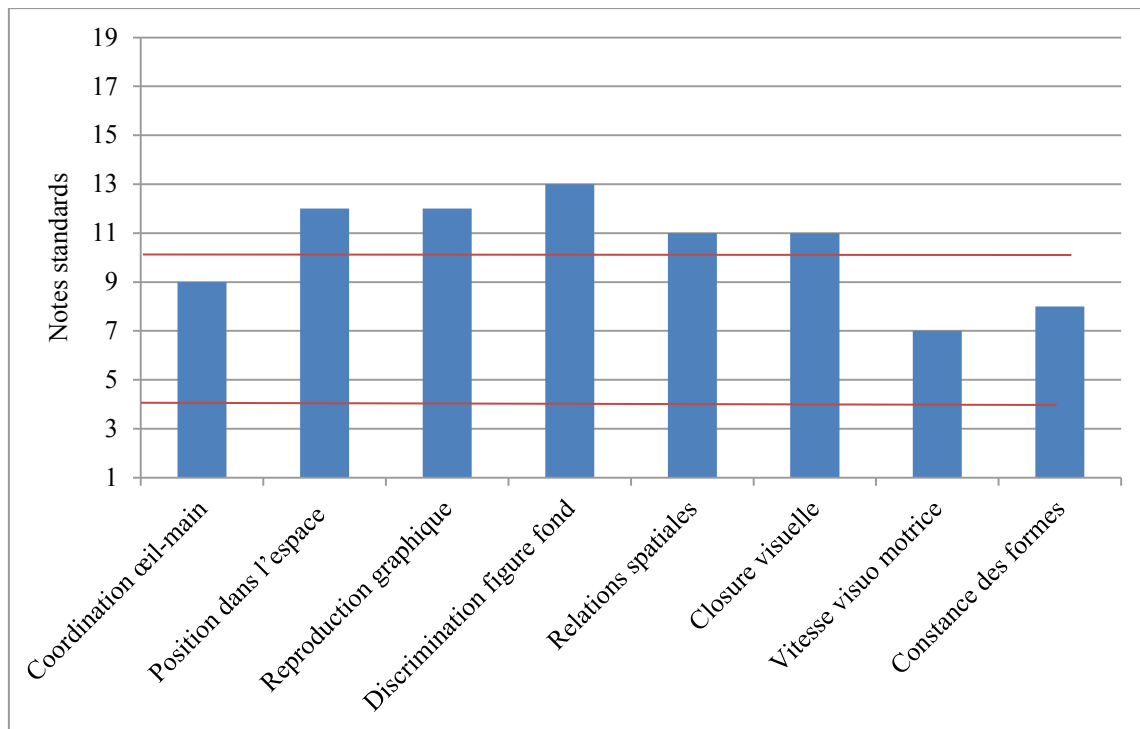
<sup>18</sup> On rappelle que la moyenne est à 10, ET = 3.



**Figure 11.** Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie WISC IV. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.



**Figure 12.** Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie Teach. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.



**Figure 13.** Notes standards de Léo sur chacun des subtests de la batterie DTVP-2. La ligne rouge haute marque la moyenne, la ligne rouge basse marque le seuil de déficit.

### 3.3.2. Matériel et Analyse statistique

Nous avons tout d'abord proposé à Léo des épreuves permettant d'obtenir une évaluation globale de ses capacités de lecture et d'orthographe. Puis nous avons étudié de façon approfondie ses capacités de langage oral et en particulier ses capacités phonologiques, puis ses capacités de traitement visuo-attentionnel, explorant en particulier ses capacités de traitement simultané. Enfin, nous avons proposé à Léo diverses épreuves orthographiques et de lecture afin d'explorer de façon plus approfondie le fonctionnement de son système de lecture.

Les épreuves utilisées qui n'ont pas été décrites jusqu'alors sont détaillées en *Annexe V* et/ou sont présentées succinctement avant chaque analyse. Les performances de Léo ont été comparées aux données normatives fournies par chacun des tests commercialisés sur des échantillons de populations de même niveau scolaire (CM2 ou 6<sup>ème</sup> selon la période où les épreuves ont été proposées) ou de même âge chronologique, selon les tests, désignés par la suite comme 'groupes contrôle AC'. Pour certaines épreuves, des comparaisons ont également été faites avec des populations de même niveau de lecture (CE2 ou 8 ans), désignées comme 'groupes contrôle AL'. Les données normatives permettant d'évaluer le trouble de l'empan VA sont celles issues de l'étude de Bosse et Valdois (2009) pour les tâches de report de lettres

décrites Partie 1.2.2, des études de Lasso-Sangosse (2008) pour les tâches spatiales et de lettres en rafales sur 23 enfants de CM2<sup>19</sup>, et de l'étude de Lobier et collaborateurs (Lobier, Zoubinetzky, et al., 2012) pour les tâches de catégorisation visuelle comprenant 15 enfants de CM2 et 6<sup>ème</sup>, et 21 enfants de CE2. Les données normatives utilisées pour explorer de façon approfondie le fonctionnement du système de lecture sont issues de l'étude de prévalence du trouble de l'empan VA (ANR Ortholearn, en cours) réalisée auprès de 793 enfants tout-venant scolarisés en 6<sup>ème</sup>, exceptées les données normatives utilisées pour la tâche d'apprentissage orthographique, issues de l'étude de Bosse et collaborateurs (2015) sur 29 enfants de CM2. Pour les analyses qualitatives sur les types d'erreurs, les mêmes critères que ceux décrits dans l'Etude I (cf. a)) ont été retenus.

Concernant les analyses statistiques, nous avons utilisé une méthode proposée par Crawford et Howell (Crawford et Howell, 1998) puis modifiée par Crawford et Garthwaite (Crawford et Garthwaite, 2002) afin de comparer les résultats de Léo à chacun des deux groupes contrôles. Cette méthode, basée sur une modification de la distribution *t*, permet d'obtenir des résultats plus fiables que le *z*-score. Nous avons également utilisé la méthode d'analyse permettant de comparer les performances entre deux conditions de tests (Crawford et Garthwaite, 2002).

### 3.3.3. Evaluation initiale des capacités de lecture et d'orthographe

#### a) Méthode

Les performances de Léo en lecture ont été évaluées sur un test de lecture d'un texte porteur de sens, « Monsieur petit » (Jacquier-Roux et al., 2002) afin d'avoir un aperçu des capacités de lecture de l'enfant en condition écologique ; Léo devait lire le texte pendant une minute et le nombre de mots correctement lus était enregistré. Les tâches de lecture de mots réguliers et irréguliers, et de pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010) décrites précédemment (I.A.1.b)) ont été proposées afin d'évaluer l'efficacité des procédures de lecture. Une tâche de connaissances des règles de conversion graphème-phonème de la langue française a également été proposée afin d'évaluer spécifiquement cette composante de la voie sub-lexicale (Jacquier-Roux et al., 2010) (*Annexe V*). Concernant les capacités de transcription en dictée, nous avons administré la dictée des 66 mots (Martinet et Valdois, 1999) et l'épreuve de dictée de pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010), présentées dans I.A.1.a). Ces deux épreuves de dictée nous permettent d'évaluer l'intégrité de la procédure lexicale et de la procédure analytique en production écrite.

#### b) Résultats

Les résultats en lecture sont présentés dans le Tableau 9. Les performances de Léo sont significativement inférieures aux performances des groupes contrôles pour les tâches de

---

<sup>19</sup> Les six enfants les plus jeunes ont été exclus afin d'obtenir un meilleur appariement sur l'âge chronologique, ainsi qu'un sujet présentant un retard en lecture de 21 mois sur le test de l'Alouette.

lecture de mots réguliers de haute fréquence et de pseudo-mots (liste 1 et 2), mais seulement pour la variable temps. Les performances de Léo sont dans la norme des témoins AC pour la lecture des mots irréguliers (score et temps).

**Tableau 9.** Performances de Léo en lecture de textes, de mots de haute fréquence (HF) et basse fréquence (BF) et de pseudo-mots, et connaissances des conversions graphèmes/phonèmes comparées aux groupes contrôle de même âge chronologique. \* :  $p < .05$  ; \*\* :  $p < .01$  ; \*\*\*-  $p < .001$  ; ns : non-significatif.

Epreuves	Score de Léo	Moyenne (ET) Groupes contrôles AC	valeur t(150)	p
<b>Lecture de texte « Monsieur petit »</b>				
Nombre de mots/1 min	121	136.80 (30.87) ns	-0.51	.305
Nombre d'erreurs	3			
<b>Lecture de mots isolés</b>				
<b>Mots réguliers HF</b>				
Score /20	19	19.72 (0.83) ns	-0.87	.194
Temps	29	16.85 (4.94) **	-2.45	.008
<b>Mots réguliers BF</b>				
Score /20	18	19.04 (1.56) ns	-0.66	.254
Temps	29	24.05 (8.91) ns	0.55	.290
<b>Mots irréguliers HF</b>				
Score /20	20	19.03 (1.49) ns	0.65	.259
Temps	22	18.24 (6.83) ns	0.55	.292
<b>Mots irréguliers BF</b>				
Score /20	18	15.9 (3.66) ns	0.57	.284
Temps	41	26.61 (10.62) ns	1.35	.089
<b>Pseudo-Mots Liste 1</b>				
Score /20	15	17.77 (1.99) ns	-1.39	.084
Temps	49	25.98 (8.31) *	-2.26	.013
<b>Pseudo-Mots Liste 2</b>				
Score /20	17	17.36 (1.98) ns	-0.18	.428
Temps	60	32.94 (11.92) **	-2.76	.003
<b>Connaissances règles de conversions</b>				
Score /46	39	43.33 (2.49) *	-1.733	.043

L'analyse qualitative du type d'erreurs produites lors de la lecture de mots et pseudo-mots montre que sur la lecture de mots irréguliers, les deux seules erreurs sont des erreurs de régularisation. Sur la lecture de mots réguliers, deux erreurs sont des paralexies et la dernière est une erreur d'ordre des lettres. Concernant les pseudo-mots, nous avons relevé deux erreurs sur des graphèmes contextuels, deux erreurs d'omission, et d'autres erreurs que nous n'avons pas pu catégoriser au vu des critères choisis (cf. a)) étant donné leur ambiguïté interprétative. De plus, nous avons noté de nombreuses erreurs mais pour la plupart autocorrigées, évoquant

un découpage graphémique initialement imprécis<sup>20</sup>. Nous n'avons relevé aucune erreur de confusion sourde-sonore.

Concernant la connaissance des conversions graphèmes/phonèmes, les performances de Léo sont significativement inférieures à la norme. Les erreurs portent sur des graphies contextuelles (s et g) et sur les graphèmes multi-lettres : /jẽ/ (converti '-ien' dans un mot) pour ein, /jõ/ (converti 'ion') pour oin, /aj/ (converti 'aille' pour ille). Deux erreurs portent sur la prononciation d'un e selon l'accent associé (/ø/ « eu » pour ê et /e/ « é » pour è).

Les résultats sur les épreuves de dictée sont présentés dans le Tableau 10. Les performances de Léo sont significativement inférieures aux performances des groupes contrôle pour les listes de mots inconsistants et de mots irréguliers. Mais pour les mots réguliers et les pseudo-mots, les performances de Léo ne diffèrent pas de celles des groupes contrôles. Nous avons réalisé une analyse des erreurs effectuées en dictée de mots afin d'établir le pourcentage d'erreurs phonologiquement plausibles (EPP). Ainsi, 88% des erreurs étaient des EPP (selon le critère large, 75% selon le critère strict) pour la dictée de mots ; les régularisations de mots irréguliers sont dans les pourcentages précédents et représentent 12/16 erreurs, soit 75% des erreurs sur les mots irréguliers (une erreur porte sur un graphème contextuel et les trois autres, étant complexes, sont inclassables) ; sont également comprises les erreurs d'addition de lettres finales (12,5% du total des erreurs) ou d'omission de lettres finales (12,5%). Les erreurs restantes sont des erreurs complexes, c'est à dire qu'elles comprenaient plus d'une erreur, que nous n'avons pas catégorisé.

**Tableau 10.** Performances de Léo en dictée de mots (réguliers, inconsistants, irréguliers) et de pseudo-mots bisyllabiques (bisyll) et trisyllabiques (trisyll) comparées aux groupes contrôles de même âge chronologique. \* : p<.05 ; \*\* : p<.01 ; \*\*\*- p<.001 ; ns : non-significatif.

Dictées	Scores de	Moyenne (ET)	valeur t	p
	Léo	Groupe contrôle AC		
Mots réguliers (/22)	17	19.58 (1.89) ns	t(108) = -1.36	.088
Mots inconsistants (/22)	11	17.82 (3.31) *	t(108) = -2.05	.021
Mots irréguliers (/22)	6	14.08 (4.49) *	t(108) = -1.79	.038
Pseudo-mots bisyll (/10)	9	9.31 (0.96) ns	t(150) = -0.32	.374
Pseudo-mots trisyll (/10)	8	9.14 (1.18) ns	t(150) = -0.96	.169

<sup>20</sup> Extrait de l'enregistrement de Léo lors de la lecture des pseudo-mots « *spli ... splindron ; abinateur ... abideur ... abindeur ; cogi ... coginte ; aban ... abran ... abranise* » ; les points de suspension représentent des temps de latence.

### *c) Résumé*

Les performances de Léo lors de la lecture de textes porteurs de sens sont dans la norme des enfants de son âge, son très bon niveau intellectuel lui permettant sans doute de bien compenser par le sens les difficultés d'identification de mots (Stanovich, 1980), révélées sur les épreuves de lecture de mots. En effet, les temps de lecture, considérés comme plus pertinents que les scores en lecture pour évaluer un trouble de la lecture en français (Sprenger-Charolles et al., 2000; Sprenger-Charolles et al., 2011), de la liste de mots réguliers de haute fréquence et des deux listes de pseudo-mots sont significativement inférieurs à ceux du groupe contrôle. Les scores sont quant à eux dans la norme. La lecture de mots irréguliers isolés est en revanche similaire, en score et en temps, à celle du groupe contrôle. Le profil en lecture de Léo est donc celui d'une dyslexie phonologique. Nous notons que les erreurs commises ne portent cependant jamais sur des confusions de voisement, erreurs typiquement retrouvée en cas de trouble phonologique dans l'Etude I.

Lors des épreuves de dictée, nous avons observé des performances similaires à celles du groupe contrôle concernant la dictée de pseudo-mots et de mots réguliers, et une performance déficitaire lors de la dictée de mots inconsistants et irréguliers. Nous avons relevé un nombre important d'erreurs phonologiquement plausibles ainsi que des erreurs d'omissions finales, deux types d'erreurs que nous avons observés préférentiellement dans le groupe avec trouble de l'empan VA lors de l'Etude I. Nous n'avons cependant pas relevé de séquences orthographiques illégales. Bien que la dictée de pseudo-mots ait été correctement réalisée, les connaissances des conversions graphème-phonème de Léo sont significativement inférieures à celle du groupe contrôle.

Les résultats sont donc étonnants. D'une part, le profil de lecture de Léo est celui d'une dyslexie phonologique, et ce profil est associé à difficultés sur la tâche de conversions graphème-phonème, ce qui est en faveur de l'atteinte de la voie sub-lexicale, si on se place dans le cadre du modèle double-voie. Mais le profil en dictée correspond à celui d'une dysorthographie de surface. D'autre part, on ne relève aucune erreur phonologique en lecture et la grande majorité des erreurs en dictée sont phonologiquement plausibles, telles qu'attendues dans le contexte des dysorthographies de surface. Or l'Etude I a montré qu'un trouble phonologique induit typiquement des difficultés en dictée de pseudo-mots. Léo présente donc une dyslexie phonologique sans signe de trouble phonologique, mais un trouble de l'empan VA peut être suspecté étant donné sa dysorthographie de surface.

Nous avons donc ci-dessous évalué les capacités de langage oral, en particulier les capacités phonologiques de Léo, ainsi que ses capacités visuo-attentionnelles. Nous avons ensuite proposé à Léo un second examen, plus approfondi, de ses capacités en lecture et en orthographe qui nous permettra de mieux comprendre le lien entre les mécanismes cognitifs sous-jacents et le profil de lecture et d'orthographe atypique de Léo, c'est-à-dire les liens entre le profil cognitif distal et les processus cognitifs proximaux à l'origine de ce profil comportemental atypique en langage écrit.

### 3.3.4. Capacités de langage oral et phonologie

#### a) *Méthode*

Nous avons proposé à Léo différentes épreuves afin d'évaluer ses capacités de langage oral, notamment ses capacités de compréhension orale morphosyntaxique (Jacquier-Roux et al., 2010), de jugement métasyntaxique, ainsi qu'une épreuve de dénomination d'images (Pierart, Comblain, Grégoire et Mousty, 2004), (*Annexe V*). Nous avons également proposé à Léo les épreuves de conscience phonologique décrites précédemment (Chapitre 3.1.1.4). Nous avons complété cette évaluation avec une épreuve de substitution et de fusion de phonèmes (Chevrie-Muller, Maillart, Simon et Fournier, 2010) ainsi qu'une épreuve de jugement de rimes (Jacquier-Roux et al., 2010). Une épreuve de répétition de pseudo-mots (Valdois et Launay, 1999) a également été proposée à Léo. Nous avons également proposé à Léo une épreuve d'identification et une épreuve de discrimination de phonèmes permettant d'évaluer ses capacités de perception catégorielle des phonèmes, épreuves décrites précédemment (Chapitre 3.1.1.5).

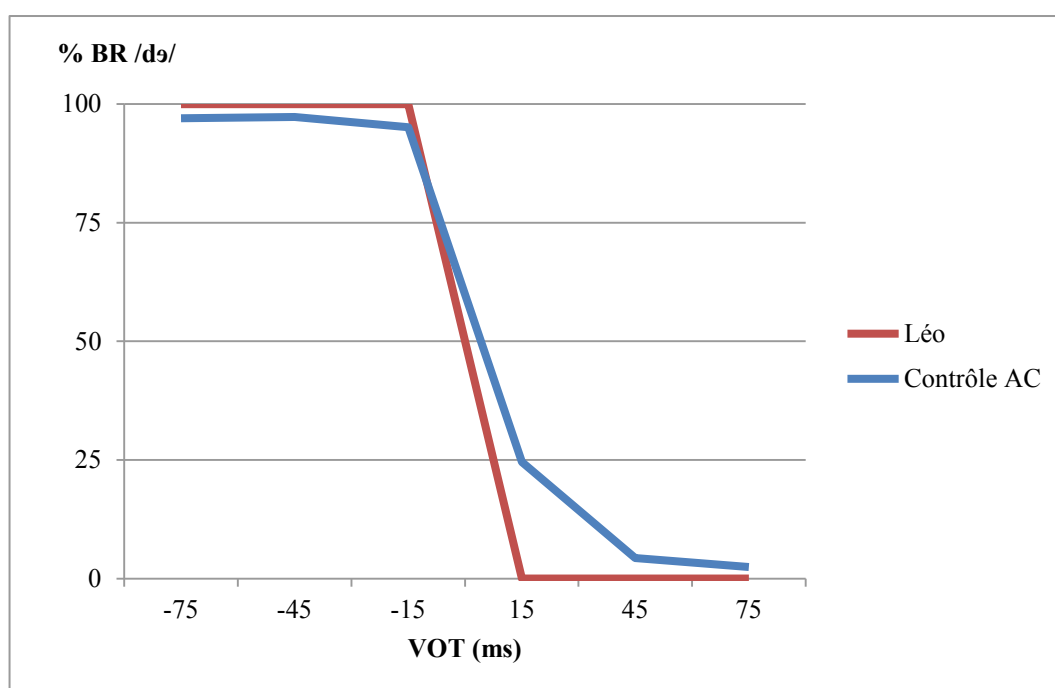
#### b) *Résultats*

Les résultats sont présentés dans le Tableau 11. Les performances de Léo en compréhension orale, dénomination d'images et en jugement métasyntaxique sont dans la norme des enfants de son âge. Il montre par ailleurs d'excellentes capacités de compréhension orale. On rappelle également son excellent niveau intellectuel verbal (ICV = 132). Léo montre aussi de bonnes capacités de répétition de pseudo-mots ; bien que nous ne disposons pas de normes pour l'épreuve de répétition de pseudo-mots, nous remarquons que le taux de réussite de Léo est quasiment à 100% ; Léo est capable de répéter sans hésitation des pseudo-mots, mêmes lorsque ceux-ci sont longs et contiennent des groupes consonantiques. Nous rappelons également que les capacités de mémoire de travail verbale évaluées lors du bilan intellectuel sont dans la moyenne pour son âge (Subtest Mémoire des chiffres du Wisc IV : Note standard = 9 ; empan endroit : Note standard = 10 ; empan envers : Note standard = 8). De plus, les performances en conscience phonémique de Léo ne diffèrent pas significativement de celles des groupes contrôle. Au contraire, Léo montre de très bonnes capacités de manipulation des sons de la langue, quelle que soit l'épreuve proposée. Concernant les capacités de perception catégorielle des phonèmes, on ne relève pas de difficultés d'identification des phonèmes sur le continuum /də/ - /tə/ (Figure 14). La localisation de la frontière, la pente, et la largeur asymptotique de la courbe ne diffèrent pas de celles du groupe contrôle AC. De même sur la tâche de discrimination, les capacités de Léo au niveau de la frontière à 0ms, c'est-à-dire pour les paires de stimuli inter-catégorielle, ne diffèrent pas de celles du groupe contrôle AC. Une différence semble présente pour les paires centrées à +30ms, mais elle n'est pas significative (Figure 15).

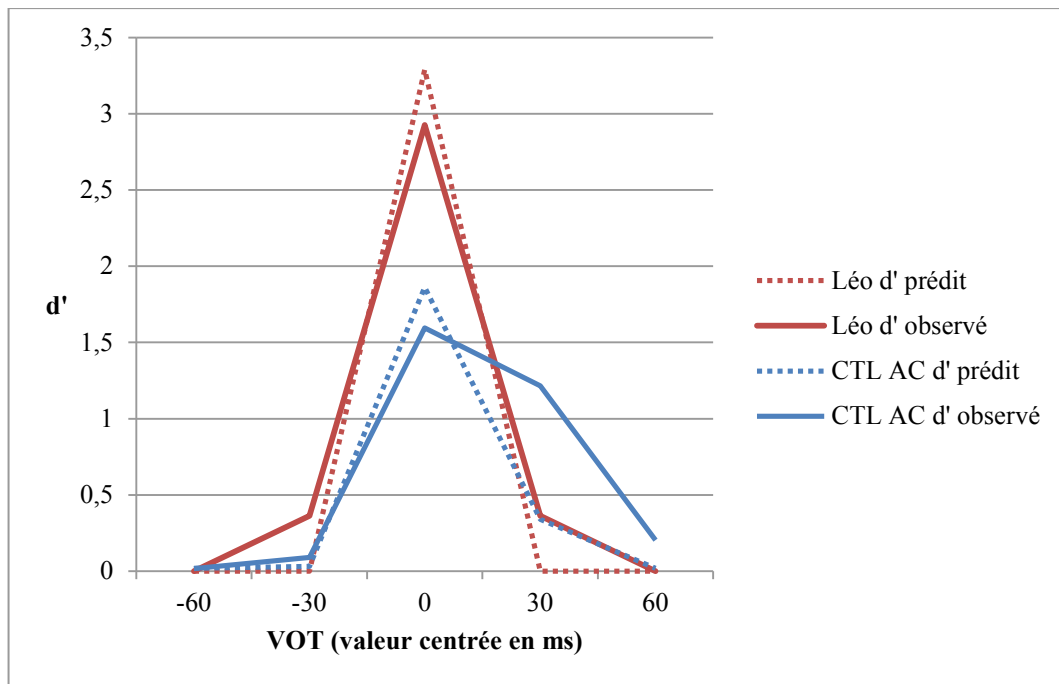


**Tableau 11.** Performances de Léo sur les épreuves évaluant les capacités de langage oral, comparées aux groupes contrôle. \* :  $p < .05$  ; \*\* :  $p < .01$  ; \*\*\*-  $p < .001$  ; ns : non-significatif.

Epreuves	Scores de Léo	Moyenne (ET) Groupe contrôle AC et rang en centiles	valeur t	p
Epreuve de compréhension orale (/20)	20	17.54 (1.70) ns	t(150) = 1.44	.076
Epreuve de dénomination d'images (/35)	30	50-75 <sup>e</sup> C	/	/
Epreuve de jugement morphosyntaxique (/28)	27	50-75 <sup>e</sup> C	/	/
Répétition de pseudo-mots (/92)	90	/	/	/
Omission 1er phonème (/20)	18	16.41 (3.85) ns	t(108) = 0.41	.341
Décomposition phonémique (/15)	15	8.09 (4.01) ns	t(108) = 1.72	.089
Acronyme (/10)	9	8.12 (2.33) ns	t(108) = 3.76	.354
Substitution phonème initial /10	10	9.36 (1.08) ns	t(91) = 0.59	.279
Substitution phonème médian /10	10	9.67 (0.88) ns	t(91) = 0.27	.393
Substitution phonème final /10	10	9.28 (1.16) ns	t(91) = 0.62	.269
Fusion de phonèmes syllabes simples/ 5	5	4.29 (0.99) ns	t(91) = 0.71	.239
Fusion de phonèmes syllabes complexes/ 5	5	4.14 (1.18) ns	t(91) = 0.73	.235
Rimes / 16	16	14.80 (1.48) ns	t(150) = 0.81	.210
Identification - pente	1.50	0.70 (0.62)	t(37) = 1.27	.106
Identification - frontière	0.97	7.97 (11.43)	t(37) = -0.60	.275
Identification - largeur asymptote	1.00	0.98 (0.03)	t(37) = 0.66	.257
Discrimination <i>d'</i> observé à 0ms	2.93	1.59 (1.04)	t(37) = 1.27	.106
Discrimination <i>d'</i> observé à 30ms	0.36	1.22 (1.19)	t(37) = -0.71	.240



**Figure 14.** Courbes d'identification de la syllabe /dʁ/ de Léo et du groupe contrôle de même âge chronologique (AC).



**Figure 15.** Courbes de discrimination prédites et observées de Léo et du groupe contrôle (CTL) de même âge chronologique (AC).

### c) *Résumé*

Tous les scores de Léo sur toutes les épreuves de langage oral et de phonologie sont similaires à ceux des groupes contrôles. En particulier, concernant les fonctions cognitives classiquement incriminées dans la dyslexie (cf. Chapitre 1.2.), les performances de Léo sur les épreuves de perception catégorielle des phonèmes, de mémoire à court terme et mémoire de travail verbale, les représentations phonologiques, et la conscience phonologique suggèrent que ces capacités sont bien préservées. Nous notons concernant les capacités de perception catégorielle que les performances de Léo apparaissent meilleures au niveau de la frontière catégorielle et que sa perception semble moins allophonique que celle du groupe contrôle, mais ces différences ne sont pas significatives.

Léo présente donc une dyslexie phonologique sans aucun trouble de nature verbale associé, et en particulier sans aucune atteinte phonologique. Des troubles de nature visuo-attentionnelle pourraient cependant être en jeu, notamment un trouble de l'empan VA puisque nous avons vu que ce dernier n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement de la procédure analytique. Nous explorons ci-dessous cette hypothèse.

### 3.3.5. Traitement visuo-attentionnel simultané

#### a) *Méthode*

Nous avons administré à Léo les deux tâches de report de lettres (global et partiel) et la tâche contrôle d'identification de lettres isolées décrites Partie 1.1.3 afin d'évaluer son empan VA selon les mesures classiquement utilisées et d'éliminer un trouble de l'identification de lettres isolées. Pour l'épreuve de report global, le nombre total de lettres correctement dénommées

(max = 100), indépendamment de la position de la lettre, a été enregistré (il s'apparente donc à un pourcentage de réussite), ainsi que le nombre de séquences de cinq lettres correctement identifiées dans leur intégralité (max = 20). Le nombre moyen de lettres correctement rapporté par séquences a également été calculé en divisant par 20 le nombre total de lettres correctement rapportées (max =  $100/20 = 5$ ).

Nous avons également proposé à Léo une tâche d'identification séquentielle de lettres similaire à la tâche de report global en termes d'accès au nom de lettres, et de charge en mémoire de travail afin de démontrer en cas de déficit sur l'épreuve de report global qu'il s'agit bien d'un déficit du traitement parallèle de plusieurs éléments. En effet dans cette tâche d'identification séquentielle les lettres, pour chacune des séquences, ne sont pas présentées simultanément, mais à la suite les unes des autres au centre de l'écran (*Annexe V*). Nous avons également administré une tâche de report global de lettres dans des conditions de présentation spatiale différentes (séquences de cinq lettres verticales et séquences de trois, quatre et cinq lettres horizontales avec espacement ou non des lettres) afin d'évaluer l'influence de la présentation spatiale des séquences (*Annexe V*). Nous avons vu que le trouble de l'empan VA doit rester identifiable quelle que soit la condition de présentation, puisqu'un traitement parallèle est requis dans toutes les conditions. Une influence de la présentation pourrait cependant être perceptible au-delà du seuil de capacité de l'empan VA. Ensuite, nous avons administré une tâche de catégorisation de séquences de trois ou cinq caractères alphanumériques et non-alphanumériques (*Annexe V*), qui permet de vérifier que le trouble de l'empan VA est également présent lors de la présentation d'items non-alphanumériques, puisqu'indépendant de la nature verbale ou non verbale des stimuli. (cf. Chapitre 1.3.2 pour une justification détaillée de ces épreuves).

### ***b) Résultats***

Les résultats sont présentés dans le Tableau 12. Sur les épreuves contrôles de seuil d'identification de lettres isolées et de lettres en rafales, les scores de Léo sont similaires à ceux des groupes contrôle AC. En revanche, nous relevons des performances significativement inférieures à celles du groupe contrôle AC pour les épreuves classiques de report global et partiel de lettres. De plus, les scores de Léo sur ces épreuves diffèrent significativement de ceux d'un groupe contrôle apparié sur le niveau de lecture.

Sur l'épreuve de report global avec présentation verticale des séquences, les scores de Léo sont également significativement plus faibles que ceux du groupe contrôle AC. Sur l'épreuve de report global de séquences de trois, quatre, et cinq lettres plus ou moins éloignées, nous remarquons que les scores totaux de Léo ne sont pas différents de ceux du groupe contrôle. Cependant, nous remarquons que les scores ne diffèrent pas pour les séquences de trois et quatre lettres, mais sont à la limite du seuil de significativité pour les séquences de cinq lettres [ $t = -1,416$  ;  $p = .085$ ], et que les pourcentages de bonnes réponses sont similaires en condition proche comme en condition éloigné (69%), et très proche du seuil de significativité en condition proche [ $t = -1,634$  ;  $p = .058$ ]. Concernant la tâche de catégorisation de caractères alphanumériques et non-alphanumériques, le score total de Léo est significativement inférieur à celui du groupe contrôle AC. Comme précédemment, on ne relève pas de différence significative pour les séquences de trois items, mais une différence apparaît pour les

séquences de cinq items lors de la comparaison avec le groupe contrôle AC, et une tendance est relevée pour la comparaison avec le groupe contrôle AL [ $t = -1,368$  ;  $p = .093$ ]. La différence avec le groupe contrôle AC est bien significative pour les séquences de cinq caractères avec cibles alphanumériques, et très proche du seuil de significativité pour les séquences de cinq caractères avec cibles non-alphanumériques [ $t = -1,713$  ;  $p = .054$ ].

**Tableau 12.** Performances de Léo aux épreuves évaluant l'empan visuo-attentionnel comparé aux groupes contrôles de même niveau scolaire (Contrôle AC) et de même âge de lecture (Contrôle AL). AN : AlphaNumérique. \* :  $p < .05$  ; \*\* :  $p < .01$  ; \*\*\*-  $p < .001$  ; ns : non-significatif ; lim : limite du seuil de significativité.

Epreuves	Scores de Léo	Moyenne (ET) Contrôle AC	Moyenne (ET) Contrôle AL
Seuil de lettres 33 ms (/10)	9	6.41 (3.02) ns	/
Seuil de lettres 50 ms (/10)	9	8.23 (2.3) ns	/
Seuil de lettres 67 ms (/10)	10	9.27 (1.59) ns	/
Seuil de lettres 84 ms (/10)	10	9.66 (0.99) ns	/
Seuil de lettres 101 ms (/10)	10	9.75 (0.93) ns	/
Report séquentiel (/100)	84	73.16 (10.25) ns	/
Report global (/100)	57	85.11 (9.80) **	78.82 (11.11) *
Report global (Nb moy. lettres traitées /5)	2,9	4.20 (0.52) **	3.91 (0.57) *
Report global (Nb séquences correctes /20)	0	9.84 (5.10)*	6.85 (4.79) ns
Report partiel (/50)	29	44.01 (4.30) **	40.44 (6.81) *
Report global vertical (/100)	51	78.35 (8.81) **	/
Report vertical (Nb moy. de lettres traitées /5)	2.55	3.92 (0.44) **	/
Report global condition proche (% BR)	84.44	92.58 (6.68) ns	/
Report global condition éloignée (% BR)	83.89	91.16 (7.08) ns	/
Report global 3 items (% BR)	98.89	99.08 (1.59) ns	/
Report global 4 items (% BR)	91.67	95.00 (6.36) ns	/
Report global 5 items (% BR)	69.33	85.04 (10.86) lim	/
Report global 5 items éloignés (% BR)	69.33	83.59 (11.94) lim	/
Report global 5 items proches (% BR)	69.33	86.49 (10.28) lim	/
Catégorisation Total (% BR)	60.00	78.17 (9.66) *	65.00 (11.12) ns
Catégorisation - 3 items (% BR)	85.00	88.67 (9.15) ns	75.48 (11.50) ns
Catégorisation - 5 items (% BR)	35.00	67.67 (12.08) **	54.54 (13.96) lim
Catégorisation - 3 items AN (% BR)	75.00	85.83 (20.52) ns	77.38 (12.88) ns
Catégorisation - 3 items non-AN (% BR)	91.67	86.94 (11.01) ns	74.21 (18.05) ns
Catégorisation - 5 items AN (% BR)	25.00	62.50 (14.94) *	56.55 (15.11) *
Catégorisation - 5 items non-AN (% BR)	41.67	70.56 (16.33) lim	53.17 (17.38) ns

### *c) Résumé*

Tandis que le traitement de lettres présentées de façon isolée ou en rafale ne pose pas de difficulté à Léo, ses scores sont déficitaires, ou à la limite du seuil de significativité, sur toutes les épreuves qui requièrent un traitement simultané de plus de quatre caractères. Plus précisément, les scores sont significativement déficitaires sur les épreuves classiques de mesure de l'empan VA (report partiel et report global), même lorsque comparés à un groupe contrôle de même niveau de lecture, excluant l'influence de l'expérience en lecture, et alors même que ce groupe contrôle a sans doute un niveau d'efficacité intellectuelle plus faible. Les scores de Léo sont également significativement plus faibles pour le traitement de séquences présentées de façon verticale, et à la limite du seuil de significativité pour le traitement des séquences de cinq lettres, qu'elles soient présentées de façon proche ou éloignées les unes des autres. La présentation spatiale des séquences n'a donc pas d'influence. Enfin, le score total de Léo est déficitaire sur l'épreuve de catégorisation visuelle de caractères alphanumériques et non-alphanumérique. Comme précédemment, c'est lorsque les séquences contiennent cinq caractères que les scores de Léo sont plus faibles que ceux des groupes contrôles, que les caractères à traiter soient ou non de nature alphanumérique, c'est-à-dire verbalisables ou non. Ceci renforce l'hypothèse du caractère non verbal du trouble de traitement simultané que présente Léo.

Afin d'évaluer de façon plus approfondie les conséquences de ce trouble VA du traitement simultané de caractères sur les deux voies de lecture, nous avons proposé à Léo des épreuves supplémentaires de lecture et d'orthographe.

### **3.3.6. Evaluation approfondie de la lecture et de l'orthographe**

#### *a) Méthode*

Nous avons proposé à Léo deux tâches qui requièrent des capacités de conversion graphème-phonème préservées au niveau de la voie sub-lexicale analytique : une épreuve de décision lexicale phonologique (trouver la forme phonologique lexicale ; e.g. stine, tampette, frale, balène), et une épreuve de choix phonologique (trouver l'intrus ; e.g. zau, sau, ceau). Ces épreuves sont réalisées en temps limité. Les scores tiennent donc compte à la fois de la précision et de la vitesse. Afin de confirmer l'efficacité des capacités de conversion phonème-graphème, une épreuve supplémentaire de dictée de pseudo-mots a également été proposée.

Nous avons également proposé à Léo plusieurs tâches évaluant le lexique orthographique, : une tâche de décision lexicale orthographique (e.g. oizo, pentalon, seurize, maison, tablaut ; tous sont phonologiquement plausibles) ainsi qu'une épreuve de choix de la bonne orthographe (e.g. lunettes, lunêtes, lunètes), qui devraient être déficitaires en cas de trouble de l'empan VA. Ces épreuves sont réalisées en temps limité. Les scores tiennent donc compte à la fois de la précision et de la vitesse. On rappelle que Léo présentait de bonnes capacités de lecture de mots irréguliers, qui pourraient refléter une efficacité du lexique orthographique, ce qui est inattendu en cas de trouble de l'empan VA. Pour évaluer de façon plus approfondie le fonctionnement de son lexique orthographique, nous avons également proposé à Léo une tâche de choix orthographique sur des pseudo-mots incluant des séquences orthographiques

illégales (e.g. birsal vs birssal), que l'enfant doit détecter, permettant d'évaluer des connaissances grapho-tactiques implicites. Enfin, une épreuve d'apprentissage de mots nouveaux (pseudo-mots contenant deux graphèmes complexes et une particularité orthographique, e.g. 'pauffou' pour /pofu/) nous permet d'évaluer les capacités de mémorisation lexicale de Léo. Dans cette épreuve, deux conditions de présentations des pseudo-mots sont proposées : une présentation rapide de la forme globale du mot, forçant le passage par la voie lexicale, ou une présentation partielle séquentielle (syllabes par syllabes) forçant un traitement analytique, tel qu'en cas de trouble de l'empan VA. D'après Bosse et collaborateurs (2015) l'orthographe du mot devrait être moins bien mémorisée si le mot est présenté dans sa forme partielle plutôt que globale. Cependant, le trouble de l'empan VA ne permettant de traiter simultanément qu'un groupe de lettres, Léo pourrait obtenir des scores en dictée similaires entre les deux conditions, ou même de meilleurs scores en condition de présentation partielle. En effet, le traitement analytique est ici guidé et organisé (découpage syllabique ; e.g. 'pau' puis 'ffou'), tandis qu'il pourrait être plus chaotique, par exemple en présence de graphèmes multi-lettres, lorsqu'il est dû à un trouble de l'empan VA (e.g. 'pa' puis 'uf' puis 'fou'). C'est le nombre de syllabes correctement orthographiées sur l'ensemble des 12 pseudo-mots (12 syllabes en condition partielle, 12 syllabes en condition globale) qui est enregistré. Nous avons également analysé la différence de performances entre les deux conditions. L'ensemble de ces épreuves est présenté en *Annexe V*. Les prédictions des résultats aux épreuves proposées en fonction d'un trouble phonologique et d'un trouble de l'empan VA sont présentés dans le Tableau 13.

**Tableau 13.** Prédictions des résultats aux épreuves proposées en fonction de la présence d'un trouble phonologique ou d'un trouble de l'empan VA.

	Si trouble phonologique	Si trouble empan VA
Décision lexicale phonologique	-	+
Choix phonologique	-	+
Lecture de pseudo-mots graphème simple	-	+
Lecture de pseudo-mots graphème multi-lettres	-	-
Dictée de pseudo-mots	-	+
Décision lexicale orthographique	+/-	-
Choix de la bonne orthographe	+/-	-
Connaissances grapho-tactiques implicites	+/-	-
Apprentissage de mots nouveaux	+/-	-
App. mots nouveaux - différence global / partiel	0	>0

### ***b) Résultats***

Les résultats sont présentés dans le Tableau 14. Les scores de Léo sur les épreuves de décision lexicale phonologique, de choix phonologique et de dictée de pseudo-mots sont similaires à

celles du groupe contrôle. Sur l'épreuve de décision lexicale orthographique, Léo sélectionne quasiment tous les mots correctement orthographiés, et sa performance à ce niveau ne diffère donc pas de celle du groupe contrôle. Cependant, il fait énormément de fausses alarmes (toutes phonologiquement plausibles) comparé au groupe contrôle. La valeur de *d'* diffère significativement de celle des contrôles, montrant que sa sensibilité à la bonne orthographe des mots est perturbée. Lorsqu'il doit choisir entre trois formes orthographiques, son score n'est pas significativement inférieur à celui du groupe contrôle. En revanche, ses connaissances de règles grapho-tactiques sont déficitaires : Léo sélectionne de nombreux pseudo-mots comprenant des séquences orthographiques illégales. Pour l'apprentissage de pseudo-mots évalué par une épreuve de dictée, nous ne relevons pas de différence significative avec le groupe contrôle, que ce soit en condition de présentation globale des pseudo-mots ou de présentation partielle, et la différence des scores de Léo entre les deux conditions n'est pas significative, bien que Léo obtienne un score plus faible que les contrôles en condition globale et plus élevé en condition partielle.

**Tableau 14.** Performances de Léo aux épreuves complémentaires de lecture et d'orthographe comparées au groupe contrôle de même âge chronologique. \* :  $p < .05$  ; \*\* :  $p < .01$  ; \*\*\*-  $p < .001$  ; ns : non-significatif.

Epreuves	Scores	Moyenne (ET)	valeur t	p
	de Léo	Groupe contrôle AC		
Décision lexicale phonologique (% BR)	24.24	44.35 (17.32) ns	$t(793) = -1.16$	.123
Choix phonologique (% BR)	61.90	64.07 (18.40) ns	$t(793) = -0.12$	.453
Décision orthographique (% BR)	84.84	70.28 (20.46) ns	$t(793) = 0.71$	.239
Décision orthographique – fausses alarmes (%)	50.57	13.95 (8.23) ***	$t(793) = 4.45$	.000
Décision orthographique – <i>d'</i>	-0.74	2.06 (1.59) *	$t(793) = -1.76$	.039
Choix de la bonne orthographe (% BR)	69.04	80.94 (13.97) ns	$t(793) = -0.85$	.197
Connaissances grapho-tactiques (% BR)	35.00	66.30 (15.11) *	$t(793) = -2.07$	.019
Dictée de pseudo-mots (% BR)	84.21	64.01 (19.31) ns	$t(793) = 1.05$	.148
Apprentissage en global (BR syllabe /12)	5	6.83 (2.07) ns	$t(31) = -0.87$	.196
Apprentissage en partiel (BR syllabe /12)	8	7.13 (2.34) ns	$t(31) = 0.37$	.358
Différence global / partiel	3	0.30 (2.38) ns	$t(31) = 1.12$	.137

### c) *Résumé*

Bien que Léo présente une dyslexie phonologique typiquement interprétée comme démontrant une atteinte de la voie sub-lexicale et des processus de conversion graphème-phonème, les épreuves de décision lexicale phonologique et de choix phonologique, qui sollicitent principalement ces processus, sont correctement réalisées. La conversion phonème-graphème sollicitée par la dictée de pseudo-mots ne pose pas non plus de difficulté à Léo. Ceci apparaît donc cohérent avec l'absence de trouble phonologique. On rappelle également l'absence d'erreurs phonologiques en lecture de pseudo-mots.

Par ailleurs, le trouble de l'empan VA devrait altérer le fonctionnement de la procédure globale et ainsi perturber la mémorisation des connaissances sur la forme orthographique des mots, or Léo présente des capacités de lecture de mots irréguliers correctes. Cependant, en approfondissant notre exploration des connaissances lexicales de Léo par une épreuve de décision lexicale orthographique, nous avons montré que Léo sélectionne bien les mots correctement orthographiés, mais il fait également de très nombreuses fausses alarmes ; la sensibilité *d'* est d'ailleurs négative, donc les choix de Léo pourraient être aussi bien basés sur son lexique orthographique que sur un traitement analytique des mots et pseudo-mots, à l'origine des fausses alarmes, et défaillant sur certains items amenant à des rejets corrects. Ces données suggèrent un dysfonctionnement de son lexique orthographique. Cependant lorsqu'un choix lui est proposé entre la bonne et la mauvaise orthographe d'un mot, il est capable de sélectionner la bonne orthographe. Mais un autre signe de l'altération de son empan VA est mis en évidence dans l'épreuve évaluant les connaissances grapho-tactiques, c'est-à-dire les connaissances des séquences orthographiques contraintes par la langue. En effet, Léo sélectionne de nombreux pseudo-mots comprenant des séquences orthographiques illégales, c'est-à-dire qui ne sont jamais représentées dans la langue. Cependant, Léo ne présente pas de déficit dans l'encodage de mots nouveaux, que la présentation du nouveau mot soit globale ou partielle.

### 3.4. Discussion

Cette étude présente le cas d'un garçon de 11 ans dont la dyslexie peut être qualifiée de 'dyslexie phonologique' selon la classification du modèle double-voie. En effet, Léo rencontre des difficultés de lecture de pseudo-mots tandis que la lecture de mots irréguliers est efficiente, ce qui est classiquement interprété comme relevant d'une atteinte de la voie sub-lexicale. Un trouble phonologique est classiquement incriminé dans le dysfonctionnement de la voie sub-lexicale, affectant les processus de conversion grapho-phonémique (Campbell et Butterworth, 1985; Curtin et al., 2001; Farah et al., 1996; Hanley et Gard, 1995; Niolaki et al., 2014; Romani et al., 2008; Snowling et Hulme, 1989). Les connaissances des conversions graphèmes-phonèmes sont en effet déficitaires chez Léo. Cependant, on ne relève aucune erreur typiquement phonologique et le profil en dictée relève d'une dysorthographe de surface, la grande majorité des erreurs étant phonologiquement plausibles. Le profil en lecture et en dictée est donc inversé (dysorthographe de surface associée à une dyslexie phonologique), ce qui n'a été que rarement décrit (Romani et al., 2008).

L'examen des capacités verbales de Léo, et en particulier phonologiques, ne montre aucun déficit. Ses performances en compréhension orale, dénomination d'images et en jugement métasyntaxique sont également dans la norme des enfants de son âge. Il présente d'ailleurs également un excellent niveau intellectuel verbal (ICV = 132). Concernant les fonctions cognitives classiquement incriminées dans la dyslexie (cf. Chapitre 1. Partie 2), nous notons que les capacités de perception catégorielle des phonèmes, de mémoire à court terme et mémoire de travail verbale, les représentations phonologiques, et la conscience phonologique sont toutes efficaces.



En revanche, Léo présente un trouble de l'empan VA. Ses scores sont significativement déficitaires sur les épreuves classiques de mesure de l'empan VA (report partiel et report global), même lorsque comparés à un groupe contrôle de même niveau de lecture, excluant ainsi l'influence de l'expérience en lecture. Les scores de Léo sont également significativement plus faibles pour le traitement de séquences de plus de quatre lettres, quelle que soit la nature des items à traiter (alphanumérique ou non-alphanumérique, c'est-à-dire verbalisable ou non) et quelle que soit la présentation spatiale de la séquence (verticale ou horizontale, lettres proches ou espacées). Par contre, le traitement de lettres isolées ne le lui pose pas de problème, même lorsqu'elles sont présentées en rafale, et que l'épreuve sollicite donc les mêmes processus verbaux que les épreuves de report global. Ceci confirme donc bien qu'il s'agit d'un trouble du traitement simultané de nature visuo-attentionnelle, tel qu'est défini l'empan VA, et non lié aux dimensions verbales des tâches de report partiel et global, en termes de mémoire verbale et d'accès au nom des lettres.

Ainsi, alors qu'un trouble de l'empan VA est interprété classiquement comme affectant le traitement global des mots, et associé à un profil de dyslexie de surface (Bouvier-Chaverot et al., 2012; Dubois et al., 2010; Niolaki et al., 2014; Peyrin et al., 2012; Valdois, Bosse, et al., 2003; Zoccolotti et al., 1999), et qu'un trouble phonologique est classiquement interprété comme affectant le traitement analytique, et donc associé à un profil de dyslexie phonologique, Léo présente l'association inattendue d'un profil de lecture phonologique dans le contexte d'un trouble isolé de l'empan VA.

Face à ce constat, plusieurs questions sont posées. En premier lieu, on peut s'interroger sur la nature de ce déficit de conversion graphème-phonème sans trouble phonologique. Tout d'abord, rappelons que le processus de conversion des phonèmes vers les graphèmes apparaît plus efficient que le processus de conversion inverse, puisque la dictée de pseudo-mots est préservée tandis que la lecture de pseudo-mots est perturbée. Le déficit en lecture de pseudo-mots semble en outre concerner plus spécifiquement le traitement des graphèmes complexes (multi-lettres) qui requièrent un traitement simultané, comme mis en évidence dans l'Etude I auprès d'enfants présentant une dyslexie mixte dans un contexte de trouble de l'empan VA. Nous ne disposons cependant pas ici de données objectives. Mais l'Etude I nous a permis de montrer qu'un trouble de l'empan VA peut affecter le traitement analytique (cf. Discussion de l'Etude I 2.5). On peut cependant se demander par quels moyens ce trouble de l'empan VA qui affecte le traitement sub-lexical n'affecte pas le traitement lexical, comme le suggère la réussite de Léo sur l'épreuve de lecture de mots irréguliers. Ceci nous a amené à une autre question : les compétences orthographiques de Léo sont-elles réellement préservées ? Tout d'abord, en transcription, Léo présente bien un profil de dysorthographe de surface. Mais ce dysfonctionnement n'est pas la seule preuve d'une atteinte de ses compétences orthographiques. En effet, Léo fait de nombreuses erreurs sur l'épreuve de décision lexicale orthographique. Tous les items sont phonologiquement plausibles, et la présence de très nombreuses fausses alarmes associée à un taux correct de détection des cibles suggère que les choix de Léo pourraient être basés sur ses capacités de traitement analytique. Mais lorsqu'un choix lui est proposé entre la bonne et la mauvaise orthographe d'un mot, Léo est capable de sélectionner la bonne orthographe. Cependant, dans une épreuve évaluant les connaissances grapho-tactiques, Léo sélectionne de nombreux pseudo-mots comprenant des séquences

orthographiques illégales ou non représentées dans la langue, telles les erreurs produites par les enfants présentant un trouble de l'empan VA dans l'Etude I que nous avons discutées. Mais par ailleurs, Léo n'a pas rencontré de difficultés dans l'apprentissage de mots nouveaux, que la présentation du nouveau mot soit globale ou partielle. Nous pouvons néanmoins nous interroger sur la qualité représentative de notre échantillon contrôle, car leurs performances en apprentissage lors de la condition de présentation partielle semble quelque peu meilleures (bien que non significativement) qu'en condition de présentation globale, alors que l'ensemble des données de l'étude de Bosse et collaborateurs (2015) suggère un effet inverse. Cependant, dans cette étude également les enfants de CM2 présentent des performances équivalentes entre les deux conditions lors de la phase de dictée. Les auteurs suggèrent que des mécanismes de compensation face à un traitement partiel contraint chez les enfants les plus âgés pourraient donc être à l'œuvre, de même que chez Léo qui présente également un très bon niveau intellectuel, en faveur de l'existence de mécanismes de compensation efficaces.

En somme, le trouble de l'empan VA, altérant le traitement global des mots, est classiquement interprété comme affectant le développement et le fonctionnement du lexique orthographique si l'on se place dans le cadre théorique du modèle double-voie. Or nous avons montré que les performances de Léo à ce niveau sont fluctuantes. Mais sans doute en lien avec le contexte d'un très bon niveau intellectuel, des mécanismes de compensation ont pu être développés par Léo, lui permettant de réussir certaines épreuves faisant appel au lexique orthographique (lecture de mots irréguliers, apprentissage de mots nouveaux, choix orthographique). Des groupes contrôle appariés sur le niveau intellectuel, dyslexiques ou normo-lectures, avec ou sans trouble phonologique ou de l'empan VA nous auraient sans doute permis de mieux cerner son profil et les répercussions du trouble VA. Ceci pourra donner lieu à des analyses complémentaires prochainement. De plus, nous pouvons supposer que le profil de lecture de Léo n'a pas toujours été celui d'une dyslexie phonologique. Il est possible que ce profil soit l'évolution d'une dyslexie mixte sous l'influence de mécanismes de compensation particulier ; comme le suggère Peterson et collaborateurs (Peterson et al., 2013), les capacités de codage phonologique (voie sub-lexicale) et de codage orthographique (voie lexicale) deviennent de plus en plus discordantes à mesure du temps, reflétant sans doute l'émergence de stratégies de compensation.

En somme, un trouble de l'empan VA paraît responsable du trouble en lecture de pseudo-mots observé, et serait donc à l'origine de la dyslexie d'allure phonologique de Léo. Ce trouble cognitif serait également responsable de dysfonctionnements de la voie lexicale, plus ou moins masqués par les stratégies compensatoires que Léo a pu mettre en place. Ainsi, une hétérogénéité cognitive caractérise non seulement les dyslexies mixtes (Etude I) mais également les dyslexies phonologiques : les arguments en faveur de l'influence d'un trouble phonologique sont nombreux (cf. Chapitre 1 Partie 4.3) mais nous avons montré par cette étude de cas, pour la première fois, qu'un trouble de l'empan VA peut également conduire à un profil de dyslexie phonologique.

Cette étude présente le cas d'une dyslexie développementale phonologique caractérisée par un trouble de l'empan VA en l'absence de toute atteinte de nature verbale ou phonologique. Malgré la multiplication des épreuves visant à évaluer les capacités de verbales et phonologiques de Léo, tant les scores obtenus que l'analyse qualitative des erreurs plaident pour des aptitudes phonologiques préservées malgré l'allure phonologique de la dyslexie. Seul le déficit de l'empan visuo-attentionnel, identifié par de nombreuses épreuves sollicitant le traitement simultané de caractères, permet de rendre compte du profil de dyslexie de Léo. Par ailleurs les épreuves évaluant les deux procédures de lecture attestent d'une procédure lexicale peu fonctionnelle, comme prédit par le modèle ACV98 en cas d'atteinte de la fenêtre VA, malgré l'absence de déficit en lecture de mots irréguliers ; en revanche, le déficit en lecture de pseudo-mots, relevant de la voie analytique peut être expliqué par le trouble de l'empan VA, comme prédit également par le modèle ACV98. Ceci, comme l'étude précédente, remet donc en cause l'idée répandue d'un lien univoque entre les différents profils de lecture basés sur les performances en lecture des mots irréguliers et des pseudo-mots, et les troubles cognitifs distaux sous-jacents en contexte développemental.

## 4. Etude III : Relations entre perception catégorielle des phonèmes, conscience phonologique, et empan visuo-attentionnel

---

Cette étude a fait l'objet d'un article soumis en septembre 2015 dans la revue PLoSOne (*Annexe XII*) :

Zoubinetzky, R., Collet, G., Serniclaes, W., Nguyen-Morel, M.A., et Valdois, S. (soumis). Relationships between categorical perception of phonemes, phoneme awareness, and visual attention span in developmental dyslexia (PONE-D-15-39283)

### 4.1. Enjeux théoriques et cliniques

Dans cette étude, nous nous intéressons aux relations entre trois déficits cognitifs supposés en cause dans la dyslexie développementale : la conscience phonologique, la perception catégorielle de phonèmes, et l'empan VA. Nous cherchons ici à mieux comprendre l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique, en explorant ces hypothèses à travers une même population.

Un déficit de perception catégorielle des phonèmes chez des groupes de sujets dyslexiques a été mis en évidence dans de nombreuses études (cf. Chapitre 1). Ce déficit peut se traduire par une plus faible précision en discrimination et en identification des phonèmes autour des frontières catégorielles, mais également par une meilleure capacité de discrimination des différences acoustiques intra-catégorielles, c'est-à-dire une perception allophonique (voir Noordenbos et Serniclaes, 2015, pour une méta-analyse). Mais ce déficit n'est parfois que marginalement significatif (Reed, 1989), ou n'est pas présent du tout dans certaines études [voir (Vandermosten et al., 2011), pour une méta-analyse portant sur 50 études]. Cette variabilité pourrait être due à l'hétérogénéité de la population dyslexique. En effet, ce déficit n'est parfois retrouvé que dans certains sous-groupes de dyslexiques (Adlard et Hazan, 1998; Joannis, Manis, Keating et Seidenberg, 2000; Lachmann, Berti, Kujala et Schroger, 2005; Paul et al., 2006). Dans l'étude de Manis et al (1997), seul le sous-groupe dyslexique caractérisé par un trouble de conscience phonologique présente un déficit de perception catégorielle. Des corrélations significatives entre perception catégorielle et conscience phonologique ont été mises en évidence chez des sujets dyslexiques (Breier et al., 2001) et auprès d'enfants normo-lecteurs (Hurford, 1991; McBride-Chang, 1995). Dans une autre étude portant sur des enfants normo-lecteurs (McBride-Chang, 1996), les auteurs démontrent que la relation entre perception catégorielle et lecture est modulée par la conscience phonologique. Ceci n'a cependant pas été démontré en contexte de dyslexie. Une relation de causalité entre perception catégorielle des phonèmes et conscience phonologique a par ailleurs été mise en évidence dans une étude d'entraînement auprès d'enfants présentant un trouble du langage oral (Collet et al., 2012). Ainsi, les arguments en faveur d'une relation étroite entre perception catégorielle et conscience phonologique sont solides. Mais cette relation et son lien avec les capacités de lecture dans la dyslexie n'ont été que peu étudiés. D'autre part, nous avons vu que de nombreuses études suggèrent que les processus phonologiques sont indépendants des capacités d'empan VA. Nous avons notamment montré, en particulier dans

notre première étude (Etude I), que le trouble de l'empan VA et le déficit de conscience phonologique sont le plus souvent indépendants, caractérisant chacun des sous-groupes dyslexiques. Ainsi, un déficit de perception catégorielle devrait être identifiable pour un sous-groupe dyslexique présentant un trouble de conscience phonologique, mais pas pour un sous-groupe caractérisé par un trouble de l'empan VA présentant des capacités de conscience phonologique préservées. Cette hétérogénéité pourrait expliquer la variabilité des résultats des études portant sur la perception catégorielle des phonèmes dans la dyslexie.

## 4.2. Objectifs et Hypothèses

Dans cette étude, la relation entre perception catégorielle des phonèmes, conscience phonologique et empan VA dans la dyslexie est explorée pour la première fois. Dans une première partie, nous nous intéresserons aux capacités de perception catégorielle d'un groupe d'enfants dyslexiques comparé à un groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs. Nous étudierons ensuite les relations entre nos trois variables d'intérêt -- perception catégorielle, conscience phonologique et empan VA -- dans notre groupe dyslexique au travers d'analyses de corrélation et de médiation. Dans une seconde partie, nous explorerons les capacités de perception catégorielle d'un sous-groupe dyslexique présentant un trouble de conscience phonologique sans trouble de l'empan VA et d'un sous-groupe présentant le profil inverse. Nos hypothèses seront détaillées en introduction de chacune de ces parties.

## 4.3. Partie 1. Relations entre perception catégorielle des phonèmes, conscience phonologique, et empan visuo-attentionnel dans une population dyslexique tout-venant

Dans cette première partie de l'étude, nous avons comparé les capacités de perception catégorielle sur un continuum de VOT entre les syllabes /də/ et /tə/ d'un groupe d'enfants dyslexiques à celles d'un groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs apparié en âge. De faibles capacités d'identification et de discrimination inter-catégorielle, ainsi que de meilleures capacités de discrimination intra-catégorielle, c'est-à-dire des allophones, étaient attendues pour le groupe dyslexique. Des analyses de corrélations ont ensuite été réalisées, afin d'observer si les capacités de perception catégorielle corrèlent bien avec la conscience phonologique, et dans quelle mesure ces deux processus corrèlent avec la lecture, tandis qu'aucune corrélation n'était attendue entre ces mesures et l'empan VA. Des analyses de médiation ont ensuite été réalisées afin de tester l'hypothèse d'une relation de médiation entre perception catégorielle et lecture par la conscience phonologique.

### 4.3.1. Méthode

#### *a) Participants*

Soixante-trois enfants dyslexiques (âge moyen = 10 ans et 6 mois, ET = 15 mois) et 63 enfants contrôles normo-lecteurs appariés en âge (âge moyen = 10 ans et 1 mois, ET = 11 mois) ont participé à cette étude. Les enfants du groupe contrôle ne présentaient aucun

élément en faveur d'un trouble du développement du langage oral ou écrit ; leur âge de lecture (Lefavrais, 1965) ne se distinguait pas de leur âge chronologique (âge de lecture moyen = 10 ans et 10 mois, ET = 19 mois ;  $F < 1$ ), une différence de 18 mois maximum étant retenue. Les enfants dyslexiques ne présentaient pas de trouble spécifique du langage oral ou de trouble attentionnel associés. Leur âge de lecture moyen était significativement plus faible que celui du groupe contrôle (7 ans et 5 mois, ET = 8 mois,  $F(1,124) = 236.5$ ,  $p < .001$ ).

### *b) Procédure et matériel*

Les enfants dyslexiques ont tous été évalués sur leurs capacités de lecture de mots réguliers et irréguliers et de pseudo-mots grâce aux tâches de lecture de mots classiquement utilisées dans nos études, décrites précédemment (cf. I.A.1.b). Les trois tâches de conscience phonologique et les deux tâches de mesure de l'empan VA ont également été proposées, ainsi que la tâche contrôle d'identification de lettres isolées (cf. Partie 1.1.3 et 1.1.4). Les enfants ont été exclus lorsque le score maximal de 10 bonnes réponses n'a pas été atteint au seuil maximal de 101ms sur cette tâche contrôle. Les tâches ont été présentées aux enfants dans un ordre aléatoire. Les résultats sont présentés dans le Tableau 15. Les z-scores moyens pour toutes les épreuves sont négatifs. Ils sont particulièrement faibles concernant la lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots (scores et temps).

**Tableau 15.** Scores et Z-scores moyens, écart-types et étendues concernant l'âge, la lecture de mots réguliers, irréguliers, de pseudo-mots (en scores et temps), les tâches de conscience phonologique et les tâches d'empan VA pour l'ensemble de la population dyslexique.

	Score				Z-score	
	Moyenne	ET	Min	Max	Moyenne	ET
Age (mois)	125,54	15,22	94	153		
Age de lecture (mois)	89,33	7,75	79	122		
Retard lexique (mois)	36,89	14,88	15	83		
Score réguliers (/20)	15,69	3,44	3	20	-1,24	1,09
Temps réguliers (sec)	43,76	19,18	15	101	-0,73	2,32
Score irréguliers (/20)	11,21	4,43	2	20	-1,95	1,52
Temps irréguliers (sec)	49,98	21,83	15	120	-2,41	2,19
Score PM (/20)	12,20	3,71	4	18	-2,22	1,60
Temps PM (sec)	52,25	18,36	18	115	-1,95	1,66
Omission (%)	71,11	19,52	30	100	-0,80	1,33
Segmentation (%)	59,26	25,15	7	100	-0,06	0,96
Acronyme (%)	72,38	21,61	0	100	-0,48	1,10
Report global (%)	70,76	11,58	41	94	-1,14	1,05
Report partiel (%)	74,79	14,44	24	100	-1,20	1,39

Les tâches de perception catégorielle des phonèmes décrites précédemment (cf. Partie 1.1.5) ont été proposées aux enfants. Les enfants commençaient soit par la tâche d'identification, soit par la tâche de discrimination, de façon aléatoire, et en ordre aléatoire au sein du protocole mais toujours l'une à la suite de l'autre.

### *c) Analyse des données de perception catégorielle*

Les variables décrites précédemment (cf. Partie 1.1.5) ont été extraites de ces deux tâches. Nous avons également calculé un pic de discrimination prédit et un pic de discrimination observé, correspondant à la valeur maximum de  $d'$  observée pour chacun des sujets sur la courbe prédite et la courbe observée.

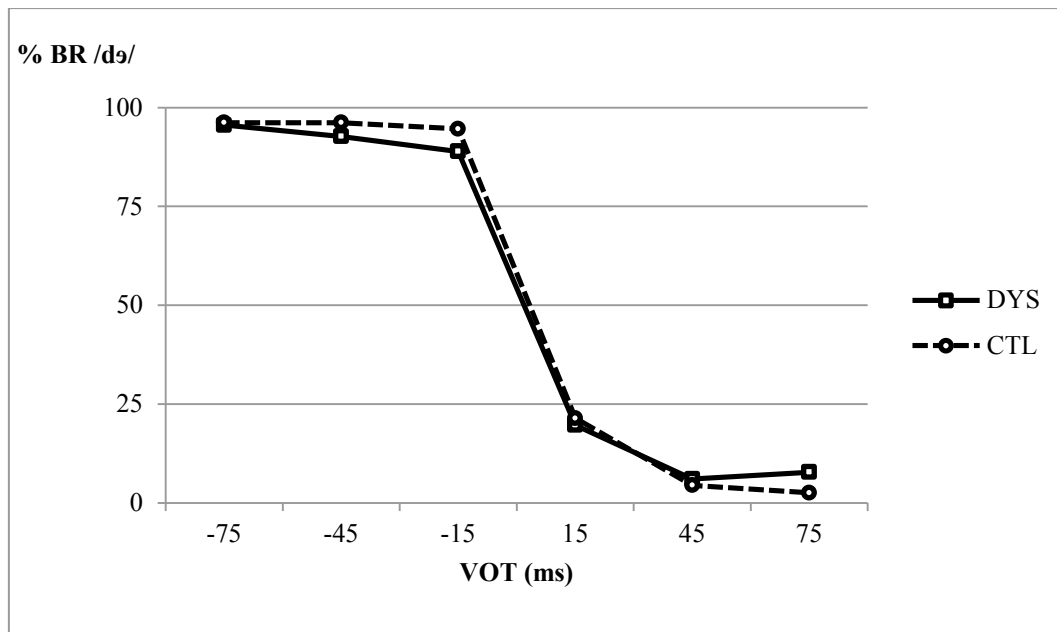
Des ANOVA ont été réalisées pour chacune des tâches, avec la variable Groupe comme facteur inter-sujet. Pour la tâche d'identification, les estimations de la frontière catégorielle, de la largeur asymptotique, et les mesures de pente au niveau de la frontière de la catégorielle ont été utilisées comme variables dépendantes. Concernant la discrimination, des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées avec pour facteurs intra-sujets les valeurs de VOT centrées pour chacune des paires à discriminer (variable Paire ; -75/-45 : -60 ms ; -45/-15 : -30 ms ; -15/15 : 0 ms ; +15/+45 : +30 ms ; +45/+75 : +60 ms) et la variable Tâche (valeurs prédites issues de la tâche d'identification et valeurs observées issues de la tâche de discrimination) (cf. Partie 1.1.5 pour le détail de ces variables en identification et discrimination). Les pics prédits et observés de discrimination ont également été extraits des courbes de discrimination prédites et observées. Ils correspondent à la valeur de  $d'$  maximum obtenue sur la courbe de discrimination. Ils ont été analysés comme variables intra-sujet.

## **4.3.2. Résultats**

### *a) Comparaison entre Dyslexiques et Contrôles sur la perception catégorielle*

*En identification :*

Les analyses ne révèlent aucune différence significative entre les groupes sur les valeurs de la frontière catégorielle, ou de la pente de chacune des courbes ( $F < 1$ ). En revanche, une différence significative apparaît entre les groupes sur les valeurs de largeur asymptotique, une différence plus grande entre les asymptotes correspondant aux scores maximum de 0% et 100% apparaissant pour le groupe contrôle (CTL) par rapport au groupe dyslexique (DYS) [ $F(1,124) = 17,55$  ;  $p < .001$ ]. Les courbes sont présentées dans la Figure 16.



**Figure 16.** Courbes d'identification du phonème /də/ pour le groupe dyslexique (DYS) et le groupe contrôle (CTL)

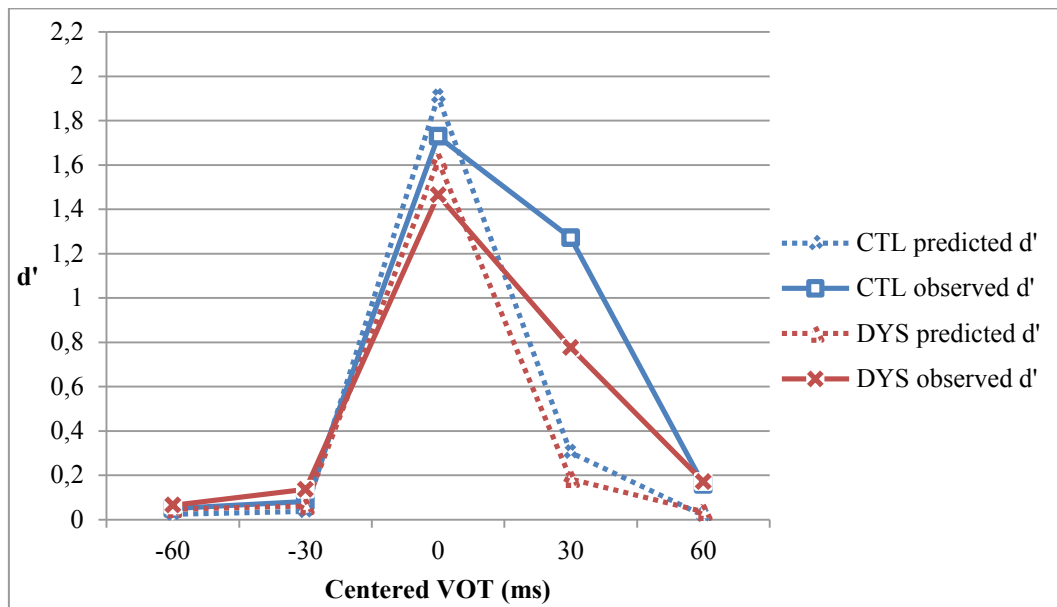
*En discrimination :*

Les résultats montrent un effet significatif du Groupe [ $F(1,124) = 5,81$  ;  $p < .05$ ] et de l'interaction entre la variable Groupe et la variable Paire [ $F(4,496) = 3,45$  ;  $p < .05$ ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .027$ ], indiquant que la forme des courbes de discrimination diffère entre les deux groupes. Cependant, la triple interaction Groupe x Paire x Tâche n'est pas significative [ $F(4,496) = 1,64$  ;  $p = .187$  ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .013$ ], ce qui montre que la différence entre les courbes de discrimination prédites et observées ne diffère pas entre les groupes.

Quand l'effet du Groupe est testé séparément pour chaque paire, aucune différence n'apparaît entre les groupes pour les valeurs de VOT centrées à -60 ms, -30 ms, and +60 ms ( $F < 1$ ). Pour les paires centrées à 0 ms, c'est-à-dire au niveau de la frontière catégorielle, un effet tendanciel du groupe est relevé [ $F(1,124) = 2,81$  ;  $p = .096$ ] mais les analyses de contrastes sur chacune des tâches ne montrent pas d'effet du groupe [ $F(1,124) = 2,25$  ;  $p = .136$  pour les valeurs prédites et  $F(1,124) = 1,97$ ;  $p = .163$  pour les valeurs observées]. Aucune interaction Groupe x Tâche n'est significative pour toutes ces valeurs de VOT ( $F < 1$ ). Un effet significatif du Groupe n'est retrouvé que pour les paires centrées à +30 ms [ $F(1,124) = 7,81$  ;  $p < .01$ ] et l'interaction entre Groupe et Tâche est tendancielle [ $F(1,124) = 3,65$  ;  $p = .058$ ]. Les analyses de contrastes montrent que l'effet du Groupe est significatif sur les valeurs observées à +30 ms [ $F(1,124) = 7,14$  ;  $p < .05$ ], mais pas sur les valeurs prédites [ $F(1,124) = 1,55$  ;  $p = .215$ ]. De façon inattendue, les valeurs de  $d'$  observées sont plus élevées pour le groupe CTL que pour le groupe DYS, suggérant que les enfants dyslexiques sont moins sensibles que les enfants normo-lecteurs aux différences de VOT autour de cette frontière intra-catégorielle universelle (Hoonhorst, Colin, Markessis, Radeau, Deltenre et al., 2009) allophonique en français.



Les analyses réalisées sur les pics maximaux prédits et observés montrent un effet significatif du Groupe [ $F(1,124) = 5,82$  ;  $p < .05$ ] mais sans interaction entre la Tâche et le Groupe ( $F < 1$ ). Les analyses de contrastes montrent effectivement un effet du groupe sur le pic prédit [ $F(1,124) = 4,40$  ;  $p < .05$ ] et sur le pic observé [ $F(1,124) = 4,06$  ;  $p < .05$ ]; les enfants dyslexiques présentent des pics moins élevés. Les courbes de discrimination sont présentées dans la Figure 17.



**Figure 17.** Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe contrôle (CTL) et le groupe dyslexique (DYS).

### *b) Analyse de corrélations*

Des analyses de corrélations ont été réalisées sur la population dyslexique entre les mesures de perception catégorielle pour lesquelles un effet significatif du groupe a été mis en évidence, les performances en lecture (moyennes des scores et des temps des listes de mots et pseudo-mots), la conscience phonologique (moyennes des scores pour les trois tâches de conscience phonologique), et l'empan VA (moyenne des scores entre report partiel et report global).

Des corrélations significatives entre l'empan VA et la vitesse de lecture, et tendancielle entre l'empan VA et les scores en lecture et l'âge de lecture sont relevées. La conscience phonologique corrèle avec les scores en lecture mais pas avec la vitesse de lecture, et une tendance est retrouvée pour l'âge de lecture. L'empan VA ne corrèle pas avec la conscience phonologique, ni avec aucune des variables de perception catégorielle. En revanche, la conscience phonologique corrèle avec le pic prédit et une tendance apparaît pour la largeur asymptotique. Cette dernière corrèle avec l'âge de lecture et le score en lecture, et une tendance est retrouvée avec les temps de lecture. Les corrélations entre le pic prédit et les scores en lecture et l'âge de lecture sont tendancielle. Les valeurs de  $d'$  à +30 ms observées en discrimination corrèlent avec les pics prédits et observés et la largeur asymptotique.

**Tableau 16.** Analyse de corrélations partielles (contrôle de l'âge chronologique) entre les tâches de lecture, l'empan VA, la conscience phonologique et la perception catégorielle.

		Age de lecture	Lecture Score	Lecture Temps	Empan VA	Conscience Phono.	Pic <i>d'</i> prédit	Pic <i>d'</i> observé	Discrim. <i>d'</i> +30ms
Age de lecture	r	1,000							
	<i>p</i>	.							
Lecture Score	r	<b>,551</b>	1,000						
	<i>p</i>	<b>,000</b>	.						
Lecture Temps	r	<b>-,684</b>	<b>-,441</b>	1,000					
	<i>p</i>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	.					
Empan VA	r	,235	,220	<b>-,312</b>	1,000				
	<i>p</i>	,067	,086	<b>,014</b>	.				
Conscience Phonologique	r	,230	<b>,275</b>	-,020	-,060	1,000			
	<i>p</i>	,072	<b>,030</b>	,876	,645	.			
Pic <i>d'</i> prédit	r	,225	,246	-,139	-,100	<b>,252</b>	1,000		
	<i>p</i>	,078	,054	,283	,439	<b>,048</b>	.		
Pic <i>d'</i> observé	r	-,015	,098	,008	-,153	-,003	<b>,270</b>	1,000	
	<i>p</i>	,911	,450	,953	,237	,981	<b>,034</b>	.	
Discrimination <i>d'</i> +30ms	r	-,108	,049	,188	-,135	,209	<b>,306</b>	<b>,448</b>	1,000
	<i>p</i>	,402	,706	,143	,297	,103	<b>,015</b>	<b>,000</b>	.
Largeur asymptotique	r	<b>-,275</b>	<b>-,255</b>	-,218	,132	-,225	<b>-,797</b>	-,135	<b>-,305</b>
	<i>p</i>	<b>,031</b>	<b>,046</b>	,088	,308	,079	<b>,000</b>	,294	<b>,016</b>

### c) Analyse de médiation

Nous avons réalisé une analyse de médiation (MacKinnon, Fairchild et Fritz, 2007) pour tester l'hypothèse selon laquelle la conscience phonologique est un médiateur de l'effet de la perception catégorielle des phonèmes sur la précision en lecture (score). L'analyse de médiation permet en effet d'explorer la relation entre une variable indépendante X et une variable dépendante Y en testant l'influence d'une troisième variable 'médiatrice' M sur l'effet de X sur Y. L'effet de X sur Y (voie *c* sur la Figure 18) fait référence à l'effet total. L'effet de X sur Y passant par M (voie *a* et *b* sur la Figure 18) fait référence à l'effet de médiation. L'effet de X sur Y lorsque la variable M est prise en compte dans le modèle de médiation (voie *c'* sur la Figure 18) fait référence à l'effet direct. Si l'effet de X sur Y est initialement significatif (effet total), mais ne l'est plus lorsque la variable M est introduite

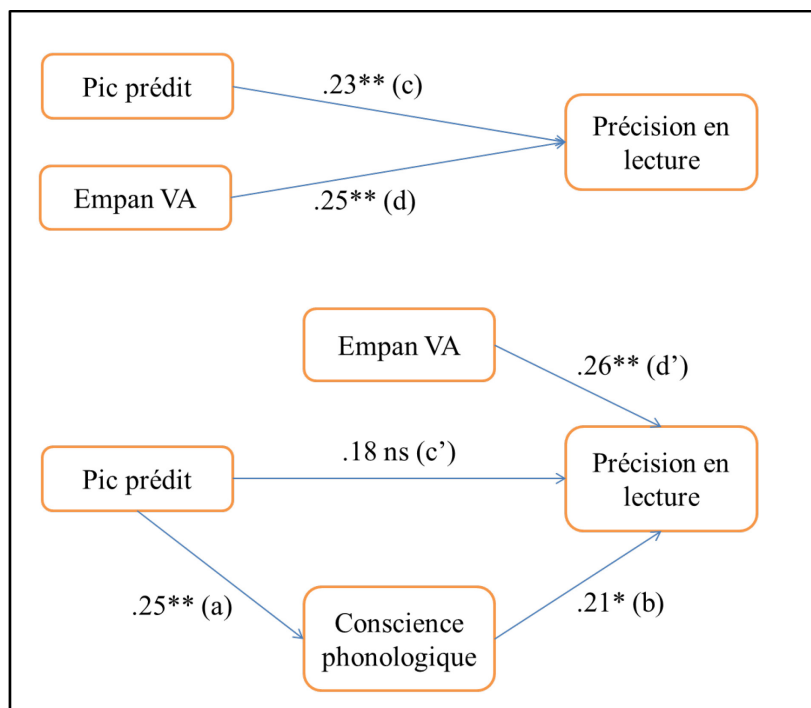
(effet direct), alors que l'effet de X sur M est significatif, de même que l'effet de M sur Y, alors nous pouvons conclure que l'effet de X sur Y est bien influencé par la variable M. Cette approche classique par étapes causales à travers des analyses de régressions multiples (Baron et Kenny, 1986) a été appliquée avec pour variable X le pic prédit, celui-ci étant la seule variable de perception catégorielle qui corrèle significativement avec la conscience phonologique ; la variable Y dépendante est la précision en lecture (score) et la variable M est le score de conscience phonologique. Suivant la procédure par étapes, nous attendons tout d'abord un effet du pic prédit sur la conscience phonologique (voie *a*). Deuxièmement, nous attendons également un effet du pic prédit sur la précision en lecture (voie *c*). Troisièmement, nous attendons un effet de la conscience phonologique sur la précision en lecture (voie *b*) lorsque la perception catégorielle est incluse dans le modèle de régression. L'étape la plus importante pour rendre compte d'un effet de médiation est alors de montrer que dans le modèle incluant la conscience phonologique, c'est-à-dire lorsque la variable de médiation est incluse dans le modèle, l'effet du pic prédit sur la précision en lecture n'est alors plus significatif (voie *c'*). Du fait de l'influence non négligeable de l'empan VA sur la précision en lecture, cette variable a également été introduite dans les modèles de régression sur la précision en lecture. Pour s'assurer que les résultats ne soient pas influencés par un effet commun de l'âge, cette variable a également été ajoutée à toutes les étapes comme régresseur dans les modèles. Ainsi les modèles de régression utilisés à chaque étape sont les suivants :

Etape 1: Conscience Phono. =  $i1 + j1Age + aPic\ Prédit + e1$

Etape 2 : Précision en Lecture =  $i2 + j2Age + cPic\ Prédit + dEmpan\ VA + e2$

Etape 3 : Précision en Lecture =  $i3 + j3Age + c'Pic\ Prédit + bConscience\ Phono + dEmpan\ VA + e1$

Les résultats sont présentés dans la Figure 18. Ils confirment nos hypothèses. En effet, ils mettent en évidence une influence significative du pic prédit sur la conscience phonologique, et sur la précision de la lecture. L'empan VA a également un effet significatif sur la précision en lecture. Mais lorsque l'influence de la conscience phonologique sur la précision en lecture est prise en compte (l'effet est ici très proche de la significativité), l'effet du pic prédit sur la lecture n'est plus significatif. L'effet de l'empan VA reste en revanche significatif.



**Figure 18. Diagramme schématisé des résultats de l'analyse de médiation.** Les valeurs sont les coefficients de régression standardisés.  
 \*\* :  $p < .05$ , \* :  $p = .059$ , ns: non-significatif.

#### 4.4. Partie 2. Perception catégorielle des sous-groupes cognitifs dyslexiques

La première partie de cette étude montre que les enfants dyslexiques présentent des capacités de perception catégorielle différentes de celles des enfants contrôles normo-lecteurs. Les analyses de corrélations et de médiation suggèrent une relation étroite entre conscience phonologique, perception catégorielle et lecture, indépendamment de la relation entre empan VA et lecture. Nous souhaitons donc étudier dans cette seconde partie les capacités de perception catégorielle d'un sous-groupe d'enfants dyslexiques présentant un trouble de conscience phonologique sans atteinte de l'empan VA (Dys Phono) et celle d'un sous-groupe présentant un trouble de l'empan VA sans atteinte de la conscience phonologique (Dys VA). Les performances de chacun de ces groupes seront donc comparées à celles d'un groupe contrôle, afin de vérifier si le déficit de perception catégorielle caractérise le sous-groupe présentant un trouble de conscience phonologique (Comparaisons 1) et non le sous-groupe présentant un trouble de l'empan VA (Comparaisons 2). Les deux sous-groupes seront ensuite directement comparés (Comparaisons 3).

##### 4.4.1. Identification des sous-groupes dyslexiques

Les résultats des enfants dyslexiques sur les épreuves de conscience phonologique et de report de lettres ont été utilisés afin de constituer des sous-groupes présentant un trouble cognitif unique distinct : soit un trouble de conscience phonologique, soit un trouble de l'empan VA. Tous les enfants dyslexiques dont les z-scores sont inférieurs à -1,5 ET sur au moins une des trois tâches de conscience phonologiques ont été considéré comme présentant un trouble de

conscience phonologique. Les z-scores ont été ici calculés à partir des données obtenues sur les 63 enfants contrôles. Tous les enfants dyslexiques présentant un score inférieur à -1,5 ET sur au moins une des épreuves de report de lettres ont été considéré comme présentant un trouble de l'empan VA. Dix-sept enfants dyslexiques sont ainsi identifiés comme présentant un trouble de conscience phonologique isolé (27%), 20 enfants présentent un trouble isolé de l'empan VA (32%), sept enfants présentent un double déficit (11%) et 19 ne présentent aucun des deux déficits (30%). Les analyses n'ont cependant pas porté sur ces deux derniers groupes, car elles ne nous permettraient pas de valider ou infirmer nos hypothèses<sup>21</sup>.

Les analyses de comparaisons entre les deux sous-groupes dyslexiques ont été réalisées en utilisant une ANCOVA, avec l'âge chronologique entré comme variable étant donné qu'une différence significative est présente entre les deux sous-groupes [ $F(1;35) = 4,14; p < .05$ ]. Les résultats sont présentés dans le Tableau 17. Les deux sous-groupes présentent un âge de lecture similaires et des scores en lecture de mots (irréguliers et réguliers) et pseudo-mots équivalents. Des différences significatives entre les deux sous-groupes sont en revanche présentes sur les mesures de vitesse de lecture de mots réguliers et de pseudo-mots, et une tendance est relevée pour les mots irréguliers ; le groupe Dys VA apparait donc globalement plus lent en lecture. Comme attendu, des différences significatives sont relevées sur les épreuves de conscience phonologique et de report de lettres.

---

<sup>21</sup> Le sous-groupe présentant un double déficit pouvait présenter un intérêt mais son effectif est apparu trop réduit. Le sous-groupe ne présentant aucun des déficits ne pouvait par ailleurs pas être apparenté à un sous-groupe présentant un profil cognitif homogène, puisqu'il pouvait être constitué d'enfants présentant une atteinte cognitive non évaluée et/ou des faiblesses en conscience phonologique ou sur le plan VA.

**Tableau 17.** Performances et analyses de comparaison pour les deux sous-groupes dyslexiques sur les tâches de lecture, d'empan VA et de conscience phonologique.

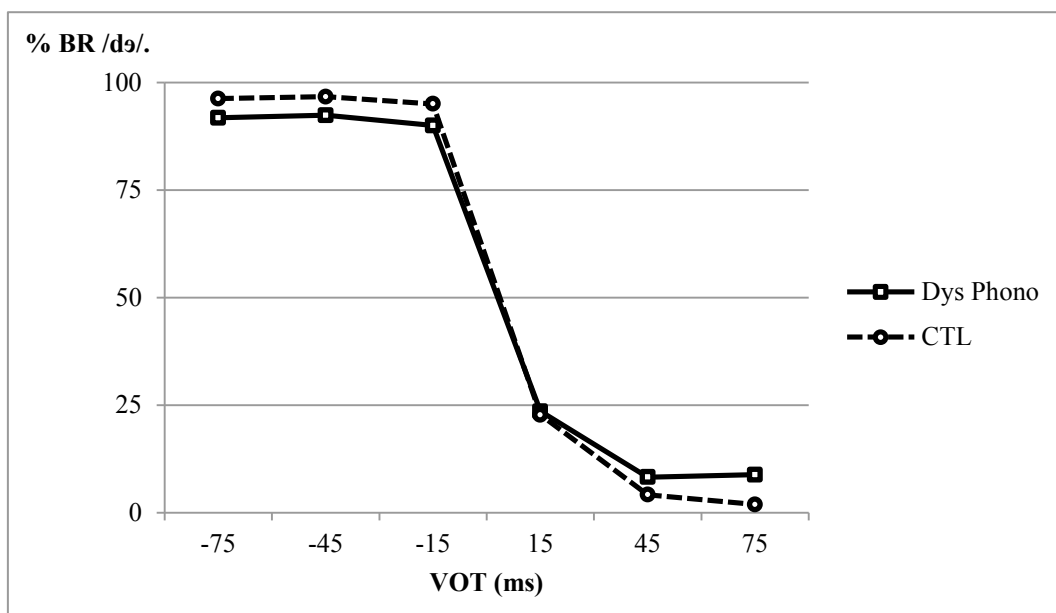
Tâches	Groupe VA N=20			Groupe Phono N=17			Comparaisons VA vs Phono	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,34)	<i>p</i>
Age (mois)	120 (15.2)	94-143		130 (15.4)	105-153		covariable	
Age de lecture (mois)	86 (5.5)	79-99		90 (4.9)	81-97		2.51	.122
Score rég. (/20)	15 (3.5)	6-20		16 (2.8)	12-19		<1	.724
Temps rég. (sec)	55 (18.7)	25-101		37 (15.2)	21-86		6.49	<b>.016</b>
Score irrég. (/20)	10 (3.8)	4-18		12 (4.1)	5-19		<1	.768
Temps irrég. (sec)	59 (19.9)	25-102		44 (15.0)	21-77		3.29	.079
Score PM (/20)	11 (4.1)	4-18		12 (3.3)	6-17		<1	.940
Temps PM (sec)	60 (18.4)	37-115		45 (13.5)	27-79		4.62	<b>.039</b>
Empan VA								
Report global (%)	62 (7.4)	44-73	-1.94 (0.6)	76 (8.2)	59-94	-0.62 (0.7)	23.96	< <b>.001</b>
Report partiel (%)	64 (12.6)	24-78	-2.24 (1.1)	82 (9.3)	66-96	-0.45 (0.8)	16.87	< <b>.001</b>
Score VA	63 (8.2)	34-71		79 (7.9)	66-94		30.75	< <b>.001</b>
Conscience phonologique								
Omission (%)	79 (12.6)	55-100	-0.19 (0.7)	56 (13.9)	35-80	-2.08 (1.1)	28.62	< <b>.001</b>
Segmentation (%)	63 (18.5)	27-100	0.08 (0.7)	43 (28.9)	7-93	-0.71 (1.1)	6.16	<b>.018</b>
Acronyme (%)	81 (11.2)	60-100	-0.05 (0.6)	52 (24.3)	0-80	-1.52 (1.3)	23.25	< <b>.001</b>
Score phonologique	74 (10.7)	60-94		50 (12.6)	24-78		39.95	< <b>.001</b>

Dans les deux sections suivantes de cette étude, nous avons comparé les capacités de perception catégorielle de deux sous-groupes présentant des profils cognitifs distincts avec des groupes contrôles appariés en âge. Le groupe Dys VA est apparié en âge avec le groupe contrôle initial composé de 63 enfants normo-lecteurs ( $F < 1$ ). Comme attendu, le groupe Dys VA ne se distingue pas de ce groupe contrôle sur le score de conscience phonologique [ $F(1;81) = 2,75$ ;  $p = .101$ ] mais présente un âge de lecture significativement inférieur [ $F(1;81) = 101$ ;  $p < .001$ ]. Le groupe Dys Phono n'étant pas apparié en âge chronologique avec le groupe contrôle initial, les 15 enfants normo-lecteurs les plus jeunes de ce groupe initial ont été exclus, afin de constituer un nouveau groupe contrôle de 48 enfants présentant un âge chronologique similaire [ $F(1;63) = 2,44$ ;  $p = .123$ ]. Comme attendu le groupe Dys Phono présente un score de conscience phonologique significativement plus faible que celui du groupe contrôle [ $F(1;63) = 62,20$ ;  $p < .001$ ], et un âge de lecture plus bas [ $F(1;63) = 93,80$ ;  $p < .001$ ].

#### 4.4.2. Comparaisons 1 entre le sous-groupe Dys Phono et le groupe contrôle

##### *En identification*

Les ANOVAs réalisées sur les variables issues de la tâches d'identification montre une différence significative entre le groupe Dys Phono et le groupe contrôle sur la mesure de la largeur asymptotique [ $F(1,63) = 15,21$ ;  $p < .001$ ]. La différence entre les asymptotes correspondant aux scores extrêmes les plus proches de 0% et 100% est en effet moins large pour le groupe Dys Phono que pour le groupe contrôle. En revanche, les mesures de frontières catégorielles et de pentes ne diffèrent pas significativement entre les groupes (respectivement  $F < 1$  et  $F(1,63) = 2,44$ ;  $p = .123$ ). Les courbes d'identification sont présentées dans la Figure 19.



**Figure 19.** Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe dyslexique phonologique (Dys Phono) et le groupe contrôle (CTL)

##### *En discrimination*

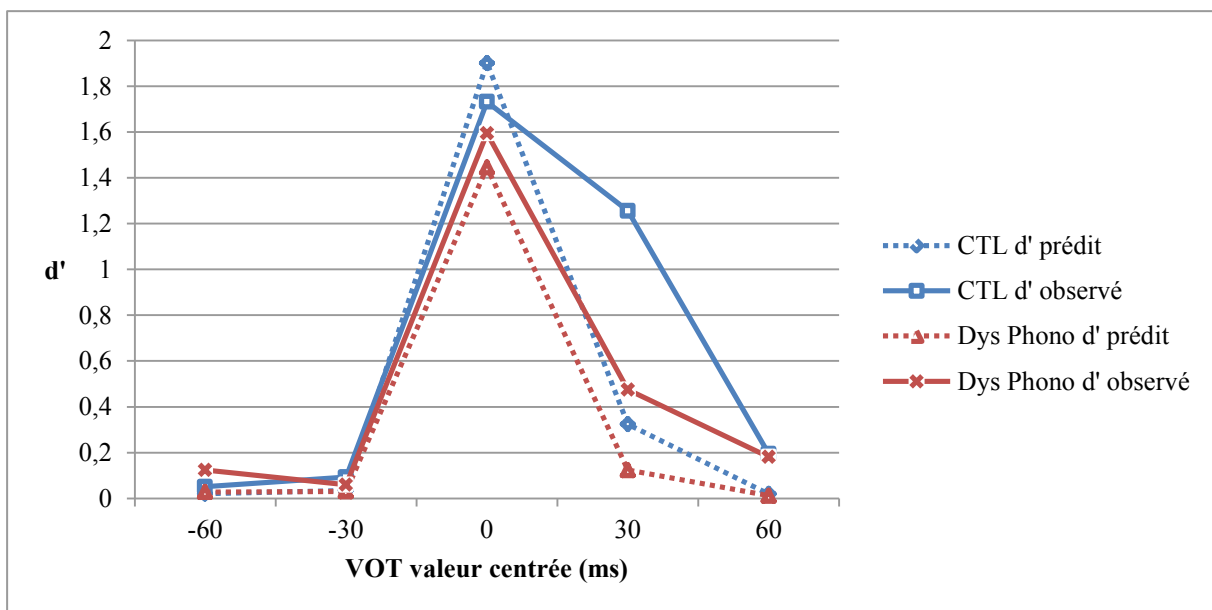
L'ANOVA à mesures répétées montre un effet significatif du Groupe [ $F(1,63) = 6,14$  ;  $p < .05$ ]. En revanche, l'interaction Groupe x Paire n'est pas significative [ $F(4,252) = 2,39$  ;  $p = .102$ ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .037$ ], de même que l'interaction Groupe x Tâche ( $F < 1$ ). La triple interaction Groupe x Paire x Tâche est en revanche proche du seuil de significativité, [ $F(4,252) = 2,79$  ;  $p = .051$ ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .042$ ], indiquant que l'interaction Groupe x Paire dépendrait de la tâche, mais cette interaction n'étant pas significative, cette donnée n'est pas interprétable.

Quand l'effet du Groupe est testé pour chacune des paires, il n'apparaît pas significatif pour les paires centrées aux valeurs de VOT de -60 ms, -30 ms, 0 ms et +60 ms ( $F < 1$  pour toutes ces valeurs sauf 0 ms :  $F(1,63) = 1,14$  ;  $p = .290$ ). Toutes les interactions Groupe x Tâches pour ces valeurs de VOT sont non significatives ( $F < 1$  pour toutes sauf 0 ms :  $F(1,63) = 1,32$  ;

$p = .254$ ). L'effet du Groupe est significatif seulement pour les paires centrées à 30 ms de VOT [ $F(1,63) = 8,02$  ;  $p < .01$ ] et l'interaction Groupe x Tâche pour cette valeur est à la limite significative [ $F(1,63) = 3,86$  ;  $p = .054$ ]. Les analyses de contrastes montrent en effet que l'effet du Groupe est significatif pour les valeurs de  $d'$  observées [ $F(1,63) = 7,63$  ;  $p < .01$ ] mais pas pour les valeurs prédites [ $F(1,63) = 1,45$  ;  $p = .233$ ]. Nous retrouvons ici, comme dans la première partie de l'étude portant sur le groupe dyslexique entier, des valeurs de  $d'$  plus élevées pour le groupe contrôle que pour le groupe Dys Phono, suggérant que ces derniers sont moins sensibles à ces différences acoustiques intra-catégorielles (allophoniques) que les enfants normo-lecteurs de même âge. Les courbes de discrimination sont présentées dans la Figure 20.

Les analyses portant sur les pics de discrimination prédits et observés montrent un effet principal du Groupe [ $F(1,63) = 5,39$  ;  $p < .05$ ]. L'interaction Groupe x Tâche n'est pas significative. Cependant, les résultats univariés montrent une différence significative entre les groupes sur le pic prédit [ $F(1,63) = 5,72$  ;  $p < .05$ ], mais pas sur le pic observé [ $F(1,63) = 1,85$  ;  $p = .179$ ].

Les résultats de ces analyses de comparaisons entre un groupe d'enfants dyslexiques présentant un trouble de conscience phonologique et un groupe normo-lecteur apparié en âge sont donc très proches des résultats obtenus dans la première partie de l'étude, menées sur l'ensemble des enfants dyslexiques sans prise en compte de leur hétérogénéité cognitive.



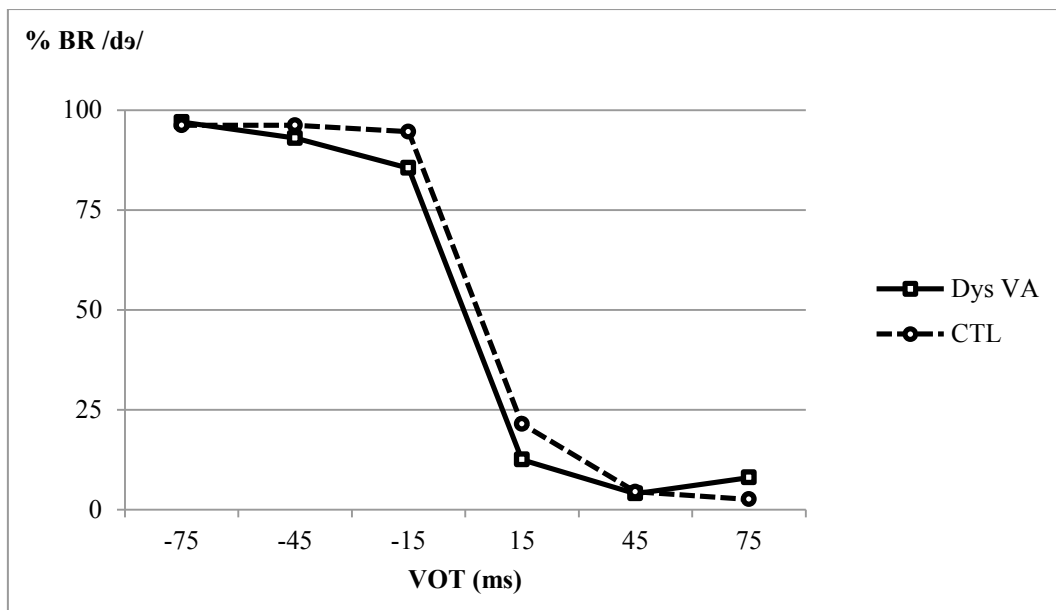
**Figure 20.** Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe dyslexique phonologique (DYS Phono) et le groupe contrôle (CTL)



#### 4.4.3. Comparaisons 2 entre le sous-groupe dyslexique VA et le groupe contrôle

##### *En identification*

Les ANOVAs montrent un effet du Groupe sur les mesures de la largeur asymptotique [ $F(1,81) = 10,06$  ;  $p < .001$ ], celles-ci étant en moyenne plus faibles pour le groupe Dys VA que pour le groupe contrôle. Les deux groupes ne se distinguent pas en revanche sur les mesures de la frontières catégorielle et de la pente des courbes d'identification (respectivement  $F < 1$  et  $F(1,81) = 1,80$  ;  $p = .183$ ). Les courbes sont présentées dans la Figure 21.



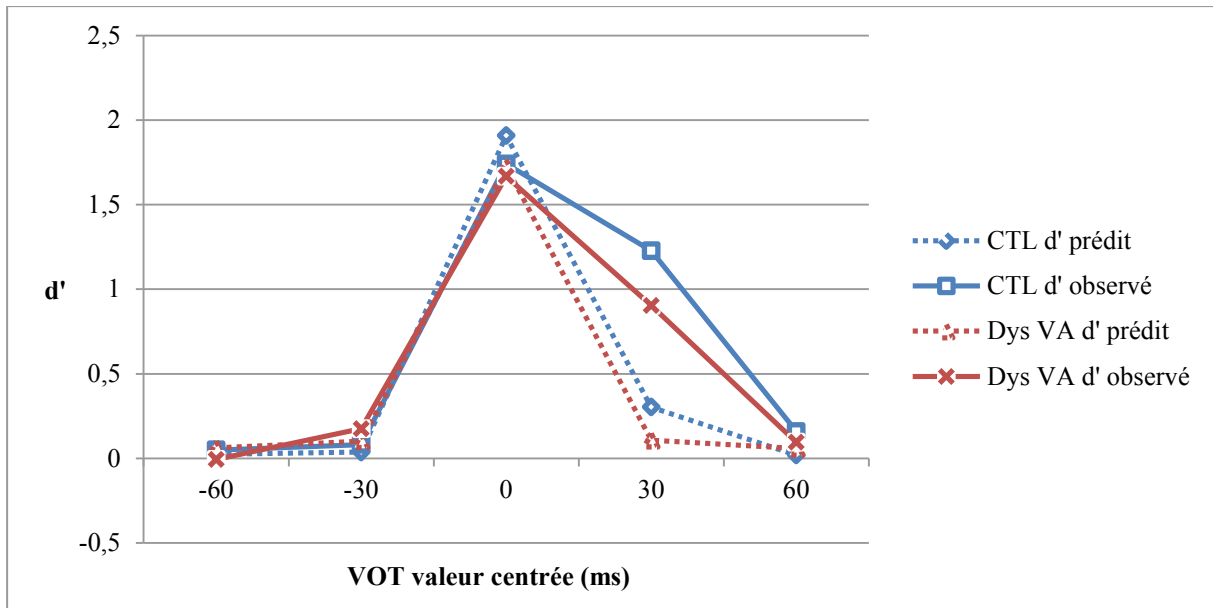
**Figure 21.** Courbes d'identification de la syllabe /dʒ/ pour le groupe dyslexique VA (Dys VA) et le groupe contrôle (CTL)

##### *En discrimination*

L'ANOVAs à mesures répétées ne met pas en évidence d'effet principal du Groupe [ $F(1,81) = 1,35$  ;  $p = .249$ ]. Les interactions Groupe x Paire, Tâche x Groupe, et Tâche x Paire x Groupe ne sont pas significatives ( $F < 1$  pour toutes). Nous n'avons donc pas mené d'analyse sur chacune des paires.

Des résultats similaires sont obtenus sur les mesures des pics de discrimination prédits et observés, puisqu'on ne relève pas d'effet significatif du Groupe [ $F(1,81) = 1.06$ ,  $p = .307$ ], ni d'interaction Tâche x Groupe significative ( $F < 1$ ).

En résumé, les capacités de discrimination de phonèmes du groupe Dys VA ne se distinguent pas de celles du groupe contrôle apparié en âge. Les courbes de discrimination sont présentées dans la Figure 22.



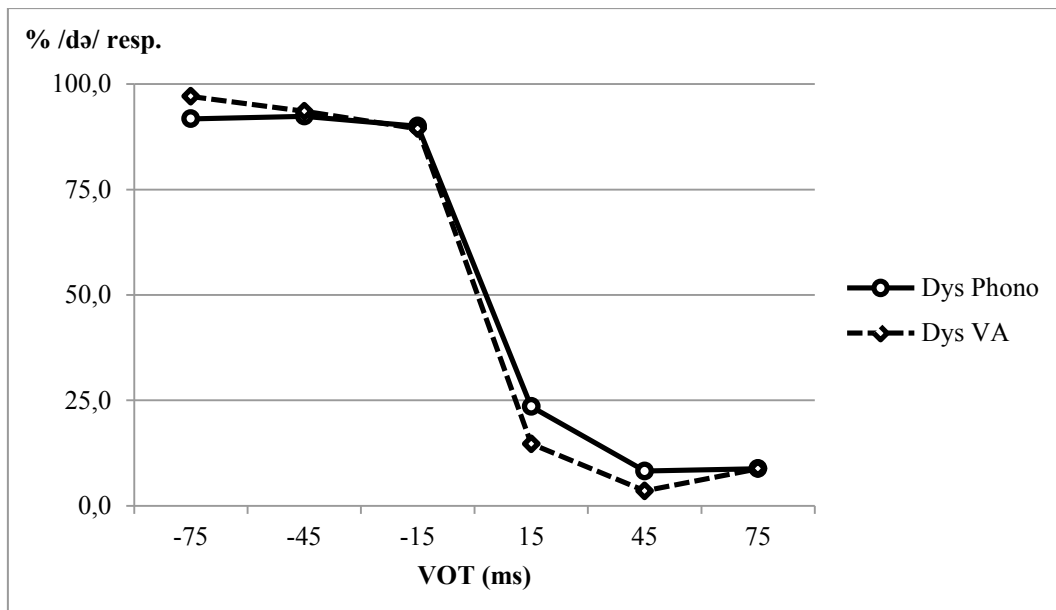
**Figure 22.** Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe dyslexique VA (VA DYS) et le groupe contrôle (CTL)

#### 4.4.4. Comparaisons 3 entre le sous-groupe dyslexique VA et le sous-groupe dyslexique phonologique

Dans cette dernière partie, nous allons comparer directement entre eux le sous-groupe Dys Phono et le sous-groupe Dys VA sur les mesures de perception catégorielle. Les deux sous-groupes n'étant pas appariés en âge chronologique, les trois enfants les plus jeunes du groupe Dys VA ont été exclus des analyses. Le groupe Dys Phono et le groupe Dys VA (N = 17) sont ainsi appariés en âge chronologique [ $F(1,32) = 1.67, p = .206$ ], ainsi qu'en âge de lecture [ $F(1,32) = 2.92, p = .097$ ].

*En identification,*

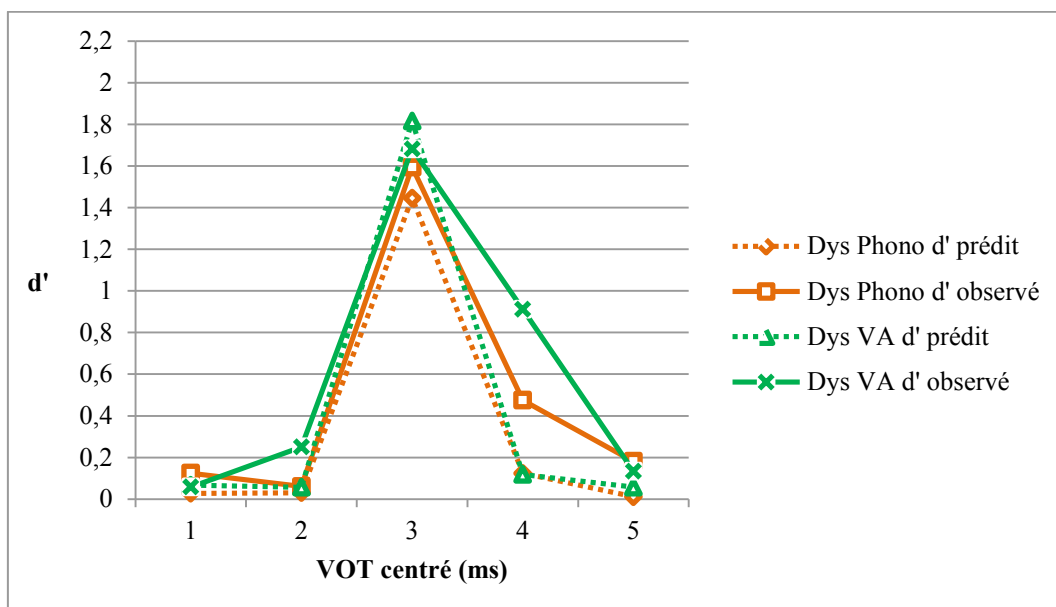
Les résultats des ANOVAs sur les mesures issues des courbes d'identification ne montrent pas d'effet du Groupe sur la largeur asymptotique [ $F(1,32) = 1,45, p = .292$ ], la frontière catégorielle ( $F < 1$ ) ou la pente [ $F(1,32) = 1,78 ; p = .192$ ]. Les courbes d'identification sont présentées dans la Figure 23.



**Figure 23.** Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe Dys Phono et le groupe Dys VA.

*En discrimination,*

L'ANOVA à mesures répétées ne montre pas d'effet du Groupe  $F(1,32) = 1,93$  ;  $p = .174$ ]. Les interactions Groupe x Paire, et Tâche x Paire x Groupe ne sont pas non plus significatives (respectivement  $F < 1$  et  $F(4,128) = 1.10$  ;  $p = .341$ ;  $\eta^2 = .033$ ). Les analyses réalisées sur les pics maximum prédits et observés ne montrent pas non plus d'effet du Groupe [ $F(1,32) = 1.80$ ,  $p = .189$ ], ni d'interaction Tâche x Groupe ( $F < 1$ ). Les courbes de discrimination prédites et observées sont présentées dans la Figure 24.



**Figure 24.** Courbes de discrimination prédites et observées pour le groupe Dys Phono et pour le groupe Dys VA

## 4.5. Discussion

Dans cette étude, nous avons tout d'abord analysé les capacités de perception catégorielle des phonèmes d'un groupe d'enfants dyslexiques. Les résultats montrent des différences significatives sur les mesures de largeur asymptotique des courbes d'identification par rapport à un groupe contrôle de même âge, ainsi qu'un pic maximum de discrimination prédit plus faible. Ces données confirment donc l'existence de plus faibles capacités d'identification et de discrimination chez les enfants dyslexiques. Les analyses ont également montré des capacités de discrimination observées plus faibles pour les paires centrées à + 30ms chez les enfants dyslexiques. Ce résultat est inattendu puisque ce sont ici les enfants normo-lecteurs qui présentent donc de meilleures capacités allophoniques, au niveau de cette frontière universelle (Hoonhorst et al., 2009), contrairement aux études précédentes qui ont montré une plus grande sensibilité aux différences acoustiques de part et d'autres des frontières universelles dans la population dyslexique, définissant la théorie allophonique dans la dyslexie (voir (Noordenbos et Serniclaes, 2015) pour une méta-analyse). Un phénomène de sur-inhibition des contrastes allophoniques pourrait être évoqué. La sensibilité allophonique semble disparaître à mesure de l'expérience scolaire chez les enfants dyslexiques (Noordenbos et al., 2012a) mais reste pourtant présente au niveau neuronal chez ces enfants et chez les adultes dyslexiques (Noordenbos et al., 2013). Ceci suggère une inhibition de la sensibilité neuronale aux frontières allophoniques dans les réponses comportementales des sujets dyslexiques. Le phénomène ici observé pourrait s'apparenter à une sur-inhibition de cette sensibilité. En revanche, pour les enfants normo-lecteurs, cette sensibilité à la frontière allophonique d'un VOT à + 30 ms a été mise en évidence dans certaines études (Hoonhorst et al., 2011 ; Medina et al., 2010) et interprétée comme étant due à une contribution asymétrique entre VOT positif et VOT négatif dans la perception de ce voisement (Serniclaes, 1987).

Cependant, ce n'est pas cette mesure de discrimination à + 30ms qui est apparue corrélée avec la lecture. Seule la mesure de la largeur asymptotique corrèle significativement avec les capacités de lecture, et des corrélations tendanciennes apparaissent également entre la lecture et le pic maximum de discrimination prédit. Ce dernier corrèle d'ailleurs significativement avec le score composite de conscience phonologique. En revanche, l'empan VA, qui corrèle également avec les capacités de lecture, ne corrèle avec aucune de ces mesures phonologiques, comme précédemment démontré en contexte de dyslexie (Bosse et al., 2007 ; Germano et al., 2014; Zoubinetzky, Bielle et Valdois, 2014) et chez des enfants normo-lecteurs (Bosse et Valdois, 2009). L'analyse de médiation a confirmé l'hypothèse d'une relation étroite entre conscience phonologique, perception catégorielle des phonèmes, et lecture, indépendante de la relation entre empan VA et lecture. En effet, nous avons montré que la perception catégorielle affecte causalement la précision en lecture par l'intermédiaire de la conscience phonologique, tandis que celle-ci n'influence pas la relation entre empan VA et lecture. Nos résultats sont pleinement en accord avec les études qui ont montré le rôle 'médiateur' de la conscience phonologique entre perception catégorielle et lecture mais cela auprès d'une population de normo-lecteurs (McBride-Chang, 1996). Ces données appuient donc l'hypothèse selon laquelle une atteinte des capacités de perception catégorielle altère le développement des représentations phonémiques, qui à son tour induit un trouble de la manipulation des unités phonémiques dans les mots (ici nommée conscience phonologique),

qui interfère avec le développement des capacités de conversion graphèmes-phonèmes, altérant le développement de la lecture (Kuhl, 2004; Noordenbos et Serniclaes, 2015; Serniclaes, 2011).

Ainsi, le fait que la perception catégorielle des phonèmes soit liée à la lecture par l'intermédiaire de la conscience phonologique, indépendamment du rôle de l'empan VA sur la lecture pourrait expliquer la variabilité observée dans les études de perception de la parole dans la dyslexie (Ramus et Ahissar, 2012; Vandermosten et al., 2011; Ziegler et al., 2009). Le déficit de perception catégorielle semble en effet ne concerner que le sous-groupe dyslexique qui présente un trouble de conscience phonologique. Le sous-groupe caractérisé par un trouble de l'empan VA sans atteinte de la conscience phonologique pourraient dans ce cas masquer le déficit caractérisant le sous-groupe avec atteinte de la conscience phonologique lorsque ne sont considérés que les moyennes sur l'ensemble de la population. C'est ce que nous avons voulu vérifier dans la seconde partie de cette étude. Nous avons de plus contrôlé, contrairement à certaines études précédentes, la présence de déficits associés tel un trouble du langage oral (Joanisse et al., 2000) et un trouble attentionnel (Breier et al., 2001) qui semblent influencer la perception catégorielle et sa relation avec la conscience phonologique.

Les résultats des analyses visant à comparer les capacités de perception catégorielle entre chacun des sous-groupes dyslexiques et le groupe contrôle apparié ont montré que seul le sous-groupe avec atteinte de la conscience phonologique présente un profil de déficit de perception catégorielle. En revanche, les capacités de perception catégorielle des enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA apparaissent très proches de celles du groupe contrôle normo-lecteur de même âge. Seule la largeur asymptotique est significativement différente entre les deux groupes, bien qu'elle ne soit pas corrélée avec l'empan VA sur les analyses menées précédemment sur l'ensemble des enfants dyslexiques.

Ces résultats sont cependant à nuancer car le sous-groupe avec trouble de l'empan VA et le sous-groupe avec trouble de conscience phonologique ne se distinguent pas significativement lorsqu'ils sont directement comparés et ce même lorsqu'on considère leurs capacités de discrimination. Mais une plus grande variabilité des performances en perception catégorielle des deux sous-groupes dyslexiques pourrait expliquer cette inconsistance entre les comparaisons avec les groupes contrôles et la comparaison directe des deux sous-groupes. Ces données pourraient également suggérer une forme modérée d'atteinte de la perception catégorielle des phonèmes dans notre sous-groupe avec trouble de l'empan VA. Mais ceci s'oppose au très grand nombre de données dont nous disposons qui attestent d'une indépendance entre les processus phonologiques et l'empan VA. Le rôle de l'expérience en lecture ne peut d'ailleurs être ici contrôlé, d'autant que la largeur asymptotique est la variable de perception catégorielle la plus corrélée à l'âge de lecture.

Cette étude confirme l'existence d'une relation étroite entre perception catégorielle et conscience des phonèmes, cette dernière ayant un rôle de médiation entre perception catégorielle des phonèmes et lecture. Le rôle de l'empan VA sur la lecture est apparu en revanche indépendant de ces capacités phonologiques. Les analyses menées sur les sous-groupes ont corroboré ces données, puisqu'un déficit de perception catégorielle est apparu pour le sous-groupe avec trouble de conscience phonologique, mais pas pour le sous-groupe avec trouble de l'empan VA sans déficit de conscience phonologique. Le déficit de perception catégorielle apparaît donc à l'origine du trouble de conscience phonologique dans la dyslexie, tandis que le trouble de l'empan VA pourrait être une cause indépendante de dyslexie. L'étude de remédiation que nous présentons ci-dessous pourrait permettre de confirmer les relations de causalité ici suggérées.

## 5. Etude IV : Comparaison de deux méthodes ciblées de remédiation cognitive

---

### 5.1. Enjeux théoriques et cliniques

Les études précédemment présentées se sont intéressées à l'hétérogénéité cognitive des dyslexies développementales. Le but de cette approche est d'améliorer notre compréhension des dyslexies développementales, afin d'optimiser leur prise en charge. Nous pouvons en effet nous demander si la prise en compte de cette hétérogénéité dans la remédiation des dyslexies permettrait d'en améliorer l'efficacité. Autrement dit, une prise en charge ciblée sur le déficit cognitif supposé en cause dans la dyslexie que présente une personne est-elle plus efficace qu'une rééducation non ciblée ?

Nous avons suggéré dans l'Etude III que le trouble de l'empan VA et le déficit de perception catégorielle des phonèmes, par l'intermédiaire de la conscience phonologique, constitueraient deux sources indépendantes d'un trouble du développement de la lecture. Ayant mieux ciblée l'hétérogénéité de la population dyslexique dans cette étude, nous avons souhaité ici étudier les effets différentiels de deux méthodes d'entraînement visant à améliorer ces fonctions cognitives sous-jacentes chez des personnes dyslexiques : une méthode ciblant le trouble de l'empan VA et une méthode ciblant le déficit de perception catégorielle, afin d'améliorer consécutivement les troubles de la lecture.

Au niveau théorique, les enjeux sont de taille puisque de tels effets différentiels sont de solides arguments en faveur de l'hétérogénéité cognitive de la dyslexie, et en faveur des hypothèses explicatives en jeu. En effet, valider de tels outils revient à conforter l'existence de liens de causalité entre les atteintes cognitives ciblées et les troubles développementaux de la lecture. Cet argument longitudinal constitue un argument des plus solides en faveur d'un lien de causalité entre déficit cognitif et trouble du développement de la lecture (Goswami, 2015; Lobier et Valdois, 2009). Ceci est d'autant plus convaincant si l'on montre que l'effet de la remédiation ciblée est plus important que celui de la remédiation non ciblée, qui constitue cependant un facteur influençant et influencé par les capacités de lecture.

Au niveau clinique, l'enjeu est également primordial, puisqu'il s'agit d'améliorer la prise en charge des enfants dyslexiques, en démontrant l'importance d'identifier le ou les troubles cognitifs sous-jacents, et d'en tenir compte pour qu'une remédiation ciblée sur ces fonctions cognitives soit mise en place.

Ce travail s'inscrit en complémentarité des travaux menés par Muriel Lobier et Julien Diard au LPNC, et en collaboration avec l'équipe de Willy Serniclaes (Paris), en particulier dans le cadre des recherches de Grégory Collet (Belgique), sur la perception phonémique catégorielle.

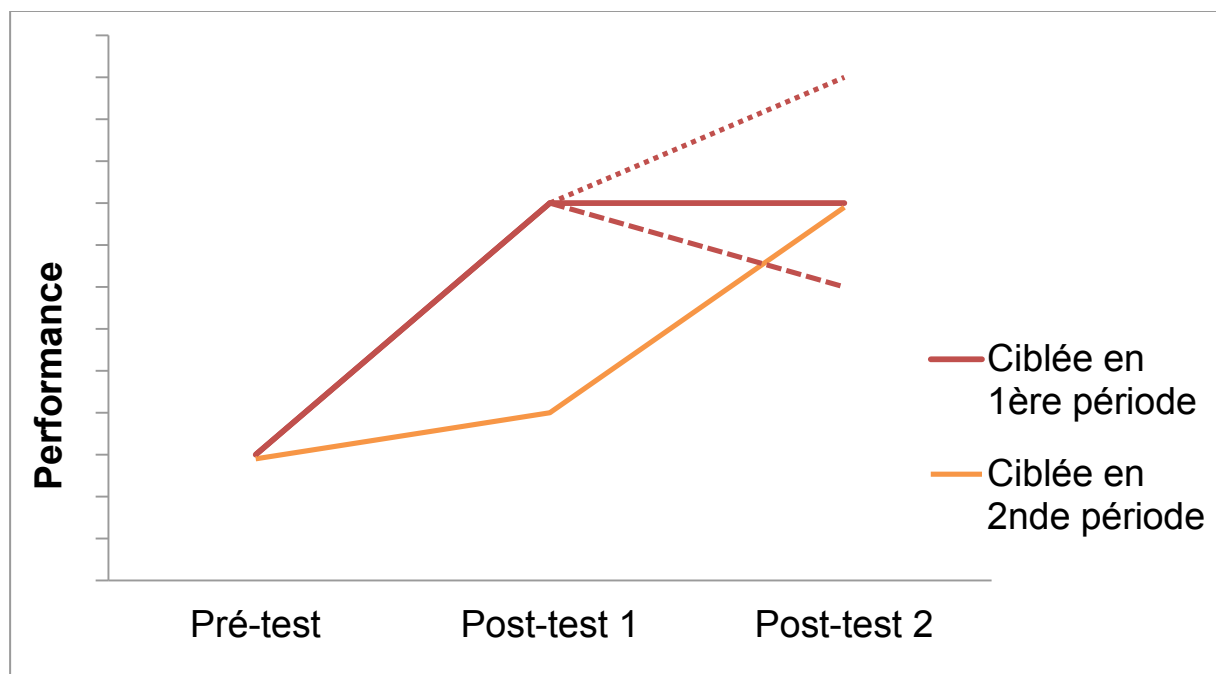
### 5.2. Objectifs et Hypothèses

Notre objectif est d'étudier deux méthodes de remédiation :

- L'une (RAPDYS) s'adresse aux enfants dyslexiques présentant un trouble de conscience phonologique, à qui nous allons proposer un entraînement à la perception catégorielle. Nous faisons l'hypothèse que cet entraînement améliorera non seulement les capacités de perception catégorielle des enfants dyslexiques, mais également leurs capacités de conscience phonologique et de lecture, du fait des liens de causalité qu'entretiennent ces trois fonctions cognitives.

- L'autre (MAEVA) s'adresse aux enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA. Nous faisons de même l'hypothèse que cet entraînement induira une amélioration de l'empan VA, mais également par effet de causalité, une amélioration des capacités de lecture des enfants.

Afin de s'assurer que les éventuels effets obtenus ne reflètent pas des effets de maturation ou des effets placebo, nous allons comparer pour chaque groupe l'effet de la méthode ciblant le déficit cognitif avec celle ne ciblant pas le déficit cognitif sous-jacent. L'objectif est de montrer que les effets sur les performances VA ou phonologiques, et surtout les effets sur la lecture, sont plus grands avec la méthode ciblée qu'avec la méthode non ciblée. Puis les enfants se verront proposer la seconde méthode, une amélioration étant alors attendue pour les enfants qui n'ont pas bénéficié de la méthode ciblée en première intention. Pour le second sous-groupe ayant déjà bénéficié de la méthode ciblée, cette seconde intervention permettra d'observer des effets à plus long terme de la première méthode, bien qu'indissociables des effets cumulatifs des deux méthodes.



**Figure 25.** Illustration des progrès attendus sur les épreuves évaluant le trouble cognitif sous-jacent, VA ou phonologique, et sur les épreuves de lecture, en fonction de la nature du programme proposé sur la première (A) et la seconde période (B) d'entraînement, ciblant ou non le déficit cognitif supposé en cause.



Ainsi, en comparant les effets des deux méthodes chez un groupe d'enfant présentant le même trouble cognitif sous-jacent (Figure 25), nous attendons un effet d'interaction sur la première période au moins (A), puisque l'effet de la méthode ciblée devrait être plus important que celui de la méthode non ciblée. Sur la seconde période (B), deux types de prédictions pourraient être faites : 1) un effet d'interaction est attendu si la méthode ciblée ne produit pas d'amélioration consécutive à plus long terme mais un maintien des effets, ou une régression suite à l'arrêt de l'entraînement ciblée (en tirets sur la figure), tandis que le sous-groupe bénéficiant de la remédiation ciblée progresse ; 2) un effet global des deux méthodes pourrait être attendu, sans interaction (en pointillés sur la figure), si le groupe ayant bénéficié ici de l'entraînement ciblé sur la seconde période améliore ses capacités tandis que le groupe ayant bénéficié de la méthode ciblée sur la première période continue également de progresser, du fait d'effets à long terme de la première méthode ciblée.

### 5.3. Méthodologie

#### 5.3.1. Participants et analyses

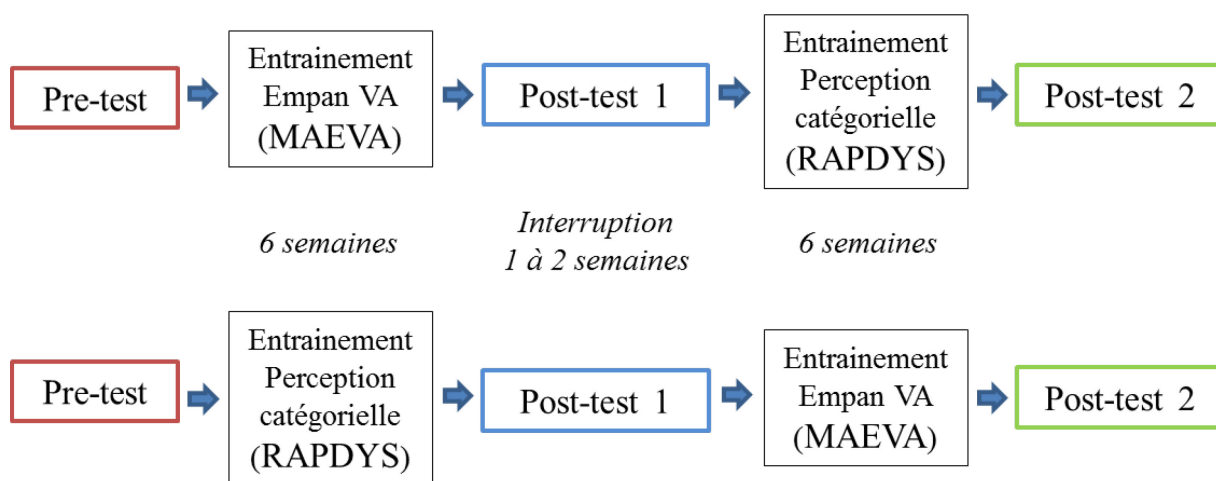
Initialement, 77 enfants dyslexiques ont participé à cette étude, âgés en moyenne de 10 ans et 5 mois (ET = 16 mois) pour un âge de lecture moyen de 7 ans et 6 mois (ET = 9 mois). Soixante-trois de ces enfants sont également ceux ayant participé à l'Étude III. Tous bénéficiaient déjà d'une prise en charge en orthophonie, interrompue pour les besoins de l'étude, bien que la plupart ait continué de voir leur orthophoniste une fois par semaine afin de réaliser les entraînements proposés dans le cadre de l'étude. Ceci a permis de s'assurer régulièrement que l'enfant poursuivait correctement les entraînements. De plus, afin de renforcer l'implication des enfants dans l'étude, il leur a été demandé de signer un 'contrat', au moment de la signature du consentement par les parents, par lequel ils s'engageaient à réaliser les entraînements tels que requis par le protocole de l'étude. Sept enfants ont cependant abandonné l'étude en cours et trois enfants n'ont pas suivi le protocole requis. Parmi les 67 restants, 22 enfants n'ont pas pu être inclus du fait d'une évaluation incomplète au moment du pré-test ou des post-tests, due à des problèmes techniques concernant les épreuves informatisées. Quarante-cinq enfants au total ont donc complété entièrement l'étude.

Une première analyse a été réalisée sur l'ensemble du groupe, afin d'observer les effets des deux entraînements sur l'ensemble de notre population dyslexique (Partie 1). Nous avons ensuite divisé notre groupe de 45 enfants en 4 sous-groupes, caractérisés soit par une atteinte de l'empan VA, soit par une atteinte de la conscience phonologique, soit par une atteinte mixte, soit par aucune des deux atteintes. Nos hypothèses portant sur l'effet des entraînements en fonction du trouble cognitif spécifiquement en cause, nous ne nous sommes ensuite intéressés qu'aux deux sous-groupes présentant un trouble isolé, soit de conscience phonologique, soit de l'empan VA (Partie 2). Par ailleurs, une partie des enfants exclus du fait d'une évaluation incomplète au moment du pré-test ou des post-tests a pu être intégrée dans une dernière analyse réalisée spécifiquement sur des enfants présentant un trouble de l'empan VA (Partie 3), car les problèmes matériels de passation ont surtout concerné l'évaluation de la perception catégorielle des phonèmes. Nous avons pu ainsi tester les effets des programmes

d'entraînement sur une population présentant un trouble de l'empan plus sévère, mais sans que ne soient étudiées les capacités de perception catégorielle de ces enfants.

### 5.3.2. Procédure et chronologie

Les enfants ont tous été reçu initialement pour un bilan de pré-test, permettant d'évaluer leurs capacités de lecture et les processus cognitifs d'intérêt avant l'entraînement. Le logiciel d'entraînement (MAEVA ou RAPDYS) était ensuite installé sur un ordinateur personnel ou prêté par notre laboratoire. L'ordre des entraînements a été attribué de façon aléatoire aux sujets. L'entraînement était réalisé à la maison, pendant six semaines, à raison de 15 minutes par jour cinq fois par semaine. Les enfants et leur famille étaient libres de répartir ces cinq jours d'entraînement comme ils le souhaitaient sur la semaine. L'enfant était ensuite revu pour un premier post-test (post-test 1) dans les deux semaines qui suivaient la fin de l'entraînement. Puis l'enfant débutait le second entraînement (MAEVA ou RAPDYS) dans des conditions similaires. Il était ensuite revu dans les deux semaines qui suivaient pour le second post-test (post-test 2). La variable intra-catégorielle Temps a donc pris trois conditions : pré-test, post-test1 et post-test2. Chaque entraînement durait au total 7h et 30 min. La procédure est représentée dans la Figure 26. L'entraînement était réalisé sous surveillance ; un mode d'emploi reprenant le fonctionnement de chacun des logiciels, le déroulement de l'entraînement, et les consignes à réexpliquer éventuellement avait été remis initialement aux parents ou tuteurs. Des calendriers étaient également remis pour que soient notées par les parents ou tuteurs les sessions réalisées, afin de s'assurer que l'enfant suivait bien le programme requis.



**Figure 26.** Représentation schématique du déroulement de l'étude pour le groupe 1 (Phono1 et VA1) et pour le groupe 2 (Phono2 et VA2)

### 5.3.3. Matériel pour l'évaluation en pré-tests et post-tests

Pour le pré-test, tous les enfants ont été soumis tout d'abord aux tests de lecture classiquement utilisés dans ce travail de thèse : lecture de mots réguliers et irréguliers et de pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010), et évaluation du niveau de lecture (Lefavrais, 1965) (cf. Partie

1.1.2), afin de quantifier le trouble en lecture. Au pré-test, mais également au post-test 1 et au post-test 2, ont été proposées les deux épreuves de report de lettres permettant d'évaluer l'empan VA (cf. Partie 1.1.3) et les trois épreuves de conscience phonologique (cf. Partie 1.1.4). L'épreuve contrôle de seuil de lettres n'a été proposée qu'au pré-test, tous les enfants n'atteignant pas le score maximal de 10/10 au dernier seuil maximal de présentation n'étant pas inclus dans l'étude. Les épreuves de perception catégorielle de phonèmes décrites précédemment (cf. Partie 1.1.5) ont également été proposées à chaque étape de l'étude.

L'ensemble de ces épreuves étaient proposées dans un ordre aléatoire. Afin d'évaluer l'évolution des capacités de lecture tout au long de l'étude tout en s'affranchissant d'éventuels effets test-retest, des épreuves de lecture de mots réguliers, irréguliers et de pseudo-mots et de lecture de textes ont été déclinées en trois versions (A, B et C), pour chacune des trois étapes d'évaluation de l'étude. Ces épreuves étaient proposées en ordre aléatoire, mais précédaient toujours l'ensemble des épreuves cognitives précédemment décrites.

Pour les épreuves de lecture de mots et de pseudo-mots, les enfants avaient pour consigne de lire à voix haute 27 mots réguliers et 27 mots irréguliers appariés en longueur, ainsi que 27 pseudo-mots appariés à la liste de mots réguliers en termes de longueur et de structure orthographique et phonémique. Plus précisément, les pseudo-mots ont été construits en substituant quelques lettres des mots réguliers, tout en conservant leur structure graphémique et syllabique (e.g. 'capsule' devient 'copsale', ou 'tente' devient 'taude'). Les mots utilisés dans chacune des trois versions A, B et C, étaient appariés en longueur et fréquence lexicale, à partir de la base de données MANULEX (Lété et al., 2004). Les mots et pseudo-mots pour chaque liste étaient présentés en colonnes, écrits en minuscule, en Times 14. Les enfants devaient les lire de haut en bas, le plus vite possible et en faisant le moins d'erreurs possible. Les enfants étaient informés de la nature des items (mots ou pseudo-mots) avant la lecture de chaque liste. Les temps de lecture et les erreurs ont été relevés pour chacune des listes. Le nombre de mots correctement lus par minute (MCLM) a été calculé pour chacune des listes et pour les textes et a été retenu comme variable dépendante.

Bien que les versions A, B et C pour chacune des listes et pour les textes soient en théorie équivalente, nous avons relevé des effets tendanciels de la variable 'Version' (A, B ou C) sur le nombre de MCLM des textes et des listes de pseudo-mots (respectivement  $p = .098$  et  $p = .099$ ). Puisqu'il n'a pas été possible de contrebalancer les versions entre les groupes, une correction a été appliquée en prenant comme référence pour chaque liste ou texte la version la mieux réussie en moyenne et en calculant le coefficient associé sur les autres versions. La formule est la suivante, si A est la version la plus réussie :

$$\text{moyA} = k\text{B}.\text{moyB} = k\text{C}.\text{moyC},$$

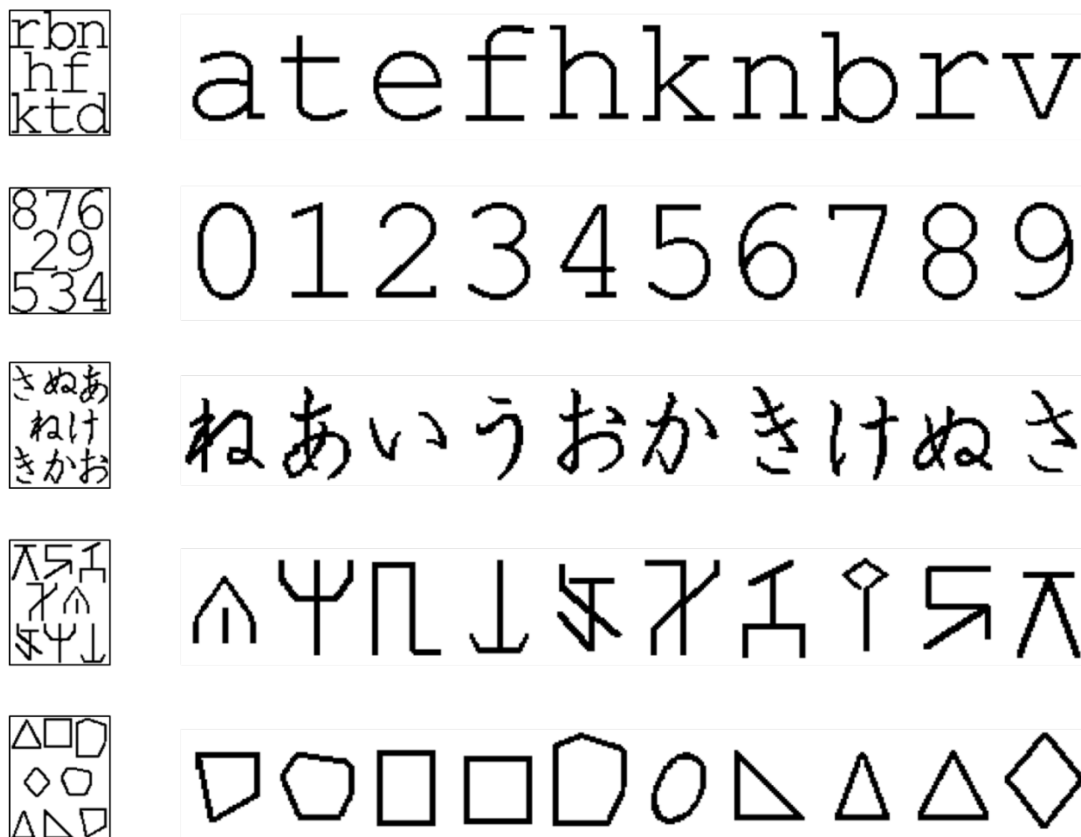
les coefficients  $k$  étant ensuite appliqués aux scores de chaque sujet.

Concernant les épreuves de lecture de textes, les enfants avaient pour consigne de lire à voix haute pendant une minute un texte composé de 122 à 152 mots selon les versions A, B ou C, contenant des mots réguliers et irréguliers. Les trois versions étaient appariées en termes de fréquence moyenne des mots et comportaient la même structure narrative sous-jacente, le même nombre de phrases, la même structure syntaxique et le même nombre de mots différents (batterie Diagnos : Denhière, Baudet et Verstiggel, 1991). Les enfants devaient lire

le texte aussi vite et aussi précisément qu'ils le pouvaient, et étaient arrêtés au bout d'une minute de lecture. Le nombre de mots lus en une minute et le nombre d'erreurs étaient notés par l'expérimentateur. Puis un score corrigé correspondant au nombre de mots correctement lus en une minute était calculé.

### 5.3.4. L'entraînement de l'empan VA – MAEVA

L'objectif de cet entraînement est d'améliorer l'empan VA des enfants dyslexiques, c'est-à-dire d'augmenter le nombre d'éléments pouvant être traités simultanément lors d'une fixation. Le logiciel MAEVA développé par Lobier et collaborateurs (2008) utilise une tâche de catégorisation visuelle impliquant cinq catégories (ou familles) de caractères : des lettres minuscules, des chiffres, des caractères japonais Hiragana, des formes géométriques ouvertes et des formes géométrique fermées ; chaque famille comportait 10 éléments différents présentés dans la Figure 27. Le choix de cette tâche de catégorisation est argumenté en *Annexe VI*.



**Figure 27.** Présentation des cinq catégories visuelles utilisées dans le logiciel MAEVA et à gauche leur étiquette respective utilisée pour désigner la catégorie.

L'épaisseur des traits de chaque caractère est équivalente (3 pixels) et la complexité périmétrique de chaque catégorie a été calculée à l'aide d'un programme sous MATLAB reprenant l'algorithme proposé par Pelli et collaborateurs (2006), afin de s'assurer que l'efficacité  $\eta+$  d'identification visuelle est équivalente entre les catégories de caractères. La

taille de chaque caractère est fixée à 1° perçue à 60 cm de l'écran, position donnée en consigne aux enfants. Les caractères (police Courier) sont présentés en noir sur fond blanc. Un espacement de 1,3 fois l'espacement normal a été choisi, soit une distance entre le centre de deux caractères de 1,5 fois la largeur d'un caractère.

Afin que la présentation des stimuli soit uniformisée malgré l'utilisation de divers écrans, le logiciel étant installé sur les ordinateurs personnels, une phase de paramétrisation incluant une mesure de l'écran est tout d'abord proposée, lors de la première ouverture du logiciel (*Annexe VII*). L'enfant est ensuite invité à entrer son prénom, puis est affiché l'écran principal de navigation, que l'enfant voit à chaque ouverture du logiciel, permettant de lancer la phase de familiarisation ou la phase d'entraînement, ou de quitter le logiciel, ou d'accéder aux cinq meilleurs scores enregistrés, afin de favoriser sa motivation à s'améliorer au fur et à mesure des sessions (Figure 28). La phase de familiarisation avec les différents caractères utilisés est proposée pendant cinq minutes lors des deux ou trois (selon le souhait de l'enfant) premières sessions d'entraînement. Durant cette phase, une croix apparaît au centre de l'écran que l'enfant doit fixer, puis un des caractères apparaît pendant 100 ms, suivi d'un masque pendant 500 ms. Un écran de réponse comportant les cinq étiquettes représentant les familles est ensuite présenté, et l'enfant doit cliquer sur l'étiquette de la famille correspondant au caractère perçu. Il clique ensuite sur une flèche centrale pour passer à l'essai de familiarisation suivant, ou sur la porte située en bas à gauche permettant de quitter la phase de familiarisation, si les cinq minutes de familiarisation sont écoulées. Lors de l'entraînement de même, l'enfant peut quitter le logiciel après chaque essai en cliquant sur cette porte, en fonction du temps écoulé. Les parents sont invités à veiller à ce que l'enfant s'entraîne pendant 15 minutes environ ; l'utilisation d'un chronomètre avec alarme a été conseillée.



**Figure 28.** Ecran principal de navigation. En cliquant sur l'étoile à gauche l'enfant peut accéder à ses meilleurs scores, en cliquant sur le chiffre 2 au centre en bas l'enfant lance la phase de familiarisation, en cliquant sur la porte à droite l'enfant quitte le logiciel, et en cliquant sur le grand carré central, l'enfant lance les exercices d'entraînement.

Les exercices d'entraînement consistent à réaliser différents essais de la tâche de catégorisation visuelle. Chaque essai est caractérisé par trois variables : le nombre d'éléments de la séquence présentée, le temps de présentation de la séquence, et la consigne donnée à l'enfant. Afin de favoriser une progression des capacités de l'enfant, et de maintenir son attention et sa motivation, un algorithme adaptatif gérant toutes ces variables simultanément est utilisé, adapté de l'algorithme développé par Wilson et collaborateurs (Wilson, Dehaene, Pinel, Revkin, Cohen et al., 2006; Wilson, Revkin, Cohen, Cohen et Dehaene, 2006) dans le cadre d'un logiciel de remédiation de la dyscalculie. Cet algorithme gère un espace de performance multidimensionnel que l'on peut apparenter à un espace d'apprentissage caractérisé par trois axes, chacun correspondant à une des variables, dont le niveau de difficulté peut varier. Ceci permet d'adapter la difficulté de l'exercice, en tenant compte des réponses précédentes de l'enfant, pour que son taux de réussite oscille autour de 75%. L'espace de performance est donc représenté par une matrice à trois dimensions qui prend en chacun de ses points la valeur de la probabilité de réussite de l'essai correspondant. Les valeurs de la matrice sont modifiées en fonction des progrès du sujet. L'aire de forte probabilité de succès doit donc progressivement s'étendre à l'ensemble de la matrice. Le nombre de caractères présentés en parallèle dans un stimulus peut varier de deux à sept caractères, et le temps de présentation peut varier de manière continue de 420 ms à 120 ms. La dernière dimension concerne la difficulté de la consigne, modélisée à travers six consignes différentes de difficulté croissante :

N°1 : Combien de familles as-tu vu ?

N°2 : Est-ce que tu as vu des éléments de cette famille ?

N°3 : Quelles familles étaient présentes ?

N°4 : Combien as-tu vu d'éléments de cette famille ?

N°5 : Combien d'éléments de chaque famille y avait-il ?

N°6 : Quelles familles étaient présentes et combien d'éléments de chaque familles y avait-il ?

Les critères justifiant des variations de difficulté pour chacune des variables sont présentés en *Annexe VIII*. Avec un niveau de difficulté faible (par exemple : 2 caractères, 400 ms de temps de présentation, consigne 1), l'exercice a une plus grande probabilité d'être réussi qu'un exercice de niveau de difficulté plus important (7 caractères, 120 ms de temps de présentation, consigne 6). Les détails de fonctionnement de l'algorithme sont présentés en *Annexe VIII*.

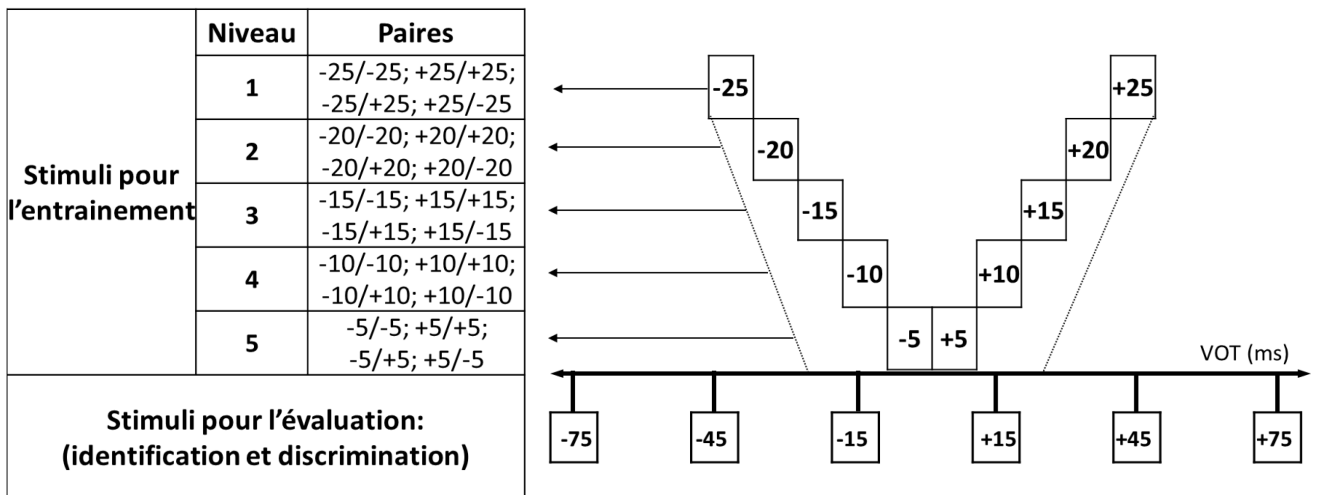
Le déroulement précis d'un essai pour une consigne donnée comprend cinq étapes : un écran de consigne, la présentation du stimulus, un écran de réponse puis un écran de feedback (*Annexe VII*). La consigne est présentée de trois manières différentes. Elle est écrite sous la forme d'une phrase, et elle est disponible oralement si l'enfant clique sur l'image d'une oreille ; le numéro spécifique à chaque consigne est également présenté. L'enfant lance ensuite la présentation du stimulus en cliquant sur un petit carré bleu, de taille équivalente à celle d'un caractère, qui apparaît n'importe où sur l'écran, ce qui déclenche l'apparition d'une croix de fixation qui s'affiche 500 ms à la place du carré bleu. Puis la séquence est présentée pendant le temps T défini par l'algorithme. Le carré bleu et donc la croix de fixation et le stimulus apparaissent de façon aléatoire à n'importe quel endroit de l'écran. Ce

positionnement variable du stimulus permet d'une part de s'assurer que l'intérêt de l'enfant est maintenu, et d'autre part il a pour but une généralisation de l'apprentissage perceptif qui est censé en découler et ne doit pas être spécifique à une position particulière du stimulus à l'écran (Harris, Glikberg et Sagi, 2012). Puis un masque apparaît pendant une durée de 500 ms. Les masques sont constitués de lignes aléatoires de même largeur que les stimuli. L'écran de réponse apparaît ensuite, dans lequel la consigne est répétée, et qui contient les boutons de réponses sur lequel l'enfant peut cliquer. Un feedback est ensuite donné, sous une forme écrite en haut de l'écran (BRAVO ou DOMMAGE), accompagné d'un feedback symbolique au centre de l'écran (un émoticône content ou contrarié). Le score de l'enfant, pour chaque nouvelle session commencée, apparaît également en bas à droite (100 points étant attribués pour chaque bonne réponse, ainsi qu'un bonus de 100 points suite à l'obtention de 10 bonnes réponses consécutives). L'enfant peut ensuite cliquer sur la flèche bleue pour passer à l'essai suivant.

### **5.3.5. L'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes - RAPDYS**

L'objectif de cet entraînement est d'améliorer les capacités de perception catégorielle des enfants dyslexiques. Le logiciel utilisé est une adaptation du logiciel utilisé dans l'étude de Collet et collaborateurs (2012), développé par cette même équipe. Le logiciel fonctionne sous MATLAB Compiler Runtime v.8.1. Un casque Sennheiser HD202 a été fourni à chaque enfant.

La méthode est adaptée d'une tâche de 'déclin perceptif' (« perceptual fading ») (Jamieson & Morosan, 1989), dont le principe est de réduire progressivement la distance acoustique entre deux phonèmes présentés à l'enfant, dans une tâche de discrimination. Les paires ont été créées à partir d'un synthétiseur de parole en faisant varier le délai d'établissement du voisement (VOT) pour créer un continuum entre une syllabe /de/ et une syllabe /te/. La réduction progressive de la distance acoustique, c'est-à-dire de la différence de VOT entre les paires, a permis de constituer cinq niveaux de difficulté croissante pouvant être adaptés aux performances de l'enfant. Chaque session d'entraînement est constituée de cinq blocs de 20 essais. Chaque niveau de difficulté correspond à une réduction de 10 ms de la différence de VOT, du bloc de niveau 1 contenant des paires de syllabes dont la différence de VOT est de 50 ms, au bloc de niveau 5 contenant des paires dont la différence de VOT est de 10 ms (Figure 29). Les sessions démarrent toujours par le bloc de niveau 1. Le passage au bloc de niveau 2, mais également à chaque niveau suivant, c'est-à-dire à un bloc plus difficile, survient lorsque l'enfant atteint un taux de réussite de 70% (14/20 bonnes réponses). La session se termine après la passation de cinq blocs, quel que soit le niveau atteint. Cependant, afin d'ajuster la durée d'une session autour de 15 minutes en fonction des performances de l'enfant et de se prémunir d'une trop grande rapidité d'exécution chez les enfants les plus performants, en particulier après plusieurs semaines d'entraînement, un sixième bloc est proposé (bloc bonus) lorsque les taux de réussites pour les cinq blocs sont supérieurs à 80%. Ce sixième bloc est constitué des mêmes stimuli que le cinquième bloc.



**Figure 29.** (Adaptée de (Collet et al., 2012). Stimuli utilisés par le logiciel d'entraînement, en fonction du VOT et associés à chacun des niveaux de difficultés. En bas de la figure sont représentés, selon la valeur du VOT, les stimuli utilisés dans les tâches d'identification et de discrimination lors des évaluations en pré-test et post-tests.

Chaque bloc est composé de quatre paires différentes de stimuli répétées à cinq reprises : deux paires de stimuli similaires (e.g. -25ms/-25ms et +25ms/+25ms) et deux paires de stimuli différents (e.g. -25ms/+25ms et +25ms/-25ms). L'ordre de présentation des paires de stimuli est aléatoire dans chaque bloc, dans chaque session et pour chaque enfant.

Afin de maintenir l'attention et l'intérêt de l'enfant, et faciliter la compréhension des exercices, chacun des phonèmes est associé à un personnage dessiné, tout comme pour les épreuves de perception catégorielle proposées au moment des évaluations en pré-test et post-test. Ces personnages sont nommés Dom ou Tom en référence au phonème associé, la consigne indiquant que Dom prononce la syllabe /də/ et Tom la syllabe /tə/. Lorsque l'enfant démarre une session, il indique son prénom, puis le numéro de la session (de 1 à 30). Un écran de consigne apparaît alors, contenant un résumé écrit de la consigne. En parallèle, une bande sonore lui indique la consigne de manière plus détaillée : il lui est demandé d'appuyer sur la touche 0 s'il entend le même personnage parler (e.g. /də-/də/ ou /tə-/tə/) ou sur la touche 1 s'il entend les deux personnages parler (e.g. /də-/tə/ ou /tə-/də/). Pour démarrer le test, l'enfant doit ensuite appuyer sur la touche Espace. Les paires de stimuli sont alors présentées à l'enfant en modalité auditive, tandis que sur l'écran sont affichés les personnages, les deux paires de personnages identiques en bas à droite de l'écran près de la touche de réponse 0, et les deux paires de personnages différents (dans chaque ordre de présentation possible) en bas à gauche près de la touche de réponse 1. Un cadeau est représenté au haut de l'écran au centre. Lorsque l'enfant donne une bonne réponse, le cadeau descend vers les personnages ; il apparaît au-dessus de la réponse donnée par l'enfant. En cas de mauvaise réponse, une croix apparaît sur le cadeau au centre de l'écran, indiquant que le cadeau n'est pas distribué aux personnages car la réponse donnée comporte une erreur. L'écran de feedback disparaît après 2000 ms. A la fin de la passation d'un bloc de 20 essais, un écran de feedback pour l'ensemble du block apparaît. Il contient un court message d'encouragement ('Courage ! Accroche-toi !' en cas de taux de réussite inférieur à 50%) ou de félicitation ('Bravo ! Continue comme cela !' en cas de taux de réussite supérieur à 50%).



Au début du bloc suivant, la consigne est à nouveau donnée à l'enfant sur l'écran et en modalité auditive, mais dans une version plus courte et simplifiée. L'enfant a la possibilité de l'interrompre s'il le souhaitait en appuyant sur la touche Espace, ceci évitant une répétition qui peut être lassante, mais qui lui permet de réaccéder à la consigne si besoin. Le détail des consignes et les stimuli apparaissant à l'écran sont présentés en *Annexe IX*. L'enfant peut par ailleurs noter la progression de ses scores au cours des cinq blocs sur le calendrier fourni, ceci permettant de favoriser sa motivation à améliorer ses performances lors de la session suivante.

## 5.4. Partie 1 – Effet global des entraînements.

### 5.4.1. Participants

Les 45 enfants dyslexiques ont tous été recrutés au CRTLA du CHU de Grenoble ou en cabinet d'orthophonie, et relevaient tous d'un diagnostic de dyslexie, en l'absence de troubles associés tels une dysphasie ou un trouble attentionnel de type TDAH. Ils étaient âgés de 10 ans et 6 mois en moyenne, mais leur âge de lecture sur le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965) était de 7 ans et 4 mois, soit un retard moyen de lecture de plus de 3 ans (38 mois). Les scores (erreurs et temps de lecture) moyens sur l'épreuve de lecture de liste de mots et de pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010) étaient examinés au moment du pré-test, afin de s'assurer que les enfants présentaient tous au moins 4 scores inférieurs à 2ET sur l'ensemble des scores.

Les caractéristiques du groupe dyslexique sont présentées dans le Tableau 18, ainsi que les scores moyens, bruts et composites, obtenus sur les épreuves de report de lettres et de conscience phonologique. Pour ces dernières, la tâche de décomposition de phonème n'a pas été prise en compte dans les calculs, étant données les faibles corrélations entretenues avec les deux autres épreuves [respectivement .18 et .37 avec la tâche d'omissions et celle d'acronymes, contre .54 entre ces deux dernières], et au vu des résultats obtenus dans cette étude et dans les études précédentes qui ont montré la faible sensibilité de cette épreuve.

**Tableau 18.** Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (PM : Pseudo-Mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique du groupe dyslexique au moment du pré-test.

	Score				Z-score			
	Moyenne	ET	Min	Max	Moyenne	ET	Min	Max
Age (mois)	126,52	16,33	94	153				
Age de lecture (mois)	88,47	8,18	79	122				
Retard lexique (mois)	38,05	14,14	-68	-15				
Score réguliers (/20)	15,24	3,67	3	20	-2,79	2,40	-9,23	-0,13
Temps réguliers (sec)	46,42	20,98	15	101	-2,93	2,32	-9,69	0,70
Score irréguliers (/20)	10,72	4,40	2	20	-2,13	1,55	-4,97	0,82
Temps irréguliers (sec)	52,71	22,65	15	120	-2,66	2,27	-11,49	0,84
Score PM (/20)	11,68	3,90	4	18	-2,45	1,66	-6,33	0,22
Temps PM (sec)	54,33	20,06	18	115	-2,12	1,75	-7,29	1,14
Omission (%)	69,67	19,20	30	100	-0,89	1,26	-3,55	1,18
Segmentation (%)	59,85	23,63	7	100	-0,04	0,90	-1,83	1,52
Acronyme (%)	73,77	18,25	10	100	-0,41	0,93	-3,97	1,02
<i>Score compo Phono</i>	71,72	16,43	33	100	-0,65	0,94	-2,77	1,10
Report global (%)	70,73	11,78	44	94	-1,18	1,03	-3,13	0,91
Report partiel (%)	73,69	14,64	24	98	-1,15	1,32	-4,89	1,16
<i>Score compo VA</i>	72,21	12,26	34	94	-1,16	1,05	-3,66	0,76

Vingt-deux enfants ont commencé par l'entraînement de l'empan VA (MAEVA) puis ont suivi l'entraînement à la perception catégorielle (RAPDYS) (Groupe VA-PC). Ils étaient en moyenne âgés de 10 ans et 7 mois (ET = 17 mois) pour un âge de lecture de 7 ans et 5 mois (ET = 7 mois). Vingt-trois enfants ont tout d'abord été entraînés avec RAPDYS puis ont été entraînés avec MAEVA (Groupe PC-VA). Ils étaient âgés de 10 ans et 6 mois en moyenne (ET = 16 mois) et leur âge de lecture moyen était de 7 ans et 4 mois (ET = 10 mois). Les deux groupes étaient appariés non seulement sur leur âge chronologique et leur âge de lecture, mais également sur tous les scores en lecture de mots et de pseudo-mots et sur les mesures de conscience phonologique et d'empan VA. Les appariements sont présentés dans le Tableau 19.

**Tableau 19.** Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (rég : mots réguliers ; irrég : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique (Csce Phono) pour les deux groupes dyslexiques.

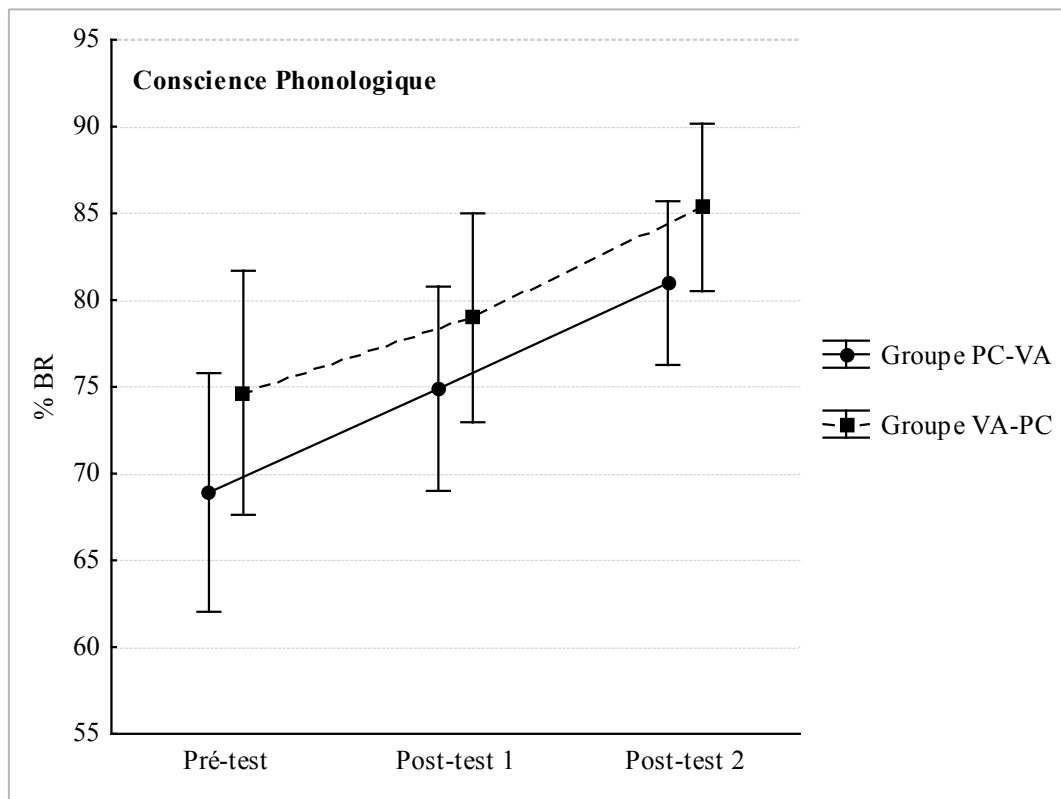
Tâches	Groupe PC-VA N = 23			Groupe VA-PC N = 22			Comparaisons	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,43)	p
Age (mois)	126 (16.1)	94-151		127 (17.0)	98-153		<1	.971
Age de lecture (mois)	88 (9.6)	79-122		89 (6.6)	79-103		<1	.782
Score rég. (/20)	15 (4.1)	3-20	-3.21 (2.8)	16 (3.3)	6-19	-2.36 (1.8)	<1	.465
Temps rég. (sec)	49 (20.7)	15-87	-3.33 (2.7)	44 (21.4)	20-101	-2.52 (1.9)	<1	.468
Score irrég.(/20)	11 (5.0)	2-19	-2.19 (1.7)	11 (3.9)	4-20	-2.07 (1.4)	<1	.862
Temps irrég. (sec)	54 (26.2)	15-120	-2.85 (2.7)	51 (18.7)	25-92	-2.48 (1.8)	<1	.658
Score PM (/20)	11 (3.7)	4-18	-2.82 (1.7)	13 (4.0)	4-17	-2.06 (1.6)	2.12	.152
Temps PM (sec)	55 (21.3)	18-115	-2.20 (1.8)	54 (19.1)	28-98	-2.04 (1.8)	<1	.864
<b>Empan VA</b>								
Report global (%)	70 (12.7)	44-91	-1.20 (1.1)	71 (11.0)	51-94	-1.17 (1.0)	<1	.864
Report partiel (%)	73 (16.9)	24-96	-1.13 (1.3)	74 (12.2)	46-98	-1.17 (1.3)	<1	.828
Score VA	72 (13.9)	34-94	-1.17 (1.1)	73 (10.6)	58-93	-1.17 (1.0)	<1	.832
<b>Conscience phonologique</b>								
Omission (%)	66 (20.3)	30-100	-1.10 (1.3)	73 (17.7)	40-100	-0.68 (1.2)	1.66	.205
Acronyme (%)	72 (18.5)	30-100	-0.49 (0.9)	76 (18.2)	10-100	-0.32 (1.0)	<1	.450
Score Csce Phono.	69 (17.9)	33-100	-0.79 (1.0)	75 (14.6)	38-100	-0.50 (0.9)	1.39	.245

#### 5.4.2. Résultats

Des analyses de variance (ANOVA) à mesure répétées ont été réalisées sur les variables de Groupe (VA-PC ou PC-VA). La variable Temps, qui comprend trois conditions (pré-test, post-test 1, post-test 2), a été entrée comme variable intra-individuelle. Des analyses de contrastes et comparaisons univariées à chacun des temps ont été réalisées lorsque des effets significatifs ou tendanciels du Groupe, du Temps, ou de l'interaction de ces deux variables étaient trouvés.

##### *Sur les épreuves de conscience phonologique*

L'ANOVA à mesures répétées ne montre pas d'effet du Groupe sur le score composite de conscience phonologique [ $F(1,43) = 1.66$  ;  $p = .204$ ] ni d'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.99$  ;  $F < 1$ ], mais un effet principal du Temps est relevé [Wilk's  $\lambda = 0.51$  ;  $F(2,42) = 20.10$  ;  $p < .001$ ]. Aucun contraste d'interaction n'est significatif. Les résultats sont présentés sur la Figure 30.



**Figure 30.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de la conscience phonologique pour les deux groupes dyslexiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

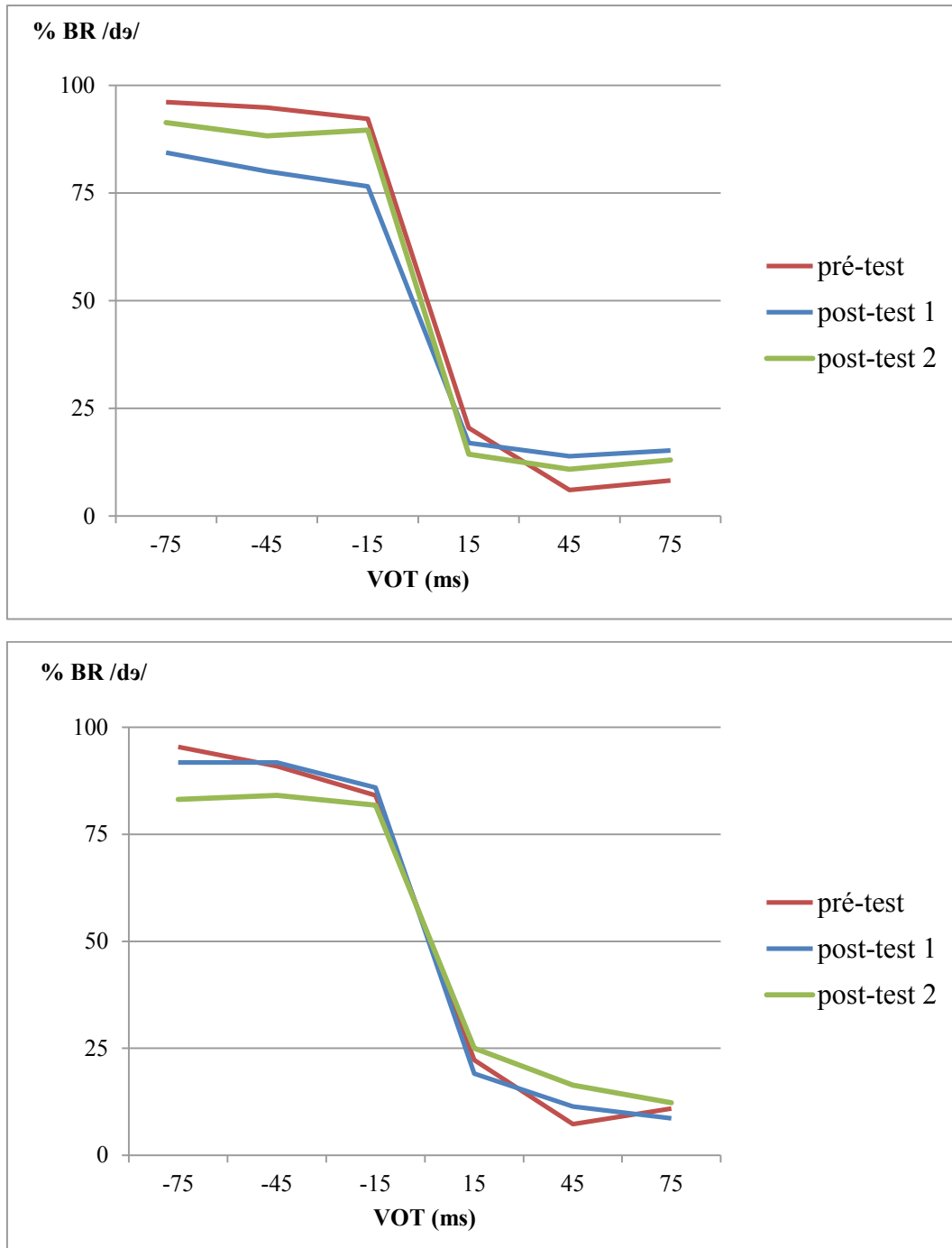
### *Sur les épreuves de perception catégorielle de phonèmes*

Des ANOVAs à mesure répétées ont été réalisées sur les variables pertinentes au vue de l'Etude III et des variables classiquement mises en cause dans la dyslexie<sup>22</sup>.

Concernant l'identification des phonèmes, on ne relève aucun effet significatif, ni du Groupe, ni du Temps, ni d'interaction pour la mesure de la frontière ( $F < 1$  sauf pour l'effet du temps [Wilk's  $\lambda = 0.90$  ;  $F(2,42) = 2.32$ ,  $p = .111$ ]), et de la pente ( $F < 1$ ). Concernant la largeur asymptotique on ne relève pas d'effet du Groupe ( $F < 1$ ) mais une tendance de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.88$  ;  $F(2,42) = 2.84$ ,  $p = .070$ ] et de l'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.88$  ;  $F(2,42) = 2.81$ ,  $p = .071$ ]. Les analyses univariés montrent également une tendance de l'effet du Groupe pour les scores au post-test 1 [ $F(1,43) = 3.67$  ;  $p = .062$ ]. Les analyses de contrastes montrent que la différence de scores entre le pré-test et le post-test 1 varie significativement entre les deux groupes (contrastes d'interaction) [ $t = -2.35$  ;  $p < .05$ ], la

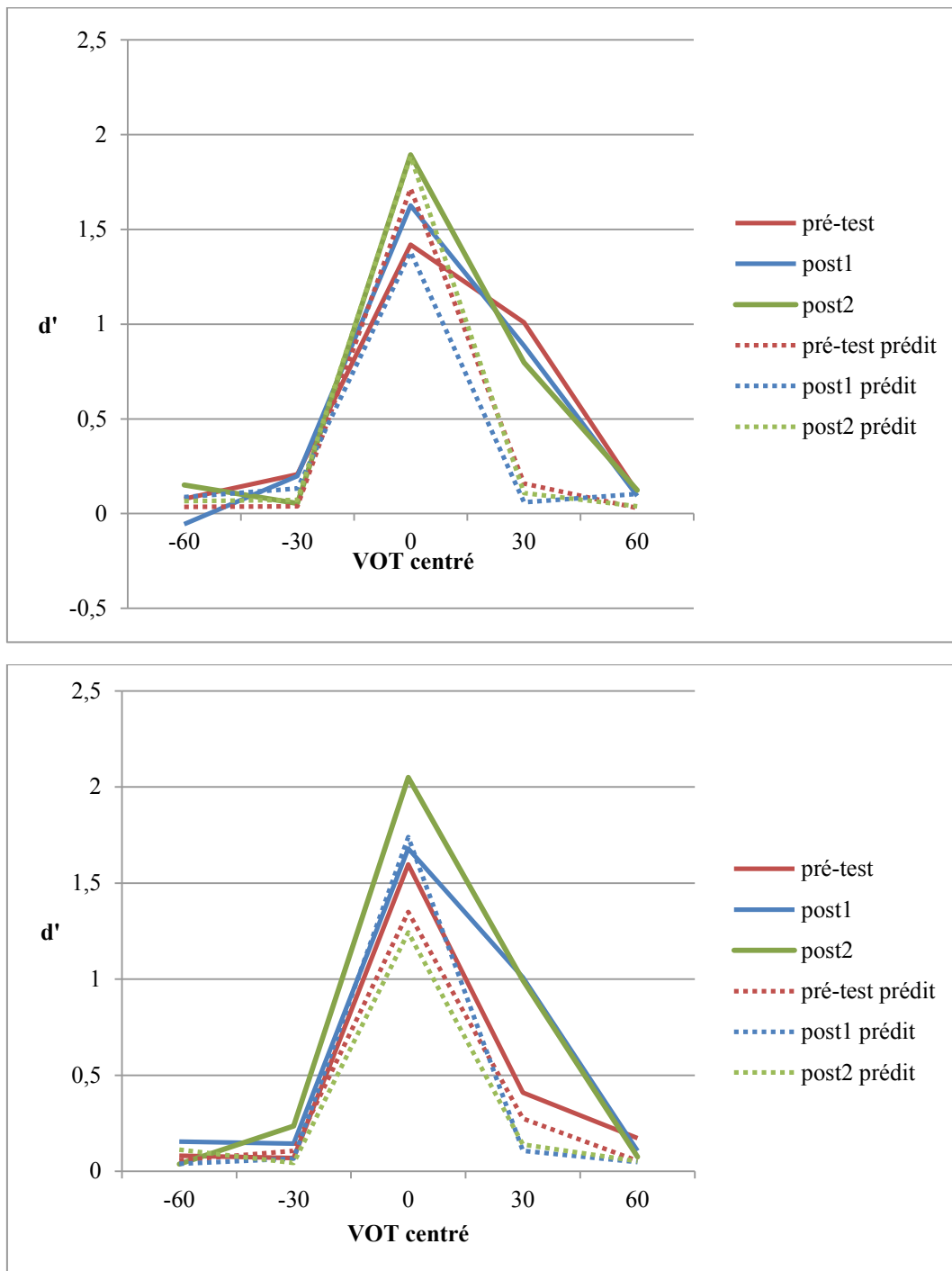
<sup>22</sup> Afin de simplifier les analyses et faciliter leur interprétation, la variable Paire (-60/-30/0/30/60) n'a pas été entrée comme variable intra-sujet, de même que la variable Tâche au vu de l'absence systématique d'interaction entre Groupe et Tâche (valeur prédite/valeur observée).

largeur asymptotique diminuant après RAPDYS, mais le contraste d'interaction pour la seconde période n'est pas significatif. Les analyses de contrastes pour chacun des groupes montrent que seule la diminution de la largeur asymptotique entre le pré-test et le post-test 1 est significative pour le groupe PC-VA [ $t = 3.12$  ;  $p < .01$ ]. Les courbes d'identification sont présentées sur la Figure 31.



**Figure 31.** Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe PC-VA (en haut) et le groupe VA-PC (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.

Concernant les capacités de discrimination, on ne relève pas d'effet du Groupe ( $F < 1$ ) ni d'effet du Temps sur le pic de  $d'$  prédit ( $F < 1$ ) mais une tendance à l'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.89$  ;  $F(2,42) = 2.84$ ,  $p = .087$ ]. On relève en effet un contraste d'interaction significatif entre le post-test 1 et le post-test 2 [ $t = 2.24$  ;  $p < .05$ ], le pic prédit diminuant consécutivement à RAPDYS tandis qu'il augmente suite à MAEVA. Les courbes laissent suggérer un effet similaire sur la première période d'entraînement mais le contraste n'est pas significatif pour cette première période. Les analyses univariées montrent une tendance de l'effet du Groupe sur les scores du post-test 2 [ $F(1,43) = 3.62$  ;  $p = .064$ ]. Les analyses de contrastes pour chacun des groupes ne montrent cependant aucun effet significatif du Temps. On ne relève pas d'effet du Groupe concernant le pic de  $d'$  observé ( $F < 1$ ) mais une tendance de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.88$  ;  $F(2,42) = 2.85$ ,  $p = .069$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif ( $F < 1$ ). Aucune des analyses de contrastes ne montre d'effet significatif. Concernant la valeur de  $d'$  pour les paires de stimuli inter-catégorielles, c'est-à-dire dont la différence de VOT est centrée à 0 ms, on ne relève pas d'effet du Groupe ni interaction ( $F < 1$ ) mais un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.81$  ;  $F(2,42) = 4.83$ ,  $p < .05$ ] ; seul le contraste entre le post-test 1 et le post-test 2 est significatif pour le groupe VA-PC seulement [ $t = -2.03$  ;  $p < .05$ ]. Concernant la valeur de  $d'$  pour les paires de stimuli centrées à + 30ms de VOT, on ne relève pas d'effet du Groupe ( $F < 1$ ), ni d'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.95$  ;  $F(2,42) = 1.02$ ,  $p = .368$ ], mais une tendance à l'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.88$  ;  $F(2,42) = 2.77$ ,  $p = .074$ ]. Les analyses de contrastes d'interaction montrent que seul le groupe VA-PC voit ses capacités de perception intra-catégorielle augmenter significativement entre le pré-test et le post-test 1 [ $t = -2.54$  ;  $p < .05$ ], c'est-à-dire après MAEVA [ $t = -2.19$  ;  $p < .05$ ] mais un effet du groupe au pré-test [ $F(1,43) = 4.47$  ;  $p < .05$ ] suggère un problème d'appariement initial. Les courbes de discrimination sont présentées sur la Figure 32.

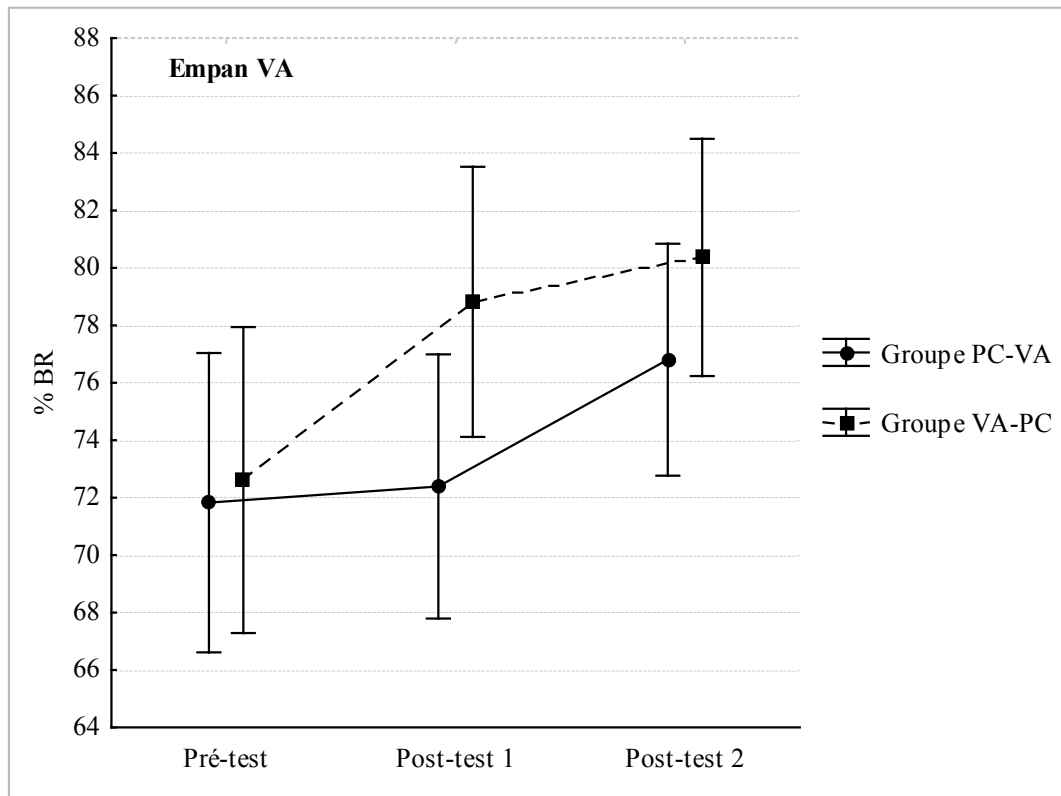


**Figure 32.** Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) pour le groupe PC-VA (en haut) et le groupe VA-PC (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.

### *Sur les épreuves d'empan VA*

On ne relève pas d'effet du Groupe sur le score composite d'empan VA ( $F(1,43) = 1.35$  ;  $p = .252$ ). En revanche l'effet du Temps était significatif [Wilk's  $\lambda = 0.53$  ;  $F(2,42) = 18.92$ ,  $p < .001$ ], ainsi que l'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.82$  ;  $F(2,42) = 4.62$ ,  $p < .05$ ]. Les analyses de contrastes montrent que l'effet d'interaction n'est significatif que pour la première période

[ $t = 3.06$  ;  $p < .01$ ]. Le groupe VA-PC progresse bien sur la première période [ $t = -4.71$  ;  $p < .001$ ] et pas la seconde, tandis que le groupe PC-VA présente le pattern inverse, progressant significativement sur la seconde période seulement [ $t = -3.31$  ;  $p < .01$ ]. Les résultats sont présentés dans la Figure 33.



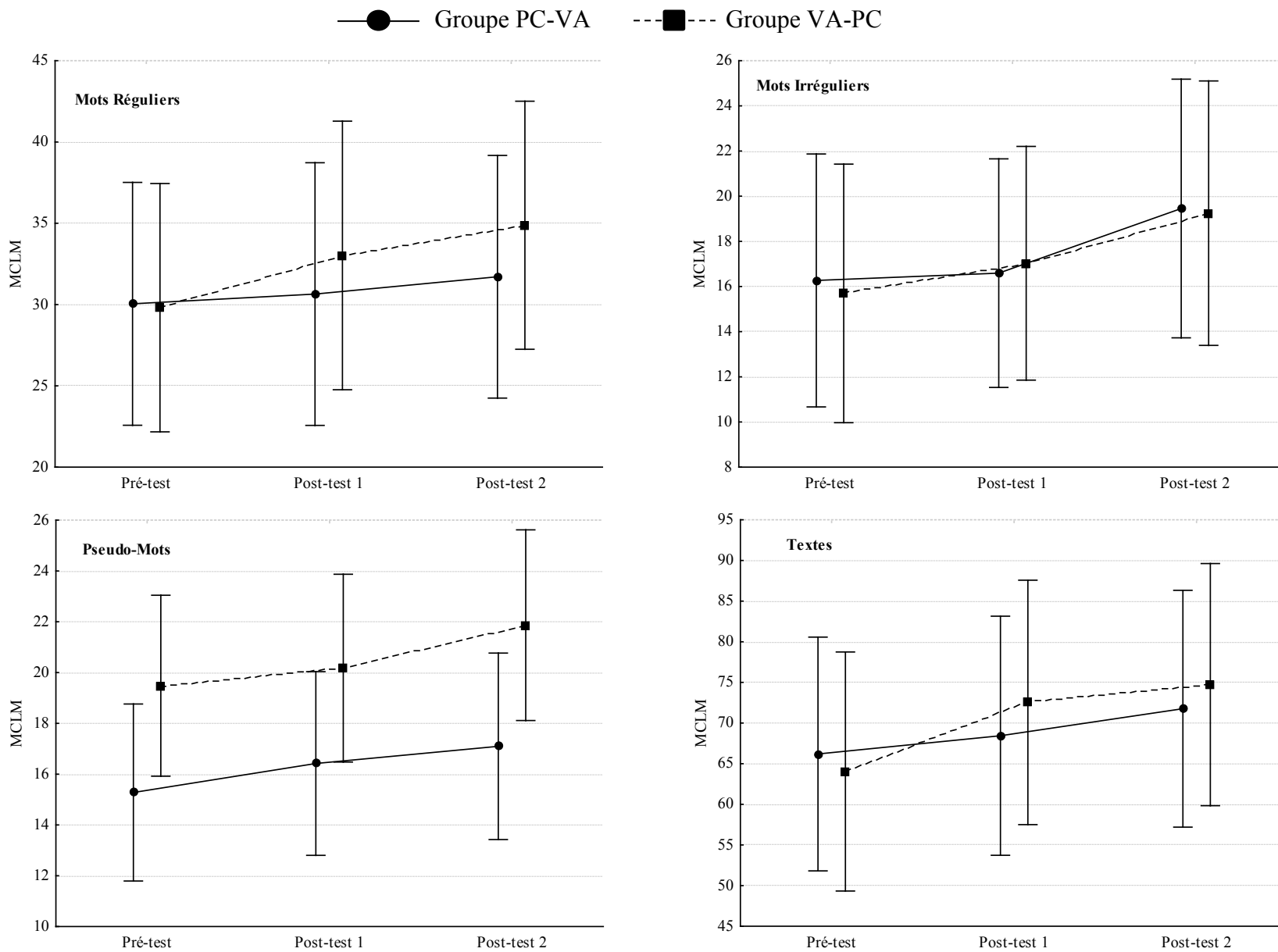
**Figure 33.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes dyslexiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

### *Sur les épreuves de lecture*

Concernant les listes de mots réguliers, on ne relève aucun effet du Groupe ( $F < 1$ ) mais un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.83$  ;  $F(2,42) = 4.28$  ;  $p < .05$ ] sur le nombre de mots correctement lus par minute. L'effet d'interaction n'est pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.94$  ;  $F(2,42) = 1.31$ ,  $p = .230$ ] ; les analyses de contrastes montrent que seule la différence de scores entre le pré-test et le post-test 1 est à la limite du seuil de significativité, mais pour le groupe VA-PC seulement [ $t = -1.90$  ;  $p = .065$ ]. Concernant les listes de mots irréguliers, on ne relève aucun effet du Groupe ( $F < 1$ ) mais un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.59$  ;  $F(2,42) = 14.52$  ;  $p < .001$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif ( $F < 1$ ) ; les analyses de contrastes montrent que les différences de performances sont significatives pour le groupe VA-PC [ $t = -2.28$  ;  $p < .05$ ] et pour le groupe PC-VA [ $t = -3.01$  ;  $p < .01$ ] entre le post-test 1 et le post-test 2 seulement. Concernant les pseudo-mots, l'effet du Groupe était à la limite du seuil de significativité [ $F(1,43) = 3.19$  ;  $p = .081$ ], de même que l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.88$  ;  $F(2,42) = 2.89$  ;  $p = .067$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif ( $F < 1$ ) ; les résultats univariés montrent une tendance de l'effet du Groupe au pré-test et au post-test 2 (respectivement [ $F(1,43) =$



2.90 ;  $p = .093$ ] et [ $F(1,43) = 3.36$  ;  $p = .074$ ]). Aucun contraste n'est par ailleurs significatif ou tendanciel. Concernant la lecture de textes, on ne relève aucun effet du Groupe ( $F < 1$ ) mais un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.77$  ;  $F(2,42) = 5.70$  ;  $p < .01$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif ( $F < 1$ ). Les analyses de contrastes montrent que seule la différence de performances entre le pré-test et le post-test 1 est à la limite du seuil de significativité pour le groupe VA-PC seulement [ $t = -2.38$  ;  $p < .05$ ]. Les résultats sur l'ensemble des épreuves de lecture sont présentés Figure 34.



**Figure 34.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), de pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCLM = Mots correctement lus par minute).

### 5.4.3. Résumé

Cette première série d'analyses sur l'ensemble du groupe a été réalisée afin d'observer les effets généraux des deux méthodes d'entraînement, sans que le déficit cognitif sous-jacent n'ait été pris en compte.

Les résultats montrent une progression des capacités de conscience phonologique consécutive à chacune des méthodes. Une progression de la conscience phonologique suite à l'entraînement VA n'était pas attendue a priori. Cependant, l'absence d'effet d'interaction ne nous permet pas de distinguer cette progression de possibles effets placebo, de maturation, ou d'effets test-retest. Concernant les capacités de perception catégorielle de phonèmes, les résultats montrent un effet de l'entraînement à la perception catégorielle RAPDYS mais opposé à l'effet attendu. En effet, une diminution de la largeur asymptotique est relevée consécutivement à l'entraînement à la perception catégorielle pour le groupe ayant suivi cet entraînement en première intention, suggérant une diminution des capacités d'identification des phonèmes. L'effet d'interaction avec le groupe est ici significatif. Cependant, cet effet n'est pas retrouvé pour le groupe ayant bénéficié de l'entraînement RAPDYS en seconde intention, bien qu'une tendance soit observable sur les courbes. De même, concernant le pic de discrimination prédit par la tâche d'identification, les résultats montrent une diminution du pic prédit consécutif à RAPDYS et une augmentation consécutive à MAEVA, et un effet d'interaction avec le groupe significatif, mais cette fois pour la seconde période seulement, bien que les courbes suggèrent une tendance similaire pour la première période également. Etant donné que cet effet d'interaction n'est significatif que pour la seconde période, et qu'une tendance de l'effet du groupe est retrouvé sur ce pic prédit au post-test 2, on pourrait supposer que RAPDYS induit initialement une perturbation des capacités de perception catégorielle, mais qu'une réorganisation est ensuite détectable à long terme. De telles difficultés sur une période d'entraînement initial, précédant une amélioration à plus long terme, ont été mises en évidence dans l'étude de Collet et collaborateurs (2012). Cependant dans cette étude, 18 sessions d'entraînement étaient proposées au total, après lesquelles l'amélioration était significative (la régression était constatée après neuf sessions d'entraînement), contre 30 sessions au total dans notre étude pour la première période d'entraînement. Mais l'étude de Collet et collaborateurs a été réalisée auprès d'enfants plus jeunes présentant un trouble du langage oral. D'autre part, ces effets dans notre étude n'ont pas été retrouvés sur les pics de  $d'$  observés dans la tâche de discrimination. Par contre au niveau de la frontière à 0ms de VOT, un effet du temps est retrouvé, principalement lié à la progression des enfants consécutive à l'entraînement RAPDYS sur la seconde période. Les courbes suggèrent un effet similaire sur la première période, mais non significatif. Les effets d'interaction ne sont cependant pas significatifs. Pour les paires centrées à + 30ms, les résultats pourraient suggérer un effet de l'entraînement MAEVA, qui semble induire une augmentation de la valeur de  $d'$  sur cette frontière intra-catégorielle. Cet effet n'est cependant observé que pour la première période et le manque d'appariement au pré-test entre nos groupes le rend difficilement interprétable.

Concernant l'empan VA, les résultats confirment nos hypothèses, montrant un effet du temps, et un effet significatif de l'interaction avec les groupes. Les enfants ayant bénéficié de l'entraînement VA sur la première période progressent significativement plus que ceux ayant bénéficié de l'entraînement à la perception de phonèmes. Les analyses de contrastes montrent que cet effet d'interaction n'est pas significatif sur la seconde période. Même si une progression est bien présente pour les enfants ayant suivi l'entraînement VA sur la seconde période, des effets à long terme pour le groupe ayant suivi l'entraînement VA en première intention pourraient annuler ce second effet d'interaction. Ces données confirment donc l'amélioration des capacités de traitement simultané des enfants suite à l'entraînement MAEVA, puisque l'entraînement sollicite des processus de catégorisation, tandis qu'une identification est requise sur les épreuves de mesure de l'empan VA, attestant d'un transfert de ces processus et non pas d'une simple amélioration des performances par familiarisation et entraînement sur la tâche test. Les analyses suivantes nous permettront de vérifier si ces effets globaux sur les processus cognitifs explorés, phonologie et empan VA, sont spécifiques ou non à des sous-groupes présentant spécifiquement de tels déficits, en accord avec nos hypothèses.

Concernant les capacités de lecture, nous n'attendions pas d'effet d'interaction, puisqu'un effet de chacune des rééducations était attendu pour l'ensemble du groupe. Sur la lecture de mots réguliers, la progression des scores dans le temps est bien significative. Concernant la lecture de mots irréguliers, un effet du temps est également retrouvé, principalement sur la seconde période d'entraînement. Ceci est cohérent avec le fait qu'une amélioration de l'empan VA ou des capacités phonologiques peut amener à des effets immédiats en lecture de mots réguliers du fait de l'amélioration des capacités de traitement analytique. Par contre, la lecture de mots irréguliers requiert l'activation en mémoire de la forme orthographique du mot, qui doit donc avoir été rencontré plusieurs fois pour être mémorisé et correctement lu (Share, 2004), ce qui pourrait induire des effets à plus long terme sur ces items. Les effets à plus long terme sont également attendus pour les mots irréguliers car ils sont moins fréquents que les mots réguliers, et donc plus tardivement mémorisés même lorsque les deux types d'items font l'objet d'un traitement global. Pour les pseudo-mots, nous avons observé une tendance de l'effet global des entraînements (i.e., du Temps). Concernant la lecture de textes, l'effet des entraînements (ou du temps) était bien significatif, ainsi que l'interaction sur la première période suggérant que l'entraînement VA pourrait avoir davantage d'effet sur la lecture de texte que l'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes. Ceci pourrait suggérer un rôle plus important des processus visuels que des processus phonologiques dans la lecture de texte par rapport aux listes de mots. Mais cette interaction entre les groupes et le temps n'est pas retrouvée sur la seconde période d'entraînement.

Ces analyses nous ont permis d'observer des effets inattendus de MAEVA et de RAPDYS sur les capacités phonologiques et des effets généraux des entraînements sur la lecture qui pourront être davantage explorés, et sans doute alors mieux appréhendés, dans les analyses suivantes que nous allons réaliser sur les sous-groupes présentant un trouble cognitif homogène, phonologique ou de l'empan VA. Concernant les capacités d'empan VA, nos résultats sont par contre univoques : MAEVA permet bien une progression de l'empan VA,

tandis que l'absence d'effet de RAPDYS nous permet d'éliminer le rôle possible d'effets test-retest, d'effets de maturation ou d'effets placebo. Les analyses suivantes auront pour but d'observer si ces effets sont spécifiques ou non à un sous-groupe présentant spécifiquement un trouble de l'empan VA, en accord avec nos hypothèses.

## 5.5. Partie 2 – Effet des entraînements en fonction du trouble cognitif sous-jacent : conscience phonologique et empan VA.

### 5.5.1. Identification des sous-groupes

Afin de mener les analyses sur le plus grand nombre possible de sujets répartis par groupes cognitifs, l'atteinte phonologique et l'atteinte de l'empan VA ont été toutes deux définies à partir de la médiane du Z-score composite Phonologique (-0,64), moyenne des Z-scores sur les deux épreuves de conscience phonologique, et du Z-score composite VA (-1,18), moyenne des Z-scores sur les deux épreuves de report de lettres, pour l'ensemble du groupe. Les données normatives sont celles présentées dans la Partie 1.2.2.

Cette procédure a permis d'identifier 13 sujets présentant une atteinte phonologique, 13 sujets présentant une atteinte VA, neuf sujets ne présentant aucune atteinte et 10 sujets présentant les deux atteintes. Nos hypothèses portant sur des atteintes cognitives isolées permettant de répondre aux questions théoriques soulevées, nous n'avons analysé ni les données recueillies auprès du groupe sans atteinte ni celles collectées auprès du groupe présentant une atteinte mixte.

Parmi les 13 enfants dyslexiques présentant une atteinte phonologique isolée, huit ont commencé par l'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes (RAPDYS) et cinq par l'entraînement VA (MAEVA), puis les entraînements ont été inversés entre le post-test 1 et le post-test 2. Parmi les 13 enfants sélectionnés présentant une atteinte de l'empan VA, huit ont commencé par l'entraînement VA, et les cinq autres par l'entraînement à la perception catégorielle, avant d'invertir. Les caractéristiques de ces deux groupes sont présentées dans le Tableau 20. Les analyses de comparaisons (ANOVA) montrent que les deux groupes ne se distinguent ni sur l'âge chronologique, ni sur l'âge de lecture (Lefavrais, 1965) ni sur leurs capacités de lecture (Jacquier-Roux et al., 2010), et ce quel que soit le type de mots à lire. Par contre, leurs scores sont bien significativement distincts sur les mesures de conscience phonologique et d'empan VA.

**Tableau 20.** Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques sur les tâches de lecture, d’empan VA et de conscience phonologique.

Tâches	Groupe VA N = 13			Groupe Phonologique N = 13			Comparaisons VA vs Phono	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,24)	<i>p</i>
Age (mois)	126 (14.8)	100-145		131 (13.9)	113-153		<1	.327
Age de lecture (mois)	88 (11.5)	79-122		89 (6.1)	81-97		<1	.866
Score rég. (/20)	15 (4.0)	6-20	-3.29 (2.4)	16 (2.8)	11-19	-2.40 (2.4)	1.30	.265
Temps rég. (sec)	51 (24.3)	15-101	-3.35 (2.1)	44 (21.8)	21-87	-3.02 (3.0)	<1	.455
Score irrég. (/20)	10 (4.3)	4-19	-2.60 (1.6)	11 (4.2)	5-19	-2.17 (1.6)	<1	.443
Temps irrég. (sec)	51 (20.2)	15-83	-2.40 (1.7)	53 (25.8)	28 – 120	-3.17 (3.1)	<1	.789
Score PM (/20)	11 (4.6)	4-18	-2.86 (2.0)	12 (3.7)	6-17	-2.41 (1.7)	<1	.506
Temps PM (sec)	51 (17.2)	18-85	-1.66 (1.1)	51 (17.5)	24-82	-2.06 (1.8)	<1	.964
<b>Empan VA</b>								
Report global (%)	63 (9.0)	51-82	-1.96 (0.8)	78 (8.1)	66-94	-0.54 (0.7)	18.46	<.001
Report partiel (%)	67 (8.6)	46-78	-2.06 (1.1)	83 (9.9)	64-96	-0.35 (0.9)	19.22	<.001
Score VA	65 (5.9)	58-76	-2.01 (0.6)	80 (7.8)	71-94	-0.45 (0.7)	31.32	<.001
<b>Conscience phonologique</b>								
Omission (%)	82 (6.6)	70-90	-0.09 (0.4)	57 (8.5)	45-75	-1.92 (0.7)	69.45	<.001
Acronyme (%)	85 (7.8)	70-100	0.17 (0.4)	65 (19.8)	10-80	-0.94 (1.1)	12.36	<.001
Score phonologique	84 (4.3)	78-90	0.04 (0.24)	61 (10.2)	38-73	-1.43 (0.7)	55.86	<.001

### 5.5.2. Résultats

Des analyses de variance (ANOVA) à mesure répétées ont été réalisées sur les variables de Groupe (Phonologique ou VA) prenant comme condition soit la passation de l’entraînement ciblant le trouble cognitif en première intention (cible1) soit en seconde intention (cible2). La variable Temps prenant trois conditions (pré-test, post-test 1, post-test 2) a été entrée comme variable intra-individuelle.

Des analyses de contrastes et comparaisons univariées à chacun des temps ont été réalisées lorsque des effets significatifs ou tendanciels du groupe, du temps ou de l’interaction de ces deux variables ont été retrouvés.

#### *a) Pour le groupe avec trouble phonologique*

*Caractéristiques et comparaisons des deux sous-groupes*

Les caractéristiques et analyses de comparaisons sont présentées dans le Tableau 21. Le sous-groupe Phonologique ayant commencé par l'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes (Phono cible1, N = 8) est âgé de 10 ans et 8 mois en moyenne (ET = 13 mois). Le sous-groupe Phonologique ayant commencé par l'entraînement de l'empan VA, avant de suivre l'entraînement à la perception catégorielle (Phono cible2, N = 5) est âgé en moyenne de 11 ans et 5 mois (ET = 15 mois). Les deux groupes ne se distinguent pas significativement sur leur âge chronologique.

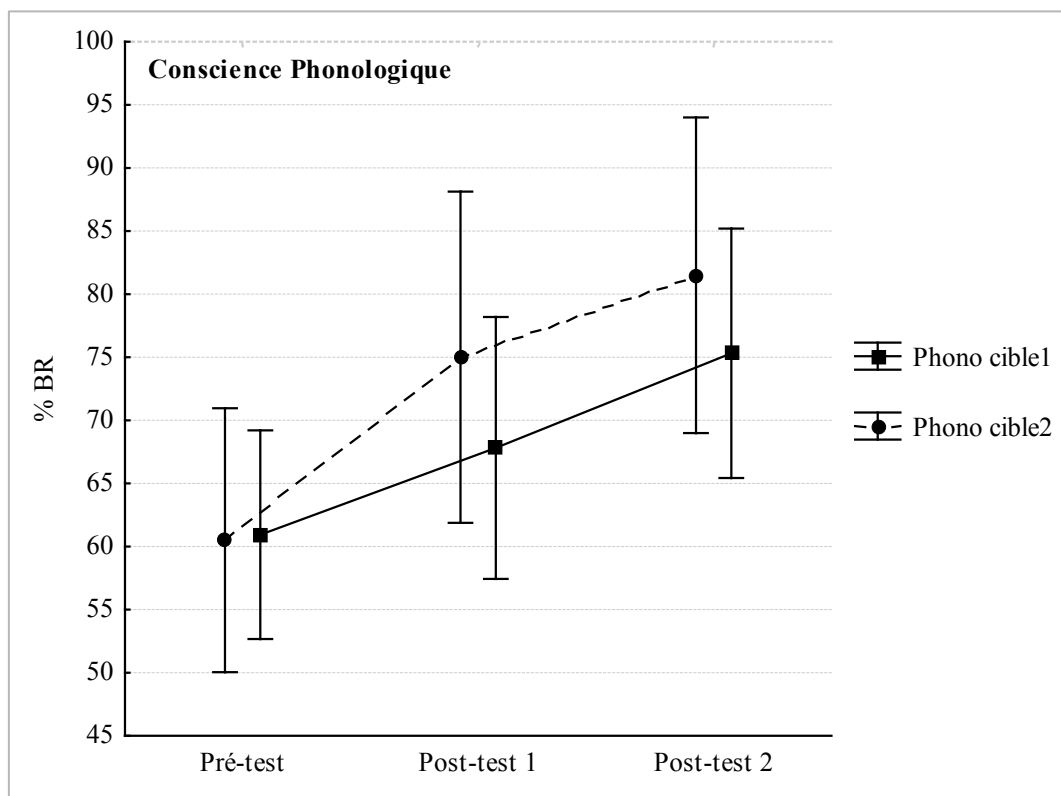
L'âge de lecture pour le groupe Phono cible1 et le groupe Phono cible2, évalué par le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965), est respectivement de 7 ans et 3 mois (ET = 6 mois) et de 7 ans et 8 mois (ET = 5 mois). Les deux groupes ne se distinguent pas significativement quant à leur âge de lecture et leur retard de lecture. On ne relève pas non plus de différences significatives entre les scores et temps de lecture des mots sur les épreuves de lecture initiales (Jacquier-Roux et al., 2010), mais une différence apparaît sur les scores en lecture de pseudo-mots. Cependant, les variances n'étant pas homogènes sur les scores et temps de lecture des mots réguliers, et sur les temps de lecture des mots irréguliers, des tests paramétriques ont été menés sur ces variables. Les résultats montrent que les scores et temps de lecture des mots réguliers sont à la limite du seuil de significativité [respectivement  $p = .077$  et  $p = .078$ ]. L'ensemble des données peut donc suggérer que le groupe Phono cible1, par le hasard de la répartition des sujets, présente globalement de moins bonnes capacités de lecture que le groupe Phono cible2. Cependant, le retard de lecture étant équivalent, et nos hypothèses portant principalement sur des effets d'interaction, et afin de ne pas exclure de sujets, nous avons poursuivi les analyses malgré ce manque d'appariement.

**Tableau 21.** Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques Phonologiques sur les tâches de lecture

Tâches	Groupe Phono cible1 N = 8			Groupe Phono cible2 N = 5			Comparaisons	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,11)	<i>p</i>
Age (mois)	128 (12.9)	113 - 151		137 (14.8)	121 - 153		1.41	.260
Age de lecture (mois)	87 (11.5)	81 - 95		92 (5.1)	85 - 97		3.03	.109
Retard lecture (mois)	-41 (12.2)	-56 - -25		-45 (16.1)	-68 - -30		<1	.648
Score rég. (/20)	15 (3.1)	11 - 18	-3.05 (2.7)	18 (1.3)	16 - 19	-1.36 (1.3)	/	/
Temps rég. (sec)	53 (23.8)	24 - 87	-4.05 (3.5)	30 (6.4)	21 - 37	-1.37 (0.9)	/	/
Score irrég. (/20)	10 (5.0)	5 - 19	-2.35 (1.8)	12 (2.7)	9 - 15	-1.88 (1.2)	<1	.525
Temps irrég. (sec)	60 (31.1)	28 - 120	-3.79 (3.8)	42 (6.3)	36 - 50	-2.18 (0.8)	/	/
Score PM (/20)	10 (3.4)	6 - 14	-3.11 (1.6)	15 (2.2)	12 - 17	-1.28 (1.1)	6.82	.024
Temps PM (sec)	54 (17.4)	24 - 82	-2.31 (1.9)	47 (18.5)	34 - 79	-1.67 (1.7)	<1	.485

### Sur les épreuves de conscience phonologique

L'ANOVA à mesures répétées ne montre pas d'effet du Groupe sur le score composite de conscience phonologique [ $F < 1$ ] ni d'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.77$  ;  $F(2,10) = 1.45$  ;  $p = .279$ ], bien qu'un effet principal du Temps soit relevé [Wilk's  $\lambda = 0.14$  ;  $F(2,10) = 29.95$  ;  $p < .01$ ]. Les analyses de contrastes montrent que seule la différence entre le pré-test et le post-test 1 est significative pour le groupe phono cible 2 [ $t = -2,91$ ,  $p < .05$ ], c'est-à-dire à la suite de l'entraînement MAEVA, mais aucun des contrastes d'interaction n'est significatif (en particulier pour la première période [ $t = 1,20$  ;  $p = .255$ ]). Les résultats sont présentés dans la Figure 35.

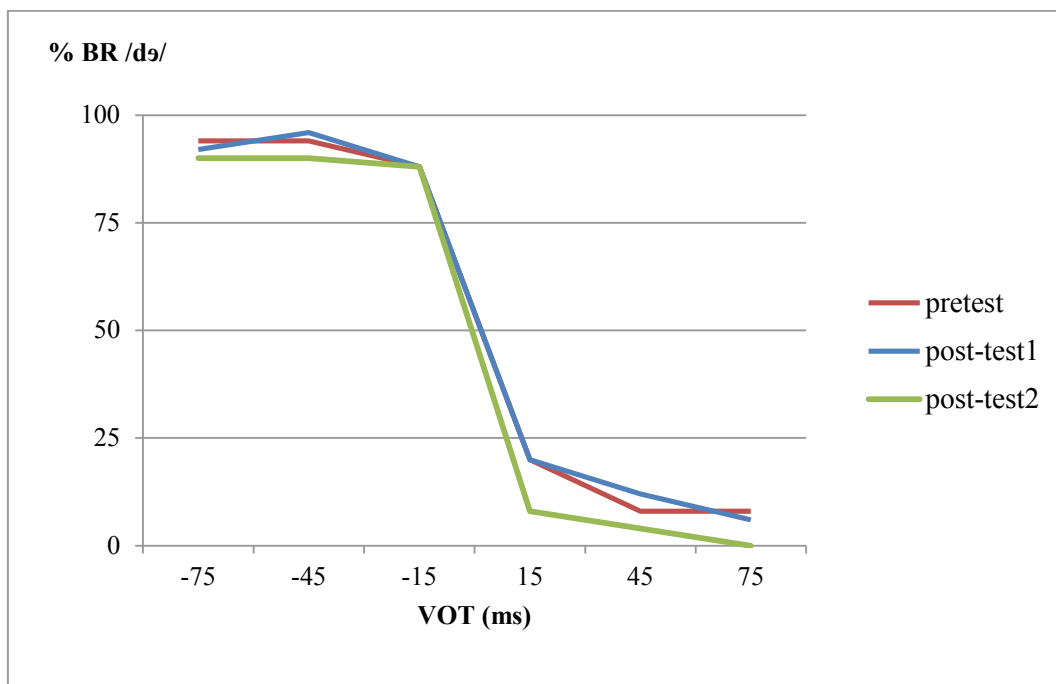
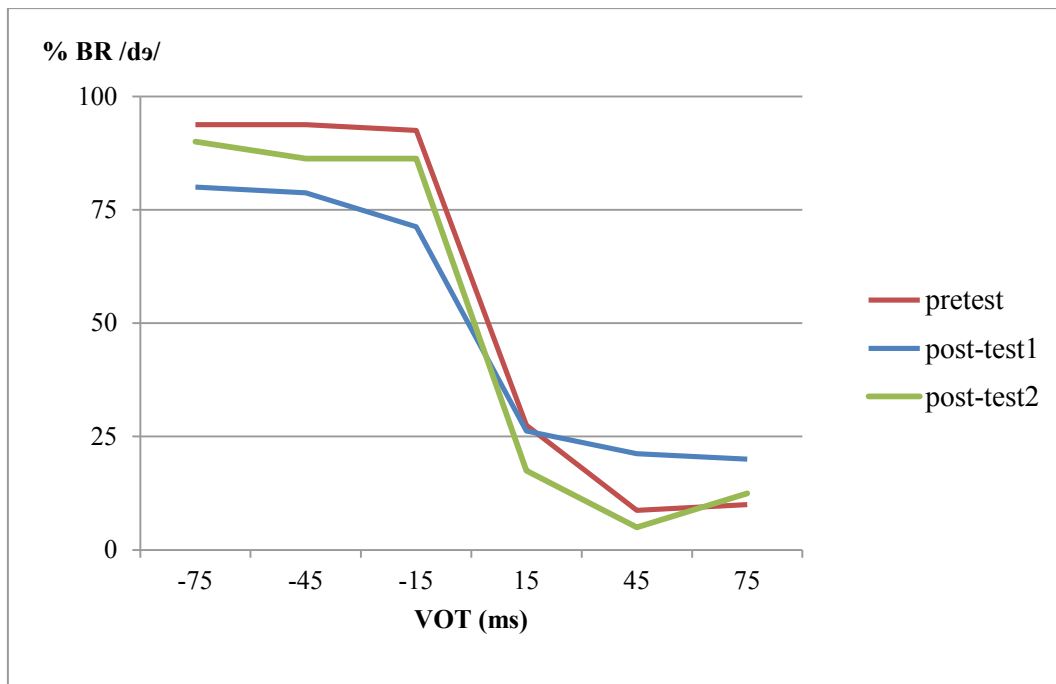


**Figure 35.** Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes Phonologiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

### Sur les épreuves de perception catégorielle

Concernant les capacités d'identification, on ne relève aucun effet significatif, ni du Groupe, ni du Temps, ni d'interaction pour la mesure de la frontière ( $F < 1$ ), de la pente ( $F < 1$  sauf pour l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.81$  ;  $F(2,10) = 1.29$ ,  $p = .339$ ]), et de la largeur asymptotique ( $F < 1$  sauf pour l'effet du Groupe [ $F(1,11) = 1.88$ ,  $p = .197$ ]). Les courbes d'identification sont présentées Figure 36.

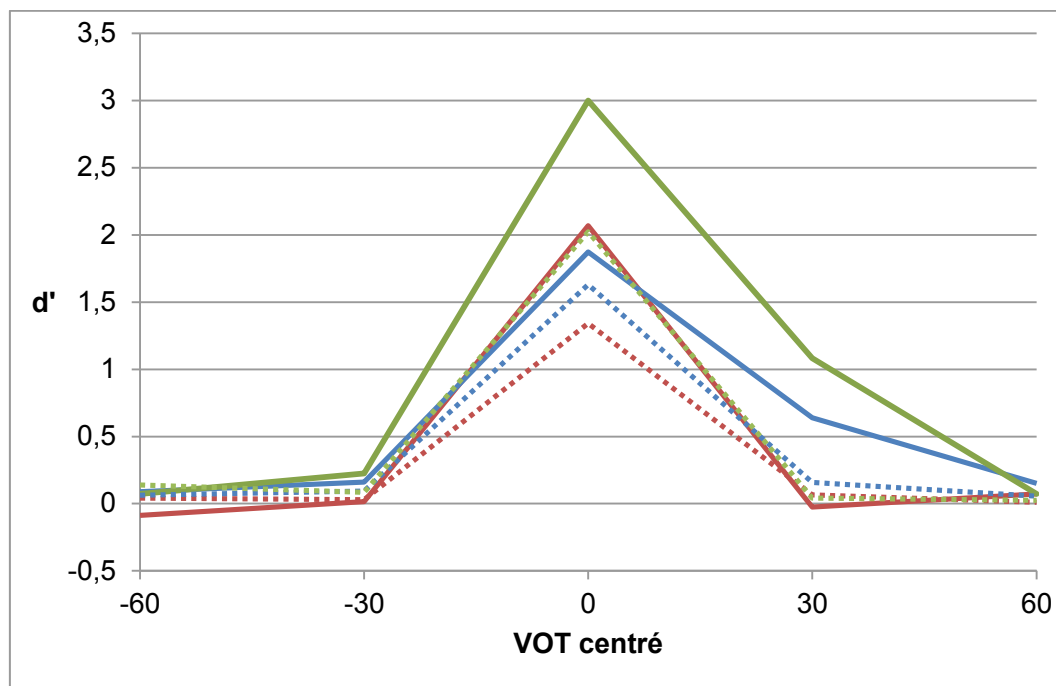
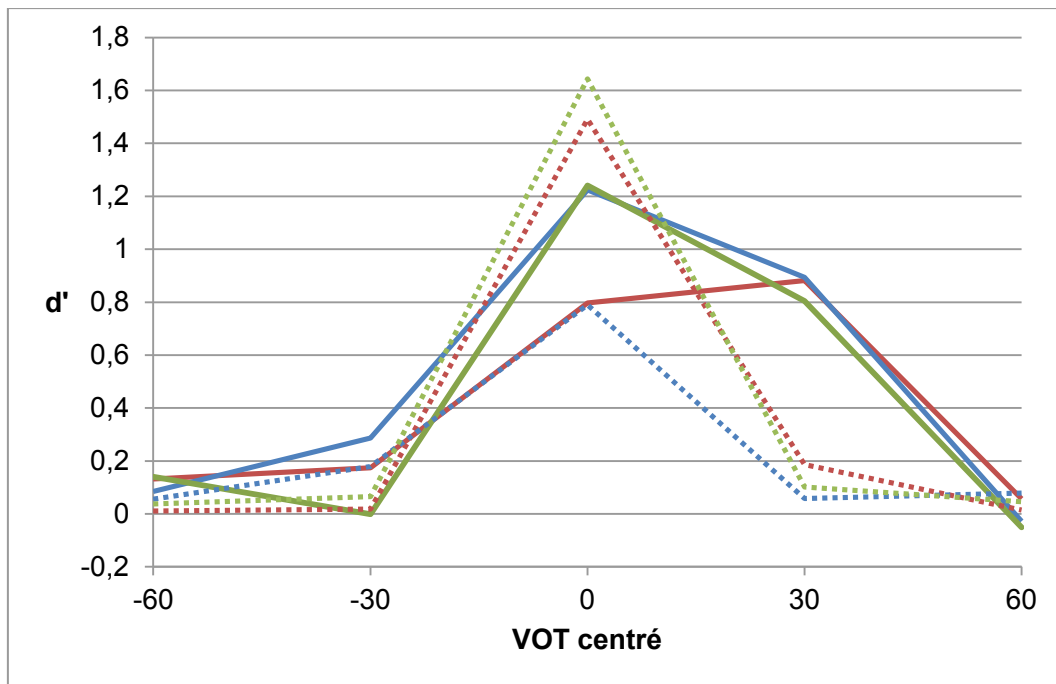




**Figure 36.** Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe Phono cible1 (en haut) et Phono cible2 (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.

Concernant la discrimination, on ne relève pas d'effet du Groupe sur le pic de  $d'$  prédit ( $F < 1$ ), ni d'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.81$  ;  $F(2,10) = 1.21$ ,  $p = .339$ ], ni d'effet d'interaction. On relève un effet significatif du Groupe sur le pic de  $d'$  observé [ $F(1,11) = 10.14$ ,  $p < .01$ ] et une tendance significative de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.81$  ;  $F(2,10) = 3.66$ ,  $p = .064$ ]. Les analyses de contrastes montrent en fait que seule la progression du groupe Phono cible 2 est significative et seulement entre le post-test 1 et le post-test 2 [ $t = -2.85$ ,  $p < .05$ ] ; la différence

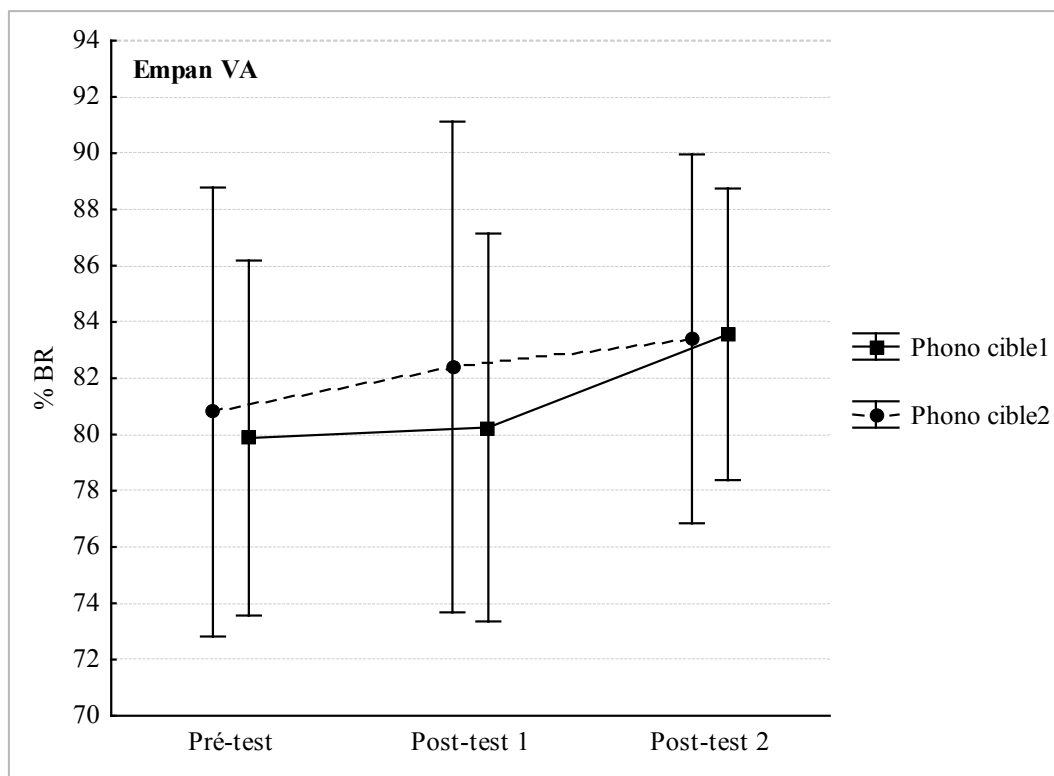
de pic de  $d'$  observé entre les deux sous-groupes et entre les deux post-tests est à la limite du seuil de significativité [ $t = -1.87$ ,  $p = .088$ ]. Les résultats des analyses univariées montrent que la différence entre les deux groupes n'est significative que pour les scores du post-test 2 [ $F(1,11) = 18.23$ ,  $p < .01$ ] mais on relève une tendance significative au pré-test [ $F(1,11) = 3.12$ ,  $p = .100$ ], suggérant que les deux groupes ne sont pas appariés. Pour les paires de stimuli centrés à 0 ms de VOT, on relève un effet du Groupe [ $F(1,11) = 12.53$ ,  $p < .01$ ] et une tendance de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.61$  ;  $F(2,10) = 3.23$ ,  $p = .083$ ] mais pas d'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.69$  ;  $F(2,10) = 2.20$ ,  $p = .162$ ]. Les analyses univariées montrent un effet du Groupe au pré-test [ $F(1,11) = 6.54$ ,  $p < .05$ ] et au post-test 2 [ $F(1,11) = 15.56$ ,  $p < .01$ ] ; les analyses de contrastes d'interaction montrent que la différence de progression entre les deux groupes est à la limite de la significativité pour la seconde période [ $t = -2.12$  ;  $p = .057$ ] et non pour la première. En effet, les analyses de contrastes par groupe montrent que seul le groupe Phono cible 2 a progressé significativement à la seconde période [ $t = -2.75$  ;  $p < .05$ ]. Les courbes moyennes représentées dans la Figure 37 semblent également suggérer des modifications au cours du temps et en fonction du groupe pour les paires centrées à +30ms de VOT. Cependant, les analyses ne montrent aucun effet des variables Temps et Groupe (respectivement [Wilk's  $\lambda = 0.79$  ;  $F(2,10) = 1.36$ ,  $p = .300$ ] et [ $F(1,11) = 1.01$ ,  $p = .336$ ]), ni d'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.74$  ;  $F(2,10) = 1.79$ ,  $p = .216$ ]. On remarque que le pic d'amplitude de  $d'$  est cependant centré à +30ms de VOT groupe Phono cible1 au pré-test (pour cinq enfants sur les huit), puis le pic de discrimination est centré à 0 ms, à la frontière catégorielle, après RAPDYS.



**Figure 37.** Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) au pré-test, post-test 1 et post-test 2 pour le groupe Phono cible 1 (en haut) et le groupe Phono cible 2 (en bas).

### *Sur les épreuves d'empan VA*

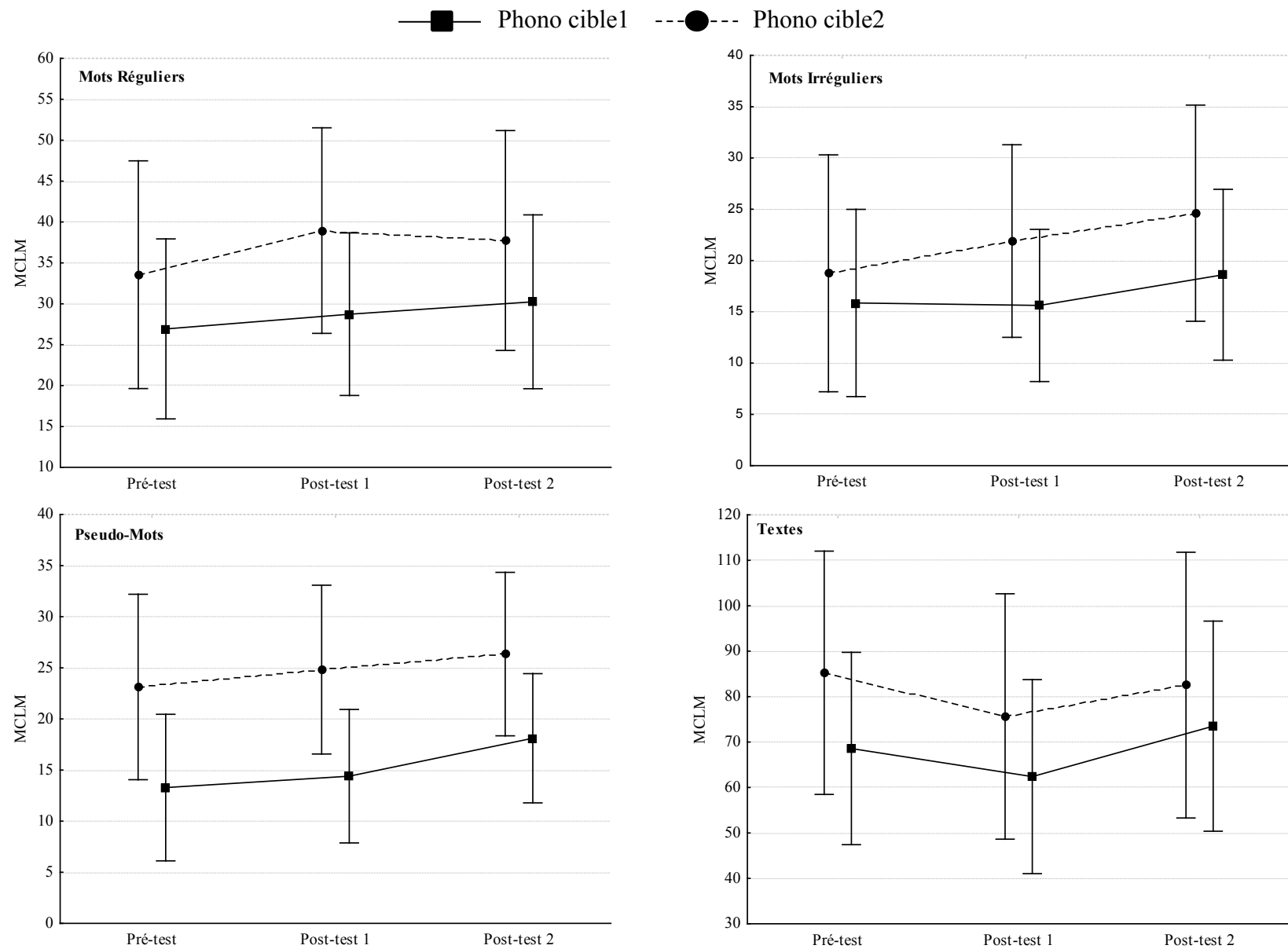
L'effet du Groupe sur le score composite d'empan VA n'est pas significatif ( $F < 1$ ) mais l'effet du Temps à la limite du seuil de significativité [Wilk's  $\lambda = 0.62$  ;  $F(2,10) = 3.05$ ,  $p = .092$ ]. L'interaction n'est pas significative ( $F < 1$ ), ni aucune des analyses de contrastes ou comparaisons univariées entre les deux groupes. Les résultats sont présentés dans la Figure 38.



**Figure 38.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes Phono. au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

### *Sur les épreuves de lecture*

Le nombre de mots réguliers correctement lus par minute ne varie pas significativement en fonction du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.76$  ;  $F(2,10) = 1.58$ ,  $p = .253$ ]. On ne relève pas non plus d'effet du Groupe [ $F(1,11) = 1.30$ ,  $p = .279$ ], ni d'interaction ( $F < 1$ ). Sur les listes de mots irréguliers, l'effet du Temps est significatif [Wilk's  $\lambda = 0.40$  ;  $F(2,10) = 7.25$ ,  $p < .05$ ] tandis que l'effet du Groupe ne l'est pas ( $F < 1$ ), et on ne relève pas d'effet d'interaction ( $F < 1$ ). Aucun contraste d'interaction n'est significatif et les analyses de contrastes par groupe montrent une tendance seulement de la différence de performances pour le groupe Phono cible1 entre le post-test1 et le post-test2 à  $p = .097$ . En lecture de pseudo-mots, l'effet du Groupe est tendanciel [ $F(1,11) = 4.09$ ,  $p = .068$ ], comme le suggèrent les données sur les épreuves de lecture initiales. L'effet du Temps est significatif [Wilk's  $\lambda = 0.51$  ;  $F(2,10) = 4.75$ ,  $p < .05$ ] mais l'effet d'interaction ne l'est pas ( $F < 1$ ). Les résultats des analyses univariées montrent que la différence de performances entre les deux sous-groupes est à la limite du seuil de significativité au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2 (respectivement  $p = .089$ ,  $p = .052$ ,  $p = .103$ ). Les analyses de contrastes montrent que seule la différence entre les performances au post-test 1 et ceux au post-test 2 est significative, pour le groupe Phono cible1 seulement. Les analyses des performances en lecture de textes montrent une tendance significative de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.62$  ;  $F(2,10) = 3.12$ ,  $p = .088$ ], aucun effet du Groupe ( $F < 1$ ), et aucun effet d'interaction ( $F < 1$ ). Aucune analyse de contrastes ni effets univariés n'est significatif. L'ensemble des courbes d'évolution des performances sur chacune des épreuves de lecture est présenté dans la Figure 39.



**Figure 39.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes Phonologiques au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCLM = Mots correctement lus par minute).

## Résumé

Les analyses ont ici porté spécifiquement sur le sous-groupe d'enfants dyslexiques qui présentait une atteinte des capacités de conscience phonologique, sans atteinte de l'empan VA. Les résultats montrent que les capacités de conscience phonologique de ces enfants augmentent significativement entre les trois évaluations, mais sans qu'un effet supérieur de MAEVA ou de RAPDYS n'ait pu être mis en évidence, ce qui ne permet pas de contrôler non plus de possibles effets test-retest, placebos ou de maturation. Sur les épreuves de perception catégorielle de phonèmes, aucune modification des performances n'a été mise en évidence sur l'épreuve d'identification de phonèmes. Sur l'épreuve de discrimination de phonèmes, plus directement visée par l'entraînement RAPDYS, aucune modification du pic de discrimination prédit n'est relevée. Mais pour le pic de discrimination observé, le contraste d'interaction limite significatif entre les deux sous-groupes suggère un effet spécifique tendanciel de l'entraînement RAPDYS pour la seconde période d'entraînement seulement. Pour les paires inter-catégorielles (centrées à 0 ms), de même le contraste d'interaction limite significatif entre les deux sous-groupes montre un effet spécifique tendanciel de l'entraînement RAPDYS pour la seconde période d'entraînement seulement. Pour ces deux mesures, les données suggèrent cependant un manque d'appariement initial entre les deux sous-groupes. Les données suggèrent d'ailleurs que la progression est plus marquée pour les enfants présentant de meilleures capacités de discrimination de phonèmes (groupe Phono cible2) par rapport au groupe Phono cible1 qui semble présenter une atteinte de la perception catégorielle plus importante. Ces effets sont cependant indissociables de possibles effets d'ordre des entraînements, l'entraînement MAEVA précédant l'entraînement à la perception catégorielle dans le groupe Phono cible2 contrairement au groupe Phono cible1. Concernant la valeur observée de  $d'$  pour les paires centrées à +30ms, aucun effet ni interaction n'est significatif, bien que les courbes suggèrent que le pic d'amplitude initialement centré à +30ms pour le groupe Phono cible1 s'ajuste sur la frontière à 0ms après l'entraînement RAPDYS. Le groupe Phono cible2 présente une courbe de discrimination qui apparaît plus proche des données obtenues lors de l'Etude III sur un plus grand nombre de sujet. Ainsi ce groupe, pour lequel nous avons obtenu les effets attendus de l'entraînement RAPDYS sur les variables précédemment citées (pic observé et pic observé à 0 ms), est peut-être plus représentatif des capacités générales de perception catégorielle des enfants caractérisés par un trouble de nature phonologique.

Concernant les capacités d'empan VA, la forme de la courbe de progression à mesure des entraînements est bien similaire à celle obtenue lors de l'analyse portant sur l'ensemble du groupe (Partie 1), montrant une progression après MAEVA sur la première période se prolongeant à la seconde période, et une progression après MAEVA sur la seconde période. Mais les progrès semblent ici moins importants (comme le montrent la tendance de l'effet du temps et l'absence d'effets d'interaction). Les sujets présentent en effet initialement, du fait des critères de sélection, un empan VA déjà d'assez bonne qualité, la marge de progression potentielle est donc de ce fait moins importante. Ceci pourrait suggérer conformément à nos hypothèses que les effets obtenus sur l'ensemble du groupe ne reflètent en fait que les progrès

d'un sous-groupe de sujets, ce que nous pourrions confirmer dans l'analyse suivante réalisée auprès du sous-groupe présentant spécifiquement un trouble de l'empan VA.

Concernant les capacités de lecture du groupe avec trouble phonologique, on ne relève pas de progression significative de la lecture de mots réguliers, quel que soit le sous-groupe considéré (cible1 ou cible2). La lecture de mots irréguliers progresse en revanche significativement, mais l'effet d'interaction avec le groupe n'est pas significatif. Les analyses de contrastes suggèrent que cet effet du temps pourrait être principalement lié à la progression du groupe Phono cible2, soit du fait d'un effet d'ordre des entraînements, l'entraînement VA précédant l'entraînement phonologique, soit d'un effet de MAEVA. Ces deux hypothèses sont appuyées par l'observation d'une tendance de l'effet de MAEVA pour le groupe Phono cible1, c'est-à-dire dans la seconde période ; cette amélioration pourrait également être due à un effet à plus long terme des bénéfices de RAPDYS, tels les effets à long terme obtenus sur un plus grand nombre de sujet dans la Partie 1. L'absence d'effets d'interaction ne nous permet pas cependant d'attester de la spécificité de la progression globale observée suite aux entraînements. Concernant la lecture de pseudo-mots, l'effet global du temps et/ou des entraînements est tendanciel, mais de même nous ne relevons pas d'effet d'interaction avec les groupes. Les analyses de contrastes montrent cependant que seule la progression suivant MAEVA est significative lorsque l'entraînement est proposé en seconde intention. Ceci suggère donc à l'inverse que les effets en lecture de mots irréguliers sont soit dus à un effet à long terme de RAPDYS, soit à un effet de l'ordre des entraînements (l'entraînement phonologique précédant l'entraînement VA), soit à un effet du niveau de trouble initial (manque d'appariement entre les sous-groupes), puisque les enfants les plus en difficultés semblent davantage progresser. Enfin, concernant la lecture de textes, seule une tendance de l'effet du temps est retrouvée, mais l'observation des courbes de progression ne suggère pas de réelle progression, et on ne relève aucun effet d'interaction. Ainsi, bien que des effets sur la lecture soient constatés, les résultats, en particulier l'absence d'interaction, ne permettent pas de juger du rôle spécifique de chacun des entraînements sur ces progrès.

#### ***b) Pour le groupe avec trouble de l'empan VA***

Les caractéristiques et analyses de comparaisons sont présentées dans le Tableau 22. Le sous-groupe VA ayant commencé par l'entraînement de l'empan VA (VA cible1, N = 8) est âgé de 10 ans et 2 mois en moyenne (ET = 15 mois). Le sous-groupe VA ayant commencé par l'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes, avant de suivre l'entraînement de l'empan VA (VA cible2, N = 5) est âgé en moyenne de 10 ans et 11 mois (ET = 14 mois). Les deux sous-groupes ne se distinguent pas significativement sur leur âge chronologique.

L'âge de lecture du groupe VA cible1 et du groupe VA cible2, évalué par le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965), est respectivement de 7 ans et 2 mois (ET = 6 mois) et de 7 ans et 7 mois (ET = 17 mois)<sup>23</sup>. Les deux groupes ne se distinguent pas significativement quant à leur âge de lecture, leur retard de lecture et leurs capacités de lecture de mots et pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010).

**Tableau 22.** Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques VA sur les tâches de lecture.

Tâches	Groupe VA cible1 N = 8			Groupe VA cible2 N = 5			Comparaisons	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,11)	p
Age (mois)	122 (14.9)	100 - 143		131 (14.2)	112 - 145		1.25	.286
Age de lecture (mois)	86 (6.4)	79 - 99		92 (17.2)	82 - 122		F<1	.415
Retard lecture (mois)	-36 (14.2)	-59 - -21		-40 (14.3)	-58 - -23		F<1	.653
Score rég. (/20)	14 (4.1)	6 - 19	-3.58 (2.0)	16 (3.5)	11 - 20	-2.83 (3.2)	1.53	.242
Temps rég. (sec)	55 (27.2)	25 - 101	-3.27 (1.7)	46 (20.2)	15 - 70	-3.47 (2.8)	F<1	.543
Score irrég.(/20)	8 (3.4)	4 - 13	-2.94 (1.1)	12 (5.3)	6 - 19	-2.07 (2.2)	1.88	.198
Temps irrég. (sec)	54 (20.9)	25 - 83	-2.33 (1.5)	45 (19.7)	15 - 69	-2.52 (2.3)	F<1	.441
Score PM (/20)	10 (4.7)	4 - 14	-2.91 (1.8)	12 (5.0)	5 - 18	-2.78 (2.6)	F<1	.680
Temps PM (sec)	56 (17.5)	37 - 85	-1.86 (0.8)	42 (14.5)	18 - 57	-1.34 (1.5)	2.11	.174

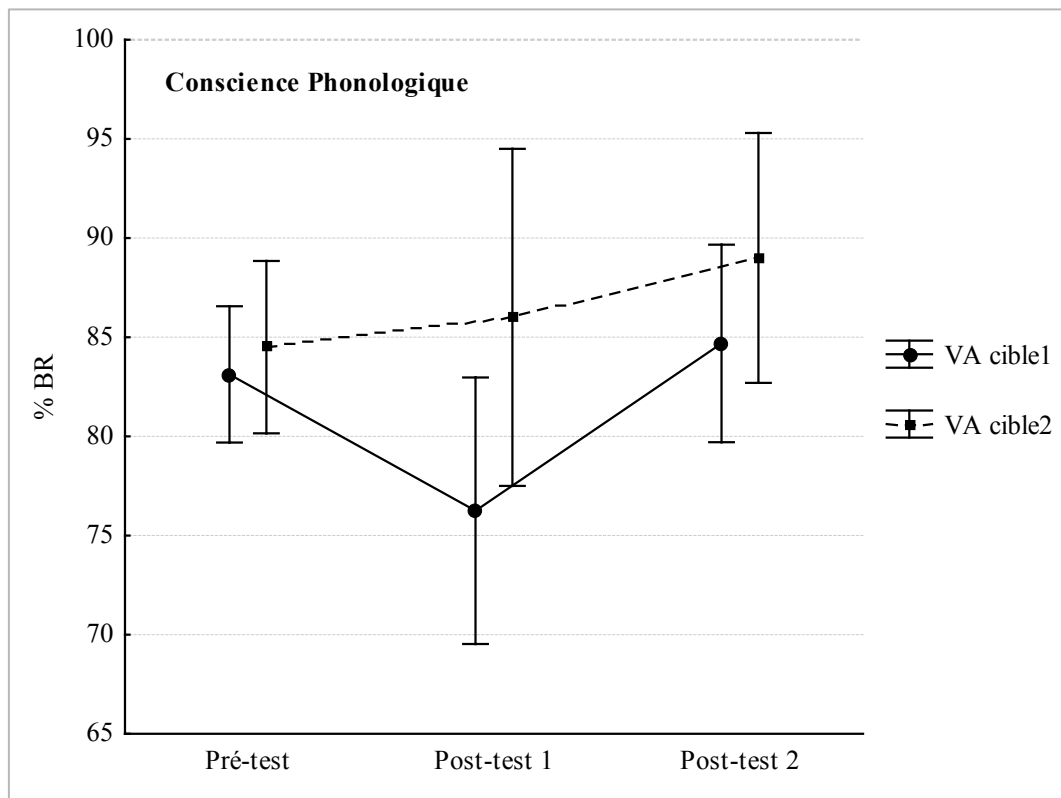
#### *Sur les épreuves de conscience phonologique*

L'ANOVA à mesures répétées ne montrent pas d'effet du Groupe sur le score composite de conscience phonologique [ $F(1,11) = 2.97$  ;  $p = .112$ ] ni d'effet d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.75$ ;  $F(2,10) = 1.66$  ;  $p = .239$ ], mais un effet principal du Temps est relevé [Wilk's  $\lambda = 0.36$ ;  $F(2,10) = 9.07$  ;  $p < .01$ ]. Les analyses univariés montrent que la différence de scores au post-test 1 entre les deux sous-groupes est tendancielle [ $F(1,11) = 3.92$  ;  $p = .073$ ]. Les analyses de contrastes montrent également une tendance significative de la différence de scores entre les deux groupes entre le post-test 1 et le post-test 2 [ $t = -1.85$  ;  $p = .091$ ], et la différence de scores entre le post-test 1 et le post-test 2 est significative pour le sous-groupe VA cible 1 [ $t = -4.63$  ;  $p < .001$ ], c'est-à-dire après RAPDYS. Devant la faible homogénéité des variances entre les groupes au post-test1 [Test de Levene :  $F(1,11) = 3.47$ ,  $p = .090$ ], des tests non

<sup>23</sup> Sur le test de Levene, on relève une tendance significative à  $p = .095$ . Cependant le retard de lecture est bien apparié entre les deux groupes [ $F < 1$ ].



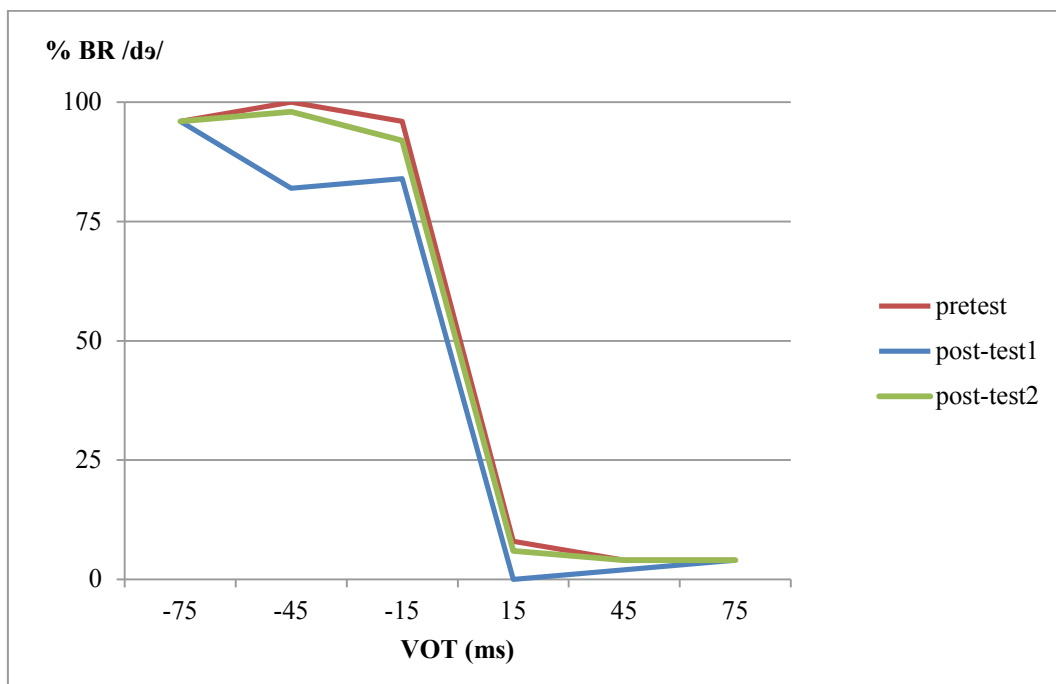
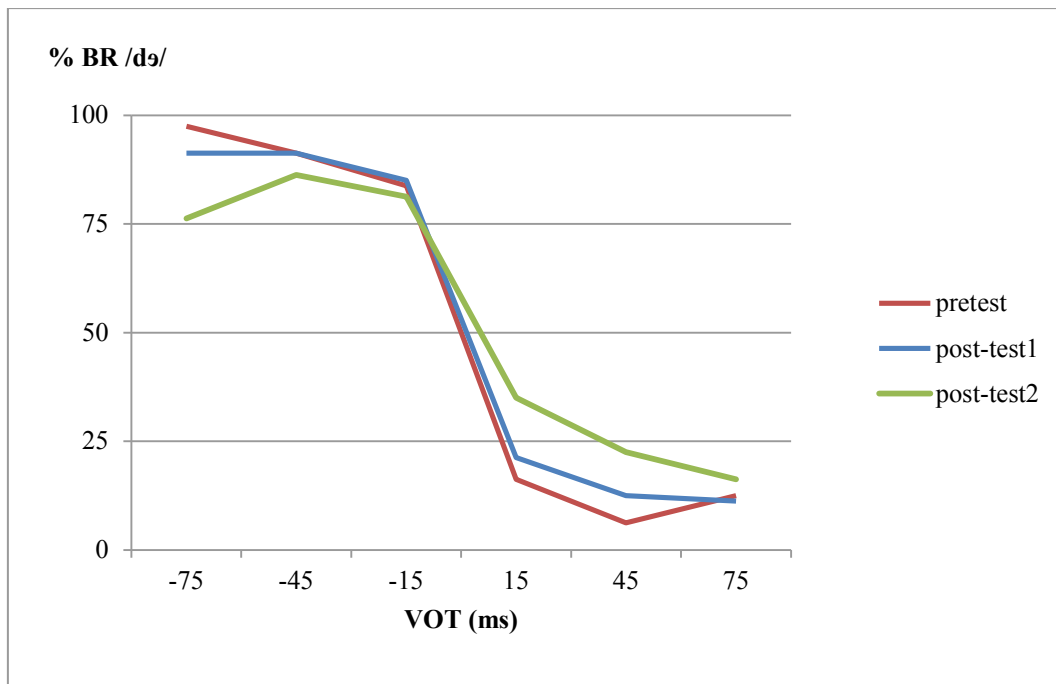
paramétriques ont été réalisés et montrent un effet du temps significatif pour le sous-groupe VA cible1 seulement [ANOVA du Chi<sup>2</sup> (N = 8, dl = 2) = 6.28 ; p <.05], une différence significative entre les groupes au post-test 1 [Test U de Mann-Whitney : Z = 2.05 ; p <.05], et une différence de delta des progressions entre les deux périodes significative pour le groupe VA cible1 seulement [ANOVA du Chi<sup>2</sup> (N = 8, dl = 1) = 7.00 ; p < .01]. Les scores moyens pour chacun des temps et pour chaque groupe sont présentés dans la Figure 40.



**Figure 40.** Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

#### *Sur les épreuves de perception catégorielle*

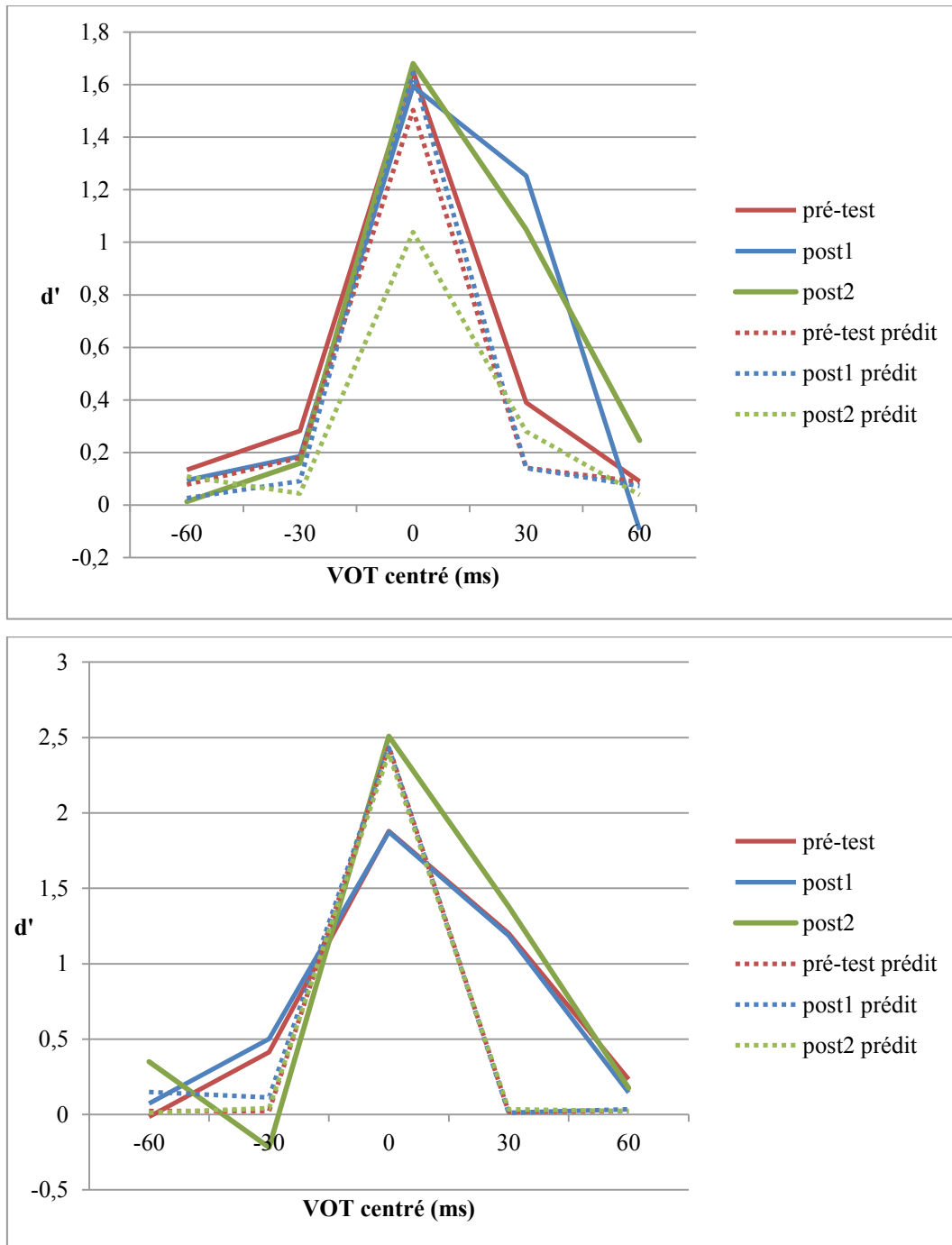
Sur la tâche d'identification, on ne relève aucun effet du Groupe [ $F(1,11) = 1.98$  ;  $p = .187$ ], du Temps ( $F < 1$ ) ou d'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.82$  ;  $F(2,10) = 1.63$  ;  $p = .360$ ] concernant la frontière catégorielle, la pente ( $F < 1$ ) ou la largeur de l'asymptote ( $F < 1$  sauf pour l'effet du Groupe [ $F(1,11) = 1.86$  ;  $p = .200$ ]). Les courbes d'identification sont représentées dans la Figure 41.



**Figure 41.** Courbes d'identification de la syllabe /də/ pour le groupe VA cible1 (en haut) et VA cible2 (en bas) au pré-test, au post-test 1 et au post-test 2.

Concernant les capacités de discrimination, l'effet du Groupe sur le pic de  $d'$  prédit est à la limite significatif [ $F(1,11) = 4.79$  ;  $p = .051$ ], mais ni l'effet du Temps ( $F < 1$ ) ni l'effet d'interaction ne sont significatifs ( $F < 1$ ). Concernant l'effet du Groupe, les résultats des analyses univariées montrent une tendance de cet effet pour le post-test 2 seulement [ $F(1,11) = 4.13$  ;  $p = .067$ ] ; mais aucune analyse de contrastes n'est par ailleurs significative. On ne relève pas non plus de différence entre les deux groupes sur le pic d'amplitude [ $F(1,11) = 1.39$  ;  $p = .263$ ], ni d'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.82$  ;  $F(2,10) = 1.11$  ;  $p = .367$ ], ni

interaction ( $F < 1$ ). Pour les paires centrées à 0 ms de VOT, on ne relève ni effet du Groupe ( $F < 1$ ), ni effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.79$  ;  $F(2,10) = 1.31$  ;  $p = .311$ ], ni interaction ( $F < 1$ ). Sur la valeur de VOT centrée à +30ms, l'effet du Groupe n'est pas significatif ( $F < 1$ ), mais on relève une tendance de l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.60$  ;  $F(2,10) = 3.29$  ;  $p = .080$ ]. L'effet d'interaction n'est cependant pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.66$  ;  $F(2,10) = 2.58$  ;  $p = .125$ ]. Les analyses de comparaison univariées ne montrent pas d'effet significatif du Groupe à aucun des Temps, mais l'analyse de contrastes met en évidence une différence significative entre le pré-test et le post-test 1 de la différence de scores entre les sous-groupes [ $t = -2.30$  ;  $p > .05$ ]. Une augmentation de la perception intra-catégorielle lors de la première période pour le groupe VA cible1 peut donc être évoquée, mais l'observation des données brutes (Figure 42) suggère ici encore un problème d'appariement des groupes au pré-test.

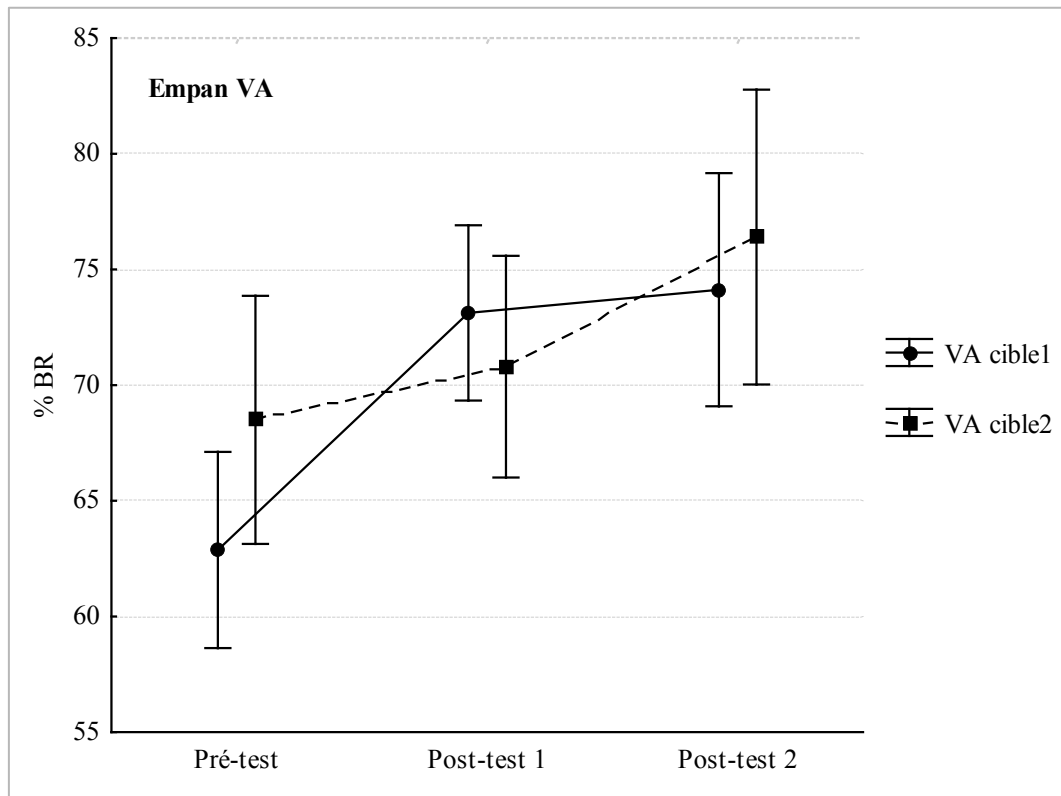


**Figure 42.** Courbes de discrimination observées (traits pleins) et prédites (traits en pointillés) au pré-test, post-test 1 et post-test 2 pour le groupe VA cible1 (en haut) et le groupe VA cible 2 (en bas).

### *Sur les épreuves d'empan VA*

L'effet du Groupe n'est pas significatif sur le score composite d'empan VA ( $F < 1$ ), mais on relève un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.33$  ;  $F(2,10) = 10.31$  ;  $p < .01$ ] ; l'effet d'interaction n'est cependant pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.73$  ;  $F(2,10) = 1.87$  ;  $p = .204$ ]. Les analyses de contrastes montrent néanmoins une tendance significative de l'effet de la différence entre les deux groupes, entre le pré-test et post-test 1 seulement [ $t = -2.02$  ;  $p = .069$ ] ; la progression

pour le groupe VA cible1 est d'ailleurs significative [ $t = -4.20$  ;  $p < .01$ ]. Bien que les courbes (Figure 43) suggèrent une progression après MAEVA pour le groupe VA cible2, c'est-à-dire entre le post-test 1 et le post-test 2, on ne relève pas d'effet significatif de ce contraste [ $t = -1.77$  ;  $p = .105$ ].



**Figure 43.** Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

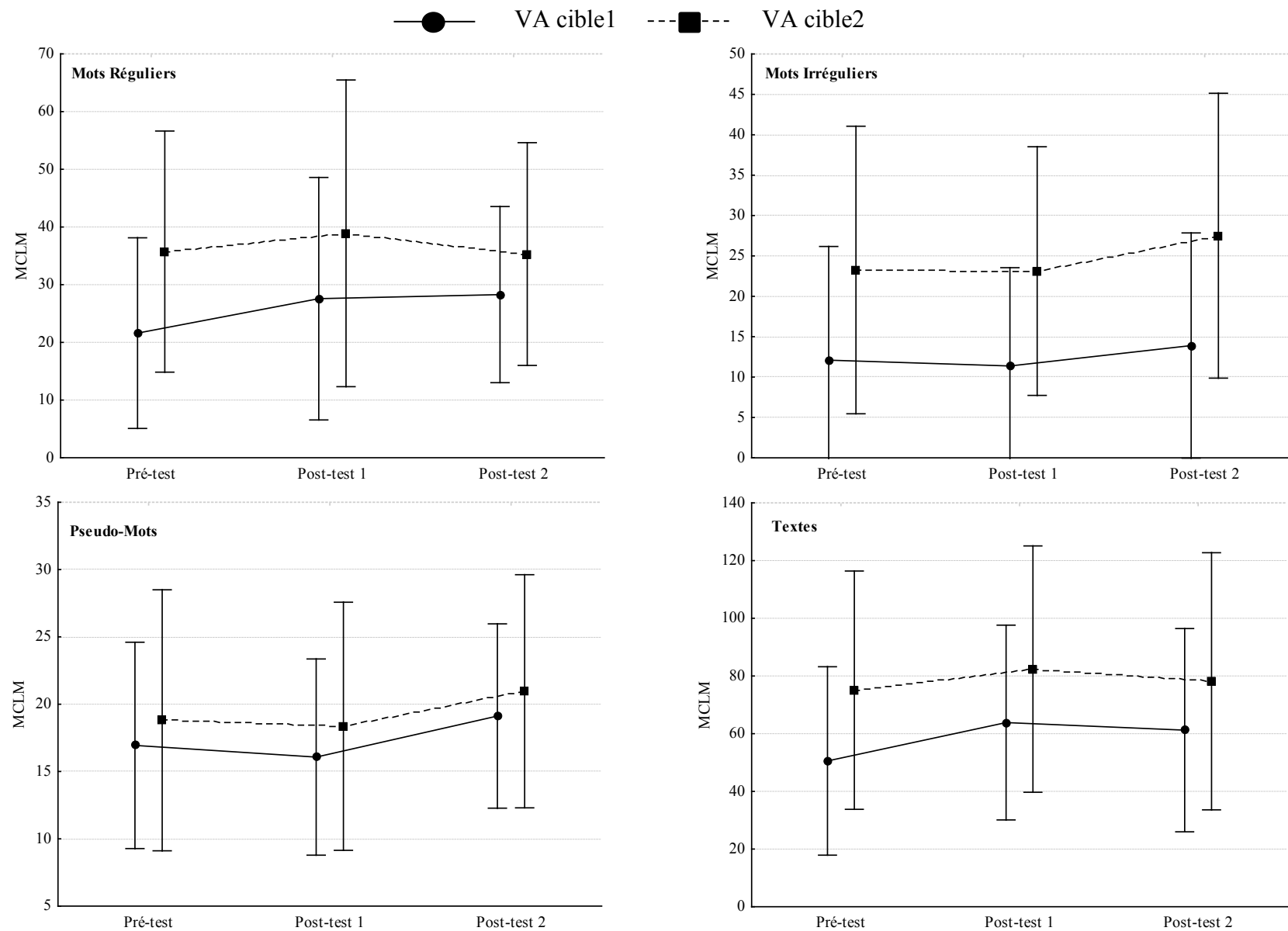
### *Sur les épreuves de lecture*

L'effet du Groupe sur le nombre de mots réguliers correctement lus par minute n'est pas significatif [ $F < 1$ ], ni l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.77$  ;  $F(2,10) = 1.48$  ;  $p = .275$ ], ni l'effet d'interaction ( $F < 1$ ). Pour les mots irréguliers, on ne relève pas non plus d'effet du Groupe [ $F(1,11) = 1.57$  ;  $p = .236$ ], ni d'effet d'interaction ( $F < 1$ ), mais un effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.52$  ;  $F(2,10) = 3.59$  ;  $p < .05$ ]. Aucun résultat univarié n'est significatif, ni aucun contraste ; seule une tendance est relevée pour le groupe VA cible2 entre le post-test 1 et le post-test 2.

Une forte variabilité des scores entre les groupes est notée sur ce type de mots<sup>24</sup>. L'effet du Groupe sur le nombre de pseudo-mots correctement lus n'est pas significatif [ $F < 1$ ], ni l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.74$  ;  $F(2,10) = 1.71$  ;  $p = .229$ ], ni l'effet d'interaction ( $F < 1$ ). On ne relève pas non plus d'effet du Groupe dans les textes [ $F < 1$ ], ni effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.71$  ;  $F(2,10) = 2.02$  ;  $p = .184$ ], ni effet d'interaction ( $F < 1$ ). Les performances moyennes sur l'ensemble des épreuves de lecture sont présentées dans la Figure 44.

---

<sup>24</sup> Les tests de Levene d'homogénéité des variances ne sont cependant pas significatifs ; mais une tendance est retrouvée pour les listes de mots irréguliers au pré-test ( $p = .093$ ) et au post-test 1 ( $p = .070$ ).



**Figure 44.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).

## Résumé

Nous avons ici étudié les effets des deux entraînements, un entraînement VA et un entraînement à la perception catégorielle de phonèmes, sur un sous-groupe de sujets dyslexiques présentant une atteinte de l'empan VA, mais des capacités de conscience phonologique préservées. Les résultats montrent un effet significatif des entraînements sur les capacités de conscience phonologique, avec une tendance à un effet supérieur de RAPDYS par rapport à MAEVA mais sur la seconde période seulement. Devant la faible homogénéité des variances entre les groupes et entre les résultats du pré-test et du post-test 1 des tests non paramétriques ont été réalisés. Ils ont montré que la différence de progression pour le groupe VA cible1 entre la première et la seconde période (delta entre pré-test et post-test 1 et entre post-test1 et post-test 2) est bien significative, suggérant un effet supérieur de RAPDYS par rapport à MAEVA et/ou un effet délétère de MAEVA sur la conscience phonologique, bien que cet effet ne soit pas retrouvé pour le groupe VA cible1. Quoi qu'il en soit, les effets sont ici bien différents de ceux observés pour le groupe phonologique, ou pour l'ensemble du groupe, suggérant conformément à nos hypothèses que les effets obtenus sur l'ensemble du groupe ne reflètent en fait que les progrès d'un sous-groupe de sujets plus homogène.

Concernant les capacités de perception catégorielle de phonèmes, on ne relève aucun effet des entraînements sur les mesures des capacités d'identification des phonèmes. Mais les résultats montrent un effet du groupe au post-test 2 sur le pic de  $d'$  prédit, suggérant une réduction de l'amplitude de discrimination prédite à la suite de RAPDYS comme lors des analyses sur l'ensemble du groupe. Cependant, les effets principaux et les contrastes d'interaction ne sont pas significatifs. Sur les scores observés en discrimination, aucun effet n'est significatif, si ce n'est pour les scores sur les paires de stimuli centrées à +30ms pour lesquelles on observe une tendance de l'effet du temps et une tendance du contraste d'interaction avec les groupes sur la première période. Ceci suggère une augmentation spécifique du pic à + 30ms consécutive à MAEVA pour le groupe VA cible1. Cependant, comme pour les groupes Phonologiques, on remarque ici un problème d'appariement entre nos sous-groupes VA au pré-test, le groupe VA cible2 semble d'ailleurs plus représentatif des données obtenues lors de l'Etude III sur le groupe d'enfants avec trouble de l'empan VA.

Concernant les capacités d'empan VA des enfants, les résultats montrent une tendance de l'effet spécifique de MAEVA (interaction) sur la première période d'entraînement. L'interaction n'est pas relevée sur la seconde période, conformément à l'hypothèse d'une progression à long terme des effets obtenus sur la première période suite à MAEVA, tandis que l'autre sous-groupe progresse alors sous l'effet de MAEVA.

Enfin, sur les épreuves de lecture, seule la lecture de mots irréguliers progresse significativement, mais sans effet d'interaction, bien que les résultats des analyses de contrastes ne suggèrent qu'une tendance de l'effet de MAEVA sur la seconde période. Mais celle-ci peut également traduire des effets cumulatifs des deux entraînements, bien qu'inversés à ceux suggérés par les résultats obtenus pour le groupe Phono cible2. De plus, les courbes suggèrent un manque d'appariement entre nos deux sous-groupes, bien que non significatifs, sans doute du fait de la grande variabilité des scores. Ainsi, nous ne relevons que peu de progrès en lecture du groupe d'enfants avec trouble de l'empan VA.



## 5.6. Partie 3 – Effet de MAEVA sur le trouble de l’empan VA et la lecture, seconde sélection.

Une seconde sélection des sujets présentant une atteinte de l’empan VA a été ici réalisée, afin d’observer les effets des entraînements sur une population un peu plus large et présentant un trouble de l’empan VA selon des critères de sévérité plus stricts. Ces critères sont basés sur des Z-scores, classiquement utilisés en pratique clinique, et non sur la médiane des Z-scores telle que dans la Partie 2. Un meilleur appariement sur les capacités de lecture initiales entre nos deux groupes de comparaison est également visé ici.

### 5.6.1. Participants et analyses

Quinze enfants dyslexiques présentant un trouble de l’empan VA ont pu être sélectionnés parmi les 67 enfants ayant réalisé les deux entraînements mais n’ayant pas passé toutes les épreuves<sup>25</sup>. Nous avons en effet pu sélectionner ici des enfants n’ayant pas pu être inclus dans les analyses précédentes du fait de problèmes de passation des épreuves de perception catégorielle de phonèmes. Les analyses n’ont donc pas porté sur ces épreuves. De plus, nous avons souhaité ici opérer une sélection plus stricte des enfants sur la base de leur trouble d’empan VA, non pas basée sur la médiane du Z-score composite des mesures de l’empan VA et de conscience phonologique, mais sur les Z-scores de chacune des épreuves de report partiel et global. Les Z-scores doivent être inférieur à -1,5 pour l’un des Z-scores et à -1 pour l’autre. Ceci, renforçant la cohérence entre les deux mesures de l’empan VA, vise à éviter de ‘faux positifs’. Le Z-score composite des épreuves de conscience phonologique doit en revanche être supérieur à -1.

Les caractéristiques et analyses de comparaisons sont présentées dans le Tableau 23. Le sous-groupe VA ayant commencé par l’entraînement de l’empan VA (VA cible1, N = 7) est âgé de 10 ans et 5 mois en moyenne (ET = 13 mois). Le sous-groupe VA ayant commencé par l’entraînement à la perception catégorielle de phonèmes, avant de suivre l’entraînement de l’empan VA (VA cible2, N = 8) est âgé en moyenne de 10 ans et 5 mois (ET = 16 mois). Les deux groupes ne se distinguent pas significativement sur leur âge chronologique.

L’âge de lecture pour le groupe VA cible1 et le groupe VA cible2, évalué par le test de l’Alouette (Lefavrais, 1965), est respectivement de 7 ans et 5 mois (ET = 6 mois) et de 7 ans et 1 mois (ET = 5 mois). Les deux groupes ne se distinguent pas significativement quant à leur âge de lecture, leur retard de lecture et leurs capacités de lecture de mots et pseudo-mots (Jacquier-Roux et al., 2010).

---

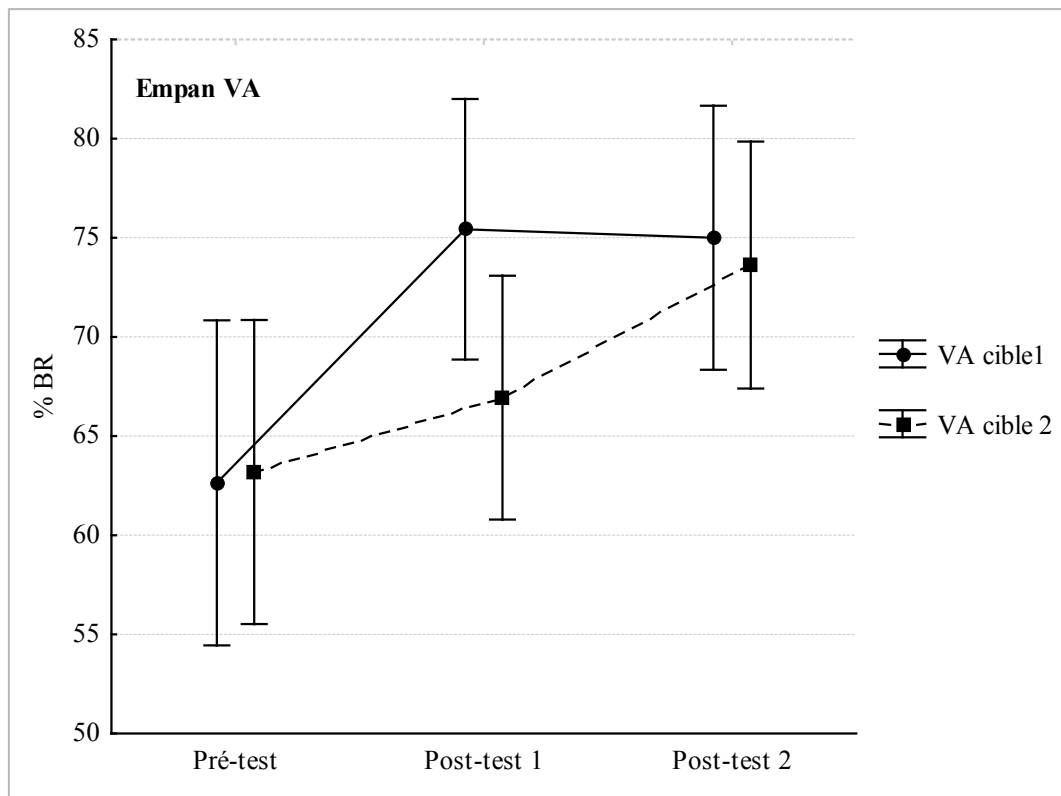
<sup>25</sup> Six nouveaux enfants ont été intégrés et quatre n’ont pas été retenus par rapport à la sélection précédente (Partie 2. b) ; neuf enfants étaient déjà inclus dans la sélection précédente.

**Tableau 23.** Ages et performances des deux sous-groupes dyslexiques VA sur les tâches de lecture.

Tâches	Groupe VA cible1 N = 7			Groupe VA cible2 N = 8			Comparaisons	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,13)	p
Age (mois)	125 (12.6)	111 - 143		135 (16.1)	94 - 140		F<1	.959
Age de lecture (mois)	89 (6.1)	80 - 99		85 (4.5)	79 - 93		1.68	.217
Retard lecture (mois)	-37 (15.5)	-59 - -18		-40 (13.2)	-58 - -17		F<1	.675
Score rég. (/20)	15 (2.8)	11 - 19	-2.88 (1.6)	16 (2.9)	11 - 19	-2.86 (2.7)	F<1	.800
Temps rég. (sec)	45 (21.1)	25 - 89	-2.96 (1.5)	54 (15.1)	30 - 77	-4.19 (1.6)	F<1	.385
Score irrég.(/20)	9 (2.9)	5 - 13	-3.41 (0.9)	11 (3.8)	6 - 15	-2.34 (1.3)	1.02	.332
Temps irrég. (sec)	49 (18.9)	25 - 81	-2.50 (1.5)	58 (20.4)	40 - 102	-3.42 (1.3)	F<1	.357
Score PM (/20)	11 (4.3)	5 - 16	-2.71 (1.8)	12 (4.0)	5 - 18	-2.51 (2.0)	F<1	.883
Temps PM (sec)	50 (14.7)	37 - 81	-1.79 (0.7)	63 (23.8)	43 - 115	-2.94 (1.4)	1.36	.265

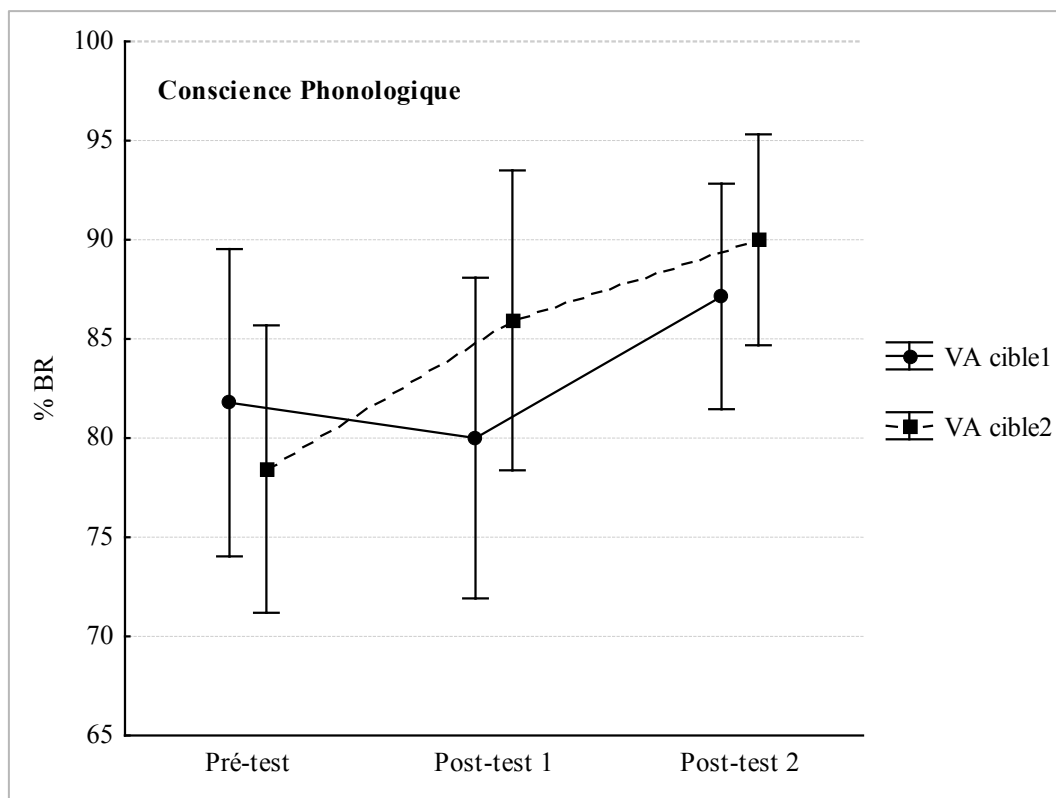
### 5.6.2. Résultats

L'ANOVA à mesures répétées ne montre pas d'effet du Groupe sur le score composite d'empan VA [ $F < 1$ ] mais un effet du Temps significatif [Wilk's  $\lambda = 0.20$ ;  $F(2,12) = 23.63$  ;  $p < .001$ ], et un effet d'interaction significatif [Wilk's  $\lambda = 0.54$ ;  $F(2,12) = 5.20$  ;  $p < .05$ ]. Les analyses de contrastes montrent que la différence de scores entre les deux groupes est significativement plus importante au post-test1 qu'au pré-test [ $t = -3.17$  ;  $p < .01$ ] et une tendance à l'interaction est relevée pour la seconde période [ $t = 2.14$  ;  $p = .052$ ]. Ces résultats sont présentés dans la Figure 45 (*Annexe X* pour le détail des effets sur les épreuves de report global et de report partiel).



**Figure 45.** Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de mesure de l'empan VA pour les deux groupes avec trouble de l'empan VA, au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

Sur le score composite de conscience phonologique, nous ne relevons pas d'effet du Groupe ( $F < 1$ ), tandis que l'effet du Temps est significatif [Wilk's  $\lambda = 0.33$  ;  $F(2,12) = 11.73$  ;  $p < .01$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.84$  ;  $F(2,12) = 1.11$  ;  $p = .361$ ]. Les contrastes d'interaction pour chacune des périodes ne sont pas significatifs mais un contraste significatif est relevé entre le post-test 1 et le post-test 2 pour le groupe VA cible 1 [ $t = -3.07$  ;  $p < .01$ ], c'est-à-dire après RAPDYS. Des progrès tendanciels sont également relevés pour le groupe VA cible 2 pour chacune des deux périodes (respectivement [ $t = -1.83$  ;  $p = .090$ ] et [ $t = -1.87$  ;  $p = .085$ ]). Les résultats sont présentés dans la Figure 46.



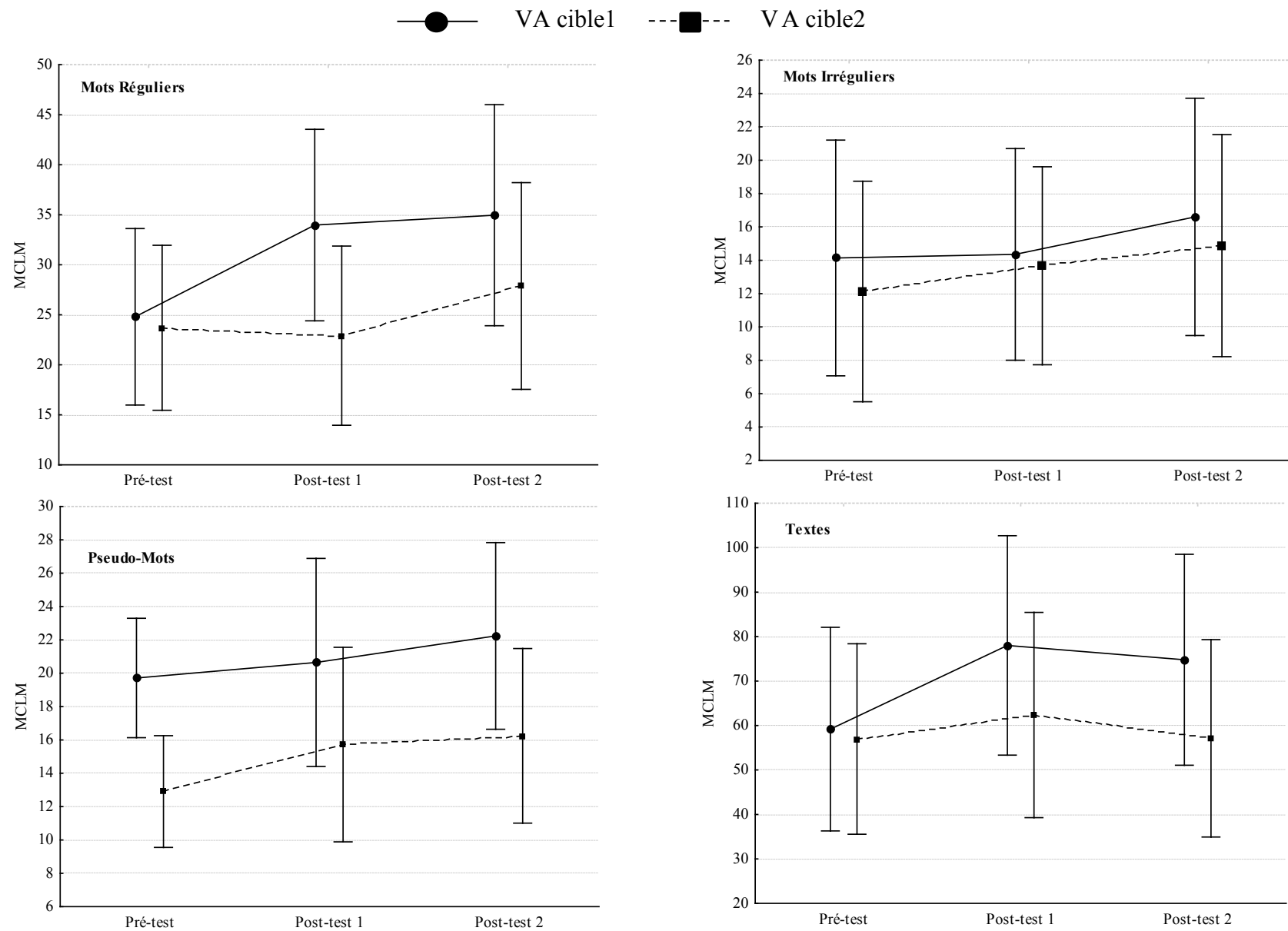
**Figure 46.** Scores moyens et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores composites de conscience phonologique pour les deux groupes avec trouble de l'empan VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.

### *Sur les épreuves de lecture*

Un effet du Temps est observé sur le nombre de mots réguliers correctement lus par minute [Wilk's  $\lambda = 0.42$  ;  $F(2,12) = 8.20$  ;  $p < .01$ ], en l'absence d'un effet du Groupe [ $F(1,13) = 1.17$  ;  $p = .298$ ] et l'effet d'interaction est à la limite du seuil de significativité [Wilk's  $\lambda = 0.66$  ;  $F(2,12) = 3.15$  ;  $p = .079$ ]<sup>26</sup>. Les analyses de contrastes montrent une interaction significative pour la première période seulement ( $t = -2.61$  ;  $p < .05$ ). Cependant, pour le groupe VA cible2, les analyses de contrastes montrent une différence significative entre les scores au post-test 1 et les scores au post-test 2 ( $t = -2.13$  ;  $p < .05$ ), tandis que cet effet du Temps n'est pas significatif pour la première période ( $t < 1$ ). Concernant les mots irréguliers, ni l'effet du Groupe ( $F < 1$ ), ni l'effet d'interaction ( $F < 1$ ), ni l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.68$  ;  $F(2,12) = 2.78$  ;  $p = .102$ ], ni aucun contraste ne sont significatifs. Concernant la lecture de pseudo-mots, alors que ni l'effet du Temps [Wilk's  $\lambda = 0.76$  ;  $F(2,12) = 1.87$  ;  $p = .197$ ] ni l'effet d'interaction ( $F < 1$ ) ne sont significatifs, nous relevons un effet du Groupe [ $F(1,13) = 4.80$  ;  $p < .05$ ] ; le groupe VA cible2 obtient globalement de plus faibles scores. Aucun

<sup>26</sup>  $F(2,26) = 4.17$  ;  $p < .05$  sans correction de Wilks.

contraste d'interaction n'est significatif. Nous ne relevons pas d'effet du Groupe sur le nombre de mots correctement lus dans les textes ( $F < 1$ ), mais l'effet du Temps est significatif [Wilk's  $\lambda = 0.53$  ;  $F(2,12) = 5.25$  ;  $p < .05$ ]. L'effet d'interaction n'est pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.72$  ;  $F(2,12) = 2.37$  ;  $p = .135$ ]. Les analyses de contrastes montrent cependant une tendance significative de l'effet d'interaction sur la première période [ $t = -1.85$  ;  $p = .087$ ]. Le contraste de Temps pour le groupe VA cible1 est en effet significatif pour la première période [ $t = -3.55$  ;  $p < .01$ ]. Aucun autre contraste n'est significatif. Les performances moyennes sur chacune des épreuves de lecture pour chacun des groupes à chacun des temps sont présentées dans la Figure 47.



**Figure 47.** Moyennes et intervalles de confiance à 95% (barres verticales) des scores sur les épreuves de lecture de mots réguliers (haut gauche), irréguliers (haut droit), pseudo-mots (bas gauche) et de textes (bas droit) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2 (MCML = Mots correctement lus par minute).

### 5.6.3. Résumé

Dans cette dernière partie de notre étude sur les effets de deux entraînements des fonctions cognitives impliquées en lecture, l'empan VA et la perception catégorielle des phonèmes, nous avons sélectionné des enfants dyslexiques selon un critère plus strict de trouble de l'empan VA que lors des analyses précédentes (cf. I.A.1.b). Ce critère basé sur les Z-scores de chaque sujet est d'ailleurs également plus proche des critères de déficits utilisés en pratique clinique.

Concernant les processus cognitifs sous-jacents étudiés, conformément à nos hypothèses, les résultats ont montré un effet spécifique de MAEVA sur l'empan VA, les effets d'interaction étant significatifs pour la première période d'entraînement et tendanciels pour la seconde période. Des effets test-retest, placebo ou de maturation naturelle ne peuvent donc pas expliquer les progressions des enfants, l'entraînement à la perception catégorielle ayant ici permis de contrôler de tels effets. Concernant les capacités de conscience phonologique, bien que les effets d'interaction ne soient pas significatifs, les résultats des analyses de contrastes et l'observation des courbes de progression suggèrent un effet spécifique de l'entraînement à la perception catégorielle. Celui-ci semble se poursuivre à long terme pour le groupe ayant commencé par cet entraînement, tandis que le groupe ayant commencé par l'entraînement MAEVA ne progresse que lors de la seconde période, c'est-à-dire suite à l'entraînement RAPDYS.

Concernant les capacités de lecture, une interaction significative entre les effets des entraînements et les groupes est relevée pour les listes de mots réguliers sur la première période. L'entraînement VA induit une progression significative tandis que l'entraînement RAPDYS ne produit aucun effet. Sur la seconde période, des effets à plus long terme de l'entraînement VA initial semblent annuler l'effet d'interaction, car comme attendu, le groupe bénéficiant alors de MAEVA progresse sur cette période. Sur les listes de mots irréguliers et de pseudo-mots, aucun effet significatif n'est observé. Concernant la lecture de textes, une tendance de l'effet d'interaction, c'est-à-dire une progression plus importante des scores consécutive à MAEVA par rapport à RAPDYS est retrouvée, mais pour la première période d'entraînement seulement.

Les résultats obtenus sur les mesures de l'empan VA et la lecture de mots réguliers sont donc ici tout à fait conformes à nos hypothèses. La rééducation ciblée sur le déficit cognitif sous-jacent supposé en cause, en l'occurrence un trouble de l'empan VA, s'est avérée plus efficace qu'une rééducation non ciblée.

## 5.7. Discussion

Dans cette étude, nous avons analysé les effets de deux entraînements, l'un ciblant les capacités de perception catégorielle (RAPDYS) et l'autre l'empan VA (MAEVA) auprès d'une population d'enfants dyslexiques. Notre objectif était d'étudier l'efficacité de ces entraînements sur les capacités de lecture, en tenant compte de l'hétérogénéité cognitive de la

population dyslexique, et de tester ainsi les liens de causalité entre les atteintes cognitives ici ciblées et le trouble du développement de la lecture que présentent ces enfants.

*Dans la première partie* de cette étude, nous avons tout d'abord analysé les effets généraux des deux méthodes d'entraînement sur l'ensemble de la population dyslexique, sans que le déficit cognitif sous-jacent n'ait été pris en compte. *Dans la seconde partie* de l'étude, nous avons analysé les effets de l'entraînement à la perception catégorielle de phonèmes et de l'entraînement de l'empan VA chez deux sous-groupes d'enfants dyslexiques, l'un composé d'enfants présentant une atteinte de la conscience phonologique, et l'autre d'enfants présentant une atteinte de l'empan VA. Nous avons ainsi souhaité tester l'hypothèse d'un effet supérieur de l'entraînement visant l'atteinte cognitive sous-jacente par rapport à l'entraînement ne ciblant pas l'atteinte cognitive. Ce dernier est alors apparenté à un entraînement contrôle, permettant de tenir compte d'effets placebo ou de maturation. Notre objectif était donc ici de montrer que la prise en compte de l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique permet de mettre en place des rééducations ciblées plus efficaces. Les mêmes hypothèses ont été testées *dans la troisième partie* de l'étude, mais celle-ci portait spécifiquement sur un groupe d'enfants présentant un trouble de l'empan VA selon un critère plus sévère, basé sur des Z-scores, classiquement utilisés en pratique clinique, et non sur la médiane des Z-scores telle que dans la Partie 2. De plus, nous avons pu sélectionner pour cette dernière partie un groupe plus large d'enfants, malgré notre critère de sélection plus sévère, car nous avons pu inclure des enfants exclus des analyses précédentes du fait de problèmes matériel dans la passation des épreuves d'identification et de discrimination de phonèmes.

Nos hypothèses supposaient que l'entraînement RAPDYS devrait avoir plus d'effet sur les capacités phonologiques que l'entraînement MAEVA ; une interaction était donc attendue entre le type d'entraînement et la variable Groupe sur les mesures phonologiques. De plus, nos hypothèses quant aux liens de causalité entretenus entre perception catégorielle des phonèmes et conscience phonologique suggéraient que l'entraînement RAPDYS devrait avoir un effet spécifique sur les capacités de perception catégorielle entraînant une amélioration de la conscience phonologique ; un effet bénéfique de RAPDYS était donc attendu sur ces deux mesures.

Les résultats montrent que sur les **mesures de perception catégorielle**, l'effet principal du Temps est significatif sur les mesures asymptotiques en identification pour l'ensemble du groupe dyslexique (Partie 1) et les contrastes d'interaction suggèrent un effet délétère de RAPDYS par rapport à MAEVA. Les mesures du pic de  $d'$  prédit suggèrent également de tels effets délétère de RAPDYS et une amélioration suite à MAEVA mais l'effet principal du temps n'est cependant pas significatif, ce qui modère ces conclusions. De même, les analyses portant sur la valeur du  $d'$  à la frontière intra-catégorielle de +30 ms suggèrent un effet bénéfique de MAEVA par rapport à RAPDYS. Mais l'effet principal du Temps n'est pas significatif et un problème d'appariement initial entre les groupes ne permet pas d'interpréter cette interaction. En fait, l'effet du Temps sur les mesures en discrimination n'est significatif que sur les valeurs de  $d'$  à la frontière catégorielle (paires centrées à 0 ms) et une tendance est retrouvée pour le pic de  $d'$  observé, mais aucune interaction avec les groupes n'est



significative sur ces mesures. On retrouve de même une tendance significative de l'effet du Temps sur ces deux mesures pour le groupe présentant un trouble de conscience phonologique (Partie 2. a.) mais pour ce groupe, le seul contraste d'interaction tendanciel concerne la perception inter-catégorielle (paires centrées à 0 ms) et suggère un effet bénéfique de RAPDYS par rapport à MAEVA (sur la seconde période d'entraînement seulement mais les courbes suggèrent des effets similaires pour la première période). Enfin, pour le groupe présentant un trouble de l'empan VA (Partie 2. b.), une tendance de l'effet du temps n'est retrouvée que pour les paires centrées à +30 ms et les contrastes d'interaction suggèrent un effet bénéfique de MAEVA, mais seulement sur la première période d'entraînement, alors que les deux sous-groupes ne sont pas appariés initialement sur cette mesure.

D'autre part, nos résultats ont bien montré une progression de la **conscience phonologique** des enfants dyslexiques, mais aucune interaction ni aucun contraste d'interaction ne sont significatifs dans aucune des analyses que nous avons réalisées sur cette mesure. Nous ne pouvons donc distinguer ici un effet spécifique de chacune des méthodes, d'un effet de maturation, d'un effet test-retest, ou d'un effet placebo. Certaines analyses de contrastes sont cependant significatives ou tendanciennes, et pourraient suggérer des effets spécifiques de chacun des entraînements :

- un effet bénéfique de MAEVA par rapport à RAPDYS pour le sous-groupe présentant un trouble de conscience phonologique ayant bénéficié de MAEVA en première intention. Cependant cet effet n'est pas corrélé avec une amélioration des capacités de perception catégorielle, puisqu'un effet bénéfique de RAPDYS sur les capacités de perception catégorielle de ce sous-groupe est tendanciel pour la seconde période d'entraînement seulement.

- un effet bénéfique de RAPDYS pour les sous-groupes présentant un trouble de l'empan VA, puisque les données suggèrent pour la première sélection d'enfants (Partie 2 b) un effet délétère de MAEVA sur la conscience phonologique par rapport à RAPDYS (proposé en première intention) et un effet bénéfique de RAPDYS par rapport à MAEVA quelle que soit la période pour la seconde sélection d'enfants avec trouble de l'empan VA (Partie 3). Cependant, ici encore les mesures de progression en perception catégorielle ne corroborent pas ces données, puisqu'aucun effet significatif de temps n'est retrouvé. Les problèmes d'appariement initiaux et l'absence de données en perception catégorielle pour la seconde sélection d'enfants avec trouble de l'empan VA (Partie 3) ne nous permettent pas de conclure de façon claire.

En somme, les analyses n'ont montré que peu d'effets consistants et cohérents des deux entraînements sur les capacités phonologiques. Concernant plus particulièrement les capacités de perception catégorielle, nous pouvons nous interroger sur la fiabilité des réponses comportementales. En effet, dans l'étude de Noordenbos et collaborateurs (2013), alors qu'une sensibilité allophonique est bien mise en évidence au niveau des réponses neuronales des sujets dyslexiques, cette sensibilité n'apparaît pas au niveau comportemental. De plus, une mesure de la précision des réponses seulement, et non des temps de réaction (que nous n'avons pas pu enregistrer au vu des contraintes matérielles, de nombreux ordinateurs aux performances variables ayant été utilisés) ne permet pas toujours d'identifier les déficits de

perception catégorielle (Ruff, Boulanouar, Cardebat, Celsis et Démonet, 2001) et donc également de potentiels progrès. Il est donc possible que des modifications de la perception des phonèmes induites par l'entraînement RAPDYS ne soient pas ici détectables. Une étude incluant un enregistrement de l'activité neuronale serait nécessaire. D'autre part, il est possible que l'entraînement RAPDYS ait été trop court. Beaucoup d'études que nous avons passées en revue dans le second chapitre de ce manuscrit portent en effet sur des programmes plus intensifs (autour de 30 à 60 minutes par jour contre 15 minutes dans notre étude). Enfin, il est possible que le transfert de ces modifications de la perception de la parole au niveau des capacités de conscience phonologique ne soit pas clairement identifiable du fait d'un délai trop court. Des évaluations à plus long terme (post-test 3) auraient été nécessaires. Dans l'étude de Collet et collaborateurs (2012), des transferts immédiats sur la conscience phonologique après l'entraînement à la perception catégorielle étaient bien présents, mais les tâches utilisées apparaissent plus faciles que celles que nous avons utilisées. Serniclaes et collaborateurs ont récemment souligné la difficulté que peut représenter une remédiation de la perception catégorielle des phonèmes (Serniclaes et al., 2015). En effet, cela requiert une modification de processus que ni l'environnement linguistique de l'enfant, qui doit amener à une diminution de la perception des allophones (Kuhl, 2004; Werker et Tees, 1984), ni son développement et l'enseignement du langage écrit, qui doivent amener à une meilleure discrimination inter-catégorielle et une moindre sensibilité intra-catégorielle (Hoonhorst et al., 2011 ; Medina et al., 2010), n'ont pu suffisamment influencer.

Concernant les **mesures de l'empan VA**, les résultats des analyses sur l'ensemble de la population dyslexique montrent que l'entraînement MAEVA permet bien d'améliorer l'empan VA et que cet effet ne peut être dû à un effet placebo, un effet test-retest ou de maturation. En effet, lorsque RAPDYS est proposé, de telles évolutions ne sont pas retrouvées et l'interaction entre la variable de groupe et le temps est significatif. Le contraste d'interaction non significatif sur la seconde période d'entraînement suggèrent des effets à long terme de MAEVA sur l'amélioration de l'empan VA. Des données similaires sont retrouvées sur les analyses portant spécifiquement sur les sous-groupes d'enfants qui présente un trouble de l'empan VA sans trouble phonologique, en particulier lorsque la sélection des enfants est faite selon un critère de déficit VA plus sévère (Partie 3). Mais pour ces enfants nous ne retrouvons pas d'effet à long terme de MAEVA. Un trouble plus sévère nécessite peut-être une rééducation plus intensive. Dans la sélection précédente, avec les enfants sélectionnés selon un critère de trouble moins stricte (division du groupe à la médiane), une tendance à l'interaction sur la première période est retrouvée. Enfin, pour le groupe ne présentant pas de trouble de l'empan VA (mais un trouble de conscience phonologique), l'évolution des capacités d'empan VA n'est pas significative, mais tendancielle, et aucune interaction n'est significative. Ainsi, lorsque l'hétérogénéité cognitive est prise en compte, nous nous apercevons, conformément à nos hypothèses, que les effets de MAEVA ne concernent qu'une sous-population d'enfants dyslexiques, ceux qui présentent un trouble de l'empan VA. De plus, nous soulignons que l'entraînement MAEVA ne sollicite pas les mêmes processus d'identification que les tâches de report de lettres, permettant de mesurer l'empan VA. En effet, ce sont les capacités de catégorisation visuelle qui sont requises au cours de l'entraînement VA. Ce n'est donc pas l'entraînement direct des processus sollicités

par la tâche qui permet d'améliorer les performances des enfants, mais bien l'entraînement des capacités de traitement simultané, communes à MAEVA et aux tâches de report de lettres qui ont progressé, comme le montre ce transfert des capacités de traitement simultané.

Enfin, concernant les capacités de lecture des enfants dyslexiques, les résultats des analyses portant sur l'ensemble de la population (Partie 1) montrent bien un effet des entraînements sur tous les types de mots et sur les textes. Nous n'avons pas ici de condition contrôle, permettant d'éliminer des effets tes-retest (on rappelle cependant que les listes contiennent des mots et pseudo-mots différents à chaque session d'évaluation, de même que les textes), des effets placebo, ou de maturation. Nos hypothèses étaient que l'effet spécifique de chacun des entraînements pourrait être identifié grâce aux analyses portant sur les sous-groupes, c'est-à-dire lorsque l'hétérogénéité cognitive de la population est prise en compte. Cependant, aucune interaction n'est apparue significative lorsque les analyses ont porté sur les sous-groupes d'enfants présentant soit un profil de trouble de conscience phonologique sans trouble de l'empan VA, soit le profil inverse (Partie 2), et les progrès ne sont pas toujours significatifs sur toutes les épreuves de lecture. Étonnamment, c'est la lecture de mots irréguliers qui progresse davantage pour ces deux sous-groupes. Ceci n'est pas cohérent avec le modèle de développement de la lecture de Share (1995, 1999) qui suggère que le développement du lexique orthographique serait tributaire des capacités de décodage phonologique, ces dernières se traduisant par une amélioration des capacités de lecture de mots réguliers et de pseudo-mots, qui devraient apparaître avant l'amélioration de la lecture des mots irréguliers. Des tendances significatives de la progression en lecture de pseudo-mots et de textes sont retrouvées pour le groupe présentant un trouble de conscience phonologique, mais les sous-groupes ne sont pas clairement appariés au pré-test sur ce type de mots, et une forte variabilité des scores est relevée dans tous les groupes. En somme, alors que les capacités phonologiques et d'empan VA s'améliorent pour l'ensemble des sous-groupes ou certains sous-groupes selon les mesures, ces effets sur les processus cognitifs sous-jacents ne sont pas corrélés avec une amélioration des capacités de lecture telle que nous l'attendions.

D'autre part, nos hypothèses portaient sur l'intérêt d'une prise en compte du déficit cognitif sous-jacent potentiellement en cause dans le trouble du développement de la lecture des enfants. Mais les analyses sur cette seconde partie concernent en fait les enfants qui présentent au moins une faiblesse sur une des fonctions cognitives explorées (la conscience phonologique ou l'empan VA) relativement à l'ensemble du groupe (regroupement selon la médiane). Cette méthode a été adoptée afin de conserver un nombre maximum de sujets pour les analyses statistiques. Dans la dernière partie de cette étude (Partie 3), nous avons pu procéder à une sélection plus stricte des sujets présentant un déficit de l'empan VA, en intégrant des sujets rejetés du fait de problèmes de passation des épreuves de perception catégorielle. Nous n'avons donc pas de données sur ces mesures dans cette dernière partie. Les résultats des analyses de l'évolution des capacités de lecture et des fonctions cognitives associées sont davantage conformes à nos hypothèses pour ce groupe. En effet, alors qu'une amélioration de la conscience phonologique semble spécifique à l'entraînement RAPDYS et qu'une amélioration de l'empan VA apparaît spécifiquement après MAEVA, des progrès en lecture de mots réguliers sont constatés spécifiquement après l'entraînement MAEVA, ainsi

qu'en lecture de textes. Pour cette dernière mesure, l'effet spécifique de MAEVA n'apparaît cependant qu'en première période, non confirmé sur la seconde période d'entraînement. La lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots ne progresse pas, mais pour cette dernière un problème d'appariement entre les sous-groupes est à noter. Ainsi, dans cette dernière partie nos résultats montrent bien que, pour un sous-groupe présentant un trouble avéré de l'empan VA, un entraînement ciblé de l'empan VA tel MAEVA permet d'améliorer les capacités de lecture de mots réguliers. Les effets sont ici visibles dès six semaines d'entraînement à raison de 15 minutes par jour, cinq fois par semaine. Bien que les capacités de conscience phonologique s'améliorent après RAPDYS, les données en lecture sont conformes à notre hypothèse : cette amélioration n'est pas associée à une amélioration de la lecture puisque ce n'est pas la conscience phonologique qui apparaît en cause dans le trouble de lecture de ces enfants ; cette dernière est initialement déjà aussi efficace que chez des enfants normo-lecteurs. Ainsi, nous avons pu montrer ici qu'un entraînement ciblant le déficit cognitif sous-jacent est plus efficace qu'un entraînement non ciblé. Ces données supportent également les hypothèses de liens de causalité entre empan VA et trouble de la lecture, puisqu'une amélioration de l'empan VA induit une amélioration des capacités de lecture. Un lien de causalité entre perception catégorielle des phonèmes et conscience phonologique est également suggéré par l'amélioration de la conscience phonologique qu'induit spécifiquement l'entraînement des capacités de perception catégorielle des phonèmes.

Cette étude met en évidence un effet spécifique de l'entraînement MAEVA sur les capacités d'empan VA auprès d'une population d'enfants dyslexiques qui présentent tous un trouble de l'empan VA. Cette amélioration de leur empan VA induit une amélioration de leurs capacités de lecture. Ces données permettent de confirmer l'hypothèse d'une relation de causalité entre empan VA et lecture. Un effet spécifique de l'entraînement RAPDYS sur les capacités phonologiques (perception et conscience des phonèmes) et sur la lecture n'a pas été clairement mis en évidence. Les limites méthodologiques qui peuvent rendre compte de ce résultat seront approfondies dans la discussion générale.

## 6. Etude V : Effet de saillance syllabique sur la lecture chez des enfants dyslexiques avec ou sans trouble de l'empan VA

---

Dans l'étude précédente, nous nous sommes intéressés à des méthodes de remédiation basées sur un entraînement des fonctions cognitives déficitaires. Dans l'étude que nous présentons ici, nous abordons un autre type de remédiation, basée sur une adaptation de la situation de lecture chez les enfants dyslexiques.

### 6.1. Enjeux théoriques et cliniques

Contrairement aux méthodes d'entraînement, les méthodes de compensation offrent la possibilité immédiate d'améliorer le trouble de la lecture des personnes dyslexiques. Devant le caractère persistant de la dyslexie, caractère inhérent à sa définition, de tels moyens de remédiation peuvent apparaître indispensables pour réduire le handicap que provoque le trouble de la lecture.

Dans le second chapitre de ce manuscrit (Chapitre 2.2.2.3), nous avons discuté de diverses méthodes d'adaptation visuelle qui visent à modifier des paramètres de la situation de lecture, en l'occurrence des paramètres de présentation du matériel écrit, afin de faciliter la prise d'information visuelle, et donc la lecture. Nous avons vu que de solides arguments ont été apportés quant à l'effet de l'espacement des caractères, permettant d'atténuer le phénomène d'encombrement perceptif (*crowding*). Dans une étude relativement récente, Perea et collaborateurs (2012) ont étudié une autre condition d'espacement, se situant non pas au niveau des lettres, mais au niveau de la syllabe. Les auteurs ont en effet étudié les effets d'un espacement syllabique (e.g. 'hò tel' comparé à 'h ô t e l' et à une condition normale 'hôtel') sur une tâche de décision lexicale auprès d'une population d'adultes et d'enfants normo-lecteurs, et de 18 enfants dyslexiques. Alors que l'espacement des lettres a conduit à des temps de réaction plus courts par rapport à la condition de présentation normale des mots pour tous les groupes, et moins d'erreurs chez les dyslexiques, la condition syllabique n'a produit aucun effet par rapport à la condition normale, et ce pour aucun des groupes. Bien qu'altérant la forme globale du mot, ce qui aurait pu affecter le traitement du mot en tant qu'unité lexicale, et conduire à des effets délétères, l'espacement syllabique n'a pas été néfaste, mais n'a pas non plus permis d'amélioration des capacités de lecture. Les auteurs concluent que les processus de 'désencombrement perceptif' ne semblent donc pas ici en jeu. Mais d'autres processus liés au traitement visuel pourraient intervenir, et en particulier l'empan VA. L'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique n'étant pas prise en compte dans cette étude, il est possible que certains enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA puissent bénéficier de telles conditions de présentation de mots, tandis que d'autres n'en bénéficieraient pas, conduisant à un effet non significatif. Le trouble de l'empan VA est en effet un trouble du traitement simultané visuel. Nous avons vu que ce trouble perturbe la prise d'information visuelle, puisque moins de caractères sont traités. Ce trouble peut également conduire à des erreurs de découpage par exemple dans les graphèmes multi-lettres. Une

modification de la présentation des mots qui rendrait les syllabes saillantes, par exemple par un espacement entre les syllabes, pourrait donc bénéficier aux enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA. D'une part car les syllabes sont des unités orthographiques plus courtes, d'autre part car une saillance des syllabes dans un mot pourrait permettre de cibler les informations visuelles dont le traitement en tant qu'unité est pertinent pour une identification efficace du mot.

Cette condition d'espacement des syllabes est recommandée sur le plan pédagogique pour l'apprentissage de la lecture (Cox, 1994). Une autre méthode permettant de rendre visuellement saillante les syllabes consiste à colorer les syllabes, c'est-à-dire à alterner différentes couleurs d'encre entre les syllabes écrites. Ces types de modification visuelle du matériel écrit ont fait l'objet de nombreux développements de logiciels ou d'extensions logicielles de traitement de textes dont les auteurs recommandent l'utilisation pour les enfants dyslexiques, tel le module Coupe-Mots du logiciel Dys-Vocal™ (Dosset, 2011), l'extension LireCouleur™ (Brungard, 2012), la Syllabation Medialexie, intégrée au logiciel Osiris (Medialexie©), ou encore la méthode d'imprégnation syllabique (Garnier-Lasek, 2002). Des effets immédiats ou plus à long terme dans l'apprentissage de la lecture sont revendiqués. Ces méthodes n'ont cependant pas fait l'objet, à notre connaissance, de publications scientifiques en démontrant l'efficacité.

## 6.2. Objectifs et Hypothèses

Nous nous sommes intéressés dans cette étude à cet effet de saillance des syllabes chez des enfants dyslexiques présentant ou non un trouble de l'empan VA. Nous avons souhaité étudier deux types de présentation permettant une saillance syllabique : une présentation avec espacement entre les syllabes, telle qu'étudiée par Perea et collaborateurs (2012), et une présentation avec alternance de couleurs entre les syllabes, telle que proposée par de nombreux logiciels de traitement de textes supposés aider les enfants dyslexiques. Nous faisons l'hypothèse que ces deux types de présentations pourraient faciliter la lecture chez les enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA, plus que chez ceux ne présentant pas de trouble de l'empan VA. Pour ces derniers, nous faisons l'hypothèse qu'une présentation avec saillance syllabique pourrait même être délétère, altérant le traitement global des mots si celui-ci est privilégié par ces enfants. En revanche, les enfants avec trouble de l'empan VA pourraient être aidés par cette saillance syllabique, qui pourrait améliorer leur capacité de traitement analytique en ciblant les unités à traiter.

## 6.3. Participants, procédure et matériel

Vingt-quatre enfants dyslexiques ont participé à cette étude. Tous ont bénéficié d'un examen orthophonique et/ou neuropsychologique, permettant de poser le diagnostic de dyslexie et de s'assurer de l'absence de troubles associés tels une dysphasie, une dyspraxie ou un trouble attentionnel de type TDAH. Les enfants sont âgés en moyenne de 10 ans et 3 mois (ET = 13 mois).

Les épreuves de lecture de listes de mots et pseudo-mots précédemment décrites et le test de l'Alouette permettant le calcul de l'âge de lecture ont tout d'abord été proposées aux enfants. Tous les enfants ont ensuite été soumis aux deux tâches visuo-attentionnelles de report de lettres permettant de mesurer l'empan VA, ainsi que la tâche contrôle d'identification de lettres. Les enfants doivent atteindre un score maximum de 10 bonnes réponses pour les lettres présentées à 101ms sur cette tâche contrôle pour être inclus dans l'étude. Les scores des enfants sur les épreuves de report global et partiel ont été analysés pour répartir les enfants en deux groupes, ceux présentant une atteinte de l'empan VA lorsque le Z-score composite des deux épreuves de report global est inférieur à -1, et ceux ne présentant pas d'atteinte de l'empan VA, lorsque le Z-score composite est supérieur à -1.

Le groupe avec atteinte VA (Groupe VA) est âgé en moyenne de 10 ans et 5 mois (15 mois), pour un âge de lecture de 7 ans et 2 mois (ET = 5 mois). Le groupe sans atteinte VA (Groupe non VA) est âgé en moyenne de 10 ans et 2 mois (ET = 12 mois) pour un âge de lecture de 7 ans et 7 mois (ET = 7 mois). Les deux groupes sont relativement bien appariés sur l'âge chronologique, mais une tendance significative de la différence d'âge de lecture est relevée. Le retard moyen de lecture est cependant plus similaire entre les deux groupes. Sur les listes de lecture de mots et pseudo-mots, les enfants avec atteinte VA présentent des temps de lecture significativement différents, ou à la limite du seuil de significativité, sur toutes les listes. D'autre part, comme attendu les enfants avec trouble de l'empan VA présentent des performances significativement plus faibles sur les épreuves visuo-attentionnelles que les enfants du groupe non VA. Les caractéristiques des deux groupes sont présentées dans le Tableau 24.

Trois textes ont été proposés aux enfants, dans trois conditions de présentation : un texte présenté de façon habituelle, sans modification du format des mots (condition Normal), un texte dont les mots multi-syllabiques sont présentés avec une alternance de deux couleurs entre les syllabes orthographiques, rouge et bleu (e.g. **histoire**) (condition Couleur) et un texte dont les mots multi-syllabiques sont présentés avec un espacement entre les syllabes marqué par un tiret bas (e.g. his\_toi\_re) (condition Espace). Chaque enfant commence par la lecture du texte en condition Normal, puis l'ordre des deux autres conditions de présentation est contrebalancé entre tous les sujets, dans chaque groupe. De même, les conditions de présentation sont contrebalancées, chaque texte étant donc présenté quatre fois dans chacune des conditions de présentation dans chaque groupe, et l'ordre de passation de chacun des textes est contrebalancé, soit 12 possibilités, une par sujet. Chaque texte, comprenant environ 170 mots et environ 270 syllabes, est présenté sur une feuille A4 (Times New Roman, taille 14, double interligne, espace de trois caractères entre chaque mot), que les enfants doivent lire à voix haute pendant une minute. Les enfants ont pour consigne de lire chacun des textes aussi vite qu'ils le peuvent sans faire d'erreurs. Pour la condition Couleur et Espace, une phrase de familiarisation est présentée tout d'abord à l'enfant, qui doit la lire à voix haute. La fréquence des mots et la longueur des syllabes ont été appariés entre chacun des textes (Lété et al., 2004). La longueur maximale d'une syllabe est de cinq lettres, pour une longueur moyenne de 2,8 ou 2,9 lettres selon les textes. La variable dépendante retenue est le nombre de syllabes correctement lues par minute.

**Tableau 24.** Moyennes, Ecart-Types, et étendues (minimum - maximum) pour l'âge, l'âge de lecture, le retard lexique et les scores et Z-scores des épreuves de lecture (rég : mots réguliers ; irrég : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots), les épreuves VA et les épreuves de conscience phonologique (Csce Phono) pour les deux groupes dyslexiques

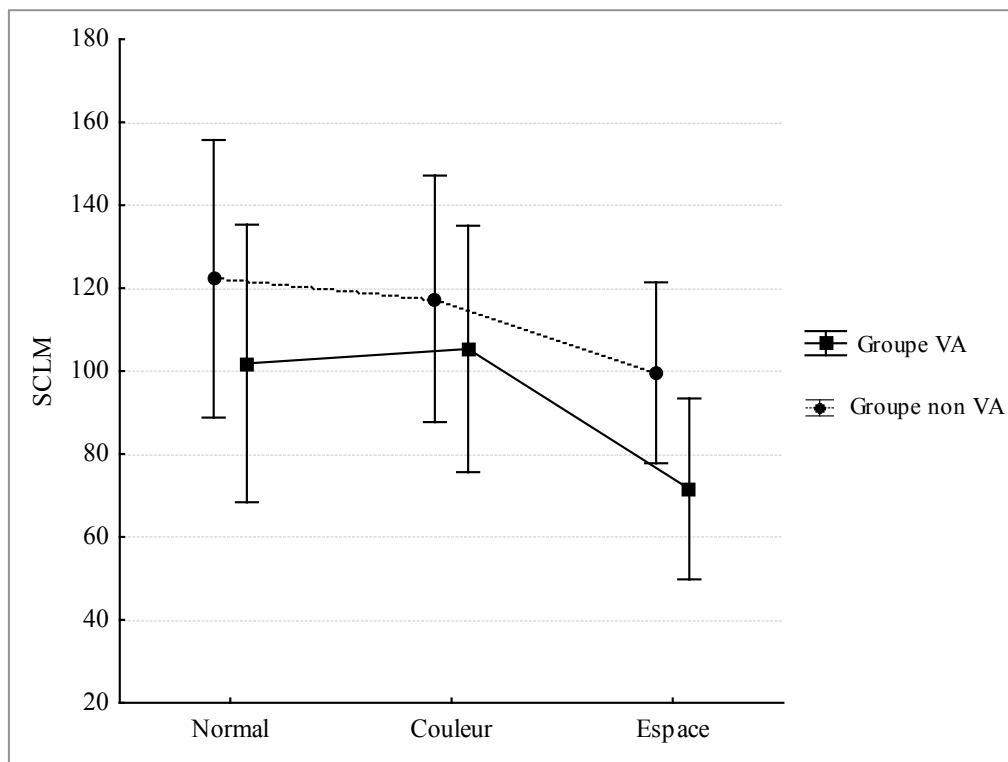
Tâches	Groupe VA N = 12			Groupe non VA N = 12			Comparaisons VA vs Phono	
	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	Moyenne (ET)	Etendue	Z-score moyen (ET)	F (1,24)	p
Age (mois)	125 (15.4)	104-159		122 (11.7)	101-141		<1	.607
Age de lecture (mois)	86 (4.6)	80-95		91 (7.3)	81-104		3.76	.065
Retard lexique	-38 (12.9)	-64 - -18		-31 (10.3)	-46 - -14		2.63	.119
Score rég. (/20)	16 (2.9)	10-19	-2.14 (1.9)	17 (1.9)	14-19	-1.15 (1.5)	2.80	.109
Temps rég. (sec)	55 (22.1)	20-89	-4.06 (2.9)	35 (16.1)	18-67	-1.00 (1.7)	6.27	<b>.025</b>
Score irrég. (/20)	10 (3.9)	5-15	-2.11 (1.3)	12 (4.7)	5-19	-1.65 (1.5)	1.18	.290
Temps irrég. (sec)	60 (21.1)	33-92	-3.56 (2.4)	44 (18.8)	20-80	-1.29 (1.9)	3.77	.065
Score PM (/20)	13 (3.9)	5-18	-2.83 (1.5)	13 (3.9)	5-18	-1.80 (1.7)	<1	.642
Temps PM (sec)	62 (19.5)	38-98	-3.08 (2.2)	45 (15.9)	27-79	-0.79 (1.3)	5.81	<b>.020</b>
Report global (%)	66 (6.5)	57-75	-1.55 (0.5)	83 (7.9)	70-94	0.44 (0.6)	33.22	<b>&lt;.001</b>
Report partiel (%)	67 (10.2)	40-76	-1.63 (0.9)	90 (7.3)	76-100	0.00 (0.7)	41.61	<b>&lt;.001</b>
Score VA	66 (5.4)	57-75	-1.59 (0.5)	86 (5.4)	73-94	0.22 (0.5)	28.97	<b>&lt;.001</b>

#### 6.4. Résultats

Le groupe non VA lit en moyenne cinq syllabes de moins en condition Couleur par rapport à la condition Normal, et 23 syllabes de moins en condition Espace par rapport à la condition Normal. Le groupe VA lit en revanche quatre syllabes de plus en condition Couleur par rapport à la condition Normal, mais 30 syllabes de moins en condition Espace par rapport à la condition Normal. Les résultats de l'ANOVA à mesure répétées n'ont cependant pas montré d'effet significatif du Groupe [ $F(1,22) = 1,20$  ;  $p = .286$ , mais un effet de la condition de présentation [Wilk's  $\lambda = 0.41$  ;  $F(2,21) = 15.22$  ;  $p < .001$ ] ; l'effet d'interaction entre la variable de groupe et la variable de présentation n'est pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.89$  ;  $F(2,21) = 1.27$  ;  $p = .302$ ]. Les analyses de contrastes réalisées entre la condition Normal et chacune des deux autres conditions ne montrent pas non plus d'effet significatif de la différence de scores entre les deux groupes. En revanche, les analyses de contrastes réalisées sur chacun des groupes montrent une différence significative des scores entre la condition Normal et la condition Espace pour les deux groupes (pour le groupe non VA [ $t = 2.53$  ;  $p < .05$ ] ; pour le groupe VA [ $t = 3.38$  ;  $p < .01$ ]). Les résultats sont présentés dans la Figure 48.



L'observation des données individuelles montre que cinq enfants dans le groupe VA et cinq enfants dans le groupe non VA présentent de meilleures performances en condition Couleur qu'en condition Normal. Trois de ces enfants non VA sont également aidés par la condition Espace, contre un dans le groupe VA. Cependant, l'analyse statistique de ces différences intra-individuelles (Crawford et Garthwaite, 2002), comparées aux performances de l'ensemble du groupe, ont montré que ces différences individuelles sont significatives pour un sujet du groupe VA seulement ( $t = -3.11$  ;  $p < .01$ ).



**Figure 48.** Moyennes et intervalle de confiance à 95% (barres verticales) du nombre de syllabes correctement lues par minute (SCLM) pour le groupe VA et pour le groupe non VA, dans chacune des conditions de présentation des textes.

Devant la tendance significative d'une différence entre les groupes concernant l'âge lexique, des analyses de régression linéaire ont également été réalisées sur l'ensemble du groupe. Il paraît en effet important de pouvoir évaluer l'influence de cette variable, une présentation avec saillance syllabique pouvant davantage aider les enfants ayant les plus faibles âges lexiques. En effet, l'objectif de cette saillance syllabique est théoriquement de faciliter le traitement analytique des enfants présentant un trouble de l'empan VA. Mais cette saillance peut également aider les enfants qui présentent un faible âge lexique, puisque le traitement analytique est prépondérant en début d'apprentissage de la lecture. Au contraire, les enfants meilleurs lecteurs et les enfants les plus âgés, qui lisent davantage en utilisant un traitement global, peuvent être pénalisés par cette condition de saillance syllabique, qui pourrait théoriquement perturber leur traitement global. L'âge de lecture et l'âge chronologique ont donc été entrés dans le modèle, associés au score composite d'empan VA, afin d'observer

l'effet de chacune de ces variables sur la différence de performances entre la condition Normal et la condition Couleur (Delta C-N) et entre la condition Normal et la condition Espace (Delta E-N).

Les résultats ont mis en évidence un effet de l'âge chronologique sur la différence de performances entre la condition Normal et la condition Couleur [ $F(1,23) = 13.06$  ;  $p < .01$ ], mais allant dans le sens inverse à celui attendu, puisque plus les enfants sont âgés, plus la différence de performances entre condition Couleur et condition Normal est positive. L'effet de l'âge de lecture est également significatif [ $F(1,23) = 13.06$  ;  $p < .05$ ], allant bien ici dans le sens attendu : plus l'âge de lecture est faible, plus la différence de performances entre condition Couleur et condition Normal est positive. Le seuil d'une différence à 0 se situe au niveau d'un âge de lexique de 89 mois (7 ans et 5 mois). En revanche, le score composite d'empan VA n'a pas d'effet sur ce Delta de performances ( $F < 1$ ). Concernant le Delta E-N entre la condition Espace et la condition Normal, seul l'âge de lecture a un effet [ $F(1,23) = 5.13$  ;  $p < .05$ ], ( $F < 1$  pour l'âge chronologique, et [ $F(1,23) = 1.53$  ;  $p = .231$ ] pour le score d'empan VA). Plus l'âge de lecture est élevé, plus le delta est négatif ; seul trois enfants d'un âge de lecture faible présentent de meilleures performances en condition Espace par rapport à la condition Normal. On rappelle que ces différences intra-individuelles ne sont pas significatives.

## 6.5. Discussion

L'objectif de cette étude était d'étudier l'effet d'une présentation de textes avec saillance syllabique sur les capacités de lecture d'enfants dyslexiques présentant un trouble de l'empan VA, par comparaison à des enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble de l'empan VA. Nous avons fait l'hypothèse qu'une saillance des syllabes dans un texte pourrait davantage faciliter la lecture des enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA. En effet, nous avons vu que ce trouble correspond à une perturbation du traitement simultané d'informations visuelles. Il conduit à traiter moins d'informations orthographiques en parallèle, et à des erreurs d'identification ou par exemple dans le découpage graphémique au niveau des graphèmes multi-lettres. Une modification de la présentation des mots qui rendrait les syllabes saillantes pourrait donc bénéficier aux enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA, en permettant de cibler les informations visuelles dont le traitement en tant qu'unité est pertinent pour une identification correcte du mot, et pourrait accélérer le processus d'identification du mot. Chez les enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble de l'empan VA, nous avons fait l'hypothèse qu'une présentation avec saillance syllabique devrait être moins aidante, et pourrait même être délétère, altérant le traitement global des mots si celui-ci est privilégié par ces enfants. Nous attendions donc un effet d'interaction entre le groupe et les conditions de présentation étudiées : une présentation sans modification, servant de base de comparaison, et deux présentations avec saillance syllabique, l'une par une alternance de couleurs entre les syllabes, et l'autre par l'introduction d'un espacement entre les syllabes.

Les résultats ne nous permettent pas de valider nos hypothèses. Nous n'avons en effet relevé aucun des effets d'interaction attendus. Pour les deux groupes, la condition de présentation

avec alternance de couleurs entre les syllabes ne se distingue pas de la condition de présentation normale, et la condition d'espacement s'avère délétère. Moins de la moitié des enfants dans chacun des groupes voient leur performance augmenter avec une présentation des syllabes en couleur, et trois enfants du groupe non VA voient leur performance augmenter en condition d'espacement. Mais ces différences intra-individuelles ne sont significatives que pour un enfant du groupe VA entre la condition Normal et la condition Couleur. Des analyses de régression ont confirmé que l'empan VA n'a pas d'effet sur les différences de performances entre la condition de présentation normale et chacune des deux conditions de présentations avec saillance. En revanche, ces analyses ont montré que l'âge de lecture des enfants, après contrôle de l'âge chronologique et de l'empan VA, a un effet : plus les enfants présentent un âge de lecture faible, moins les conditions de présentation avec saillance syllabique sont délétères ; la condition Couleur améliore les performances pour 42% des enfants, au seuil théorique d'un âge de lecture inférieur à 7 ans et 5 mois. De même, les trois enfants dont les performances sont meilleures en condition d'espacement présentent un faible âge de lecture. Ces différences intra-individuelles ne sont cependant pas significatives.

Ainsi dans cette étude, l'hétérogénéité cognitive des enfants dyslexiques n'est pas apparue déterminante dans les effets de cette méthode d'adaptation. Mais cette étude montre en revanche qu'une prise en compte de l'hétérogénéité clinique est nécessaire. Seuls les enfants présentant un niveau de lecture débutant sont aidés par les conditions de saillance syllabique. Ceci est cohérent avec le fait que les enfants en début d'apprentissage de la lecture privilégient un traitement analytique, qui est facilité par les conditions de présentation avec saillance syllabique, ou du moins, moins affecté par ces conditions de présentation par rapport aux enfants plus âgés, qui eux lisent davantage par un traitement global des mots qui pourrait être altéré par les conditions de saillance syllabique. Ceci est d'ailleurs cohérent avec le fait que la condition d'espacement entre les syllabes est davantage délétère ; la forme globale orthographique du mot étant ici clairement altérée, tandis qu'elle est maintenue en condition d'alternance de couleur entre les syllabes ; bien que cette alternance de couleur puisse forcer un traitement analytique, le traitement global reste possible. Un résultat plus inattendu concerne l'effet de l'âge chronologique sur les différences de performances entre la condition Normal et la condition Couleur : plus les enfants sont âgés, moins la condition Couleur est délétère, ou plus elle est aidante. Ceci pourrait être lié à de meilleures capacités d'inhibition chez les enfants plus âgés. Ces capacités leur permettraient d'inhiber ce traitement analytique forcé par la condition de présentation avec couleurs lorsque nécessaire, c'est-à-dire lorsqu'ils peuvent traiter le mot de façon globale. Mais ils pourraient également s'appuyer sur ce traitement analytique facilité par l'alternance de couleur lorsque le traitement global n'est pas possible, et qu'ils doivent alors adopter un mode de traitement analytique.

D'autre part, des limites méthodologiques sont à considérer. Tout d'abord, il est important de noter que les syllabes ont une longueur maximum de cinq lettres. Il est donc possible que ces unités restent trop longues pour les enfants que nous avons sélectionnés, qui présentent un trouble sévère de l'empan VA. En adoptant une méthode ciblant la saillance d'unités orthographiques plus réduites, dont le nombre de lettres ne dépasse pas les capacités d'empan VA (des syllabes plus courtes dans des mots sélectionnés à cet effet, ou encore des

graphèmes), nous aurions peut-être pu confirmer notre hypothèse, c'est-à-dire montrer que de telles méthodes d'adaptation visuelle peuvent d'avérer bénéfique spécifiquement pour les enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA. D'autre part, nous n'avons pas pu proposer une alternance stricte de l'ordre de présentation des différentes conditions, la condition Normal ayant toujours été proposée d'abord. Des effets de fatigue peuvent donc être en jeu. L'effet de l'empan VA sur les conditions de présentation avec saillance syllabique pourrait donc être reconsidéré au sein d'un protocole amélioré. De plus, les analyses de comparaison intra-individuelles pourraient être faites sur la base des scores d'une population d'enfants normo-lecteurs dont nous ne disposons pas ici. Il serait également plus pertinent de pouvoir comparer le groupe présentant un trouble de l'empan VA avec un groupe dyslexique dont le profil cognitif serait mieux qualifié. En effet, on ne peut ici pas conclure quant à l'influence du profil cognitif du groupe de comparaison 'non VA'. Une évaluation des capacités phonologiques par exemple aurait été pertinente.

Ces données montrent que, bien que de nombreux logiciels vantent les effets bénéfiques immédiats d'une présentation visuelle avec espacement entre les syllabes ou mise en couleur des syllabes, de telles modifications visuelles s'avèrent délétères chez la plupart des enfants dyslexiques, en particulier la condition d'espacement. Celle-ci qui n'a aidé que 13% des enfants dyslexiques dans notre étude et les améliorations ne sont pas significatives. Pour la condition avec présentation en couleur, seuls les enfants présentant les âges de lecture les plus faibles sont aidés (mais l'analyse des différences intra-individuelles entre les conditions montrent qu'un enfant seulement est significativement meilleur en condition Couleur qu'en condition Normal) ; cette condition relative au niveau de lecture devrait donc être davantage étudiée, pour, si nos résultats sont confirmés, être mentionnée par les éditeurs des logiciels.

Au-delà de l'effet immédiat sur les capacités de lecture attendu lors de la mise en place de ces adaptations visuelles, des effets à long terme sont souvent prônés par les éditeurs de tels logiciels. En effet, le découpage syllabique visuel est inhérent à l'apprentissage de la lecture (Ecalte et al., 2009; Jimenez et al., 2010). Il est donc possible qu'un entraînement à la lecture dans des conditions de présentation avec saillance syllabique ait non seulement des effets immédiats pour les enfants dyslexiques présentant un niveau de lecture débutant, mais également des effets bénéfiques à long terme. La prise en compte de l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique pourrait dans ces conditions être déterminante. Mais cette méthode pourrait également être efficace pour les enfants tout-venant. De tels effets n'ont pas été étudiés à notre connaissance, bien que ce type de présentation visuelle soit utilisé sur le plan pédagogique et notamment pour les enfants en difficulté (Cox, 1994).

Dans cette étude, une méthode d'adaptation de la présentation visuelle de textes permettant une saillance syllabique dans les mots a été étudiée en tenant compte de l'hétérogénéité cognitive des enfants dyslexiques, à travers la présence ou non d'un trouble de l'empan VA chez ces enfants. Deux conditions de saillance syllabique ont été testées, l'une utilisant une alternance de couleurs entre les syllabes dans les mots, et l'autre incluant un espacement entre les syllabes, comparées à une condition de présentation normale classique. Les résultats n'ont pas montré de différence d'effet de ces conditions en fonction de la présence ou non d'un trouble de l'empan VA. La condition Couleur ne se distingue pas en moyenne de la condition de présentation normale et la condition d'Espacement s'avère délétère. Les analyses intra-individuelles montrent que la condition Couleur est significativement plus efficace que la condition de présentation normale pour un seul enfant du groupe VA. Les analyses de régression confirment que la taille de l'empan VA n'a pas d'effet sur les variations de performances entre les conditions. En revanche, l'âge de lecture et l'âge chronologique des enfants s'avèrent être des facteurs déterminants. Ainsi, l'hétérogénéité clinique, caractérisée par divers niveaux de lecture chez les enfants dyslexiques, doit être prise en compte pour la mise en place de tels moyens d'adaptation. Ces effets sont à approfondir au travers d'études de plus en grande envergure, incluant l'étude de l'influence d'autres facteurs cognitifs.

## Chapitre 4. DISCUSSION GÉNÉRALE

Les recherches menées dans le cadre de ce travail de thèse avaient pour objectifs de mieux caractériser l'hétérogénéité des troubles dyslexiques, sous l'angle de deux théories explicatives : la théorie du déficit de l'empan VA et la théorie phonologique. Pour cette dernière, nous nous sommes plus particulièrement intéressées à l'hypothèse d'un déficit de conscience phonologique et celle d'un trouble de la perception catégorielle des phonèmes.

Nous nous sommes tout d'abord interrogés sur les relations entretenues entre les profils de lecture (hétérogénéité comportementale), notamment selon la classification du modèle double-voie, et les déficits cognitifs hypothétiquement explicatifs (hétérogénéité cognitive). Une étude de groupes et une étude de cas ont été consacrées à cette question. Une troisième étude a porté plus spécifiquement sur l'hétérogénéité cognitive d'un groupe d'enfants dyslexiques à travers l'étude des liens entre l'empan VA, la conscience phonologique et la perception catégorielle de phonèmes. Puis nous nous sommes interrogés sur la prise en compte de cette hétérogénéité cognitive dans la remédiation de la dyslexie au travers de deux études, une étude longitudinale d'entraînement cognitif et l'étude d'une méthode d'adaptation visuelle. L'étude d'entraînement présente par ailleurs un intérêt majeur sur le plan théorique, puisqu'en utilisant des programmes d'entraînement cognitif n'incluant pas d'entraînement direct à la lecture, c'est-à-dire n'incluant pas de matériel écrit, nous pouvons interroger la relation de causalité entre trouble de l'empan VA et dyslexie, et entre trouble de la perception catégorielle, conscience phonologique et dyslexie.

Dans ce dernier chapitre, nous rappellerons les principaux résultats des recherches menées et nous les discuterons selon les deux grands axes qui ont guidé nos recherches : la compréhension de l'hétérogénéité qui caractérise la dyslexie, et la remédiation de ce trouble développemental, avec les enjeux à la fois théoriques et cliniques que porte ce second axe.

### 1. Vers une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la dyslexie

#### 1.1. Empan VA et Phonologie

Dans notre premier chapitre, nous avons vu que de nombreuses théories explicatives de la dyslexie ont été développées, émanant de l'observation de déficits cognitifs variés dans la population dyslexique, c'est-à-dire de performances déficitaires chez les personnes dyslexiques sur un grand nombre de tâches, auditives et visuelles. Certaines théories semblent pouvoir se recouper, telles la théorie magnocellulaire et la théorie d'un déficit phonologique (Boets et al., 2008; Cestnick et Coltheart, 1999; Witton et al., 1998). De même, une cooccurrence entre les troubles du désengagement attentionnel (Hari et Renvall, 2001) ou d'orientation de l'attention (Facoetti, Trussardi, et al., 2010) et les troubles phonologiques a

été mise en évidence (Lallier, Donnadieu, et al., 2010 ; Lallier, Tainturier, et al., 2010 ; Lallier et al., 2009; Renvall et Hari, 2002). En revanche, nous avons vu que de nombreux arguments ont été apporté en faveur d'une dissociation entre le trouble de l'empan VA et le trouble phonologique. Tout d'abord, dans le développement normal, ces processus, ainsi que leur influence sur la lecture, apparaissent comme indépendants (Bosse et Valdois, 2009). De plus, en contexte de dyslexie, le trouble de l'empan VA a fréquemment été mis en évidence dans des études de cas d'enfants ne présentant pas de trouble phonologique (Dubois et al., 2010; Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003; Valdois, Peyrin, et al., 2014), ou dans des études de groupes dont les analyses factorielles ont permis de dissocier des sous-groupes d'enfants dyslexiques présentant soit un trouble de l'empan VA, soit un trouble phonologique (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014).

Les trois premières études réalisées dans le cadre de ce travail de thèse confirment ces données. En effet, nous avons décrit le cas d'un jeune garçon dyslexique présentant un trouble de l'empan VA (Etude II) sans trouble phonologique associé. Cette étude a permis d'une part de montrer que son trouble portait spécifiquement sur le traitement visuel simultané de plusieurs caractères ; d'autre part les résultats témoignent de capacités de traitement verbal et phonologique préservées au vu de ces bonnes performances sur un grand nombre d'épreuves (conscience phonologique, mémoire à court terme, perception des phonèmes, dénomination...). Les résultats de l'Etude I portant sur un large échantillon d'enfants dyslexiques ont également montré qu'une part non négligeable de ces enfants présentait un trouble de l'empan VA isolé sans trouble de la conscience phonologique, tandis qu'un autre sous-groupe d'enfants dyslexiques, d'effectif équivalent, présentait à l'inverse un trouble de conscience phonologique sans trouble de l'empan VA. La même dissociation, dans des proportions équivalentes, a également été mise en évidence dans l'Etude III auprès d'un nouvel échantillon d'enfants dyslexiques, dont les sous-groupes ont été identifiés non pas sur la base d'analyses factorielles, mais sur la base d'une analyse des z-scores. Cette troisième étude apporte de nouveaux arguments en faveur de la dissociation entre trouble phonologique et de l'empan VA en montrant que le trouble de perception catégorielle que présentent les enfants dyslexiques est indépendant des troubles de l'empan VA. Nous avons montré en revanche que le trouble de la perception catégorielle des phonèmes (Bogliotti et al., 2008; Godfrey et al., 1981; Reed, 1989; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004) est bien lié au trouble de conscience phonologique. Un point fort de cette étude à travers l'analyse de médiation réalisée a été de montrer que la conscience phonologique influence l'effet de la perception catégorielle sur la précision en lecture. L'autre résultat marquant a été de montrer que cette relation est indépendante des capacités d'empan VA des enfants. En accord avec ces résultats, les analyses en sous-groupes ont montré que les capacités de perception catégorielle des enfants dyslexiques avec trouble de la conscience phonémique diffèrent significativement de celles des enfants normo-lecteurs, tandis que le sous-groupe présentant un trouble de l'empan VA a des capacités de perception catégorielle similaires à celles des normo-lecteurs.

Ces données pourraient permettre de rendre compte en partie de la variabilité des résultats observée dans la littérature concernant les capacités de perception de la parole des personnes dyslexiques (voir les méta-analyses de (Vandermosten et al., 2011)et (Noordenbos et

Serniclaes, 2015). En effet, lorsque l'hétérogénéité de la population dyslexique n'est pas prise en compte, c'est-à-dire l'existence de sujets dyslexiques ne présentant pas de trouble phonologique, alors le déficit de perception catégorielle qui caractérise un sous-groupe peut être non décelable statistiquement au niveau des analyses portant sur les performances moyennes de l'ensemble du groupe. Une variabilité des capacités de perception catégorielle est cependant également apparue entre les données obtenues dans les différentes études que nous avons menées (Etude III et Etude IV), bien que ces études tiennent compte de cette hétérogénéité. Par ailleurs, nos résultats se distinguent également, sur certaines dimensions, des données classiquement relatées dans la littérature comme caractéristiques de la population dyslexique. En effet, dans l'Etude III, les enfants dyslexiques, en tant que groupe, présentent une moindre sensibilité aux contrastes allophoniques que les enfants normo-lecteurs, et cette moindre sensibilité est présente pour le sous-groupe avec trouble de conscience phonologique, mais pas pour le sous-groupe avec trouble de l'empan VA. Or, la théorie de la perception allophonique soutient au contraire l'hypothèse d'une plus grande sensibilité aux allophones, au niveau des frontières phonémiques universelles, chez les enfants dyslexiques par rapport aux enfants normo-lecteurs. Un possible phénomène de sur-inhibition de ces frontières universelles a été discuté dans l'Etude III. Cependant dans l'Etude IV (Partie 2), les courbes de discrimination obtenues sont sensiblement différentes : on observe une plus grande sensibilité allophonique autour de + 30 ms de VOT pour un de nos sous-groupes<sup>27</sup> avec trouble de la conscience phonologique (Phono cible1) mais pas pour le seconde (Phono cible2). Par ailleurs, une faible sensibilité allophonique est observée pour un des sous-groupes présentant un trouble de l'empan VA (VA cible1) contrairement aux résultats de l'Etude III, mais pas pour le seconde sous-groupe (VA cible2). Il est important de noter que ces différences ne peuvent être attribuées à des différences méthodologiques concernant les tâches utilisées, souvent incriminées pour rendre compte de la variabilité observée (Noordenbos et Serniclaes, 2015), puisque tous nos sujets ont été soumis aux mêmes épreuves dans les mêmes conditions. Ces données montrent donc une variabilité des capacités de perception catégorielle même lorsque l'hétérogénéité cognitive, c'est-à-dire l'existence des sous-groupes cognitifs, est prise en compte. Cependant il est important de souligner les faibles effectifs des sous-groupes de l'Etude IV (entre cinq et huit enfants par sous-groupes) et l'absence de groupe contrôle normo-lecteurs. Les données de l'Etude III sont sans doute davantage fiables, puisqu'elles sont issues de sous-groupes constitués chacun d'une vingtaine d'enfants dyslexiques. Ces considérations concernant la variabilité mériteraient d'être davantage étudiées, en tenant compte d'autres facteurs, telle la variabilité relative à d'autres continuums de VOT. Les mesures et données normatives permettant la mise en évidence au niveau individuel d'un déficit de perception catégorielle mériteraient également d'être étudiées de façon plus approfondie, car elles pourraient permettre d'étudier cette variabilité en tenant

---

<sup>27</sup> Cette sensibilité n'est pas due à l'effet d'un seul sujet.



compte davantage des données individuelles, mais également pour une application clinique, en permettant d'identifier directement les patients présentant un tel déficit.

## 1.2. Hétérogénéité cognitive et profils en lecture

Au-delà des liens entre divers processus cognitifs issus de différentes théories explicatives de la dyslexie, et de leur variabilité dans la population dyslexique, nous nous sommes également intéressés dans ce travail aux liens entretenus entre cette variabilité cognitive (trouble phonologique ou trouble de l'empan VA) et l'hétérogénéité de la population dyslexique sur le plan comportemental en lecture (profils de lecture). En effet, notre revue de littérature nous a permis de constater que les relations entretenues entre les profils de lecture, que nous avons abordées selon la classification du modèle double-voie, et les déficits cognitifs sous-jacents, sont loin d'être clairement établis. De nombreux auteurs considèrent que la dyslexie phonologique caractérisée par un déficit sélectif de la lecture de pseudo-mots résulte d'un trouble phonologique. Mais il a été montré que la dyslexie de surface pourrait elle aussi résulter d'un tel trouble (Jimenez et al., 2009; Sprenger-Charolles et al., 2000; Ziegler et al., 2008), ce qui a conduit à nier l'existence de sous-types cognitifs distincts. Ces données se sont donc inscrites dans une approche phonologique unitaire de la dyslexie. Cependant, des études ont également montré que des cas de dyslexie de surface sont associés à des troubles de l'empan VA (Bouvier-Chaverot et al., 2012; Dubois et al., 2010; Peyrin et al., 2012). De plus, nous avons vu, dans le contexte du modèle ACV98 (Ans et al., 1998), que le rôle de l'empan VA dans le traitement analytique n'est pas négligeable. Or lorsqu'un dysfonctionnement de ce traitement apparaît, qui se traduit un déficit de la lecture de pseudo-mots, un trouble phonologique est classiquement interprété. Autrement-dit, il existe une forte tradition dans la littérature considérant qu'un déficit en lecture de pseudo-mots est le marqueur d'un trouble phonologique (Bradley et Bryant, 1983; Hulme et al., 2002; Noordenbos et Serniclaes, 2015; Wimmer et al., 1991). Rack et collaborateurs (1992) ont par exemple conclu que l'indicateur le plus pertinent d'un déficit des processus phonologiques chez les enfants dyslexiques est une capacité sévèrement réduite de décodage des pseudo-mots.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés dans une étude de groupes aux profils de dyslexie mixte, qui se caractérisent selon la nomenclature classique par une lecture déficitaire sur les mots (réguliers mais surtout irréguliers) et les pseudo-mots (Etude I), et à un profil de dyslexie phonologique dans une étude de cas (Etude II).

Les dyslexies mixtes sont classiquement interprétées comme résultant d'un double déficit (Manis et al., 1996), ce tableau clinique étant perçu comme le résultat d'un cumul des déficits de la dyslexie phonologique et de la dyslexie de surface. Cette interprétation est pourtant peu compatible avec la forte prévalence des dyslexies mixtes dans la population. L'approche phonologique, dans le cadre de la théorie de l'auto-apprentissage (Share, 1995), amène en revanche à faire l'hypothèse que ce tableau pourrait résulter d'un trouble phonologique unique, tel que prédit par le modèle HS99 (Harm et Seidenberg, 1999). Récemment, une étude a d'ailleurs montré que le déficit phonologique d'un groupe d'enfants présentant une dyslexie phonologique était comparable à celui d'un groupe présentant une dyslexie mixte (Layes,

Lalonde et Rebaï, 2015). Par référence au modèle ACV98 (Ans et al., 1998), nous avons fait l'hypothèse qu'un trouble de l'empan VA pourrait également avoir pour conséquence un tableau de dyslexie mixte, étant donné le rôle de l'empan VA à la fois sur la procédure globale de lecture mais également sur la procédure analytique. Notre hypothèse était donc qu'un trouble phonologique et un trouble de l'empan VA pouvait tous deux, et de façon indépendante, rendre compte de profils de dyslexies mixtes. Ceci amènerait à démontrer l'absence de concordances entre les profils en lecture, et les déficits cognitifs sous-jacents.

Les résultats de notre étude ont montré une forte hétérogénéité cognitive dans la population, malgré cette homogénéité des profils de lecture. Nous avons montré en effet que le profil de dyslexie mixte en lecture de ces enfants était associé soit à un trouble phonologique isolé, soit à un trouble de l'empan VA isolé. Contrairement à une conception classique de la dyslexie mixte, nous n'avons identifié qu'une faible proportion d'enfants présentant un double déficit (17%). Étonnamment, nous avons également identifié une proportion non négligeable d'enfants ne présentant aucun des deux déficits en question (17%). La pluralité des déficits que nous avons mis en évidence dans la dyslexie mixte semble nettement plus compatible avec la prévalence de ce type de dyslexie, plusieurs troubles amenant au même tableau clinique.

Nous avons également réalisé une analyse de comparaison entre les deux sous-groupes présentant un trouble cognitif isolé, soit phonologique, soit de l'empan VA, afin d'examiner l'impact de chacun de ces déficits sur les deux voies de lecture. En effet, bien que tous les enfants aient présenté un profil de dyslexie mixte, nous pouvions attendre un trouble du traitement des pseudo-mots plus sévère pour le groupe phonologique et un trouble du traitement des mots irréguliers plus sévère pour le groupe VA. Contrairement à cette hypothèse, lorsque ces deux sous-groupes ont été comparés sur leurs capacités de traitement des mots réguliers et irréguliers, et des pseudo-mots, que ce soit en lecture ou en dictée, en score ou en vitesse, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence, excepté pour la dictée de pseudo-mots, plus déficitaire chez les enfants avec trouble phonologique. Ces résultats montrent clairement que des sous-groupes cognitivement distincts peuvent ne se distinguer que minimalement sur leur profil de lecture ou d'orthographe. Une analyse qualitative du type d'erreurs permet néanmoins de distinguer des types d'erreurs plus fréquemment associés à l'un ou l'autre de ces déficits ; les confusions de voisement sont plus fréquentes en cas de trouble phonologique, alors que les erreurs de découpage graphémique, sont plus fréquente en cas de trouble de l'empan VA. Ces données ont donc confirmé nos hypothèses initiales. Elles montrent qu'une hétérogénéité cognitive peut caractériser une population dyslexique pourtant homogène en termes de profil de lecture selon la classification du modèle double-voie ; nos résultats suggèrent en fait que des troubles cognitifs très différents, en l'occurrence un trouble phonologique et un trouble de l'empan VA, pourraient avoir un impact très similaire sur le développement des connaissances orthographiques et le traitement orthographique, et, de façon plus inattendue, sur la lecture de pseudo-mots, et donc le traitement analytique..

Dans les études que nous avons menées par la suite (Etude III et IV), des analyses de comparaisons entre un sous-groupe présentant un trouble de l'empan VA sans atteintes des

capacités de conscience phonologiques, et un sous-groupe présentant le profil cognitif inverse ont quasiment systématiquement été réalisées et nous permettent de confirmer ces données. En effet, aucune différence n'a jamais été mise en évidence entre les deux groupes sur leurs scores en lecture de mots, irréguliers et réguliers, et de pseudo-mots (cf. Tableau 17 et Tableau 20). En revanche, dans l'Etude III, des différences apparaissent sur la vitesse de lecture des mots réguliers et des pseudo-mots, et une tendance est relevée sur la vitesse de lecture de mots irréguliers, entre les deux groupes dans l'Etude III, le groupe avec trouble de l'empan VA isolé étant plus lent que le groupe avec trouble phonologique isolé. Ceci est cohérent avec les données dont nous disposons quant au rôle de l'empan VA dans le développement de la lecture et de la dyslexie. En effet, l'étude de Bosse et collaborateurs (2007) a montré que les capacités d'empan VA d'un groupe d'enfants dyslexique prédisent davantage la vitesse de lecture que le score, et ce quel que soit le type de mots considéré (mots réguliers, irréguliers ou pseudo-mots). Dans une seconde étude réalisée auprès d'enfants tout-venant du CP au CM2, les résultats des analyses de régression hiérarchique ont montré que la vitesse de lecture dépend bien plus des capacités d'empan VA que des capacités de conscience phonologique (Bosse et Valdois, 2009). Un lien privilégié avec la vitesse de lecture a également été démontré par Lobier et collaborateurs (2013). La différence de vitesse de lecture entre les deux groupes dans notre Etude III est particulièrement intéressante concernant les capacités de lecture de pseudo-mots, puisqu'ici c'est bien le groupe avec trouble de l'empan VA qui présente un déficit plus marqué en lecture de pseudo-mots que le groupe avec trouble phonologique, ce dernier faisant autant d'erreurs mais étant plus rapide. Ainsi, ces données vont à l'encontre de la conception classique selon laquelle le trouble en lecture de pseudo-mots est un marqueur fiable d'un déficit phonologique.

Notre seconde étude a permis d'apporter également un argument supplémentaire en faveur d'une non-concordance entre profil de lecture basé sur le modèle double-voie et trouble cognitif sous-jacent, et en particulier concernant le rôle de l'empan VA sur le traitement analytique. En effet, cette étude décrit pour la première fois dans la littérature le cas d'un jeune garçon dyslexique qui présente un profil de dyslexie phonologique, c'est-à-dire une atteinte sélective de la lecture de pseudo-mots, mais sans qu'aucun trouble de nature phonologique n'ait pu être mis en évidence, tandis qu'un trouble des capacités VA de traitement simultané, tel qu'est défini l'empan VA, est nettement identifiable. De plus, cette étude montre que les liens entre profil de lecture et trouble cognitif proximal, c'est-à-dire au niveau du fonctionnement des deux voies de lecture, n'est pas non plus fiable. En effet, alors que la lecture de mots irréguliers de Léo n'est pas déficitaire, ce qui pourrait être interprété comme une démonstration de l'efficacité de ses capacités de traitement global et donc d'un lexique orthographique préservé, les résultats d'autres épreuves qui lui ont été proposées vont à l'encontre de cette interprétation. Ces résultats montrent en effet une atteinte de ses compétences orthographiques. L'influence de son bon niveau intellectuel sur les mécanismes de compensation en jeu mériterait d'être davantage étudiée. De même, des prédictions pourraient être faites en lien avec les caractéristiques de la langue. En effet, dans des langues comme le français, où le nombre de mots irréguliers en lecture est relativement limité, il est possible que des enfants avec trouble de l'empan VA puissent montrer des capacités de lecture de mots irréguliers relativement préservées s'ils parviennent à inférer les mots à partir

de certains segments orthographiques spécifiques perçus, malgré une prise d'information visuelle par ailleurs très partielle.

Ces données recueillies dans notre les premières études de ce travail de thèse confirment bien que l'empan VA contribue également à la lecture de pseudo-mots, indépendamment des capacités phonologiques, corroborant les études menées sur les populations d'enfants normo-lecteurs (Bosse et Valdois, 2009; van den Boer et al., 2015), ou des populations dyslexique (Bosse et al., 2007; Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003), et en accord avec les prédictions du modèle ACV98 (Ans et al., 1998) quant au rôle de l'empan VA sur le traitement analytique.

L'ensemble de ces données montre donc que les profils de lecture des enfants ne permettent pas d'identifier des sous-populations dyslexiques plus homogènes sur le plan cognitif. Ces conclusions sont à modérer concernant les profils en dictée de ces enfants. En effet, nous avons tout d'abord souligné dans notre revue de littérature que les profils en dictées ne sont pas toujours concordants avec les profils de lecture (Curtin et al., 2001; Romani et al., 2008; Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003). L'étude de Romani et collaborateurs avait d'ailleurs conclu que les sous-types basés sur les profils de dictée semblaient plus pertinents que ceux basés sur les profils de lecture pour distinguer les atteintes cognitives sous-jacentes. Nos données corroborent ces observations, puisque nous avons montré que Léo, dont le profil en lecture est celui d'une dyslexie phonologique, présente en revanche un profil de dysorthographe de surface. De même, les enfants présentant une dyslexie mixte dans notre première étude semble davantage relever d'un profil de dysorthographe de surface (relatif), lorsqu'ils ne présentent pas de trouble de la conscience phonologique associé. La tâche de dictée de pseudo-mots est donc particulièrement sensible à un tel trouble cognitif. Ceci est conforme à nos prédictions, puisque cette tâche relève principalement des capacités de traitement phonologique des mots à l'oral.

En conclusion, nous avons donc de solides arguments montrant que les profils de lecture basés sur la classification du modèle double-voie ne présentent aucune concordance stricte avec les troubles cognitifs sous-jacents, du moins en termes de trouble phonologique et de trouble de l'empan VA. Les références d'un ensemble de données en faveur de cette conclusion sont rassemblées dans le Tableau 25.

**Tableau 25.** Adapté de Valdois (sous presse). Correspondance entre déficits sous-jacents phonologique ou de l’empan VA et profils de lecture.

	Profil de lecture	Références
<b><i>Trouble phonologique</i></b>	Dyslexie phonologique	- (Valdois, Bosse, et al., 2003) - (Lallier, Donnadieu, et al., 2010)
	Dyslexie de surface	Non décrit
	Dyslexie mixte	- Etude I (Zoubrinetzky et al., 2014)
<b><i>Trouble de l’empan VA</i></b>	Dyslexie phonologique	- Etude II
	Dyslexie de surface	- (Bouvier-Chaverot et al., 2012) - (Dubois et al., 2010) - (Valdois, Bosse, et al., 2003)
	Dyslexie mixte	- Etude I (Zoubrinetzky et al., 2014) - (Valdois et al., 2011) - (Valdois, Peyrin, et al., 2014)

Ces données sont primordiales pour les travaux de recherche futurs, notamment en neuroimagerie et génétique, afin que des biais liés à l’hétérogénéité cognitive de la population dyslexique soient évités. Si la classification classique basée sur le modèle double-voie ne permet pas de constituer des sous-groupes homogènes en termes de déficits cognitifs, ces derniers pourraient être directement pris en compte dans une nouvelle classification, où l’on distinguerait une forme de dyslexie par trouble phonologique et une forme de dyslexie par trouble de l’empan VA. Ceci rejoint les propos de Bishop : *“to see clearer relationships between genotype and phenotype, we may need to move beyond the clinical category of dyslexia to look at underlying cognitive deficits”* (Bishop, 2015, p.1). Les enjeux sur le plan clinique pourraient également être majeurs. Une meilleure compréhension de l’hétérogénéité de la population dyslexique pourrait en effet permettre de mieux cibler les moyens d’interventions permettant de remédier au trouble (Heim et Grande, 2012 ; Heim et al., 2008; Pacheco et al., 2014). C’est notamment à cette question que nous nous sommes intéressées dans les deux dernières études de ce manuscrit.

## 2. Vers un développement des études de remédiation de la dyslexie

---

### 2.1. Pour une amélioration de la lecture, les enjeux cliniques

Une meilleure compréhension de l'hétérogénéité de la population dyslexique, telle que visée dans les trois premières études, pourrait permettre de mieux cibler les moyens de remédiation de ce trouble. Nous pouvons en effet supposer que si le trouble cognitif sous-jacent le plus probablement explicatif du trouble de lecture a bien été identifié et est spécifiquement visé dans les moyens de remédiation mis en œuvre, les améliorations consécutives en lecture seront plus importantes, avec une meilleure généralisation des progrès, que si les méthodes de remédiations restent génériques. Cette hypothèse a été testée dans les deux dernières études que nous avons réalisées.

Dans l'Etude V, nous avons étudié l'effet de deux types de présentation avec saillance syllabique, l'une par alternance de couleur entre les syllabes, l'autre par l'introduction d'un espace entre les syllabes. Nous avons fait l'hypothèse qu'une saillance des syllabes dans un texte pourrait davantage faciliter la lecture des enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA que celle des enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble de l'empan VA. En effet, nous avons vu que ce trouble du traitement simultané des informations visuelles conduit à des erreurs de découpage dans les graphèmes multi-lettres (Etude I). Une modification de la présentation des mots qui rendrait les syllabes saillantes pourrait donc permettre de cibler les informations visuelles dont le traitement en tant qu'unité est pertinent et ainsi améliorer le processus d'identification du mot. Chez les enfants dyslexiques ne présentant pas de trouble de l'empan VA, nous avons fait l'hypothèse qu'une présentation avec saillance syllabique devrait être moins aidante, et pourrait même être délétère, altérant le traitement global des mots si celui-ci est privilégié par ces enfants. Les résultats L'Etude V n'ont pas permis de confirmer cette hypothèse. Pour les deux groupes, la condition de présentation avec alternance de couleurs entre les syllabes ne se distingue pas de la condition de présentation normale, et la condition d'espacement s'avère délétère. En revanche, les analyses de régression ont montré un effet de l'âge de lecture. En effet, la condition de présentation avec alternance de couleur conduit à de meilleures performances en lecture pour les 10 enfants présentant un âge de lecture bas, et la condition d'espacement améliore la lecture de trois enfants présentant un âge de lecture bas. Ainsi, la prise en compte de l'hétérogénéité cognitive n'a pas été significative dans cette étude, mais les résultats montrent qu'une prise en compte de l'hétérogénéité clinique, c'est-à-dire du niveau de lecture des enfants, est déterminante. Cette étude présente de nombreuses limites, qui ont été discutées précédemment (cf. Chapitre 3.6.5.), qui nécessiteraient l'élaboration d'un nouveau protocole de recherche, dans lequel d'autres méthodes d'adaptation pourraient être testées (e.g. la saillance graphémique, relative à des unités orthographiques plus courtes) et l'hétérogénéité cognitive mieux caractérisée, le groupe sans trouble de l'empan VA n'étant pas clairement identifié sur le plan cognitif. L'examen des compétences phonologiques aurait par exemple pu permettre de mieux caractériser ce groupe non VA, ainsi que le groupe VA (qui pourrait inclure des enfants présentant un double phonologique : VA et phonologique). Les effets à plus long terme de ces méthodes appliquées

à l'apprentissage de la lecture en tenant compte du profil cognitif des enfants pourraient également être étudiés.

Dans l'Etude IV, nous nous sommes intéressées à une autre dimension de la remédiation de la dyslexie qui concerne les effets des entraînements cognitifs. Nous avons proposé à un groupe d'enfants dyslexiques présentant soit un trouble de la conscience phonologique, soit un trouble de l'empan VA, deux programmes d'entraînement réalisés successivement. L'un des programmes visait à améliorer les capacités de perception catégorielle des phonèmes (RAPDYS), ainsi que la conscience phonologique de façon plus indirecte, l'autre programme visait à améliorer l'empan VA (MAEVA). Nous avons fait l'hypothèse que, pour le groupe avec trouble de l'empan VA, une progression plus importante des capacités d'empan VA et des capacités de lecture devrait être relevée pour le sous-groupe ayant suivi le programme MAEVA, visant spécifiquement l'habileté cognitive déficitaire, par rapport au sous-groupe ayant suivi le programme non ciblé RAPDYS. De même, pour le groupe présentant un trouble de conscience phonologique, une progression plus importante des capacités phonologiques et des capacités de lecture devrait être relevée pour le sous-groupe ayant suivi le programme RAPDYS, visant spécifiquement l'habileté cognitive déficitaire, par rapport au sous-groupe ayant suivi le programme MAEVA. Les résultats de cette étude ont confirmé nos hypothèses pour le groupe présentant un trouble sévère de l'empan VA, pour lequel un effet spécifique de MAEVA sur la taille de l'empan VA et sur la lecture a bien été mis en évidence. Ces données constituent un apport majeur de ce travail de thèse. En effet, elles attestent de l'efficacité du programme MAEVA qui n'avait jusqu'alors pas été démontrée. Une amélioration de l'empan VA et de la lecture, consécutive à un autre entraînement visant l'empan VA, n'avait pour l'instant été mise en évidence qu'à travers une étude de cas (Valdois, Peyrin, et al., 2014). Les résultats que nous avons obtenus ont une implication clinique majeure et sont ainsi porteuses d'espoir pour les enfants présentant des troubles de l'empan VA.

En revanche, contrairement à notre hypothèse, les analyses n'ont montré que peu d'effets consistants et cohérents de l'entraînement RAPDYS sur les capacités phonologiques, qu'il s'agisse de la perception ou la conscience des phonèmes, ni sur la lecture. Des limites théoriques et méthodologiques doivent cependant être considérées. Il paraît important avant cela de pointer un possible écueil méthodologique qui a cependant été contrôlé. En effet, on peut remarquer que les analyses ont porté sur le nombre de mot correctement lus par minute. Or, les données de la littérature suggèrent que les entraînements de nature phonologique ont davantage d'effets sur la précision que sur la vitesse de lecture (Torgesen et al., 2001). Ces analyses ont cependant été menées et conduisent à des résultats similaires concernant les effets de RAPDYS sur la lecture. Par ailleurs, les limites de l'observation des seules réponses comportementales dans nos analyses ont été discutées précédemment (Chapitre 3.5.7), ainsi que l'absence de contrôle des effets à long terme. D'autre part, il est possible que l'entraînement RAPDYS n'ait pas pu induire d'amélioration de la conscience phonologique ou de la lecture du fait d'un entraînement limité à un seul continuum de VOT, limitant les possibilités d'une généralisation des effets de l'entraînement sur d'autres phonèmes que ceux entraînés. Il serait intéressant d'introduire d'autres phonèmes dans un tel programme d'entraînements, ce qui permettrait également de le rendre plus attractif pour les enfants car

moins répétitif. Il est d'autre part possible que le trouble de perception catégorielle soit très difficilement remédiable, et/ou que le transfert d'une possible amélioration de ce trouble sur la lecture ne soit pas possible ou très limité, si par exemple cette amélioration n'intervient qu'une fois passée la période critique d'acquisition du langage (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007). Nous pouvons également nous interroger sur la sélection des sujets dans nos sous-groupes. En effet, les enfants ont été sélectionnés sur la base d'un score composite en conscience phonologique inférieur à la médiane ; il est donc possible que la sous-population qui peut potentiellement bénéficier de cet entraînement ait été mal sélectionnée, 'noyant' ainsi l'effet du traitement, qui n'est alors plus détectable sur le plan statistique. On souligne d'ailleurs que les effets significatifs de MAEVA en lecture ont pu être identifiés lorsqu'une sélection plus sévère des enfants a été appliquée quant à leur trouble de l'empan VA (-1,5ET). Ce problème de sélection des sujets renvoie aux difficultés qui ont été rencontrées dans la réalisation de cette étude longitudinale. En effet, alors qu'une sélection plus stricte des sujets sur la base de leur profil cognitif était visée initialement, nous avons dû adopter une sélection plus souple face aux difficultés de recrutement rencontrées, et au problème de « mortalité » expérimentale.

Cette étude nous a permis de confirmer l'intérêt d'une prise en compte de l'hétérogénéité cognitive dans les méthodes de remédiation de la dyslexie. Des améliorations sont cependant à apporter à chacun de ces entraînements, dont l'étude doit se poursuivre. Afin d'en augmenter les effets sur la lecture, l'inclusion de matériel écrit doit être envisagée. Nous avons vu en effet que les méthodes les plus efficaces sont celles qui incluent un entraînement direct des processus de lecture (cf. c)). Couplé à un entraînement des processus cognitifs sous-jacents supposés en cause, ce type de programme pourrait être des plus efficaces, avec une meilleure généralisation des effets. Cependant, en incluant un matériel écrit, les hypothèses de causalité sous-jacente ne peuvent être évaluées. Les programmes purement cognitifs, tels ceux que nous avons étudiés ont donc des enjeux théoriques majeurs, que nous allons à présent discuter.

## 2.2. Pour une évaluation des hypothèses explicatives, les enjeux théoriques

Dans notre revue de littérature (cf. Chapitre 1.1.3.1), nous avons vu que différents arguments peuvent être apportés en faveur de liens de causalité entre un déficit cognitif et un trouble du développement de la lecture. Parmi ces arguments, nous avons tout d'abord, dans l'Etude I, pu comparer les performances des enfants dyslexiques avec celles d'un groupe contrôle d'enfants normo-lecteurs de même âge de lecture. Nous avons constaté des différences significatives entre ces groupes sur les épreuves de conscience phonologique et de report de lettres. Ceci confirme que le trouble de conscience phonologique et le trouble de l'empan VA des enfants dyslexiques ne peuvent être la simple conséquence de leur faible expérience en lecture. Dans le cadre de l'hypothèse d'un trouble de conscience phonologique dans la dyslexie, cette démonstration a déjà l'objet de nombreuses études (voir la méta-analyse de (Melby-Lervåg et al., 2012) qui évoque 37 études de ce type). Mais cette démonstration dans le cadre de la théorie de l'empan VA n'avait jusqu'alors fait l'objet que d'une seule étude de groupes (Bosse et Valdois, 2003). Dans l'Etude II, nous avons également pu mettre en



évidence chez un enfant dyslexique un trouble de l'empan VA plus sévère que ne pourrait l'expliquer son niveau de lecture (voir (Peyrin et al., 2012) (Valdois, Bosse, et al., 2003) pour d'autres études de cas). Le trouble de l'empan VA ne peut donc pas être simplement la conséquence d'un faible niveau de lecture. De plus, comme souligné par Lobier et Valdois (2015), si le trouble de l'empan VA était lié à un manque d'expérience en lecture chez les enfants dyslexiques, alors tous les enfants dyslexiques seraient concernés, ce qui n'est pas le cas au vu des résultats des Etudes I, III, IV et V dans lesquelles des groupes sans trouble de l'empan VA ont été étudiés. Ces études de comparaisons avec des groupes de même niveau de lecture sont importantes pour éliminer une cause explicative potentielle --l'expérience en lecture-- mais ne permettent pas de juger des liens de causalité entre le trouble cognitif et le trouble de la lecture.

L'argument le plus solide repose sur les études longitudinales d'entraînement du déficit cognitif supposé en cause (Goswami, 2015). En effet, si une amélioration du processus cognitif supposé en cause entraîne une amélioration de la lecture, cela suggère une relation de cause à effet entre le déficit cognitif et les capacités de lecture. Ceci est d'autant plus convaincant si l'on montre que l'effet d'un entraînement ciblant ce déficit est plus important que celui d'un entraînement non ciblé, mais qui constitue cependant un facteur influençant et influencé par les capacités de lecture. C'est ce que nous avons visé dans l'Etude IV portant sur les effets différentiels de MAEVA et RAPDYS. La solidité de la démonstration peut également être renforcée par l'utilisation de méthodes d'entraînement ciblant une fonction cognitive qui sera évaluée selon d'autres modalités que celles utilisées dans les épreuves évaluant le trouble cognitif lors des post-tests. C'est le cas de l'entraînement MAEVA, qui est basé sur des tâches de catégorisation visuelle d'éléments multiples, tandis que l'empan VA est évalué par des tâches de report (identification) de lettres.

Les résultats de l'Etude IV ont montré un effet de MAEVA et de RAPDYS sur les capacités de lecture de l'ensemble de la population dyslexique. Dans les analyses suivantes, nous avons montré un effet spécifique de MAEVA sur le trouble de l'empan VA et sur les capacités de lecture des enfants présentant un tel trouble, renforçant ainsi la plausibilité de cette théorie explicative. Dans la seule étude ayant précédemment montré un effet d'un autre entraînement (COREVA®) visant spécifiquement l'empan VA (Valdois, Peyrin, et al., 2014), au travers d'une étude de cas, la méthode employée incluait également un entraînement direct de la lecture, du fait de l'utilisation de graphèmes, syllabes et mots. L'étude que nous avons menée est donc la première à faire la démonstration d'un lien de causalité entre empan VA et lecture suivant une logique de transfert temporel. Les effets de RAPDYS sur la perception catégorielle des phonèmes, la conscience phonologique et la lecture peuvent paraître moins évidents, ne permettant pas de statuer quant à la validité de cette hypothèse d'une chaîne causale entre chacun de ces processus. Néanmoins, il semble important de souligner que l'observation d'un résultat négatif mais également celle d'un résultat positif doivent être considérées avec précaution (*Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques*, 2007). En effet, nous avons vu dans la section précédente que l'absence de résultat positif spécifique à l'entraînement RAPDYS peut être expliquée de diverses façons et ne doit donc pas être interprétée comme invalidant la théorie (problèmes méthodologiques,

‘remédiabilité’ du trouble...). De même, devant un résultat positif, il est important de considérer les biais possibles qui pourraient conduire à ce résultat. En effet, nous pouvons par exemple citer les effets placebos, les effets test-retest, et un effet naturel de maturation des enfants qui ne nous permettent pas de statuer quant à la spécificité des effets de MAEVA et RAPDYS observés sur l’ensemble de la population dyslexique (Partie 1 de l’Etude IV). Mais même lorsque de tels effets ont pu être contrôlés (Partie 2 et 3), l’influence d’autres facteurs doit être considérée. Un effet positif peut par exemple être induit par une amélioration d’un processus associé, et non directement en cause dans la dyslexie des enfants. Il pourrait par exemple être envisagé que l’entraînement permette d’améliorer les capacités d’attention des enfants, et ainsi induise un effet positif sur la lecture par une amélioration de la concentration lors de la lecture. En éliminant les enfants présentant un trouble attentionnel associé, pour lesquels une amélioration des capacités attentionnelles aurait plus probablement des effets plus significatifs en lecture, nous avons tenté de nous prémunir de tels biais. L’introduction d’un troisième entraînement contrôle, agissant sur les capacités attentionnelles, pourrait permettre de contrôler davantage ces effets, mais complexifie un protocole expérimental déjà lourd. La validité des effets positifs d’un entraînement doit donc également reposer sur l’ensemble des arguments que peut apporter une théorie explicative. La théorie d’un déficit de la perception catégorielle des phonèmes et la théorie de l’empan VA reposent sur des arguments expérimentaux nombreux et solides qui apportent une crédibilité indéniable aux interprétations que nous avons faites des résultats obtenus.

## CONCLUSION

---

Ce travail de thèse est au cœur de deux problématiques ayant pris de plus en plus d’importance au cours des dix dernières années : l’hétérogénéité cognitive de la dyslexie, constatée en parallèle du nombre grandissant de théories explicatives développées, et les applications cliniques qui se doivent d’être développées face à ces avancées de la recherche, en particulier concernant la remédiation de ce trouble de la lecture. Les études que nous avons réalisées ont permis de mieux caractériser cette hétérogénéité, en renforçant notamment les arguments en faveur de l’existence de profils cognitifs explicatifs distincts, tels les profils de trouble phonologique distinct des profils de trouble de l’empan VA. Nous avons en revanche apporté des arguments en faveur d’une relation de médiation par la conscience phonologique des effets des capacités de perception catégorielle des phonèmes sur la lecture. Les liens entre ces troubles cognitifs distaux, les troubles proximaux liés au fonctionnement des modules de lecture selon le modèle double-voie, et les profils comportementaux en lecture et en dictée ont également pu être mieux caractérisés. Nous avons en particulier constaté que les relations entretenues entre chacun de ces niveaux restent opaques, contrairement aux interprétations classiquement soutenues dans la littérature et souvent appliquées en pratique clinique. Ces résultats ont par la suite pu être pris en compte dans des études de remédiation que nous avons menées, montrant que l’hétérogénéité de la population dyslexique doit être considérée dans les moyens à mettre en œuvre pour remédier à ce trouble.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Adlard, A. et Hazan, V. (1998). Speech perception in children with specific reading difficulties (dyslexia). *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 51(1), 153-177.
- Agus, T. R., Carrión-Castillo, A., Pressnitzer, D. et Ramus, F. (2014). Perceptual Learning of Acoustic Noise by Individuals With Dyslexia. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 57(3), 1069-1077. doi: 10.1044/1092-4388(2013/13-0020)
- Al Otaiba, S., Wagner, R. K. et Miller, B. (2014). "Waiting to Fail" Redux: Understanding Inadequate Response to Intervention. *Learning Disability Quarterly*, 37(3), 129-133. doi: 10.1177/0731948714525622
- Albon, E., Adi, Y. et Hyde, C. (2008). The effectiveness and cost-effectiveness of coloured filters for reading disability: a systematic review (Department of Public Health And Epidemiology, Trans.). Birmingham: University of Birmingham.
- Angelelli, P., Judica, A., Spinelli, D., Zoccolotti, P. et Luzzatti, C. (2004). Characteristics of writing disorders in Italian dyslexic children. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 17(1), 18-31.
- Ans, B., Carbonnel, S. et Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105(4), 678-723.
- Araujo, S., Pacheco, A., Faisca, L., Petersson, K. M. et Reis, A. (2010). Visual rapid naming and phonological abilities: different subtypes in dyslexic children. *International Journal of Psychology*, 45(6), 443-452. doi: 10.1080/00207594.2010.499949
- Badian, N. A. (1997). Dyslexia and the double deficit hypothesis. *Annals of Dyslexia*, 47(1), 69-87.
- Badian, N. A. (2005). Does a visual-orthographic deficit contribute to reading disability? *Annals of Dyslexia*, 55(1), 28-52.
- Bailey, C. E., Manis, F. R., Pedersen, W. C. et Seidenberg, M. S. (2004). Variation among developmental dyslexics: Evidence from a printed-word-learning task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(2), 125-154. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2003.10.004>
- Bakker, D. J. (1992). Neuropsychological classification and treatment of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25(2), 102-109.
- Barbier, D. (2003) Akoustik. Paris: Audivimedia.
- Baron, R. M. et Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of personality and social psychology*, 51(6), 1173.
- Basset-Reyne, P., Metral, E. et Pizano, A. (2007) Fenêtre attentionnelle. jGerip.
- Bednarek, D. B., Saldana, D., Quintero-Gallego, E., Garcia, I., Grabowska, A. et Gomez, C. M. (2004). Attentional deficit in dyslexia: a general or specific impairment? *Neuroreport*, 15(11), 1787-1790. doi: 10.1097/01.wnr.0000134843.33260.bf
- Bedoin, N., Kéïta, L., Leculier, L., Roussel, C., Herbillon, V. et Launay, L. (2010). Diagnostic et remédiation d'un déficit d'inhibition des détails dans la dyslexie de surface. Dans & F. Valette-Fruhinsholz T. Rousseau (dir.), *Le Langage oral : données actuelles et perspectives en orthophonie*. Isbergues: OrthoEditions.
- Bell, N. (1997). *Seeing Stars*. San Luis Obispo, CA: Gander Publishing.
- Berends, I. E. et Reitsma, P. (2005). Lateral and central presentation of words with limited exposure duration as remedial training for reading disabled children. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 27(7), 886-896.

- Billard, C. et Touzin, M. (2009). Prise en charge de l'enfant et de l'adolescent dyslexiques. *ANAE. Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*(103), 263-273.
- Bishop, D. V. M. (2015). The interface between genetics and psychology: lessons from developmental dyslexia. *Proceedings Biological Sciences*, 282(1806), 20143139. doi: 10.1098/rspb.2014.3139
- Bisiacchi, P. S., Cipolotti, L. et Denes, G. (1989). Impairment in processing meaningless verbal material in several modalities: the relationship between short-term memory and phonological skills. *The Quarterly journal of experimental psychology. A. Human experimental psychology*, 41(2), 293-319.
- Blau, V., Reithler, J., van Atteveldt, N., Seitz, J., Gerretsen, P., Goebel, R., et al. (2010). Deviant processing of letters and speech sounds as proximate cause of reading failure: a functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children. *Brain*, 133(Pt 3), 868-879. doi: 10.1093/brain/awp308
- Blau, V., van Atteveldt, N., Ekkebus, M., Goebel, R. et Blomert, L. (2009). Reduced neural integration of letters and speech sounds links phonological and reading deficits in adult dyslexia. *Current Biology*, 19(6), 503-508. doi: 10.1016/j.cub.2009.01.065
- Blomert, L. (2011). The neural signature of orthographic-phonological binding in successful and failing reading development. *Neuroimage*, 57(3), 695-703. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.003
- Boada, R. et Pennington, B. F. (2006). Deficient Implicit Phonological Representations in Children with Dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(3), 153-193.
- Boden, C. et Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133(2), 346-366. doi: 10.1037/0033-2909.133.2.346
- Boder, E. (1970). Developmental dyslexia. A new diagnostic approach based on the identification of three subtypes. *The Journal of School Health*, 40(6), 289-290.
- Boets, B., Op de Beeck, H. P., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., et al. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science*, 342(6163), 1251-1254. doi: 10.1126/science.1244333
- Boets, B., Smedt, B., Cleuren, L., Vandewalle, E., Wouters, J. et Ghesquière, P. (2010). Towards a further characterization of phonological and literacy problems in Dutch-speaking children with dyslexia. *British Journal of Developmental Psychology*, 28(1), 5-31. doi: 10.1348/026151010x485223
- Boets, B., Vandermosten, M., Poelmans, H., Luts, H., Wouters, J. et Ghesquiere, P. (2011). Preschool impairments in auditory processing and speech perception uniquely predict future reading problems. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 560-570.
- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., De Smedt, B. et Ghesquière, P. (2008). Modelling relations between sensory processing, speech perception, orthographic and phonological ability, and literacy achievement. *Brain and Language*, 106(1), 29-40. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2007.12.004>
- Bogliotti, C. (2005). *Perception catégorielle et perception allophonique: incidences de l'âge, du niveau de lecture et des couplages entre prédispositions phonétiques*. (Université Paris-Diderot-Paris VII).
- Bogliotti, C., Serniclaes, W., Messaoud-Galusi, S. et Sprenger-Charolles, L. (2008). Discrimination of speech sounds by children with dyslexia: comparisons with chronological age and reading level controls. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101(2), 137-155. doi: 10.1016/j.jecp.2008.03.006
- Bogon, J., Finke, K. et Stenneken, P. (2014). TVA-based assessment of visual attentional functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Psychology*, 5, 1172. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01172

- Borsting, E., Ridder, W. H., 3rd, Dudeck, K., Kelley, C., Matsui, L. et Motoyama, J. (1996). The presence of a magnocellular defect depends on the type of dyslexia. *Vision Research*, 36(7), 1047-1453.
- Bosse, M. L. (2004). Activités et adaptations pédagogiques pour la prévention et la prise en compte de la dyslexie à l'école. Dans P. Colé & D. David S. Valdois (dir.), *Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales : de la théorie à la pratique* (p. 233-258): Solal.
- Bosse, M. L., Chaves, N., Largy, P. et Valdois, S. (2013). Orthographic learning during reading: the role of whole-word visual processing. *Journal of Research in Reading*, 00(00), 1-18.
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J. et Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198-230. doi: 10.1016/j.cognition.2006.05.009
- Bosse, M. L. et Valdois, S. (2003). Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading [Special Issue on Language Disorders and Reading Acquisition]. *Current Psychology Letters* 1(10).
- Bosse, M. L. et Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, 32(2), 230-253. doi: 10.1111/j.1467-9817.2008.01387.x
- Bouldoukian, J., Wilkins, A. J. et Evans, B. J. W. (2002). Randomised controlled trial of the effect of coloured overlays on the rate of reading of people with specific learning difficulties. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 22(1), 55-60.
- Bouvier-Chaverot, M., Peiffer, E., Nguyen-Morel, M. A. et Valdois, S. (2012). A case study of developmental dyslexia with a selective visual attention span disorder. *Revue de Neuropsychologie*, 4(1), 24-35.
- Bowey, J. A. et Muller, D. (2005). Phonological recoding and rapid orthographic learning in third-graders' silent reading: A critical test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 92(3), 203-219.
- Bradley, L. et Bryant, P. E. (1978). Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature*, 271(5647), 746-747.
- Bradley, L. et Bryant, P. E. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 301(5899), 419-421.
- Brandt, J. et Rosen, J. J. (1980). Auditory phonemic perception in dyslexia: Categorical identification and discrimination of stop consonants. *Brain and Language*, 9(2), 324-337. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0093-934X\(80\)90152-2](http://dx.doi.org/10.1016/0093-934X(80)90152-2)
- Breier, J. I., Gray, L., Fletcher, J. M., Diehl, R. L., Klaas, P., Foorman, B. R., et al. (2001). Perception of voice and tone onset time continua in children with dyslexia with and without attention deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Experimental Psychology*, 80(3), 245-270. doi: 10.1006/jecp.2001.2630
- Breteler, M. H., Arns, M., Peters, S., Giepman, I. et Verhoeven, L. (2010). Improvements in spelling after QEEG-based neurofeedback in dyslexia: a randomized controlled treatment study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(1), 5-11. doi: 10.1007/s10484-009-9105-2
- Broom, Y. M. et Doctor, E. A. (1995a). Developmental phonological dyslexia: A case study of the efficacy of a remediation programme. *Cognitive Neuropsychology*, 12(7), 725-766.
- Broom, Y. M. et Doctor, E. A. (1995b). Developmental surface dyslexia: A case study of the efficacy of a remediation programme. *Cognitive Neuropsychology*, 12(1), 69-110. doi: 10.1080/02643299508251992
- Brungard, M. P. (2012) LireCouleur. Repéré à <http://lirecouleur.arkaline.fr/>
- Brunsdon, R. K., Coltheart, M. et Nickels, L. (2005). Treatment of irregular word spelling in developmental surface dysgraphia. *Cognitive Neuropsychology*, 22(2), 213-251. doi: 10.1080/02643290442000077

- Bryant, N. D. (1964). Characteristics of Dyslexia and Their Remedial Implication. *Exceptional Children*, 31(4), 195-199.
- Buchholz, J. et McKone, E. (2004). Adults with dyslexia show deficits on spatial frequency doubling and visual attention tasks. *Dyslexia*, 10(1), 24-43. doi: 10.1002/dys.263
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, 97(4), 523-547.
- Bundesen, C., Vangkilde, S. et Petersen, A. (2014). Recent developments in a computational theory of visual attention (TVA). *Vision Research*. doi: 10.1016/j.visres.2014.11.005
- Burnham, D. (2003). Language specific speech perception and the onset of reading. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 16(6), 573-609.
- Bus, A. G. et 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.
- Campbell, R. et Butterworth, B. (1985). Phonological dyslexia and dysgraphia in a highly literate subject: A developmental case with associated deficits of phonemic processing and awareness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 37A(3), 435-475.
- Carré, R. (2004) Program SyntFormVoy. Lyon: Laboratoire Dynamique du Langage. CNRS.
- Casco, C., Tressoldi, P. E. et Dellantonio, A. (1998). Visual selective attention and reading efficiency are related in children. *Cortex*, 34(4), 531-546. doi: 10.1016/S0010-9452(08)70512-4
- Cashell, F. T. (1969). Congenital dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 62(6), 562-563.
- Castles, A. (2006). The dual route model and the developmental dyslexias. *London Review of Education*, 4(1), 49-61. doi: 10.1080/13603110600574454
- Castles, A. et Coltheart, M. (1993 ). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149-180.
- Castles, A. et Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition*, 91(1), 77-111. doi: 10.1016/s0010-0277(03)00164-1
- Castles, A. et Holmes, V. M. (1996). Subtypes of Developmental Dyslexia and Lexical Acquisition. *Australian Journal of Psychology*, 48(3), 130-135. doi: 10.1080/00049539608259519
- Castles, A. et Nation, K. (2008). Orthographic Processes in Reading [Special Issue]. *Journal of Research on Reading* 31(1).
- Cestnick, L. (2001). Cross-modality temporal processing deficits in developmental phonological dyslexics. *Brain and Cognition*, 46(3), 319-325. doi: 10.1006/brcg.2000.1273
- Cestnick, L. et Coltheart, M. (1999). The relationship between language-processing and visual-processing deficits in developmental dyslexia. *Cognition*, 71(3), 231-255. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277\(99\)00023-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-0277(99)00023-2)
- Chaix, Y., Albaret, J. M., Brassard, C., Cheuret, E., de Castelnau, P., Benesteau, J., et al. (2007). Motor impairment in dyslexia: the influence of attention disorders. *European Journal of Paediatric Neurology*, 11(6), 368-374. doi: 10.1016/j.ejpn.2007.03.006
- Chevrie-Muller, C., Maillart, C., Simon, A. M. et Fournier, S. (2010). *L2MA2: langage oral, langage écrit, mémoire, attention*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Chiappe, P., Stringer, R., Siegel, L. S. et Stanovich, K. E. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15(1-2), 73-107.
- Cholewa, J., Mantey, S., Heber, S. et Hollweg, W. (2010). Developmental surface and phonological dysgraphia in German 3rd graders. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 23(1), 97-127.
- Chung, K. K., Ho, C. S., Chan, D. W., Tsang, S. M. et Lee, S. H. (2010). Cognitive profiles of Chinese adolescents with dyslexia. *Dyslexia*, 16(1), 2-23. doi: 10.1002/dys.392

- Chung, S. T. (2002). The Effect of Letter Spacing on Reading Speed in Central and Peripheral Vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(4), 1270-1276.
- . CIM-10, Descriptions cliniques et directives pour le diagnostic ((1993)). Dans Masson (dir.), *Classification Internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement : dixième révision - : CIM - 10/ICD - 10* (p. 305): Organisation Mondiale de la Santé.
- Cogo-Moreira, H., Andriolo, R. B., Yazigi, L., Ploubidis, G. B., Brandao de Avila, C. R. et Mari, J. J. (2012). Music education for improving reading skills in children and adolescents with dyslexia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8(8), CD009133. doi: 10.1002/14651858.CD009133.pub2
- Cohen-Mimran, R. et Sapir, S. (2007). Auditory temporal processing deficits in children with reading disabilities. *Dyslexia*, 13(3), 175-192.
- Cohen, L., Dehaene, S., Vinckier, F., Jobert, A. et Montavont, A. (2008). Reading normal and degraded words: contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *Neuroimage*, 40(1), 353-366. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.11.036
- Collet, G., Colin, C., Serniclaes, W., Hoonhorst, I., Markessis, E., Deltenre, P., et al. (2012). Effect of phonological training in French children with SLI: perspectives on voicing identification, discrimination and categorical perception. *Research in Developmental Disabilities*, 33(6), 1805-1818. doi: 10.1016/j.ridd.2012.05.003
- Coltheart, M. (1987). Varieties of developmental dyslexia: A comment on Bryant and Impey. *Cognition*, 27(1), 97-101.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. et Ziegler, J. C. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204-256.
- Compton, D. L., DeFries, J. C. et Olson, R. K. (2001). Are RAN- and phonological awareness-deficits additive in children with reading disabilities? *Dyslexia*, 7(3), 125-149. doi: 10.1002/dys.198
- Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S. et Stein, J. F. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research*, 35(10), 1483-1494.
- Costanzo, F., Menghini, D., Caltagirone, C., Oliveri, M. et Vicari, S. (2013). How to improve reading skills in dyslexics: the effect of high frequency rTMS. *Neuropsychologia*, 51(14), 2953-2959. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.018
- Cox, C. H. (1994). Reading instructions method for disabled readers. U.S., International Patent Classification G09B 17/00
- Crawford, J. R. et Garthwaite, P. H. (2002). Investigation of the single case in neuropsychology: confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia*, 40(8), 1196-1208.
- Crawford, J. R. et Howell, D. C. (1998). Comparing an individual's test score against norms derived from small samples. *The Clinical Neuropsychologist*, 12(4), 482-486.
- Creak, M. (1936). Reading difficulties in children. *Archives of Disease in Childhood*, 11(64), 143.
- Cunningham, A. E. (2006). Accounting for children's orthographic learning while reading text: Do children self-teach? *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(1), 56-77.
- Cunningham, A. E., Perry, K. E., Stanovich, K. E. et Share, D. L. (2002). Orthographic learning during reading: examining the role of self-teaching. *Journal Of Experimental Child Psychology*, 82(3), 185-199.
- Curran, T., Tanaka, J. W. et Weiskopf, D. M. (2002). An electrophysiological comparison of visual categorization and recognition memory. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 2(1), 1-18.

- Curtin, S., Manis, F. R. et Seidenberg, M. S. (2001). Parallels between the reading and spelling deficits of two subgroups of developmental dyslexics. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 14(5/6), 515-547.
- Dandache, S., Wouters, J. et Ghesquiere, P. (2014). Development of reading and phonological skills of children at family risk for dyslexia: a longitudinal analysis from kindergarten to sixth grade. *Dyslexia*, 20(4), 305-329. doi: 10.1002/dys.1482
- Danon-Boileau, L. et Barbier, D. (2002) Play on: Un logiciel d'entraînement à la lecture. Paris: Audivimédia.
- Davis, N. J. (2014). Transcranial stimulation of the developing brain: a plea for extreme caution. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1.
- de Jong, P. F. et Share, D. L. (2007). Orthographic learning during oral and silent reading. *Scientific Studies of Reading*, 11(1), 55-71.
- Decker, S. L., Roberts, A. M. et Englund, J. A. (2013). Cognitive predictors of rapid picture naming. *Learning and Individual Differences*, 25, 141-149. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2013.03.009>
- Delahaie, M., Billard, C., Calvet, C., Gillet, P., Tichet, J. et Vol, S. (1998). Un exemple de mesure du lien entre dyslexie développementale et illettrisme. *Santé publique*, 10(4), 369-383.
- Delahaie, M., Pointeau, S., Tichet, J. et Vol, S. (2002). Illettrisme et dyslexie. *Réadaptation*(486), 41-42.
- Demb, J. B., Boynton, G. M. et Heeger, D. J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 18(17), 6939-6951.
- Demonet, J. F., Taylor, M. J. et Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *Lancet*, 363(9419), 1451-1460. doi: 10.1016/S0140-6736(04)16106-0
- Denhière, G., Baudet, S. et Verstiggel, J. C. (1991). Le diagnostic du fonctionnement cognitif dans la lecture et la compréhension de texte : démarche, résultats et implications. (*Les Entretiens Nathan, La lecture, Actes 1* (p. 67-87). Paris: Nathan.
- Derouesné, J. et Beauvois, M. F. (1985). The "phonemic" stage in the non-lexical reading process: Evidence from a case of phonological alexia. Dans Max; Patterson Coltheart, Karalyn; Marshall, John F (dir.), *Surface dyslexia: neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (p. 399-457). Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Doehring, D. G., Trites, R. L., Patel, P. G. et Fiedorowicz, C. A. M. (1981). *Reading disabilities: The interaction of reading, language, and neuropsychological deficits*. New-York: Academic Press.
- Dosset, P. (2011). Coupe Mots. Repéré à [www.dyslogiciel.fr](http://www.dyslogiciel.fr)
- Douklias, S. D., Masterson, J. et Hanley, J. R. (2009). Surface and phonological developmental dyslexia in Greek. *Cognitive Neuropsychology*, 26(8), 705-723. doi: 10.1080/02643291003691106
- Downar, J., Crawley, A. P., Mikulis, D. J. et Davis, K. D. (2000). A multimodal cortical network for the detection of changes in the sensory environment. *Nature Neuroscience*, 3(3), 277-283.
- Draper, S. W. (2000, 28 Dec 2014). The Hawthorne, Pygmalion, Placebo and other effects of expectation: some notes.
- DSM-5, Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. (2013). American Psychiatric Association.
- DSM-IV-TR, Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux : texte révisé*. (2003). Paris: Elsevier Masson.
- Dubois, M., De Micheaux, P. L., Noel, M. P. et Valdois, S. (2007). Preorthographical constraints on visual word recognition: evidence from a case study of developmental surface dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 24(6), 623-660. doi: 10.1080/02643290701617330



- Dubois, M., Kyllingsbaek, S., Prado, C., Musca, S. C., Peiffer, E., Lassus-Sangosse, D., et al. (2010). Fractionating the multi-character processing deficit in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Cortex*, *46*(6), 717-738. doi: 10.1016/j.cortex.2009.11.002
- Dufor, O., Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L. et Demonet, J. F. (2007). Top-down processes during auditory phoneme categorization in dyslexia: a PET study. *Neuroimage*, *34*(4), 1692-1707. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.10.034
- Dufor, O., Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L. et Demonet, J. F. (2009). Left premotor cortex and allophonic speech perception in dyslexia: a PET study. *Neuroimage*, *46*(1), 241-248. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.01.035
- Duncan, J., Bundesen, C., Olson, A., Humphreys, G., Chavda, S. et Shibuya, H. (1999). Systematic analysis of deficits in visual attention. *Journal of Experimental Psychology. General*, *128*(4), 450-478.
- Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie : bilan des données scientifiques.* (2007). Paris: Editions INSERM.
- Ecalte, J., Magnan, A., Bouchafa, H. et Gombert, J. E. (2009). Computer-based training with ortho-phonological units in dyslexic children: new investigations. *Dyslexia*, *15*(3), 218-238. doi: 10.1002/dys.373
- Eden, G. F., Jones, K. M., Cappell, K., Gareau, L., Wood, F. B., Zeffiro, T. A., et al. (2004). Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia. *Neuron*, *44*(3), 411-422. doi: 10.1016/j.neuron.2004.10.019
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. W., Maisog, J. et Zeffiro, T. A. (1996). Functional MRI reveals differences in visual motion processing in individuals with dyslexia. *Nature*, *382*(6586), 66-69.
- Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub-Zadeh, Z. et Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly*, *36*(3), 250-287.
- Elbro, C. et Jensen, M. N. (2005). Quality of phonological representations, verbal learning, and phoneme awareness in dyslexic and normal readers. *Scandinavian Journal of Psychology*, *46*(4), 375-384.
- Elliott, J. G. et Grigorenko, E. L. (2014). *The dyslexia debate*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Ellis, N. C. et Miles, T. R. (1977). Dyslexia as a limitation in the ability to process information. *Bulletin of the Orton Society*, *27*(1), 72-81.
- Endress, S. A., Weston, H., Marchand-Martella, N. E., Martella, R. C. et Simmons, J. (2007). Examining the Effects of Phono-Graphix on the Remediation of Reading Skills of Students with Disabilities: A Program Evaluation. *Education and Treatment of Children*, *30*(2), 1-20.
- Facoetti, A., Corradi, N., Ruffino, M., Gori, S. et Zorzi, M. (2010). Visual Spatial Attention and Speech Segmentation are both Impaired in Preschoolers at Familial Risk for Developmental Dyslexia. *Dyslexia* *16*, 226-239.
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R. et Molteni, M. (2005). Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *65*(1), 61-72.
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Cattaneo, C., Galli, R., Umiltà, C., et al. (2003). Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive Brain Research*, *16*(2), 185-191. doi: 10.1016/s0926-6410(02)00270-7
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Umiltà, C. et Mascetti, G. G. (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Cognitive Brain Research*, *15*(2), 154-164.

- Facoetti, A. et Molteni, M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39(4), 352-357.
- Facoetti, A., Paganoni, P. et Lorusso, M. L. (2000). The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research*, 132(4), 531-538. doi: 10.1007/s002219900330
- Facoetti, A., Paganoni, P., Turatto, M., Marzola, V. et Mascetti, G. G. (2000). Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex*, 36(1), 109-123.
- Facoetti, A., Ruffino, M., Peru, A., Paganoni, P. et Chelazzi, L. (2008). Sluggish engagement and disengagement of non-spatial attention in dyslexic children. *Cortex*, 44(9), 1221-1233.
- Facoetti, A., Trussardi, A. N., Ruffino, M., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R., et al. (2010). Multisensory spatial attention deficits are predictive of phonological decoding skills in developmental dyslexia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(5), 1011-1025. doi: 10.1162/jocn.2009.21232
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L. et Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research*, 138(1), 46-53. doi: 10.1007/s002210100700
- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P., et al. (2006). The relationship between visuo-spatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23(6), 841-855. doi: 10.1080/02643290500483090
- Falth, L., Gustafson, S., Tjus, T., Heimann, M. et Svensson, I. (2013). Computer-assisted interventions targeting reading skills of children with reading disabilities - a longitudinal study. *Dyslexia*, 19(1), 37-53. doi: 10.1002/dys.1450
- Farah, M. J., Stowe, R. M. et Levinson, K. L. (1996). Phonological Dyslexia: Loss of a Reading-specific Component of the Cognitive Architecture? *Cognitive Neuropsychology*, 13(6), 849-868. doi: 10.1080/026432996381836
- Farmer, M. E. et Klein, R. M. (1995). The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 460-493. doi: 10.3758/BF03210983
- Farquharson, K., Centanni, T. M., Franzluebbers, C. E. et Hogan, T. P. (2014). Phonological and lexical influences on phonological awareness in children with specific language impairment and dyslexia. *Frontiers in Psychology*, 5, 838. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00838
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I. et Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46(1), 259-283. doi: 10.1007/BF02648179
- Fischer, F. W., Liberman, I. Y. et Shankweiler, D. (1978). Reading Reversals and Developmental Dyslexia a Further Study. *Cortex*, 14, 496-510. doi: 10.1016/S0010-9452(78)80025-2
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Zoia, S., Buda, S., Tilli, S., et al. (2014). Rhythm perception and production predict reading abilities in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 392. doi: 10.3389/fnhum.2014.00392
- Fletcher, J. M. et Vaughn, S. (2009). Response to intervention: Preventing and remediating academic difficulties. *Child Development Perspectives*, 3(1), 30-37.
- Fostick, L., Eshcoly, R., Shtibelman, H., Nehemia, R. et Levi, H. (2014). Efficacy of temporal processing training to improve phonological awareness among dyslexic and normal reading students. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 40(5), 1799-1807. doi: 10.1037/a0037527
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K. et Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current Biology*, 22(9), 814-819. doi: 10.1016/j.cub.2012.03.013

- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M. et Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, 23(6), 462-466. doi: 10.1016/j.cub.2013.01.044
- Friedmann, N. et Nachman-Katz, I. (2004). Developmental neglect dyslexia in a Hebrew-reading child. *Cortex*, 40(2), 301-313.
- Friedmann, N. et Rahamim, E. (2007). Developmental letter position dyslexia. *Journal of Neuropsychology*, 1(2), 201-236.
- Frith, U. (1981). Experimental approaches to developmental dyslexia: An introduction. *Psychological Research*, 43(2), 97-109. doi: 10.1007/BF00309824
- Frith, U. (1986). A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 36(1), 67-81. doi: 10.1007/BF02648022
- Gaab, N., Gabrieli, J. D. E., Deutsch, G. K., Tallal, P. et Temple, E. (2007). Neural correlates of rapid auditory processing are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training: an fMRI study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(3), 295-310.
- Gabay, Y., Gabay, S., Schiff, R., Ashkenazi, S. et Henik, A. (2013). Visuospatial attention deficits in developmental dyslexia: evidence from visual and mental number line bisection tasks. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 28(8), 829-836. doi: 10.1093/arclin/act076
- Gabrieli, J. D. et Norton, E. S. (2012). Reading abilities: importance of visual-spatial attention. *Current Biology*, 22(9), 298-299. doi: 10.1016/j.cub.2012.03.041
- Galaburda, A. M., Menard, M. T. et Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(17), 8010-8013.
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K. et Schulte-Körne, G. (2014). Effectiveness of treatment approaches for children and adolescents with reading disabilities: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*, 9(2), e89900. doi: 10.1371/journal.pone.0089900
- Garnier-Lasek, D. (2002). *La lecture par imprégnation syllabique*. OrthoEdition.
- Geiger, G., Cattaneo, C., Galli, R., Pozzoli, U., Lorusso, M. L., Facoetti, A., et al. (2008). Wide and diffuse perceptual modes characterize dyslexics in vision and audition. *Perception*, 37(11), 1745-1764.
- Germano, G. D., Reilhac, C., Capellini, S. A. et Valdois, S. (2014). The phonological and visual basis of developmental dyslexia in Brazilian Portuguese reading children. *Frontiers in Psychology*, 5, 1169. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01169
- Giesbrecht, B., Dixon, P. et Kingstone, A. (2001). Cued shifts of attention and memory encoding in partial report: a dual-task approach. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 54(3), 695-725. doi: 10.1080/713755989
- Godfrey, J. J., Syrdal-Lasky, A. K., Millay, K. K. et Knox, C. M. (1981). Performance of dyslexic children on speech perception tests. *Journal of Experimental Child Psychology*, 32(3), 401-424.
- Gori, S., Cecchini, P., Bigoni, A., Molteni, M. et Facoetti, A. (2014). Magnocellular-dorsal pathway and sub-lexical route in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 460. doi: 10.3389/fnhum.2014.00460
- Gori, S. et Facoetti, A. (2015). How the visual aspects can be crucial in reading acquisition? The intriguing case of crowding and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 15(1), 1-20. doi: 10.1167/15.1.8
- Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 3-10. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews. Neuroscience*, 16(1), 43-54. doi: 10.1038/nrn3836

- Goswami, U., Fosker, T., Huss, M., Mead, N. et Szucs, D. (2011). Rise time and formant transition duration in the discrimination of speech sounds: the Ba-Wa distinction in developmental dyslexia. *Developmental Science*, 14(1), 34-43. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00955.x
- Goswami, U., Huss, M., Mead, N., Fosker, T. et Verney, J. P. (2013). Perception of patterns of musical beat distribution in phonological developmental dyslexia: Significant longitudinal relations with word reading and reading comprehension. *Cortex*, 49(5), 1363-1376. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.005>
- Goswami, U., Thomson, J., Richardson, U., Stainthorp, R., Hughes, D., Rosen, S., et al. (2002). Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(16), 10911-10916. doi: 10.1073/pnas.122368599
- Goswami, U., Wang, H.-L. S., Cruz, A., Fosker, T., Mead, N. et Huss, M. (2011). Language-universal sensory deficits in developmental dyslexia: English, Spanish, and Chinese. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 325-337. doi: 10.1162/jocn.2010.21453
- Gough, P. B. et Hillinger, M. L. (1980). Learning to read: An unnatural act. *Annals of Dyslexia*, 30(1), 179-196.
- Gough, P. B. et Tunmer, W. E. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10.
- Goulandris, N. K. et Snowling, M. J. (1991). Visual memory deficits: A plausible cause of developmental dyslexia? Evidence from a single case study. *Cognitive Neuropsychology*, 8(2), 127-154.
- Griffiths, Y. M. et Snowling, M. J. (2001). Auditory word identification and phonological skills in dyslexic and average readers. *Applied Psycholinguistics*, 22(3), 419-439. doi: 10.1017/s0142716401003071
- Griffiths, Y. M. et Snowling, M. J. (2002). Predictors of exception word and nonword reading in dyslexic children: The severity hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 34-43.
- Grill-Spector, K. et Kanwisher, N. (2005). Visual recognition, as soon as you know it is there, you know what it is. *Psychological Science*, 16(2), 152-160.
- Gustafson, S., Falth, L., Svensson, I., Tjus, T. et Heimann, M. (2011). Effects of three interventions on the reading skills of children with reading disabilities in grade 2. *Journal of Learning Disabilities*, 44(2), 123-135. doi: 10.1177/0022219410391187
- Habekost, T. et Rostrup, E. (2007). Visual attention capacity after right hemisphere lesions. *Neuropsychologia*, 45(7), 1474-1488.
- Habib, M., Rey, V., Daffaure, V., Camps, R., Espesser, R., Joly-Pottuz, B., et al. (2002). Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 37(3), 289-308.
- Hadzibeganovic, T., van den Noort, M., Bosch, P., Perc, M., van Kralingen, R., Mondt, K., et al. (2010). Cross-linguistic neuroimaging and dyslexia: a critical view. *Cortex*, 46(10), 1312-1316. doi: 10.1016/j.cortex.2010.06.011
- Hall, R., Ray, N., Harries, P. et Stein, J. F. (2013). A comparison of two-coloured filter systems for treating visual reading difficulties. *Disability & Rehabilitation*, 35(26), 2221-2226. doi: 10.3109/09638288.2013.774440
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K. et Leppänen, P. H. T. (2013). Basic Auditory Processing Deficits in Dyslexia: Systematic Review of the Behavioral and Event-Related Potential/ Field Evidence. *Journal of Learning Disabilities*, 46(5), 413-427. doi: 10.1177/0022219411436213
- Hammill, D. D., Pearson, N. A. et Voress, J. K. (1993). *Developmental Test of Visual Perception: DTVP-2*. Austin: Pro-ed.

- Hanley, J. R. et Gard, F. (1995). A dissociation between developmental surface and phonological dyslexia in two undergraduate students. *Neuropsychologia*, 33(7), 909-914.
- Hanley, J. R., Hastie, K. et Kay, J. (1992). Developmental surface dyslexia and dysgraphia: An orthographic processing impairment. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44(2), 285-319.
- Hari, R. et Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Science*, 5(12), 525-532.
- Hari, R., Renvall, H. et Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain* 124, 1373–1380.
- Harm, M. W. et Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionist models. *Psychological Review*, 106(3), 491-528.
- Harrar, V., Tammam, J., Perez-Bellido, A., Pitt, A., Stein, J. F. et Spence, C. (2014). Multisensory integration and attention in developmental dyslexia. *Current Biology*, 24(5), 531-535. doi: 10.1016/j.cub.2014.01.029
- Harris, H., Gliksberg, M. et Sagi, D. (2012). Generalized Perceptual Learning in the Absence of Sensory Adaptation. *Current Biology*, 22(19), 1813-1817. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2012.07.059>
- Hatcher, P. J., Hulme, C. et Snowling, M. J. (2004). Explicit phoneme training combined with phonic reading instruction helps young children at risk of reading failure. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(2), 338-358.
- Hawelka, S., Huber, C. et Wimmer, H. (2006). Impaired visual processing of letter and digit strings in adult dyslexic readers. *Vision Research*, 46(5), 718-723. doi: 10.1016/j.visres.2005.09.017
- Hawelka, S. et Wimmer, H. (2005). Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research*, 45(7), 855-863. doi: 10.1016/j.visres.2004.10.007
- Hawelka, S. et Wimmer, H. (2008). Visual target detection is not impaired in dyslexic readers. *Vision Research*, 48(6), 850-852. doi: 10.1016/j.visres.2007.11.003
- Hazan, V., Messaoud-Galusi, S., Rosen, S., Nouwens, S. et Shakespeare, B. (2009). Speech perception abilities of adults with dyslexia: is there any evidence for a true deficit? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(6), 1510-1529.
- Heim, S. et Grande, M. (2012). Fingerprints of developmental dyslexia. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 10-14. doi: 10.1016/j.tine.2012.09.001
- Heim, S., Grande, M., Meffert, E., Eickhoff, S. B., Schreiber, H., Kukulja, J., et al. (2010). Cognitive levels of performance account for hemispheric lateralisation effects in dyslexic and normally reading children. *Neuroimage*, 53(4), 1346-1358. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.009
- Heim, S., Tschierse, J., Amunts, K., Wilms, M., Vossel, S., Willmes, K., et al. (2008). Cognitive subtypes of dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 68(1), 73-82.
- Heth, I. et Lavidor, M. (2015). Improved reading measures in adults with dyslexia following transcranial direct current stimulation treatment. *Neuropsychologia*, 70, 107-113. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.022>
- Ho, C. S., Chan, D. W., Tsang, S. M. et Lee, S. H. (2002). The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 38(4), 543-553. doi: 10.1037//0012-1649.38.4.543
- 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. *The Journal of Neuroscience*, 26(42), 10700-10708. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4931-05.2006

- Hoefl, F., McCandliss, B. D., Black, J. M., Gantman, A., Zakerani, N., Hulme, C., et al. (2011). Neural systems predicting long-term outcome in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(1), 361-366. doi: 10.1073/pnas.1008950108
- 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(10), 4234-4239. doi: 10.1073/pnas.0609399104
- Hook, P. E., Macaruso, P. et Jones, S. (2001). Efficacy of Fast ForWord training on facilitating acquisition of reading skills by children with reading difficulties—A longitudinal study. *Annals of Dyslexia*, 51(1), 73-96.
- Hoonhorst, I., Colin, C., Markessis, E., Radeau, M., Deltenre, P. et Serniclaes, W. (2009). French native speakers in the making: From language-general to language-specific voicing boundaries. *Journal of experimental child psychology*, 104(4), 353-366.
- Hoonhorst, I., Medina, V., Colin, C., Markessis, E., Radeau, M., Deltenre, P., et al. (2011). Categorical perception of voicing, colors and facial expressions: A developmental study. *Speech Communication*, 53(3), 417-430.
- Howard, D. et Best, W. (1996). Developmental Phonological Dyslexia: Real Word Reading Can Be Completely Normal. *Cognitive Neuropsychology*, 13(6), 887-934. doi: 10.1080/026432996381854
- Hulme, C. (1981). The effects of manual tracing on memory in normal and retarded readers: Some implications for multi-sensory teaching. *Psychological Research*, 43(2), 179-191.
- Hulme, C., Hatcher, P. J., Nation, K., Brown, A., Adams, J. et Stuart, G. (2002). Phoneme awareness is a better predictor of early reading skill than onset-rime awareness. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(1), 2-28.
- Hurford, D. P. (1990). Training phonemic segmentation ability with a phonemic discrimination intervention in second- and third-grade children with reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 23(9), 564-569.
- Hurford, D. P. (1991). The possible use of IBM-compatible computers and digital-to-analog conversion to assess children for reading disabilities and to increase their phonemic awareness. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 23(2), 319-323. doi: 10.3758/BF03203386
- Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N. et Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47(6), 674-689. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2010.07.010>
- Iles, J., Walsh, V. et Richardson, A. (2000). Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia*, 6(3), 163-177.
- Impu, C., Shwetha, C. et Shyamala, K. C. (2011). Double deficit hypothesis: the relationship between phonological awareness and rapid automatized naming in adolescents with and without dyslexia. *Journal of the All India Institute of Speech & Hearing*, 30, 138-145.
- Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S. et Zorman, M. (2010). *BALE: Batterie Analytique du Langage Ecrit*. Grenoble: Laboratoire Cogni-Sciences.
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S. et Zorman, M. (2002). *ODEDYS: Outil de dépistage des dyslexies*. Grenoble: Laboratoire Cogni-Sciences.
- Jamieson, D. G. et Morosan, D. E. (1989). Training new, nonnative speech contrasts: A comparison of the prototype and perceptual fading techniques. *Canadian Journal of Psychology*, 43(1), 88-96.

- Jednorog, K., Gawron, N., Marchewka, A., Heim, S. et Grabowska, A. (2014). Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume. *Brain Structure & Function*, 219(5), 1697-1707. doi: 10.1007/s00429-013-0595-6
- Jimenez, J. E., Garcia, E., O'Shanahan, I. et Rojas, E. (2010). Do Spanish Children Use the Syllable in Visual Word Recognition in Learning to Read? *The Spanish Journal of Psychology*, 13(1), 63-74.
- Jimenez, J. E., Rodriguez, C. et Ramirez, G. (2009). Spanish developmental dyslexia: prevalence, cognitive profile, and home literacy experiences. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 167-185. doi: 10.1016/j.jecp.2009.02.004
- Joanisse, M. F., Manis, F. R., Keating, P. et Seidenberg, M. S. (2000). Language Deficits in Dyslexic Children: Speech Perception, Phonology, and Morphology. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(1), 30-60. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1999.2553>
- Joly-Pottuz, B., Mercier, M., Leynaud, A. et Habib, M. (2008). Combined auditory and articulatory training improves phonological deficit in children with dyslexia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 18(4), 402-429. doi: 10.1080/09602010701529341
- Jones, M. W., Branigan, H. P. et Kelly, M. L. (2008). Visual deficits in developmental dyslexia: relationships between non-linguistic visual tasks and their contribution to components of reading. *Dyslexia*, 14(2), 95-115. doi: 10.1002/dys.345
- Jucla, M. (2010). Actualités et exemple de protocole multimodal dans la prise en charge de la dyslexie. Dans S. Chokron & J.F. Démonet (dir.), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* (p. 315-349). Marseille: Solal.
- Judica, A., Luca, M. D., Spinelli, D. et Zoccolotti, P. (2002). Training of developmental surface dyslexia improves reading performance and shortens eye fixation duration in reading. *Neuropsychological Rehabilitation*, 12(3), 177-197. doi: 10.1080/09602010244000002
- Juphard, A., Carbonnel, S. et Valdois, S. (2004). Length effect in reading and lexical decision: evidence from skilled readers and a developmental dyslexic participant. *Brain and Cognition*, 55(2), 332-340. doi: 10.1016/j.bandc.2004.02.035
- Justice, L. M. (2006). Evidence-based practice, response to intervention, and the prevention of reading difficulties. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 37(4), 284-297.
- Katz, R. B. (1986). Phonological deficiencies in children with reading disability: Evidence from an object-naming task. *Cognition*, 22(3), 225-257. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0010-0277\(86\)90016-8](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0277(86)90016-8)
- Katzir, T., Kim, Y. S., Wolf, M., Morris, R. et Lovett, M. W. (2008). The Varieties of Pathways to Dysfluent Reading: Comparing Subtypes of Children With Dyslexia at Letter, Word, and Connected Text Levels of Reading. *Journal of Learning Disabilities*, 41(1), 47-66. doi: 10.1177/0022219407311325
- Kevan, A. et Pammer, K. (2008). Making the link between dorsal stream sensitivity and reading. *Neuroreport*, 19(4), 467-470.
- Kevan, A. et Pammer, K. (2009). Predicting early reading skills from pre-reading measures of dorsal stream functioning. *Neuropsychologia*, 47(14), 3174-3181.
- King, W. M., Giess, S. A. et Lombardino, L. J. (2007). Subtyping of children with developmental dyslexia via bootstrap aggregated clustering and the gap statistic : comparison with the double-deficit hypothesis. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 42(1), 77-95.
- Kinsey, K., Rose, M., Hansen, P., Richardson, A. et Stein, J. F. (2004). Magnocellular mediated visual-spatial attention and reading ability. *Neuroreport*, 15(14), 2215-2218.
- Kjeldsen, A. C., Kärnä, A., Niemi, P., Olofsson, Å. et Witting, K. (2014). Gains From Training in Phonological Awareness in Kindergarten Predict Reading Comprehension in Grade 9. *Scientific Studies of Reading*, 18(6), 452-467.

- Krafnick, A. J., Flowers, D. L., Napoliello, E. M. et Eden, G. F. (2011). Gray matter volume changes following reading intervention in dyslexic children. *Neuroimage*, 57(3), 733-741. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.10.062
- Krause, B. et Cohen Kadosh, R. (2013). Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 6, 176-194. doi: 10.1016/j.dcn.2013.04.001
- Kubova, Z., Kuba, M., Peregrin, J. et Novakova, V. (1996). Visual evoked potential evidence for magnocellular system deficit in dyslexia. *Physiological Research*, 45, 87-90.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11), 831-843.
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., et al. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(18), 10509-10514. doi: 10.1073/pnas.181589198
- Kyllingsbaek, S. et Bundesen, C. (2007). Parallel processing in a multifeature whole-report paradigm. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 33(1), 64-82. doi: 10.1037/0096-1523.33.1.64
- Kyte, C. S. et Johnson, C. J. (2006). The role of phonological recoding in orthographic learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(2), 166-185.
- Lachmann, T., Berti, S., Kujala, T. et Schroger, E. (2005). Diagnostic subgroups of developmental dyslexia have different deficits in neural processing of tones and phonemes. *International Journal of Psychophysiology*, 56(2), 105-120. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2004.11.005
- Lalain, M., Joly-Pottuz, B., Nguyen, N. et Habib, M. (2003). Dyslexia: The articulatory hypothesis revisited. *Brain and cognition*, 53(2), 253-256.
- Lallier, M., Acha, J. et Carreiras, M. (2015). Cross-linguistic interactions influence reading development in bilinguals: a comparison between early balanced French-Basque and Spanish-Basque bilingual children. *Developmental Science*, 1-14. doi: 10.1111/desc.12290
- Lallier, M., Donnadieu, S., Berger, C. et Valdois, S. (2010). A case study of developmental phonological dyslexia: Is the attentional deficit in the perception of rapid stimuli sequences amodal? *Cortex*, 46(2), 231-241. doi: 10.1016/j.cortex.2009.03.014
- Lallier, M., Donnadieu, S. et Valdois, S. (2013a). Developmental dyslexia: exploring how much phonological and visual attention span disorders are linked to simultaneous auditory processing deficits. *Annals of Dyslexia*, 63(2), 97-116. doi: 10.1007/s11881-012-0074-4
- Lallier, M., Donnadieu, S. et Valdois, S. (2013b). Investigating the role of visual and auditory search in reading and developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 597. doi: 10.3389/fnhum.2013.00597
- Lallier, M., Tainturier, M. J., Dering, B., Donnadieu, S., Valdois, S. et Thierry, G. (2010). Behavioral and ERP evidence for amodal sluggish attentional shifting in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 48(14), 4125-4135. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.027
- Lallier, M., Thierry, G., Tainturier, M. J., Donnadieu, S., Peyrin, C., Billard, C., et al. (2009). Auditory and visual stream segregation in children and adults: an assessment of the amodality assumption of the 'sluggish attentional shifting' theory of dyslexia. *Brain Research*, 1302, 132-147. doi: 10.1016/j.brainres.2009.07.037
- Lallier, M., Valdois, S., Lassus-Sangosse, D., Prado, C. et Kandel, S. (2014). Impact of orthographic transparency on typical and atypical reading development: evidence in French-Spanish bilingual children. *Research in Developmental Disabilities*, 35(5), 1177-1190. doi: 10.1016/j.ridd.2014.01.021



- Landgraf, S., Beyer, R., Hild, I., Schneider, N., Horn, E., Schaadt, G., et al. (2012). Impact of phonological processing skills on written language acquisition in illiterate adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2 Suppl 1, S129-138. doi: 10.1016/j.dcn.2011.11.006
- Lassus-Sangosse, D. (2008). *Nature et spécificité des troubles de l'empan visuo-attentionnel dans les dyslexies développementales*. (Pierre Mendes France, Grenoble).
- Lassus-Sangosse, D., N'Guyen-Morel, M. A. et Valdois, S. (2008). Sequential or simultaneous visual processing deficit in developmental dyslexia? *Vision Research*, 48(8), 979-988. doi: 10.1016/j.visres.2008.01.025
- Launay, L. et Valdois, S. (2004). Evaluation et prise en charge cognitive de l'enfant dyslexique et/ou dysorthographique de surface. Dans S. Valdois, Colé, P., & David, D. (dir.), *Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales: de la théorie à la pratique* (p. 209-232). Marseille: Solal.
- Laycock, R., Crewther, D. P. et Crewther, S. G. (2008). The advantage in being magnocellular: a few more remarks on attention and the magnocellular system. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(8), 1409-1415.
- Layes, S., Lalonde, R. et Rebaï, M. (2015). Reading Speed and Phonological Awareness Deficits Among Arabic-Speaking Children with Dyslexia. *Dyslexia*, 21(1), 80-95.
- Lefavrais, P. (1965). *Test de l'Alouette*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Leong, V. et Goswami, U. (2014a). Assessment of rhythmic entrainment at multiple timescales in dyslexia: evidence for disruption to syllable timing. *Hearing Research*, 308, 141-161.
- Leong, V. et Goswami, U. (2014b). Impaired extraction of speech rhythm from temporal modulation patterns in speech in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 96. doi: 10.3389/fnhum.2014.00096
- Lervag, A., Braten, I. et Hulme, C. (2009). The cognitive and linguistic foundations of early reading development: a Norwegian latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 45(3), 764-781.
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L. et Colé, P. (2004). MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(1), 156-166.
- Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P. et Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74(6), 431-461.
- Liberman, A. M., Harris, K. S., Hoffman, H. S. et Griffith, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 54(5), 358-368.
- Liberman, I. Y. (1973). Segmentation of the spoken word and reading acquisition. *Orton Society: Bulletin of Orton Society*, 23(1), 64-77.
- Liberman, I. Y., Mann, V. A., Shankweiler, D. et Werfelman, M. (1982). Children's memory for recurring linguistic and nonlinguistic material in relation to reading ability. *Cortex*, 18(3), 367-375.
- Liberman, I. Y. et Shankweiler, D. (1985). Phonology and the Problems of Learning to Read and Write. *Remedial & Special Education*, 6(6), 8-17.
- Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W. et Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18(2), 201-212. doi: 10.1016/0022-0965(74)90101-5
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W. et Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(18), 7943-7947.

- Lobier, M. (2008). *Dyslexie et traitements visuels, Conception d'un logiciel de rééducation des troubles de l'empan visuo-attentionnel*. (Université Pierre Mendès France, Grenoble).
- Lobier, M., Dubois, M. et Valdois, S. (2013). The Role of Visual Processing Speed in Reading Speed Development. *PLoS One*, 8(4), e58097. doi: 10.1371/journal.pone.0058097
- Lobier, M., Peyrin, C., Le Bas, J. F. et Valdois, S. (2012). Pre-orthographic character string processing and parietal cortex: a role for visual attention in reading? *Neuropsychologia*, 50(9), 2195-2204. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.05.023
- Lobier, M., Peyrin, C., Pichat, C., Le Bas, J. F. et Valdois, S. (2014). Visual processing of multiple elements in the dyslexic brain: evidence for a superior parietal dysfunction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 479. doi: 10.3389/fnhum.2014.00479
- Lobier, M. et Valdois, S. (2009). Prise en charge des dyslexies développementales: critères d'évaluation. *Revue de Neuropsychologie*, 1(2), 102-109.
- Lobier, M., Zoubrinetzky, R. et Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in dyslexia is visual and not verbal. *Cortex*, 48(6), 768-773. doi: 10.1016/j.cortex.2011.09.003
- Lorusso, M. L., Cantiani, C. et Molteni, M. (2014). Age, dyslexia subtype and comorbidity modulate rapid auditory processing in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 313. doi: 10.3389/fnhum.2014.00313
- Lorusso, M. L., Facoetti, A. et Bakker, D. J. (2011). Neuropsychological treatment of dyslexia: does type of treatment matter? *Journal of Learning Disabilities*, 44(2), 136-149. doi: 10.1177/0022219410391186
- Lorusso, M. L., Facoetti, A. et Molteni, M. (2004). Hemispheric, attentional, and processing speed factors in the treatment of developmental dyslexia. *Brain and Cognition*, 55(2), 341-348. doi: 10.1016/j.bandc.2004.02.040
- Lorusso, M. L., Facoetti, A., Paganoni, P., Pezzani, M. et Molteni, M. (2006). Effects of visual hemisphere-specific stimulation versus reading-focused training in dyslexic children. *Neuropsychological Rehabilitation*, 16(2), 194-212. doi: 10.1080/09602010500145620
- Lorusso, M. L., Facoetti, A., Toraldo, A. et Molteni, M. (2005). Tachistoscopic treatment of dyslexia changes the distribution of visual-spatial attention. *Brain and Cognition*, 57(2), 135-142. doi: 10.1016/j.bandc.2004.08.057
- Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D. et Blackwood, M. (1980). Specific Reading Disability: Differences in Contrast Sensitivity as a Function of Spatial Frequency. *Science*, 210(4468), 439-440.
- Lovett, M. W. (1984). A developmental perspective on reading dysfunction: Accuracy and rate criteria in the subtyping of dyslexic children. *Brain and Language*, 22(1), 67-91.
- Lovett, M. W., Steinbach, K. A. et Frijters, J. C. (2000). Remediating the core deficits of developmental reading disability: a double-deficit perspective. *Journal Of Learning Disabilities*, 33(4), 334-358.
- Lyle, J. G. et Goyen, J. (1968). Visual recognition, developmental lag, and strephosymbolia in reading retardation. *Journal Of Abnormal Psychology*, 73(1), 25-29.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E. et Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14.
- MacKinnon, D. P., Fairchild, A. J. et Fritz, M. (2007). Mediation analysis. *Annual Review of Psychology*, 58, 593 - 614.
- Maclean, M., Bryant, P. E. et Bradley, L. (1987). Rhymes, nursery rhymes, and reading in early childhood. *Merrill-Palmer Quarterly*, 33(3), 255-281.
- Magnan, A. et Ecalte, J. (2006). Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computers & Education*, 46(4), 407-425. doi: 10.1016/j.compedu.2004.08.008

- Magnan, A., Ecalle, J., Veuillet, E. et Collet, L. (2004). The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(2), 131-140. doi: 10.1002/dys.270
- Mahec, G. (2008). *Une nouvelle épreuve de lecture, son application à l'étude de la dyslexie*. Editions Publibook.
- Manis, F. R. et Bailey, C. E. (2008). Exploring heterogeneity in developmental dyslexia: A longitudinal investigation. Dans G. Reid, Fawcett, A., Manis, F. R. & Siegel, L. (dir.), *The SAGE handbook of dyslexia* (p. 149-173). London: SAGE Publications.
- Manis, F. R., Custodio, R. et Szeszulski, P. A. (1993). Development of phonological and orthographic skill: a 2-year longitudinal study of dyslexic children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56(1), 64-86.
- Manis, F. R., Doi, L. M. et Bhadha, B. (2000). Naming speed, phonological awareness, and orthographic knowledge in second graders. *Journal Of Learning Disabilities*, 33(4), 325-333.
- 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? *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(2), 211-235. doi: 10.1006/jecp.1997.2383
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S. et Doi, L. M. (1999). See Dick RAN: Rapid naming and the longitudinal prediction of reading subskills in first and second graders. *Scientific Studies of Reading*, 3(2), 129-157.
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C. et Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of development dyslexia. *Cognition*, 58(2), 157-195.
- Manly, T., Robertson, I. H., Anderson, V. et Mimmo-Smith, I. (2004). *Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Mark, L. S., Shankweiler, D., Liberman, I. Y. et Fowler, C. A. (1977). Phonetic recoding and reading difficulty in beginning readers. *Memory & Cognition*, 5(6), 623-629.
- Marshall, C. M., Snowling, M. J. et Bailey, P. J. (2001). Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(4), 925-940.
- Martelli, M., Di Filippo, G., Spinelli, D. et Zoccolotti, P. (2009). Crowding, reading, and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 9(4), 14 11-18. doi: 10.1167/9.4.14
- Martinet, C. et Valdois, S. (1999). L'apprentissage de l'orthographe d'usage et ses troubles dans la dyslexie développementale de surface. *L'Année Psychologique*, 99(4), 577-622.
- Masterson, J., Hazan, V. et Wijayatilake, L. (1995). Phonemic processing problems in developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 12(3), 233-259.
- Maughan, B., Rowe, R., Loeber, R. et Stouthamer-Loeber, M. (2003). Reading problems and depressed mood. *Journal Of Abnormal Child Psychology*, 31(2), 219-229.
- McArthur, G. (2007). Test-retest effects in treatment studies of reading disability: the devil is in the detail. *Dyslexia*, 13(4), 240-252.
- McArthur, G. (2009). Auditory processing disorders: can they be treated? *Current Opinion in Neurology*, 22(2), 137-143.
- McArthur, G., Castles, A., Kohnen, S., Larsen, L., Jones, K., Anandakumar, T., et al. (2013). Sight Word and Phonics Training in Children With Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 48(4), 1-17. doi: 10.1177/0022219413504996
- McArthur, G., Kohnen, S., Jones, K., Eve, P., Banales, E., Larsen, L., et al. (2015). Replicability of sight word training and phonics training in poor readers: a randomised controlled trial. *PeerJ*, 3, e922. doi: 10.7717/peerj.922
- McArthur, G., Kohnen, S., Larsen, L., Jones, K., Anandakumar, T., Banales, E., et al. (2013). Getting to grips with the heterogeneity of developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 30(1), 1-24. doi: 10.1080/02643294.2013.784192

- McBride-Chang, C. (1995). What is phonological awareness? *Journal of Educational Psychology*, 87(2), 179-192.
- McBride-Chang, C. (1996). Models of speech perception and phonological processing in reading. *Child Development*, 67(4), 1836-1856.
- McCloskey, M. et Rapp, B. (2000). A visually based developmental reading deficit. *Journal of Memory and Language*, 43(2), 157-181.
- McDougall, P., Borowsky, R., MacKinnon, G. E. et Hymel, S. (2005). Process dissociation of sight vocabulary and phonetic decoding in reading: a new perspective on surface and phonological dyslexias. *Brain and Language*, 92(2), 185-203. doi: 10.1016/j.bandl.2004.06.003
- McIntosh, R. D. et Ritchie, S. J. (2012). Rose-tinted? The use of coloured filters to treat reading difficulties. Dans S. & Anderson Della Sala, M. (dir.), *Neuroscience in Education: The good, the bad, and the ugly* (p. 230-243). Oxford Univ. Press.
- Medialexie©. Osiris Medialexie. Repéré à <http://www.medialexie.com>
- Medina, V., Hoonhorst, I., Bogliotti, C. et Serniclaes, W. (2010). Development of voicing perception in French: Comparing adults, adolescents, and children. *Journal of Phonetics*, 38(4), 493-503. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wocn.2010.06.002>
- Melby-Lervåg, M., Lyster, S. A. H. et Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 138(2), 322-352. doi: 10.1037/a0026744
- 10.1037/a0026744.supp (Supplemental)
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., et al. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia*, 48(4), 863-872. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.003
- Messaoud-Galusi, S., Hazan, V. et Rosen, S. (2011). Investigating speech perception in children with dyslexia: is there evidence of a consistent deficit in individuals? *Journal Of Speech, Language, And Hearing Research*, 54(6), 1682-1701. doi: 10.1044/1092-4388(2011/09-0261)
- Mioduser, D., Tur-Kaspa, H. et Leitner, I. (2000). The learning value of computer-based instruction of early reading skills. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16(1), 54-63.
- Mitterer, J. O. (1982). There are at least two kinds of poor readers: whole-word poor readers and recoding poor readers. *Canadian Journal of Psychology*, 36(3), 445-461.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M. et Brady, S. (1997). Speech Perception Deficits in Poor Readers: Auditory Processing or Phonological Coding? *Journal of Experimental Child Psychology*, 64(2), 199-231. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1996.2343>
- Moore, D. R., Rosenberg, J. F. et Coleman, J. S. (2005). Discrimination training of phonemic contrasts enhances phonological processing in mainstream school children. *Brain and Language*, 94(1), 72-85. doi: 10.1016/j.bandl.2004.11.009
- Morris, R. D., Lovett, M. W., Wolf, M., Sevcik, R. A., Steinbach, K. A., Frijters, J. C., et al. (2012). Multiple-Component Remediation for Developmental Reading Disabilities: IQ, Socioeconomic Status, and Race as Factors in Remedial Outcome. *Journal of Learning Disabilities*, 45(2), 99-127. doi: 10.1177/0022219409355472
- Morris, R. D., Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Lyon, G. R., Shankweiler, D. P., et al. (1998). Subtypes of reading disability: Variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 347-373. doi: 10.1037/0022-0663.90.3.347
- Mousty, P., Leybaert, J., Alégria, J., Content, A. et Morais, J. (1994). BELEC. Batterie d'évaluation du langage écrit et de ces troubles. . Dans J. Grégoire, Et Piérart, B. (dir.), *Évaluer les troubles de la lecture. Les nouveaux modèles théoriques et leurs implications diagnostiques*. (p. 127-145). Bruxelles: De Boeck.

- Muncer, S. J. et Jandreau, S. (1984). Morphemes, syllables, words and reading. *Perceptual and Motor Skills*, 59(1), 14-14. doi: 10.2466/pms.1984.59.1.14
- Murphy, L. A., Pollatsek, A. et Well, A. D. (1988). Developmental dyslexia and word retrieval deficits. *Brain and Language*, 35(1), 1-23.
- Nazari, M. A., Mosanezhad, E., Hashemi, T. et Jahan, A. (2012). The effectiveness of neurofeedback training on EEG coherence and neuropsychological functions in children with reading disability. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43(4), 315-322. doi: 10.1177/1550059412451880
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Berry, E. L., Jenkins, I. H., Dean, P. et Brooks, D. J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet*, 353(9165), 1662-1667. doi: 10.1016/S0140-6736(98)09165-X
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J. et Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neuroscience*, 24(9), 508-511.
- Niolaki, G. Z., Terzopoulos, A. R. et Masterson, J. (2014). Varieties of developmental dyslexia in Greek children. *Writing Systems Research*, 6(2), 230-256.
- Noordenbos, M. W., Segers, E., Serniclaes, W., Mitterer, H. et Verhoeven, L. (2012a). Allophonic mode of speech perception in Dutch children at risk for dyslexia: a longitudinal study. *Research in Developmental Disabilities*, 33(5), 1469-1483. doi: 10.1016/j.ridd.2012.03.021
- Noordenbos, M. W., Segers, E., Serniclaes, W., Mitterer, H. et Verhoeven, L. (2012b). Neural evidence of allophonic perception in children at risk for dyslexia. *Neuropsychologia*, 50(8), 2010-2017. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.026
- Noordenbos, M. W., Segers, E., Serniclaes, W. et Verhoeven, L. (2013). Neural evidence of the allophonic mode of speech perception in adults with dyslexia. *Clinical Neurophysiology*, 124(6), 1151-1162. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2012.12.044
- Noordenbos, M. W. et Serniclaes, W. (2015). The Categorical Perception Deficit in Dyslexia: A Meta-Analysis. *Scientific Studies of Reading*(ahead-of-print), 1-20. doi: 10.1080/10888438.2015.1052455
- Norton, E. S., Black, J. M., Stanley, L. M., Tanaka, H., Gabrieli, J. D. E., Sawyer, C., et al. (2014). Functional neuroanatomical evidence for the double-deficit hypothesis of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 61, 235-246.
- O'Brien, B. A., Mansfield, J. S. et Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 332-349. doi: 10.1111/j.1467-9817.2005.00273.x
- O'Connor, R. E., Bocian, K. M., Beach, K. D., Sanchez, V. et Flynn, L. J. (2013). Special Education in a 4-Year Response to Intervention (RtI) Environment: Characteristics of Students with Learning Disability and Grade of Identification. *Learning Disabilities Research & Practice* 28(3), 98-112. doi: 10.1111/ldrp.12013
- Olulade, O. A., Napoliello, E. M. et Eden, G. F. (2013). Abnormal visual motion processing is not a cause of dyslexia. *Neuron*, 79(1), 180-190.
- Overy, K. (2003). Dyslexia and music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 497-505.
- Pacheco, A., Reis, A., Araújo, S., Inácio, F., Petersson, K. M. et Faisca, L. (2014). Dyslexia heterogeneity: cognitive profiling of Portuguese children with dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 27(9), 1529-1545. doi: 10.1007/s11145-014-9504-5
- Pammer, K. (2014). Brain mechanisms and reading remediation: more questions than answers. *Scientifica*, 2014, 1-9. doi: 10.1155/2014/802741
- Pammer, K., Hansen, P., Holliday, I. et Cornelissen, P. (2006). Attentional shifting and the role of the dorsal pathway in visual word recognition. *Neuropsychologia*, 44(14), 2926-2936. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.028

- Pammer, K., Lavis, R., Hansen, P. et Cornelissen, P. L. (2004). Symbol-string sensitivity and children's reading. *Brain and Language*, 89(3), 601-610. doi: 10.1016/j.bandl.2004.01.009
- Papadopoulos, T. C., Georgiou, G. K. et Kendeou, P. (2009). Investigating the Double-Deficit Hypothesis in Greek: Findings From a Longitudinal Study. *Journal of Learning Disabilities*, 42(6), 528-547.
- Park, H. et Lombardino, L. J. (2013). Relationships among cognitive deficits and component skills of reading in younger and older students with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 34(9), 2946-2958. doi: 10.1016/j.ridd.2013.06.002
- Paul, I., Bott, C., Heim, S., Wienbruch, C. et Elbert, T. R. (2006). Phonological but not auditory discrimination is impaired in dyslexia. *European Journal of Neuroscience*, 24(10), 2945-2953. doi: 10.1111/j.1460-9568.2006.05153.x
- Paulesu, E., Danelli, L. et Berlingeri, M. (2014). Reading the dyslexic brain: multiple dysfunctional routes revealed by a new meta-analysis of PET and fMRI activation studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1.
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B. et Moore-Page, D. C. (2006). Feature detection and letter identification. *Vision Research*, 46(28), 4646-4674. doi: 10.1016/j.visres.2006.04.023
- Pelli, D. G., Tillman, K. A., Freeman, J., Su, M., Berger, T. D. et Majaj, N. J. (2007). Crowding and eccentricity determine reading rate. *Journal of Vision*, 7(2), 20 21-36. doi: 10.1167/7.2.20
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385-413.
- Pennington, B. F. et Bishop, D. V. M. (2009). Relations among speech, language, and reading disorders. *Annual Review of Psychology*, 60, 283-306.
- Pennington, B. F., Cardoso-Martins, C., Green, P. A. et Lefly, D. L. (2001). Comparing the phonological and double deficit hypotheses for developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 14(7/8), 707-755.
- Pennington, B. F., Santerre-Lemmon, L., Rosenberg, J., MacDonald, B., Boada, R., Friend, A., et al. (2012). Individual prediction of dyslexia by single versus multiple deficit models. *Journal Of Abnormal Psychology*, 121(1), 212-224. doi: 10.1037/a0025823
- Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C. et Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22, 420-430. doi: 10.1016/j.learninstruc.2012.04.001
- Pernet, C., Andersson, J., Paulesu, E. et Demonet, J. F. (2009). When all hypotheses are right: a multifocal account of dyslexia. *Human Brain Mapping*, 30(7), 2278-2292. doi: 10.1002/hbm.20670
- Pernet, C., Valdois, S., Celsis, P. et Demonet, J. F. (2006). Lateral masking, levels of processing and stimulus category: a comparative study between normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 44(12), 2374-2385. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.003
- Perry, C., Ziegler, J. et Zorzi, M. (2010). Beyond single syllables: Large-scale modeling of reading aloud with the Connectionist Dual Process (CDP++) model. *Cognitive psychology*, 61(2), 106-151.
- Peterson, R. L., Pennington, B. F. et Olson, R. K. (2013). Subtypes of developmental dyslexia: testing the predictions of the dual-route and connectionist frameworks. *Cognition*, 126(1), 20-38. doi: 10.1016/j.cognition.2012.08.007
- Peterson, R. L., Pennington, B. F., Olson, R. K. et Wadsworth, S. (2014). Longitudinal Stability of Phonological and Surface Subtypes of Developmental Dyslexia. *Scientific Studies of Reading*, 18(5), 347-362. doi: 10.1080/10888438.2014.904870
- Peyrin, C., Demonet, J. F., N'Guyen-Morel, M. A., Le Bas, J. F. et Valdois, S. (2011). Superior parietal lobule dysfunction in a homogeneous group of dyslexic children with a visual

- attention span disorder. *Brain and Language*, 118(3), 128-138. doi: 10.1016/j.bandl.2010.06.005
- Peyrin, C., Lallier, M., Demonet, J. F., Pernet, C., Baciú, M., Le Bas, J. F., et al. (2012). Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia: fMRI evidence from two case reports. *Brain and Language*, 120(3), 381-394. doi: 10.1016/j.bandl.2011.12.015
- Peyrin, C., Lallier, M. et Valdois, S. (2008). Visual attention span brain mechanisms in normal and dyslexic readers. Dans M. Baciú (dir.), *Neuropsychology and cognition of language: Behavioural, neuropsychological and neuroimaging studies of oral and written language* (p. 22-40): Research Signpost.
- Pierart, B., Comblain, A., Grégoire, J. et Mousty, P. (2004). *ISADYLE: Instrument pour le screening et l'examen approfondi des dysfonctionnement du langage chez l'enfant*. Marseille: Solal.
- Plakas, A., van Zuijen, T., van Leeuwen, T., Thomson, J. M. et van der Leij, A. (2013). Impaired non-speech auditory processing at a pre-reading age is a risk-factor for dyslexia but not a predictor: an ERP study. *Cortex*, 49(4), 1034-1045. doi: 10.1016/j.cortex.2012.02.013
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S. et Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103(1), 56-115.
- Plaza, M. et Cohen, H. (2003). The interaction between phonological processing, syntactic awareness, and naming speed in the reading and spelling performance of first-grade children. *Brain and Cognition*, 53(2), 287-292. doi: 10.1016/s0278-2626(03)00128-3
- Poelmans, G., Buitelaar, J. K., Pauls, D. L. et Franke, B. (2011). A theoretical molecular network for dyslexia: integrating available genetic findings. *Molecular Psychiatry*, 16(4), 365-382. doi: 10.1038/mp.2010.105
- Poelmans, H., Luts, H., Vandermosten, M., Boets, B., Ghesquiere, P. et Wouters, J. (2011). Reduced sensitivity to slow-rate dynamic auditory information in children with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2810-2819. doi: 10.1016/j.ridd.2011.05.025
- Pokorni, J. L., Worthington, C. K. et Jamison, P. J. (2004). Phonological awareness intervention: comparison of Fast ForWord, Earobics, and LiPS. *The Journal of Educational Research*, 97(3), 147-158.
- Pollack, I. et Pisoni, D. (1971). On the comparison between identification and discrimination tests in speech perception. *Psychonomic Science*, 24(6), 299-300.
- Powell, D., Stainthorp, R., Stuart, M., Garwood, H. et Quinlan, P. (2007). An experimental comparison between rival theories of rapid automatized naming performance and its relationship to reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 98(1), 46-68.
- Prado, C., Dubois, M. et Valdois, S. (2007). The eye movements of dyslexic children during reading and visual search: impact of the visual attention span. *Vision Research*, 47(19), 2521-2530. doi: 10.1016/j.visres.2007.06.001
- Prior, M., Smart, D., Sanson, A. et Oberklaid, F. (1999). Relationships between learning difficulties and psychological problems in preadolescent children from a longitudinal sample. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 38(4), 429-436.
- Rack, J. P., Snowling, M. J. et Olson, R. K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*, 27(1), 29-53.
- Rae, C., Harasty, J. A., Dzendrowskyj, T. E., Talcott, J. B., Simpson, J. M., Blamire, A. M., et al. (2002). Cerebellar morphology in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 40(8), 1285-1292.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212-218. doi: 10.1016/S0959-4388(03)00035-7

- Ramus, F. (2014a). Neuroimaging sheds new light on the phonological deficit in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(6), 274-275. doi: 10.1016/j.tics.2014.01.009
- Ramus, F. (2014b). Should there really be a 'Dyslexia debate'? *Brain*, 137(12), 3371-3374. doi: 10.1093/brain/awu295
- Ramus, F. et Ahissar, M. (2012). Developmental dyslexia: the difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance. *Cognitive Neuropsychology*, 29(1-2), 104-122. doi: 10.1080/02643294.2012.677420
- Ramus, F., Rosen, C., 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(4), 841-865.
- Ramus, F. et Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 129-141. doi: 10.1080/17470210701508822
- Raschle, N. M., Chang, M. et Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 57(3), 742-749.
- Raschle, N. M., Stering, P. L., Meissner, S. N. et Gaab, N. (2014). Altered Neuronal Response During Rapid Auditory Processing and Its Relation to Phonological Processing in Prereading Children at Familial Risk for Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 24(9), 2489-2501. doi: 10.1093/cercor/bht104
- Raven, J. C., Court, J. H. et Raven, J. (1998). *Progressive matrices standard (PM38)*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Ray, N. J., Fowler, S. et Stein, J. F. (2005). Yellow filters can improve magnocellular function: motion sensitivity, convergence, accommodation, and reading. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1039(1), 283-293.
- Reed, M. A. (1989). Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48(2), 270-292.
- Regtvoort, A. G. et van der Leij, A. (2007). Early intervention with children of dyslexic parents: Effects of computer-based reading instruction at home on literacy acquisition. *Learning and Individual Differences*, 17(1), 35-53. doi: 10.1016/j.lindif.2007.01.005
- Reid, A. A., Szczerbinski, M., Iskierka-Kasperek, E. et Hansen, P. (2007). Cognitive profiles of adult developmental dyslexics: theoretical implications. *Dyslexia*, 13(1), 1-24. doi: 10.1002/dys.321
- Reilhac, C., Peyrin, C., Demonet, J. F. et Valdois, S. (2013). Role of the superior parietal lobules in letter-identity processing within strings: fMRI evidence from skilled and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 51(4), 601-612. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.12.010
- Renvall, H. et Hari, R. (2002). Auditory cortical responses to speech-like stimuli in dyslexic adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(5), 757-768.
- Richardson, U. et Lyytinen, H. (2014). The GraphoGame method: the theoretical and methodological background of the technology - enhanced learning environment for learning to read *Human Technology*, 10(1), 39-60.
- Ritchie, S. J., Della Sala, S. et McIntosh, R. D. (2011). Irlen colored overlays do not alleviate reading difficulties. *Pediatrics*, 128(4), e932-e938.
- Robertson, E. K., Joanisse, M. F., Desroches, A. S. et Ng, S. (2009). Categorical speech perception deficits distinguish language and reading impairments in children. *Developmental Science*, 12(5), 753-767. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00806.x
- Romani, A., Conte, S., Callieco, R., Bergamaschi, R., Versino, M., Lanzi, G., et al. (2001). Visual evoked potential abnormalities in dyslexic children. *Functional Neurology*, 16(3), 219-229.
- Romani, C., Di Betta, A. M., Tsouknida, E. et Olson, A. (2008). Lexical and nonlexical processing in developmental dyslexia: a case for different resources and different impairments. *Cognitive Neuropsychology*, 25(6), 798-830. doi: 10.1080/02643290802347183



- Romani, C. et Stringer, M. (1994). Developmental dyslexia - A problem acquiring orthographic - phonological information in the face of good visual memory and good short-term-memory. *Brain and Language*, 47(3), 482-485.
- Romani, C., Ward, J. et Olson, A. (1999). Developmental Surface Dysgraphia: What Is the Underlying Cognitive Impairment? *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 52(1), 97-128. doi: 10.1080/027249899391241
- Rosen, S., Chakravarthi, R. et Pelli, D. G. (2014). The Bouma law of crowding, revised: critical spacing is equal across parts, not objects. *Journal of Vision*, 14(6), 10 11-15. doi: 10.1167/14.6.10
- Rowse, H. J. et Wilshire, C. E. (2007). Comparison of phonological and whole-word treatments for two contrasting cases of developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 24(8), 817-842.
- Ruff, S., Boulanouar, K., Cardebat, D., Celsis, P. et Démonet, J. F. (2001). Brain correlates of impaired categorical phonetic perception in adult dyslexics. *NeuroImage*, 13(6, Supplement), 595. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119\(01\)91938-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119(01)91938-X)
- Ruffino, M., Gori, S., Boccardi, D., Molteni, M. et Facoetti, A. (2014). Spatial and temporal attention in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 331. doi: 10.3389/fnhum.2014.00331
- Sahoo, M. K., Biswas, H. et Padhy, S. K. (2015). Psychological Co-morbidity in Children with Specific Learning Disorders. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 4(1), 21-25. doi: 10.4103/2249-4863.152243
- Saine, N. L., Lerkkanen, M. K., Ahonen, T., Tolvanen, A. et Lyytinen, H. (2011). Computer-assisted remedial reading intervention for school beginners at risk for reading disability. *Child Development*, 82(3), 1013-1028.
- Schäffler, T., Sonntag, J., Hartnegg, K. et Bischer, B. (2004). The effect of practice on low-level auditory discrimination, phonological skills, and spelling in dyslexia. *Dyslexia* 10(2), 119-130. doi: 10.1002/dys.267
- Schatschneider, C., Carlson, C. D., Francis, D. J., Foorman, B. R. et Fletcher, J. M. (2002). Relationship of Rapid Automatized Naming and Phonological Awareness in Early Reading Development Implications for the Double-Deficit Hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, 35(3), 245-256.
- Schneider, W., Kuspert, P., Roth, E., Vise, M. et Marx, H. (1997). Short- and long-term effects of training phonological awareness in kindergarten: evidence from two German studies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(3), 311-340. doi: 10.1006/jecp.1997.2384
- Schwartz, R. G. (2009). *Handbook of Child Language Disorders*. New York: Psychology Press.
- Seidenberg, M. S. et McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96(4), 523-568.
- Serniclaes, W. (1987). *Etude expérimentale de la perception du trait de voisement des occlusives du français [Experimental study of the perception of the voicing feature in French stop consonants]*. Université Libre de Bruxelles.
- Serniclaes, W. (2011). Allophonic perception in dyslexia: An overview. *Escritos de Psicología*, 4(2), 25-34.
- Serniclaes, W., Collet, G. et Sprenger-Charolles, L. (2015). Review of neural rehabilitation programs for dyslexia: how can an allophonic system be changed into a phonemic one? *Frontiers in Psychology*, 6, 190. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00190
- Serniclaes, W. et Sprenger-Charolles, L. (2015). Reading impairment: From behavior to brain. Dans R. H. Bahr & E. R. Silliman (dir.), *Routledge Handbook of Communication Disorders*. London, UK: Routledge.

- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R. et Demonet, J. F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *Journal Of Speech, Language, And Hearing Research, 44*(2), 384-399.
- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carre, R. et Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*(4), 336-361. doi: 10.1016/j.jecp.2004.02.001
- Serniclaes, W., Ventura, P., Morais, J. et Kolinsky, R. (2005). Categorical perception of speech sounds in illiterate adults. *Cognition, 98*(2), B35-44. doi: 10.1016/j.cognition.2005.03.002
- Seron, X. (2000). L'évaluation de l'efficacité des traitements. Dans X. SeronM. Van Der Linden (dir.), *Traité de neuropsychologie clinique*. (Vol. Tome II, p. 39-62). Marseille: Solal.
- Seron, X. et Van der Linden, M. (2000). Objectifs et stratégies de la revalidation neuropsychologique. Dans X. SeronM. Van Der Linden (dir.), *Traité de neuropsychologie clinique*. (Vol. Tome II, p. 9-16). Marseille: Solal.
- Seymour, P. H. K. et Macgregor, C. J. (1984). Developmental dyslexia: A cognitive experimental analysis of phonological, morphemic, and visual impairments. *Cognitive Neuropsychology, 1*(1), 43-82.
- Shankweiler, D. et Liberman, I. Y. (1978). Reading behavior in dyslexia: Is there a distinctive pattern? *Orton Society: Bulletin of Orton Society, 28*(1), 114-123.
- Shany, M. et Breznitz, Z. (2011). Rate- and accuracy-disabled subtype profiles among adults with dyslexia in the Hebrew orthography. *Developmental Neuropsychology, 36*(7), 889-913. doi: 10.1080/87565641.2011.606410
- Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition, 55*(2), 151-218. doi: 10.1016/0010-0277(94)00645-2
- Share, D. L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology, 72*(2), 95-129.
- Share, D. L. (2004). Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*(4), 267-298.
- Share, D. L., Jorm, A. F., Maclean, R. et Matthews, R. (1984). Sources of individual differences in reading acquisition. *Journal of educational Psychology, 76*(6), 1309-1324.
- Share, D. L., Jorm, A. F., Maclean, R. et Matthews, R. (2002). Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 15*(1/2), 151-178.
- 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. *Biological psychiatry, 55*(9), 926-933.
- Shaywitz, S. E., Fletcher, J. M., Holahan, J. M., Shneider, A. E., Marchione, K. E., Stuebing, K. K., et al. (1999). Persistence of dyslexia: The Connecticut longitudinal study at adolescence. *Pediatrics, 104*(6), 1351-1359.
- Shovman, M. M. et Ahissar, M. (2006). Isolating the impact of visual perception on dyslexics' reading ability. *Vision Research, 46*(20), 3514-3525. doi: 10.1016/j.visres.2006.05.011
- Simos, P. G., Fletcher, J. M., Bergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., et al. (2002). Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology, 58*(8), 1203-1213.
- Sinatra, G. M. (1990). Convergence of listening and reading processing. *Reading Research Quarterly, 25*(2), 115-130.
- Skottun, B. C. (2011). On the use of visual motion perception to assess magnocellular integrity. *Journal of integrative neuroscience, 10*(1), 15-32.
- Skottun, B. C. et Skoyles, J. R. (2007). Yellow filters, magnocellular responses, and reading. *International Journal of Neuroscience, 117*(2), 287-293. doi: 10.1080/00207450500534076

- Skottun, B. C. et Skoyles, J. R. (2011). Dyslexia, magnocellular integrity and rapidly presented stimuli. *Nature Proceedings*. Retrieved June, 10.
- Slavin, R. E., Lake, C., Chambers, B., Cheung, A. et Davis, S. (2009). Effective reading programs for the elementary grades: A best-evidence synthesis. *Review of Educational Research*, 79(4), 1391-1466.
- Smith, D. S. et Nagle, R. J. (1995). Self-perceptions and social comparisons among children with LD. *Journal of Learning Disabilities*, 28(6), 364-371.
- Snowling, M. J. (1998). Dyslexia as a Phonological Deficit: Evidence and Implications. *Child & Adolescent Mental Health*, 3(1), 4-11. doi: 10.1111/1475-3588.00201
- Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 37-46. doi: 10.1002/dys.185
- Snowling, M. J. et Hulme, C. (1989). A longitudinal case study of developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 6(4), 379-401. doi: 10.1080/02643298908253289
- Spinelli, D., Angelelli, P., De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A. et Zoccolotti, P. (1997). Developmental surface dyslexia is not associated with deficits in the transient visual system. *Neuroreport*, 8(8), 1807-1812.
- Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A. et Zoccolotti, P. (2002). Crowding Effects on Word Identification in Developmental Dyslexia. *Cortex*, 38(2), 179-200. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70649-x
- Sprenger-Charolles, L., Cole, P., Lacert, P. et Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia: evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54(2), 87-104.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Jiménez, J. E. et Ziegler, J. C. (2011). Prevalence and Reliability of Phonological, Surface, and Mixed Profiles in Dyslexia: A Review of Studies Conducted in Languages Varying in Orthographic Depth. *Scientific Studies of Reading*, 15(6), 498-521.
- Stanovich, K. E. (1980). Toward an interactive-compensatory model of individual differences in the development of reading fluency. *Reading Research Quarterly*, 16(1), 32-71.
- Stanovich, K. E. (1988). Explaining the differences between the dyslexic and the garden-variety poor reader The phonological-core variable-difference model. *Journal of Learning Disabilities*, 21(10), 590-604.
- Stanovich, K. E. et Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 24-53.
- Stanovich, K. E., Siegel, L. S. et Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 114-127. doi: 10.1037/0022-0663.89.1.114
- Stein, J. F. (1994). Developmental dyslexia, neural timing and hemispheric lateralisation. *International Journal of Psychophysiology*, 18(3), 241-249. doi: 10.1016/0167-8760(94)90010-8
- Stein, J. F. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36. doi: 10.1002/dys.186
- Stein, J. F. (2014). Dyslexia: the Role of Vision and Visual Attention. *Current Developmental Disorders Reports*, 1(4), 267-280. doi: 10.1007/s40474-014-0030-6
- Stein, J. F. et Fowler, S. (1985). Effect of monocular occlusion on visuomotor perception and reading in dyslexic children. *Lancet*(8446), 69-73.
- Stein, J. F., Richardson, A. J. et Fowler, M. S. (2000). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain*, 123(1), 164-170.
- Stein, J. F. et Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20(4), 147-152.

- Stoodley, C. J. et Stein, J. F. (2013). Cerebellar function in developmental dyslexia. *The Cerebellum*, 12(2), 267-276.
- Strong, G. K., Torgerson, C. J., Torgerson, D. et Hulme, C. (2011). A systematic meta-analytic review of evidence for the effectiveness of the 'Fast ForWord' language intervention program. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(3), 224-235.
- Studdert-Kennedy, M. (2002). Deficits in phoneme awareness do not arise from failures in rapid auditory processing. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15(1/2), 5-14.
- Studdert-Kennedy, M. et Mody, M. (1995). Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired: A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 508-514. doi: 10.3758/BF03210986
- Swan, D. et Goswami, U. (1997a). Phonological Awareness Deficits in Developmental Dyslexia and the Phonological Representations Hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66(1), 18-41. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jecp.1997.2375>
- Swan, D. et Goswami, U. (1997b). Picture Naming Deficits in Developmental Dyslexia: The Phonological Representations Hypothesis. *Brain and Language*, 56(3), 334-353. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/brln.1997.1855>
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Assoku, E. L. et Stein, J. F. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38(7), 935-943.
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Willis-Owen, C., McKinnell, I. W., Richardson, A. J. et Stein, J. F. (1998). Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuro-ophthalmology*, 20(4), 187-201.
- Talcott, J. B., Witton, C. et Stein, J. F. (2013). Probing the neurocognitive trajectories of children's reading skills. *Neuropsychologia*, 51(3), 472-481. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.016>
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9(2), 182-198. doi: 10.1016/0093-934X(80)90139-X
- Tallal, P. (2004). Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(9), 721-728.
- Tallal, P., Miller, S. L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S. S., et al. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271(5245), 81-84.
- Taub, G. E. et Lazarus, P. J. (2013). The effects of training in timing and rhythm on reading achievement. *Contemporary Issues in Education Research*, 5(4), 343-350.
- Temple, C. M. (1986). Developmental dysgraphias. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38(1), 77-110.
- Temple, C. M. et Marshall, J. C. (1983). A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology*, 74(4), 517-533.
- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., et al. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(5), 2860-2865. doi: 10.1073/pnas.0030098100
- Thomson, J. M., Leong, V. et Goswami, U. (2013). Auditory processing interventions and developmental dyslexia: a comparison of phonemic and rhythmic approaches. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 26(2), 139-161. doi: 10.1007/s11145-012-9359-6
- Tierney, A. et Kraus, N. (2013). Music training for the development of reading skills. *Progress in Brain Research*, 207, 209-241. doi: 10.1016/B978-0-444-63327-9.00008-4
- Tonnessen, F. E. (1995). On defining 'dyslexia'. *Journal of Curriculum Studies*, 39(2), 139-156.

- Torgesen, J. K. (2002). The Prevention of Reading Difficulties. *Journal of School Psychology, 40*(1), 7-26. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-4405\(01\)00092-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-4405(01)00092-9)
- Torgesen, J. K., Alexander, A. W., Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Voeller, K. K. et Conway, T. (2001). Intensive remedial instruction for children with severe reading disabilities: immediate and long-term outcomes from two instructional approaches. *Journal of Learning Disabilities, 34*(1), 33-78.
- Torgesen, J. K. et Barker, T. A. (1995). Computers as Aids in the Prevention and Remediation of Reading Disabilities. *Learning Disability Quarterly, 18*(2), 76-87.
- Torppa, M., Parrila, R., Niemi, P., Lerkkanen, M. K., Poikkeus, A. M. et Nurmi, J. E. (2013). The double deficit hypothesis in the transparent Finnish orthography: a longitudinal study from kindergarten to Grade 2. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 26*(8), 1353-1380. doi: [10.1007/s11145-012-9423-2](https://doi.org/10.1007/s11145-012-9423-2)
- Treiman, R. et Baron, J. (1983). Phonemic-analysis training helps children benefit from spelling-sound rules. *Memory & Cognition, 11*(4), 382-389. doi: [10.3758/BF03202453](https://doi.org/10.3758/BF03202453)
- Tunmer, W. E. et Nesdale, A. R. (1985). Phonemic segmentation skill and beginning reading. *Journal of Educational Psychology, 77*(4), 417-427. doi: [10.1037/0022-0663.77.4.417](https://doi.org/10.1037/0022-0663.77.4.417)
- Uccula, A., Enna, M. et Mulatti, C. (2014). Colors, colored overlays, and reading skills. *Frontiers in Psychology, 5*, 833. doi: [10.3389/fpsyg.2014.00833](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00833)
- Vaessen, A. et Blomert, L. (2010). Long-term cognitive dynamics of fluent reading development. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*(3), 213-231. doi: [10.1016/j.jecp.2009.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.005)
- Vaessen, A., Gerretsen, P. et Blomert, L. (2009). Naming problems do not reflect a second independent core deficit in dyslexia: double deficits explored. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*(2), 202-221. doi: [10.1016/j.jecp.2008.12.004](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.12.004)
- Valdois, S. (2010). Trouble de l'empan visuo-attentionnel dans les dyslexies développementales: de la théorie à la pratique clinique. Dans S. Chokron & J.F. Démonet (dir.), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* (p. 91-116). Marseille: Solal.
- Valdois, S. (sous presse). Les dyslexies-dysorthographies par trouble de l'empan visuo-attentionnel. Dans M.A. Schelstraete P. Lefebvre, N. Rousseau, N. Bedouin & B. Stanké (dir.), *Dyslexies-dysorthographies: dépistage, évaluation, intervention.*: Presses Universitaires du Québec.
- Valdois, S., Bidet-Ildei, C., Lassus-Sangosse, D., Reilhac, C., N'Guyen-Morel, M. A., Guinet, E., et al. (2011). A visual processing but no phonological disorder in a child with mixed dyslexia. *Cortex, 47*(10), 1197-1218. doi: [10.1016/j.cortex.2011.05.011](https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.011)
- Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., et al. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 16*(6), 541-572.
- Valdois, S., Bosse, M. L. et Peyrin, C. (2014). *COREVA : exercices progressifs d'entraînement des capacités d'empan visuo-attentionnel*. (OrthoEdition<sup>®</sup> éd.).
- Valdois, S., Bosse, M. L. et 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. doi: [10.1002/dys.284](https://doi.org/10.1002/dys.284)
- Valdois, S., Carbonnel, S., Juphard, A., Baciou, M., Ans, B., Peyrin, C., et al. (2006). Polysyllabic pseudo-word processing in reading and lexical decision: converging evidence from behavioral data, connectionist simulations and functional MRI. *Brain Research, 1085*(1), 149-162. doi: [10.1016/j.brainres.2006.02.049](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.02.049)
- Valdois, S., De Partz, M. P., Seron, X. et Hulin, M. (2003). *L'orthographe illustrée*. (OrthoEdition<sup>®</sup> éd.).
- Valdois, S., Gérard, C., Vanault, P. et Dugas, M. (1995). Peripheral developmental dyslexia: a visual attentional account? *Cognitive Neuropsychology, 12*(1), 31-67. doi: [10.1080/02643299508251991](https://doi.org/10.1080/02643299508251991)

- Valdois, S., Lassus-Sangosse, D. et Lobier, M. (2012). Impaired letter-string processing in developmental dyslexia: what visual-to-phonology code mapping disorder? *Dyslexia*, 18(2), 77-93. doi: 10.1002/dys.1437
- Valdois, S. et Launay, L. (1999). Evaluation et rééducation cognitives des dyslexies développementales: illustration à partir d'une étude de cas. Dans D. Perrier & M. Van Der Linden P. Azouvi (dir.), *La rééducation en neuropsychologie: Etudes de cas* (p. 95-116). Marseille: Solal.
- Valdois, S., Peyrin, C. et Baciou, M. (2009). The neurobiological correlates of developmental dyslexia. Dans H. Loevenbruck S. Fuchs, D. Pape, Et P. Perrier (dir.), *Some aspects of speech and the Brain* (p. 141-161): Verlag publishers.
- Valdois, S., Peyrin, C., Lassus-Sangosse, D., Lallier, M., Demonet, J. F. et Kandel, S. (2014). Dyslexia in a French-Spanish bilingual girl: behavioural and neural modulations following a visual attention span intervention. *Cortex*, 53, 120-145. doi: 10.1016/j.cortex.2013.11.006
- van Daal, V. et van der Leij, A. (1999). Developmental Dyslexia: Related to Specific or General Deficits? *Annals of Dyslexia*, 49(1), 71-104.
- van den Boer, M., de Jong, P. F. et Haentjens-van Meeteren, M. M. (2013). Modeling the Length Effect: Specifying the Relation with Visual and Phonological Correlates of Reading. *Scientific Studies of Reading*, 17(4), 243-256.
- van den Boer, M., van Bergen, E. et de Jong, P. F. (2015). The specific relation of visual attention span with reading and spelling in Dutch. *Learning and Individual Differences*, 39, 141-149.
- van Ermingen-Marbach, M., Grande, M., Pape-Neumann, J., Sass, K. et Heim, S. (2013). Distinct neural signatures of cognitive subtypes of dyslexia with and without phonological deficits. *NeuroImage. Clinical*, 2, 477-490. doi: 10.1016/j.nicl.2013.03.010
- Vandermosten, M., Boets, B., Luts, H., Poelmans, H., Wouters, J. et Ghesquière, P. (2011). Impairments in speech and nonspeech sound categorization in children with dyslexia are driven by temporal processing difficulties. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 593-603. doi: 10.1016/j.ridd.2010.12.015
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J. et Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1), 2-40.
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., Sipay, E. R., Small, S. G., Pratt, A., Chen, R., et al. (1996). Cognitive profiles of difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: Early intervention as a vehicle for distinguishing between cognitive and experiential deficits as basic causes of specific reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 88(4), 601-638.
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., Small, S. G. et Fanuele, D. P. (2006). Response to Intervention as a Vehicle for Distinguishing Between Children With and Without Reading Disabilities Evidence for the Role of Kindergarten and First-Grade Interventions. *Journal of learning disabilities*, 39(2), 157-169.
- Vellutino, F. R., Steger, B. M., Moyer, S. G., Harding, C. J. et Niles, J. A. (1977). Has the perceptual deficit hypothesis led us astray? *Journal of Learning Disabilities*, 10(6), 375-385.
- VeUILlet, E., Magnan, A., Ecalle, J., Thai-Van, H. et Collet, L. (2007). Auditory processing disorder in children with reading disabilities: effect of audiovisual training. *Brain*, 130(11), 2915-2928. doi: 10.1093/brain/awm235
- Vicario, C. M. et Nitsche, M. A. (2013). Transcranial direct current stimulation: A remediation tool for the treatment of childhood congenital dyslexia? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 139. doi: 10.3389/fnhum.2013.00139
- Vidyasagar, T. R. (2004). Neural underpinnings of dyslexia as a disorder of visuo-spatial attention. *Clinical & Experimental Optometry: Journal Of The Australian Optometrical Association*, 87(1), 4-10.

- Vidyasagar, T. R. et Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Science*, 14(2), 57-63. doi: 10.1016/j.tics.2009.12.003
- Walker, J. E. et Norman, C. A. (2006). The neurophysiology of dyslexia: A selective review with implications for neurofeedback remediation and results of treatment in twelve consecutive patients. *Journal of Neurotherapy*, 10(1), 45-55.
- Wechsler, D. (2005). *WISC-IV: Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants, 4ème Edition*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Wechsler, D. et Naglieri, J. A. (2009). *WNV: Échelle non verbale d'intelligence de Wechsler*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Werker, J. F. et Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, 7(1), 49-63.
- Werker, J. F. et Tees, R. C. (1987). Speech perception in severely disabled and average reading children. *Canadian Journal of Psychology*, 41(1), 48-61. doi: 10.1037/h0084150
- White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U., et al. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science*, 9(3), 237-255. doi: 10.1111/j.1467-7687.2006.00483.x
- Wilkins, A. J., Huang, J. et Cao, Y. (2004). Visual stress theory and its application to reading and reading tests. *Journal of Research in Reading*, 27(2), 152-162.
- Willcutt, E. G. et Pennington, B. F. (2000). Psychiatric Comorbidity in Children and Adolescents with Reading Disability. *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 41(8), 1039-1048.
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S. K., Cohen, L. et Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 19. doi: 10.1186/1744-9081-2-19
- Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L. et Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of "The Number Race", an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 20. doi: 10.1186/1744-9081-2-20
- Wimmer, H., Landerl, K., Linortner, R. et Hummer, P. (1991). The relationship of phonemic awareness to reading acquisition: More consequence than precondition but still important. *Cognition*, 40(3), 219-249.
- Witton, C., Talcott, J. B., Hansen, P. C., Richardson, A. J., Griffiths, T. D., Rees, A., et al. (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology*, 8(14), 791-797.
- Wolf, M. et Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 415-438. doi: 10.1037/0022-0663.91.3.415
- Wright, C. M., Conlon, E. G. et Dyck, M. (2012). Visual search deficits are independent of magnocellular deficits in dyslexia. *Annals Of Dyslexia*, 62(1), 53-69. doi: 10.1007/s11881-011-0061-1
- Wright, M. et Mullan, F. (2006). Dyslexia and the Phono-Graphix reading programme. *Support for Learning*, 21(2), 77-84. doi: 10.1111/j.1467-9604.2006.00408.x
- Wybrow, D. P. et Hanley, J. R. (2015). Surface developmental dyslexia is as prevalent as phonological dyslexia when appropriate control groups are employed. *Cognitive Neuropsychology*, 32(1), 1-13. doi: 10.1080/02643294.2014.998185
- Zabell, C. et Everatt, J. (2002). Surface and phonological subtypes of adult developmental dyslexia. *Dyslexia*, 8(3), 160-177. doi: 10.1002/dys.223

- Zhang, J. et McBride-Chang, C. (2010). Auditory Sensitivity, Speech Perception, and Reading Development and Impairment. *Educational Psychology Review*, 22(3), 323-338. doi: 10.1007/s10648-010-9137-4
- Zhang, Y., Zhang, L., Shu, H., Xi, J., Wu, H., Zhang, Y., et al. (2012). Universality of categorical perception deficit in developmental dyslexia: an investigation of Mandarin Chinese tones. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(8), 874-882. doi: 10.1111/j.1469-7610.2012.02528.x
- Ziegler, J. C., Castel, C., Pech-Georgel, C., George, F., Alario, F. X. et Perry, C. (2008). Developmental dyslexia and the dual route model of reading: simulating individual differences and subtypes. *Cognition*, 107(1), 151-178. doi: 10.1016/j.cognition.2007.09.004
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., George, F. et Lorenzi, C. (2009). Speech-perception-in-noise deficits in dyslexia. *Developmental Science*, 12(5), 732-745. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00817.x
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., Dufau, S. et Grainger, J. (2010). Rapid processing of letters, digits and symbols: what purely visual-attentional deficit in developmental dyslexia? *Developmental Science*, 13(4), F8-14.
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A., Orlandi, M. et Spinelli, D. (1999). Markers of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme-phoneme correspondence. *Applied Psycholinguistics*, 20(2), 191-216.
- Zorman, M. (2001). Précarisation et apprentissages scolaires. *Précarisation, risque et santé, Février*, 273-291.
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., et al. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), 11455-11459. doi: 10.1073/pnas.1205566109
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F. et Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes: heterogeneity of mixed reading profiles. *PLoS One*, 9(6), e99337. doi: 10.1371/journal.pone.0099337



# ANNEXES

---

## Annexe I - Lecture de mots et pseudo-mots

---

### Mots de haute fréquence et pseudo-mots appariés

<b>REGULIERS</b>	<b>IRREGULIERS</b>	<b>PSEUDO-MOTS</b>
faute	femme	sande
nuit	hier	chon
vague	ville	givor
montagne	monsieur	bondeuse
soin	sept	sule
soif	août	toir
mal	dix	mic
sauvage	seconde	taubage
mission	million	mardion
fuite	fusil	fudin
élan	écho	ésan
animé	tronc	trane
talon	tabac	tagin
splendeur	orchestre	splindron
maman	moyen	modan
pardon	parfum	tandir
caravelle	cacahuète	taparelle
électron	équateur	abindeur
jaloux	gentil	gental
envoyé	examen	ontage

## Annexe II - Lecture de mots et pseudo-mots

---

### Mots de basse fréquence et pseudo-mots appariés

<b>REGULIERS</b>	<b>IRREGULIERS</b>	<b>PSEUDO-MOTS</b>
Sac	Net	rac
Congé	Galop	gavin
Dorade	Dolmen	caldon
Rigueur	Respect	rigende
Asile	Bourg	plour
Approche	Aiguille	vatrice
Piège	Poêle	pisal
Bottine	Baptême	bertale
Hausse	Oignon	aivron
Astronome	Aquarelle	pacirande
Alchimie	Orchidée	anchovée
Avanie	Agenda	agante
Courroie	Compteur	courlone
Baril	Stand	stipe
Cargo	Toast	torac
Esquif	Escroc	casine
Cric	Cake	bate
Cagoule	Chorale	coginte
Acrobate	Aquarium	abranise
Bise	Paon	glon

## Annexe III - Conscience phonologique

### Epreuves de conscience phonologique utilisées de l'Etude I à l'Etude IV

#### *Omission de phonèmes*

	Réponse attendue
<i>Entraînement</i>	
Orange	range
Caverne	averne
Placard	lacard
<i>Test</i>	
Outil	Ti
Fontaine	Ontaine
Drapeau	Rapeau
Courage	Ourage
Ombrage	Brage
Planète	Lanète
Droit	Roit
Frite	Rite
Capitaine	Apitaine
Ampoule	Poule
Dragon	Ragon
Virgule	Irgule
Statue	Tatue
Gravier	Ravier
Hiver	Ver
Impossible	Possible
Envoyer	Voyer
Planche	Lanche
Grappe	Rappe
Oubli	bli

#### *Décomposition de phonèmes*

	Réponse attendue
<i>Entraînement</i>	
chasse	ch-a-s
menton	m-en-t-on
planche	p-l-an-ch
<i>Test</i>	
Four	f-ou-r
Epaule	E-p-o-l
Chauffage	Ch-o-f-a-j
Cri	k-r-i
Porte	p-o-r-t
Allumer	a-l-u-m-é
Outil	Ou-t-i
Plage	p-l-a-j
Crapaud	k-r-a-p-o
Encre	En-k-r
Cadeau	k-a-d-o
Régler	r-è-g-l-é
Jouet	j-ou-è
Abri	a-b-r-i
Armure	a-r-m-u-r

#### *Acronyme*

	Réponse attendue
<i>Entraînement</i>	
Roi image	Ri
Dent ours	Dou
Vent été	Vé
<i>Test</i>	
Photo artistique	Fa
Chien accroupi	Cha
Bébé ourson	Bou
Tortue enlevée	Ten
Bel oiseau	Boi
Cher auguste	Cho
Gant épais	Gué
Cousin Infernal	Kin
Gentil invité	Jin
Grave Entorse	Gan

## Annexe IV - Analyses quantitatives, Etude I

**Analyses quantitatives de l'Etude I (Partie 2).** Moyennes, écart-types et étendues des scores pour chacun des groupes sur les épreuves de lecture et de dictée, et analyses de comparaisons entre les groupes.

Epreuves	Dys VA (a)		Dys P (b)		CA (c)		a vs b		a vs c		b vs c	
	Moyenne (ET)	Etendue	Moyenne (ET)	Etendue	Moyenne (ET)	Etendue	F (2,39)	<i>p</i>	F (2,39)	<i>p</i>	F (2,39)	<i>p</i>
<i>Lecture</i>												
Régulier score (/20)	16,3 (2,2)	9 - 20	15,4 (2,3)	9 - 20	18,9 (0,8)	14 - 20	1,34	0,254	13,88	0,000	23,85	0,000
Régulier tps (sec)	51,6 (20)	21 - 105	42,6 (17)	22 - 80	18,6 (5,4)	10 - 38	2,39	0,130	31,91	0,000	16,83	0,000
Irrégulier score (/20)	9,4 (3,7)	1 - 17	9,1 (2,4)	3 - 18	15,5 (2,4)	7 - 20	0,04	0,845	32,20	0,000	34,47	0,000
Irrégulier tps (sec)	63 (30,7)	22 - 149	55,6 (23,9)	21 - 105	21,8 (8,3)	11 - 46	0,72	0,400	22,53	0,000	15,18	0,000
Pseudo-mot score (/20)	10,6 (1,7)	6 - 15	11,7 (2)	8 - 17	17,4 (1,2)	14 - 19	2,74	0,106	115,31	0,000	82,48	0,000
Pseudo-mot tps (sec)	60,9 (21,5)	30 - 127	49,7 (17,8)	24 - 97	25,3 (6,3)	14 - 39	3,22	0,080	32,40	0,000	15,19	0,000
<i>Dictée</i>												
Pseudo-mot score (/20)	15 (2,5)	10 - 19	11 (4,2)	3 - 16	17,7 (2,2)	14 - 21	11,59	0,002	2,69	0,109	25,46	0,000
Régulier score (/22)	14,7 (3,3)	10 - 21	14,1 (2,6)	9 - 19	16,2 (3,1)	11 - 21	0,39	0,535	8,51	0,005	12,55	0,001
Inconsistant score (/22)	7,4 (3,4)	2 - 12	7,4 (2,5)	3 - 12	10,6 (4,7)	4 - 21	0,01	0,950	60,33	0,000	59,36	0,000
Irrégulier score (/22)	3,4 (2,8)	0 - 9	2,5 (2,3)	0 - 7	16,9 (2,3)	10 - 19	0,44	0,512	31,01	0,000	38,82	0,000

## Annexe V - Epreuves, Etude II

---

**Description des épreuves proposées à Léo dans l'Etude II**, à l'exception des épreuves présentées par ailleurs dans le manuscrit.

### ***Connaissance des règles de conversion graphème-phonème*** (Jacquier-Roux et al., 2010)

Quarante-six graphèmes sont présentés en ligne, répartis sur trois lignes. L'enfant doit donner le son correspondant à ce qu'il lit. Pour trois des graphèmes (c, g, s), l'enfant doit donner les deux phonèmes correspondant. Si l'enfant donne le nom des lettres, on lui rappelle qu'il doit donner le son des lettres et non pas son nom. Le score maximal est de 46.

### ***Compréhension orale*** (Jacquier-Roux et al., 2010)

Des planches de format A4 sont présentées à l'enfant sur lesquelles sont présentées deux blocs de quatre images. Les images sont cachées à l'enfant. Une phrase est lue à l'enfant, puis un bloc de quatre images est dévoilé et l'enfant doit désigner l'image correspondante à la phrase parmi les quatre images. Vingt phrases sont ainsi proposées à l'enfant, présentant différentes structures morphosyntaxiques (comparative, relative avec qui, relative avec que, préposition de lieu, coréférence ambiguë du pronom...). Aucun feedback n'est donné à l'enfant sur ses réponses.

### ***Jugement métasyntaxique*** (Pierart et al., 2004)

Dans cette épreuve, l'enfant doit détecter et corriger des erreurs grammaticales insérées dans des phrases. On lui indique pour cela que ces phrases ont été dites « par un petit enfant qui ne parle pas encore bien », « parfois elles sont un peu drôle. Dis-moi si c'est bien dit ou pas bien dit ». Vingt-huit phrases sont proposées au total. On attribue un point par jugement correct et correction adéquate. Un point est attribué en cas de jugement correct pour six items où les phrases à évaluer sont correctes. On ne donne pas de feedback à l'enfant.

### ***Dénomination d'images*** (Pierart et al., 2004)

Cette épreuve comprend 35 images, correspondant à 20 noms fréquents et 20 noms rares. L'enfant doit donc dénommer chacune des images, présentées dans l'ordre du protocole. L'épreuve est arrêtée après quatre échecs successifs. Aucun feedback n'est donné à l'enfant. On attribue un point par bonne réponse.

### ***Répétition de pseudo-mots***

La tâche de répétition de pseudo-mot comprend 92 items prononcés par l'expérimentateur que l'enfant doit répéter successivement. Les pseudo-mots varient d'une longueur de deux à quatre syllabes et la plupart inclue un groupe consonantique. Tous les pseudo-mots ont été dérivés à partir de mots réels par substitution des voyelles (e.g. crocodile : cracodèle).

### ***Substitution phonème initial / médian / final*** (Chevrie-Muller et al., 2010)

Cette épreuve comprend trois exercices composés chacun de cinq items. Deux items d'entraînement sont proposés, pour lesquels un feedback est donné à l'enfant. Dans la phase de test, aucun feedback n'est donné. Pour chaque exercice, on indique à l'enfant qu'on va lui dire un « drôle de mot » (il s'agit d'un pseudo-mot) qu'il doit répéter. Il doit ensuite changer

un son dans ce drôle de mot pour en faire un nouveau. Dans l'exercice de substitution du phonème initial, on lui demande de changer le premier phonème (e.g. « vour » : il doit changer le /v/ en /m/). Dans l'exercice de substitution du phonème médian, on lui demande de changer le deuxième phonème (e.g. « kat » : il doit changer le /a/ en /y/). Dans l'exercice de substitution du phonème final, on lui demande de changer le dernier phonème (e.g. « mak » : il doit changer le /k/ en /d/). Un point par bonne réponse est attribué.

### ***Fusion de phonèmes syllabes simples / complexe*** (Chevrie-Muller et al., 2010)

Cette épreuve comprend deux exercices composés chacun de cinq items (cinq pseudo-mots comprenant des syllabes simples et cinq comprenant des syllabes complexes). On indique à l'enfant qu'on va lui dire « un long mot ». Il doit prendre le premier son et le dernier son pour faire un nouveau drôle de mot (e.g. pour les syllabes simples, pour « pani » l'enfant doit répondre /pi/ ; pour les syllabes complexe, pour « plobri », l'enfant doit répondre /pi/). On attribue un point par bonne réponse.

### ***Rimes*** (Jacquier-Roux et al., 2010)

L'épreuve commence en expliquant ce qu'est la rime d'un mot à l'enfant. Un item de présentation lui est proposé (« la rime de château c'est le son /o/ »), puis un item d'essai (« Quelle est la rime du mot marron ? », si l'enfant fait une erreur, on lui donne la bonne réponse /on/). Puis 16 paires de mots sont données à l'oral, l'enfant devant répondre « oui » si les deux mots riment, ou « non » s'ils ne riment pas après chaque paire. Quatre fois quatre types de rimes sont présentées : homographe homophone (cohérence entre écrit et oral), homographe hétérophone (incohérence entre écrit et oral), hétérographe homophone (incohérence entre écrit et oral), et hétérographe hétérophone (cohérence entre écrit et oral). Les distinctions entre hétéro- et homographe permettent de s'assurer que l'enfant ne s'appuie pas sur les capacités de jugement orthographique pour compenser un trouble phonologique.

### ***Identification séquentielle de lettres*** (Lassus-Sangosse et al., 2008)

Vingt séquences de cinq lettres ont été construites. Pour chacune des séquences, les cinq lettres sont présentées les unes à la suite des autres sur un écran blanc, à la place d'un point de fixation initial. Les lettres et leur caractéristiques typographiques sont les mêmes que celles utilisées dans l'épreuve de report global, de même concernant les caractéristiques des séquences. Après chaque séquence de lettres, l'enfant doit reporter verbalement autant de lettres que possible, sans contrainte d'ordre. La procédure détaillée est la suivante : un point de fixation central est présenté au centre de l'écran pendant 1000 ms, suivi d'un écran blanc pendant 50 ms. Les cinq lettres sont ensuite présentées successivement, une à une, au centre de l'écran pendant 200 ms (ISI =0). Dix essais sont proposés au début de la tâche, pendant lesquels l'enfant reçoit un feedback. Aucun feedback n'est proposé pendant les 20 items expérimentaux. La variable dépendante correspond au nombre de lettres correctement reportées sur les 20 séquences ; le score maximum est de 100.

### ***Report global vertical*** (Lassus-Sangosse, 2008)

Vingt séquences de cinq lettres ont été construites à partir des mêmes consonnes que celles utilisées dans le report global de lettres et en suivant les mêmes contraintes et les mêmes caractéristiques typographiques. Cependant, dans cette épreuve, les séquences sont présentées

de façon verticale, la troisième lettre de la séquence étant centrée au point de fixation. L'épreuve Les 20 items expérimentaux dans chaque épreuve sont précédés de 10 items d'entraînement, pendant lesquels un feedback peut être donné à l'enfant. Pour chaque item, un point de fixation est présenté au centre de l'écran pendant 1000 ms. Il est suivi d'un écran blanc pendant 50 ms puis par une séquence de cinq lettres pendant 200ms. L'enfant a pour consigne de reporter autant de lettres que possible, sans contrainte d'ordre. La variable dépendante correspond au nombre de lettres correctement reportées sur les 20 séquences ; le score maximum est de 100. Le nombre de lettres traitées en moyenne par séquence (max = 5) a également été calculé.

### ***Report global condition proche / éloignée*** (Lassus-Sangosse, 2008)

Quatre-vingt-dix séquences aléatoires de lettres ont été construites à partir de 15 consonnes (B, C, D, F, G, H, J, L, M, N, P, R, S, T, V) suivant les mêmes contraintes et avec les mêmes caractéristiques typographiques que dans l'épreuve de report global. La moitié des séquences est présentée en condition proche et l'autre moitié en condition éloignée. Dans la condition proche, les lettres sont espacées d'un espace blanc de 5 mm, ce qui correspond à 1 cm depuis le centre de la lettre jusqu'au centre de la lettre adjacente. Quinze séquences sont composées de trois lettres, ce qui correspond à une taille angulaire de 3° à une distance de 50 cm de l'écran. De même, quinze séquences sont composées de quatre lettres, de taille angulaire égale à 4,2°, et quinze séquences sont composées de cinq lettres, dont la taille angulaire est de 5,4°. En condition éloignée, les séquences de cinq, quatre et trois lettres ont été contrôlées afin d'avoir la même largeur soit 89.5 mm. Cela correspond à un degré angulaire de 10.2° à une distance de 50 cm de l'écran. Ainsi, les quinze séquences de 3 lettres ont été construites avec une distance entre les lettres égale à 36.5 mm, ce qui correspond à trois espaces pouvant contenir une lettre (5.5 mm) et quatre espaces blancs (5 mm). Dans les séquences de quatre lettres, la distance entre celles-ci est de 22.5 mm, et dans les séquences de cinq lettres la distance est de 15.5 mm, ce qui correspond à deux espaces blancs de 5mm et un espace lettre de 5.5 mm. Chaque lettre apparaît une fois dans chaque position dans la condition proche et dans la condition éloignée pour les séquences de trois, quatre et cinq lettres. L'ordre de présentation des séquences est aléatoire, seul un paramètre a été contrôlé : deux séquences consécutives ne peuvent présenter deux fois la même lettre dans la même position. Un pourcentage de bonnes réponses a été calculé pour chacune des conditions expérimentales.

### ***Catégorisation visuelle de caractères non-alpha- et alphanumériques en séquences*** (Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012)

La tâche de catégorisation consiste à présenter des séquences de caractères pouvant appartenir à cinq catégories différentes, des consonnes, des chiffres, des caractères japonais de l'alphabet syllabique Hiragana, des formes géométriques ouvertes, des formes géométriques fermées (cf. catégories utilisées dans le logiciel MAEVA, Figure 27 et Chapitre 3.5.3.4). Six caractères par catégorie sont utilisés. Chaque séquence est composée de trois ou cinq caractères, permettant de s'affranchir d'effets plafond ou plancher. Les caractères présents dans une séquence peuvent appartenir à deux catégories différentes ; seule l'association Hiragana et formes ouvertes a été évitées, du fait d'une proximité perceptive trop importante entre ces deux types de stimuli. Quarante séquences ont donc été construites, 20 de trois items et 20 de cinq items,

afin de permettre à chaque catégorie d'être deux fois cible et deux fois distracteur pour ces deux conditions. Chaque séquence peut contenir soit un, soit deux, soit trois caractères cibles, dont la position a été contrebalancée. Les séquences de trois caractères ne peuvent contenir trois caractères cibles. La sélection des caractères au sein des catégories et l'ordre de présentation des séquences sont aléatoires. Les caractères sont présentés au centre de l'écran en majuscule, en noir sur écran blanc. La taille de chaque caractère est fixée à une valeur angulaire perçue de 1° pour un sujet placé à 60 cm de l'écran, et la distance entre le centre de deux caractères est d'une fois et demi la largeur d'un caractère. La taille d'une séquence de trois caractères correspond donc à une valeur angulaire perçue d'environ 3,2° et d'environ 5,6° pour une séquence de cinq caractères. Les différents caractères sont d'abord tous présentés à l'écran, en fonction de leur catégorie représentée par une étiquette, afin que l'enfant se familiarise avec les caractères. On présente ensuite tout d'abord au sujet l'étiquette de la catégorie cible avec la consigne « Combien vois-tu d'éléments de cette famille ? ». Le sujet clique sur une flèche située en bas de l'écran pour passer à l'item. Un point de fixation noir apparaît au centre de l'écran avant la présentation de chacune des séquences pendant 500ms, puis l'écran reste blanc pendant 20ms. Une séquence de trois ou cinq caractères de deux catégories différentes apparaît ensuite au centre de l'écran durant 200ms, suivi d'un masque composé de traits aléatoires pendant 500ms. Un nouvel écran apparaît sur lequel est rappelée la catégorie cible, par la présentation de l'étiquette correspondante, ainsi que la consigne. On demande donc au sujet d'estimer le nombre de caractères appartenant à la catégorie cible présents dans la séquence. Le sujet donne sa réponse en cliquant sur le chiffre correspondant, les réponses un, deux ou trois lui étant proposées sous l'étiquette de la catégorie demandée. Le sujet passe à l'item suivant grâce à la flèche située en bas de l'écran. Les 40 items expérimentaux sont précédés de cinq items d'entraînements répétables si nécessaire, pour lesquels est donné un feed-back. Aucun feed-back n'est donné au cours de la phase de test. Le pourcentage de bonnes réponses pour chacune des conditions expérimentales a été calculé.

### ***Décision lexicale phonologique*** (ANR Ortholearn, en cours)

On présente à l'enfant une liste composée de 120 pseudo-mots répartis en trois colonnes de 40 items (e.g. minade, stine, estarne, tampette, frale, balène, chiffure...). Certains des pseudo-mots se prononcent comme de vrais mots. Aucun n'est écrit selon l'orthographe canonique du mot (e.g. tampette, balène, printan, chofage). Tous les items sont prononçables. Les cibles correspondent à des mots fréquents normalement connus des enfants à l'oral. L'enfant doit cocher tous les pseudo-mots qui se prononcent comme de vrais mots (33 au total). Les pseudo-mots cibles sont répartis de façon aléatoire dans chaque liste. On arrête l'épreuve au bout de 2 minutes. Le pourcentage de réponses correctes a été mesuré. L'épreuve mesure principalement les capacités de traitement analytique, puisque seul un décodage correct permet d'identifier les cibles.

### ***Choix phonologique*** (ANR Ortholearn, en cours)

Trois pseudo-mots courts sont présentés écrits en ligne. L'enfant doit choisir dans chaque triplet l'item qui ne se prononce pas comme les deux autres (e.g., zau, sau, ceau). L'enfant dispose d'une minute maximum pour traiter la liste de 21 triplets. Le pourcentage de bonnes



réponses a été mesuré. La performance repose essentiellement sur des capacités de décodage correct des pseudo-mots (lecture analytique).

#### ***Dictée de pseudo-mots*** (ANR Ortholearn, en cours)

Vingt pseudo-mots sont dictés à l'enfant. Chaque pseudo-mot est répété deux fois ; il contient de 5 à 8 phonèmes (en moyenne 5,7 phonèmes). Le nombre de réponses correctes est enregistré. Une réponse est considérée comme correcte sur la base d'une orthographe stricte du pseudo-mot, c'est-à-dire que les règles de conversion appliquées tiennent compte des accents, de la position des lettres, et des lettres contextuelles. Les pseudo-mots contiennent des graphèmes de complexité variable, et tous ont au moins une orthographe plausible, basée sur des bigrammes et trigrammes existants. Tous les graphèmes contextuels (s, c, g) ont été inclus, et sont présents dans diverses positions dans les pseudo-mots (début, milieu ou fin). Seuls trois pseudo-mots possèdent un voisin orthographique sur la base de la substitution d'une des lettres du pseudo-mot.

#### ***Décision lexicale orthographique*** (ANR Ortholearn, en cours)

On présente à l'enfant une liste de 120 items écrits. Tous les items se prononcent comme de vrais mots (e.g. oizo, pentalon, heurre, décor, armoir, tablaut, sovage, maison...). L'enfant doit le plus vite possible cocher les items dont l'orthographe est canonique. Les items sont répartis en trois colonnes de 40 items. Chaque colonne renferme 11 mots cibles (bien orthographiés) répartis en ordre aléatoire dans la colonne. Les mots cibles sont des mots qui sont en moyenne bien orthographiés dans 80% des cas en CM2 (moy = 81.64% de réussite, range : 34%-100%, d'après l'échelle EOLE, Pothier & Pothier, 2004). La liste inclut 10 items (sur les 33 cibles) qui sont de fréquence plus faible pour garder une bonne sensibilité de l'épreuve (range : 34%-70% ; moyenne de réussite = 56.5%). Les pseudo-mots sont tous légaux. L'épreuve est arrêtée au bout de 2 minutes. Le score correspond au pourcentage de bonnes réponses (max = 33). Au début de l'épreuve, on présente des essais de familiarisation pour s'assurer que la consigne est bien comprise. Les enfants ont devant eux une feuille contenant 8 items présentés en colonne (vaire, semaine, chamo, bauté, statue, mayot, gymnastic, camion). On leur demande de mettre une croix dans le rond en face des mots bien écrits. Un feedback est donné. On insiste ensuite sur la nécessité d'aller le plus vite possible lorsque les items expérimentaux sont présentés.

#### ***Choix de la bonne orthographe*** (ANR Ortholearn, en cours)

Quarante-deux triplets d'items sont présentés par écrit. Chaque triplet est constitué d'un mot orthographiquement correct et de deux pseudo-homophones (e.g. lunettes, lunêtes, lunètes). L'enfant doit cocher le plus vite possible le mot dont l'orthographe est correcte parmi les trois choix proposés. Il s'agit d'une épreuve à choix forcé : L'enfant est invité à donner une réponse, même s'il n'est pas sûr que ce soit la bonne. Tous les items de chaque triplet sont homophones et la décision ne peut être prise que sur une base orthographique. Les mots cibles sont en moyenne réussis à 64.62% par les enfants de CM2 (range : 10%-100%). La cible apparaît un nombre similaire de fois dans chaque colonne (13-14-14) et se distribue de façon aléatoire dans chaque colonne. L'expérimentateur lit pour chaque ligne le mot correspondant puis laisse à l'enfant cinq secondes pour cocher la case correspondant à la bonne orthographe

du mot. Une seule réponse par ligne est possible. L'épreuve est précédée d'une phase d'entraînement où trois triplets sont présentés et où un feedback des réponses est donné à l'enfant. Le score correspond au pourcentage de bonnes réponses.

### ***Connaissances grapho-tactiques implicites*** (ANR Ortholearn, en cours)

On présente à l'enfant 40 paires de pseudo-mots écrits. L'enfant est averti que les mots n'existent pas et ont été inventés. Il doit choisir dans chacune des paires l'item qui ressemble le plus à un mot du français. La moitié des paires contient des distracteurs qui présentent des séquences illégales en français (e.g. afrunir vs affrunir ; nummar vs nnumar) ; le choix correct de la cible repose alors sur des connaissances implicites très générales et une impression de plus ou moins grande familiarité. Dans l'autre moitié des cas, le distracteur et la cible renferment des syllabes plausibles, mais la fréquence des unités est plus forte dans un mot que dans l'autre. Par exemple, pour la paire « driveau – drivot » le graphème eau est plus fréquent en fin de mot et la syllabe finale « veau » plus fréquente que la syllabe « vot ». Le choix de l'item cible est ici plus difficile et dépend des connaissances lexicales mémorisées et de l'extraction de régularités statistiques sur les formes écrites. On présente aux enfants une paire d'essai avant de commencer à travailler sur les items expérimentaux. On leur demande de choisir lequel des items « birssal et birsal » pourrait être un nouveau mot du français. L'exemple est corrigé avant de passer aux items tests.

### ***Apprentissage de mots nouveaux*** (Bosse et al., 2015)

L'enfant doit apprendre l'orthographe de 12 pseudo-mots bisyllabiques, composés de cinq à neuf lettres. Aucun des pseudo-mots n'a une forme phonologique proche d'un mot réel ou ne contient une séquence de syllabes correspondant à un mot réel. Tous les pseudo-mots contiennent deux graphèmes complexes, un dans chaque syllabe, composés en moyenne de 2,2 lettres. Les pseudo-mots apparaissent un par un au centre d'un écran devant lequel l'enfant est placé (six en condition globale et six en condition partielle séquentielle où les syllabes sont présentées successivement) ; en même temps l'enfant entend la forme orale du pseudo-mot. Après la disparition du pseudo-mot à l'écran, un pseudo-objet apparaît. Il est demandé explicitement à l'enfant d'apprendre le lien entre l'orthographe du pseudo-mot, sa prononciation et le pseudo-objet associé. La phase d'apprentissage s'est déroulée en deux sessions, comprenant chacune l'apprentissage de six pseudo-mots. Pendant la session d'apprentissage, le sujet voyait trois mots en condition globale et trois mots en condition partielle, syllabe par syllabe, chacun apparaissant huit fois, dans un ordre pseudo-aléatoire (un pseudo-mot devait apparaître entre deux et trois fois à la suite). Il réalisait ensuite une tâche distractive pendant cinq minutes. Puis chaque pseudo-objet était présenté à l'enfant, en lui demandant de redonner le nom de chacun d'entre eux. S'ensuivait la phase de test, qui comprenait une dictée des pseudo-mots appris, ainsi qu'un choix forcé entre deux orthographes possibles du pseudo-mot. Seule la mesure des performances en dictée a été retenue, correspondant au nombre de syllabes correctement orthographiées.

## Annexe VI - MAEVA, une tâche de catégorisation visuelle

---

### **MAEVA, justification de la tâche de catégorisation d'éléments multiples utilisée.**

Outre l'intérêt d'entraîner l'empan VA selon des modalités différentes que celles utilisées pour l'évaluation de l'empan VA, permettant d'attester du transfert des capacités de traitement simultanée, le choix de la tâche de catégorisation utilisée par l'entraînement MAEVA est justifiée par diverses raisons. En effet, ce choix est apparu comme le plus adapté aux objectifs du logiciel et à ses paramètres. La catégorisation d'éléments multiples sollicite en effet les mêmes processus précoces visuo-attentionnels que ceux impliqués dans l'identification des caractères lors des tâches de report permettant d'évaluer l'empan VA (Pernet, Valdois, Celsis et Demonet, 2006); (Lobier et al., 2014); (Valdois, Peyrin et Baciou, 2009). La théorie de l'attention visuelle (TVA) (Bundesen, 1990 ; Bundesen, Vangkilde et Petersen, 2014) nous permet d'explorer plus précisément ces processus. Dans ce cadre théorique, la reconnaissance visuelle et la sélection attentionnelle consistent en une catégorisation perceptive des éléments présents dans le champ visuel, qui sont en compétition pour accéder en mémoire visuelle à court terme (parallel competitive processing). Un élément est catégorisé, et donc sélectionné, si et quand il y a entrée en mémoire visuelle à court terme. Quand la catégorisation est faite, l'élément est alors reconnu comme un membre de sa catégorie. La catégorisation dépend donc de la capacité de la mémoire visuelle à court terme, paramètre K, et du taux de traitement, paramètre C, soit le nombre d'éléments visuels traités en une seconde. Ce taux est déterminé par deux facteurs : l'intensité sensorielle instantanée de chaque élément et leur poids attentionnel relatif. Le déficit du taux de traitement C, c'est-à-dire de la vitesse de traitement visuel, pourrait rendre compte du trouble de traitement simultané limitant les capacités de l'empan VA dans la dyslexie (Dubois et al., 2010); (Lobier et al., 2013); (Bogon et al., 2014). La catégorisation dans le cadre de la TVA est donc une étape de l'identification, elle nécessite d'ailleurs moins de temps que l'identification (Grill-Spector et Kanwisher, 2005) et un traitement cérébral plus précoce (Curran, Tanaka et Weiskopf, 2002) mais elle implique les mêmes mécanismes visuo-attentionnels, et notamment la vitesse de traitement C en cause lors d'un trouble de l'empan VA. Une des tâches de catégorisation du logiciel MAEVA a ainsi été utilisée dans une étude visant à montrer que le trouble de l'empan VA est bien de nature non verbale (Lobier, Zoubinetzky, et al., 2012) (cf. 0). Les résultats de cette étude montrent que les performances sur la tâche de catégorisation visuelle sans report verbal corrélaient avec les scores obtenus sur la tâche de report de lettres et avec les compétences en lecture. De plus, les scores des enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA sont significativement inférieurs à ceux d'un groupe témoin, quel que soit le type d'élément visuel à traiter, alphanumériques ou non alphanumériques.

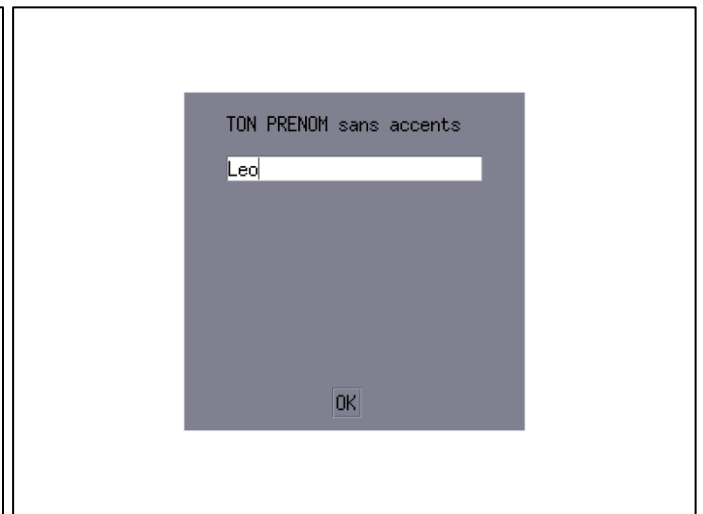
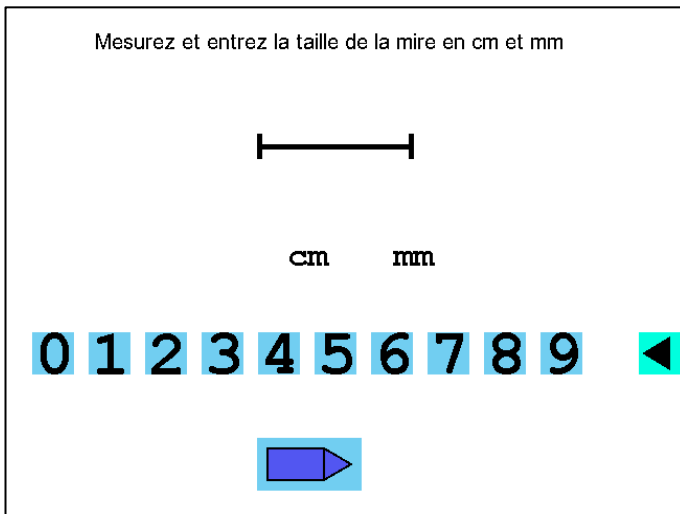
Des données obtenues en IRMf montrent que lors de la réalisation d'une tâche de catégorisation similaire, utilisant quatre catégories de caractères (consonnes, chiffres, caractères Hiragana et pseudo-lettres), les lobules pariétaux supérieurs, en cause dans le trouble de l'empan VA, sont activés lors de la présentation de séquences de caractères multiples, par comparaison avec la présentation d'un caractère isolé (Lobier, Peyrin, et al., 2012), indépendamment du type de caractère. Le même protocole a par la suite été appliqué sur une population d'adultes dyslexique présentant un trouble de l'empan VA (Lobier et al.,

2014). Alors que le groupe contrôle normo-lecteur présente une activation pariétale plus forte pour le traitement catégoriel d'éléments présentés en séquence par rapport à la présentation d'un caractère isolé, le groupe dyslexique montre une activité réduite du lobule pariétal droit par rapport au groupe contrôle. Ceci confirme de précédentes données obtenues sur un autre type de tâche de catégorisation visuelle de caractères avec ou sans masquage latéral. Des items de différentes catégories (lettres, figures géométriques ou lettres coréennes) étaient présentés par paire, un item central et un item en périphérie. Cet item périphérique était soit encadré de X, c'est-à-dire avec un masquage latéral, soit isolé. Le sujet devait indiquer si la paire était 'similaire' (items de même catégorie) ou 'différente' (items de catégories différentes). Une première étude comportementale (Pernet et al., 2006) avait montré que les taux de réussite des enfants dyslexiques étaient inférieurs à ceux d'enfants témoins sur cette tâche de catégorisation en condition 'enchâssé', sans effet du type de stimuli, et avec un effet de masquage latéral plus important pour les dyslexiques que pour les normo-lecteurs. Ces résultats peuvent être interprétés dans le cadre d'un trouble VA en contexte dyslexique, limitant le nombre d'éléments traités simultanément. D'autres études en neuroimagerie viennent renforcer cette hypothèse (Peyrin et al., 2011 ; Peyrin et al., 2012). En effet, la même tâche a été utilisée en IRMf pour étudier les corrélats cérébraux du trouble de l'empan VA ; les enfants dyslexiques avec trouble de l'empan VA ont montré des temps de réaction plus importants en condition 'enchâssé', c'est-à-dire lorsque que l'attention doit être distribuée sur quatre caractères, qu'en condition 'isolé'. Ce déficit de traitement simultané identifié en catégorisation chez des enfants dyslexiques est associé à une réduction de l'activation des lobules pariétaux supérieurs. En somme, une tâche de catégorisation visuelle impliquant un traitement simultané est à même de solliciter les processus visuo-attentionnels impliqués dans le trouble de l'empan VA.

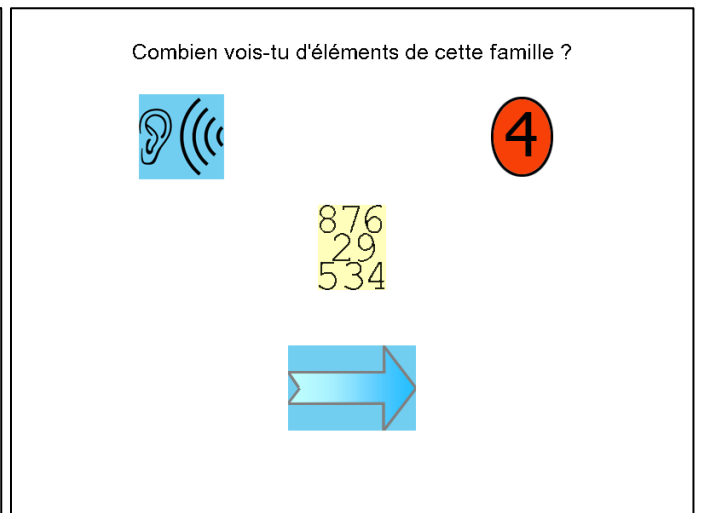
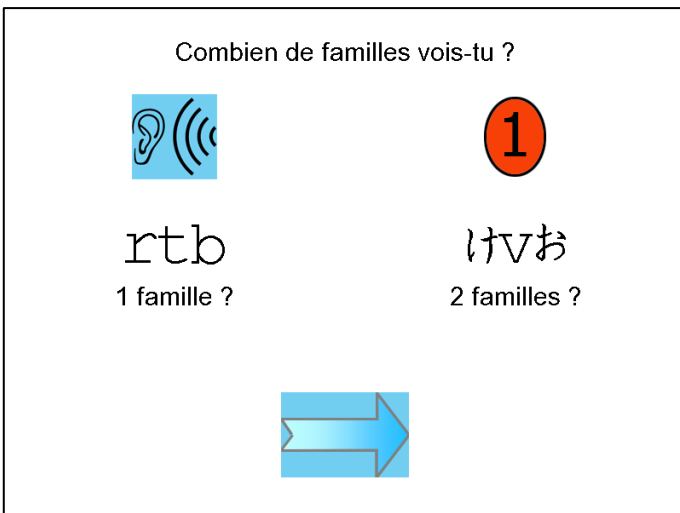
Par ailleurs, l'utilisation d'une tâche de catégorisation permet de s'affranchir des limites de l'empan mnésique pour des symboles alphabétiques inconnus, telles qu'identifiées par l'étude de Pelli et collaborateurs (Pelli et al., 2006). Utilisant un paradigme relativement proche du report global chez des lecteurs adultes, les auteurs montrent en effet que les capacités d'empan mnésique visuel, permettant la restitution d'une séquence de symboles alphabétiques, sont très limitées pour les symboles inconnus, comparées aux performances obtenues sur un alphabet familier. Et ceci est valable alors même que l'on est entraîné à l'identification des caractères en isolé jusqu'à atteindre une expertise équivalente à celle d'un alphabet dont on est lecteur, ce qui se fait d'ailleurs rapidement même chez les enfants. Ainsi, puisqu'une tâche de catégorisation ne nécessite pas l'identification et le stockage des symboles traités, les performances des participants ne seront pas affectées par des effets de familiarité. De plus, l'utilisation de tâches de catégorisation permet d'exclure un traitement verbal puisque l'accès au nom des caractères et leur maintien en mémoire n'est pas nécessaire, aucune dénomination orale n'est requise, et même impossible avec l'utilisation de symboles inconnus. Seul le rappel de la catégorie du caractère est demandé, de façon non verbale.

# Annexe VII - MAEVA, Ecrans

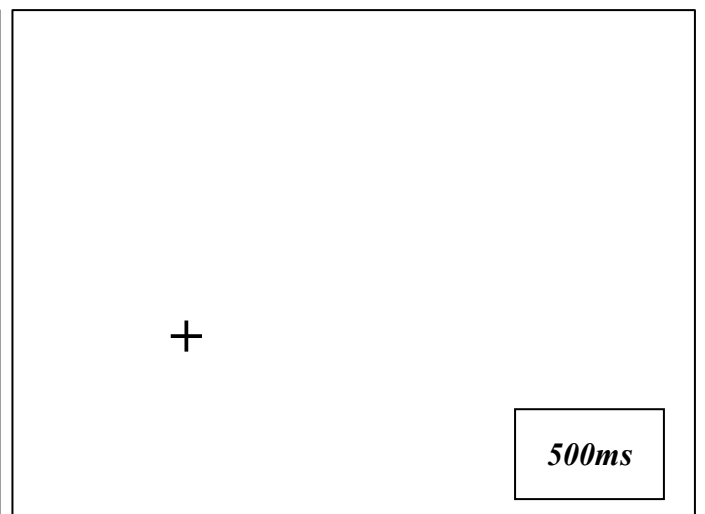
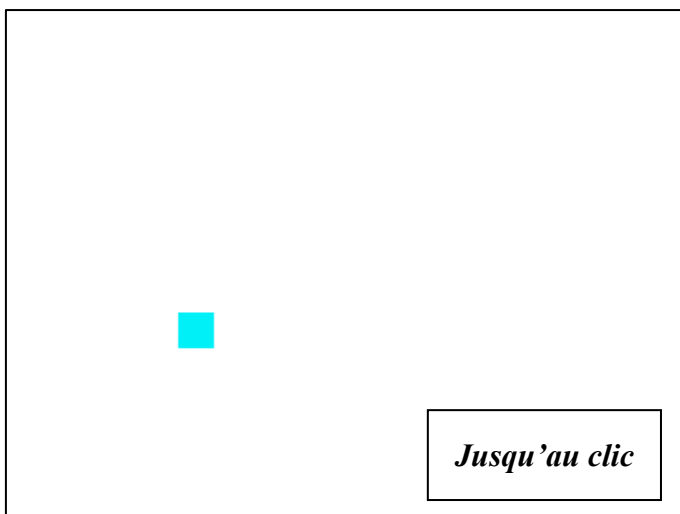
## Ecrans de paramétrisation



## Exemples d'écrans de consigne, consigne 1 (à gauche) et consigne 4 (à droite)



## Présentation du stimulus



け ㄥ おぬ



Temps *t*



#####  
#####  
#####  
#####

500 ms



Exemples d'écrans de réponse, consigne 1 (à gauche) et consigne 4 (à droite)


Combien de familles as-tu vues ?






 

Combien as-tu vu d'éléments de cette famille ?


 






    

Exemples d'écrans de feedback


BRAVO








DOMMAGE





## Annexe VIII - MAEVA, fonctionnement

---

*Extrait en partie du Mémoire de Master 2 Recherche de Lobier (2008)*

L'espace d'apprentissage de performance d'un enfant (estimations de la probabilité de succès) est représenté dans une matrice K à trois dimensions, de taille m sur chaque dimension. On obtient donc un espace discrétisé de dimension  $[0,1]^3$ . Afin d'implémenter cette matrice, puis l'algorithme, nous avons tout d'abord défini les dimensions de difficulté de manière opératoire.

### **Définition opératoire des trois dimensions de difficulté**

L'algorithme fournit pour chaque dimension une valeur continue entre 0 et 1. Il faut ensuite déterminer la valeur discrète correspondante. Le vecteur 'difficulté' est  $[d_n, d_t, d_c]$  avec  $d_n$  difficulté pour le nombre de caractères,  $d_t$  difficulté pour le temps de présentation,  $d_c$  difficulté pour la consigne.

### **Difficulté relative en fonction des temps de présentation**

Le temps de présentation d'un essai est compris entre deux valeurs minimum et maximum :  $t_{\min} = 120\text{ms}$  et  $t_{\max} = 420\text{ms}$ . Bien que les contraintes techniques impliquent une incertitude de l'ordre de 20 ms sur le temps exact de présentation, la valeur choisie peut être choisie de manière continue entre  $t_{\min}$  et  $t_{\max}$ , selon la fonction linéaire :

$$t = t_{\min} + d_t (t_{\max} - t_{\min})$$

### **Difficulté relative en fonction du nombre de caractère**

Il n'y a que six valeurs discrètes que cette dimension peut prendre : 2, 3, 4, 5, 6 et 7. Le nombre de caractères (nb) présenté dans un essai donné, en fonction de  $d_n$ , est déterminé par la fonction suivante :

$$nb = \text{Floor} \left( \frac{3d_n}{0.75} \right) + 2$$

### **Difficulté relative des différentes consignes**

La dimension de difficulté comporte donc six graduations, chacune correspondant à une consigne particulière. La fonction permettant d'associer une consigne à une valeur  $d_c$  du vecteur difficulté est la suivante :

$$d_c = \text{Floor} (6x) + 1$$

La gradation utilisée pour différencier la difficulté réelle de chacune des consignes peut être expliquée en se basant sur le modèle de la TVA.

Pour chaque présentation des stimuli, les performances du sujet par une capacité de traitement fixe, qui dans le cadre de la TVA, est représentée par la variable C. Le niveau de difficulté des tâches dépend en fait de la « priorité » que les éléments du stimulus vont avoir pour être traité dans les limites de cette valeur de C. La formule permettant de décrire C est la suivante :

$$C = \sum_{x \in S} \sum_{i \in R} v(x, i)$$

S : ensemble des éléments du champ visuel R : ensemble des catégories visuelles.

$v(x, i)$  est la vitesse à laquelle la catégorisation « x appartient à la catégorie i. » est faite.

La sélection visuelle étant, selon la TVA, un processus de compétition « tout ou rien », les éléments qui seront sélectionnés sont les premiers à avoir effectué une catégorisation « x

appartient à  $i$  ». Pour augmenter la probabilité de traitement d'un élément ou d'une catégorie, il faut donc augmenter le  $v(x,i)$  correspondant. Les différentes consignes proposées ont été choisies afin de moduler ces valeurs et donc la complexité de la tâche.

Les équations suivantes, qui sont les équations principales de la TVA, permettent d'expliquer les deux phénomènes, le filtrage et le « pigeonholing » qui vont permettre de moduler la difficulté des tâches.

$$v(x,i) = \eta(x,i) \beta_i \frac{\omega_x}{\sum_{z \in S} \omega_z} \qquad \omega_x = \sum_{j \in R} \eta(x,i) \pi_j$$

$\eta(x,i)$  : Force de la preuve sensorielle que  $x$  appartient à la catégorie  $i$ .

$\beta_i$  : Biais de décision perceptuelle associé à la catégorie  $i$

$\omega_x$  : poids attentionnel de l'objet  $x$

$\pi_j$  : pertinence de la catégorie  $j$

Le phénomène de filtrage permet de rendre prioritaires certains objets par rapport aux autres.

On se trouve dans le cas où l'on cherche à identifier les objets appartenant à une catégorie spécifique  $i$ . La pertinence pour la catégorie  $i$  est donc plus importante que celle des autres catégories, et selon l'équation 2, le poids attentionnel des objets appartenant à cette catégorie est plus élevé. Les objets appartenant à cette catégorie ont donc des  $v(x,..)$  plus élevés et ont donc une probabilité plus forte de terminer le traitement en premier. Les consignes concernées sont celles qui précisent une catégorie à traiter en priorité, c'est-à-dire où une catégorie cible est connue avant la présentation du stimulus. Les consignes 1 et 3 remplissent ces critères.

Le phénomène de « pigeonholing » permet de rendre une catégorie prioritaire. On cherche, pour tous les éléments, à traiter une (ou plusieurs) caractéristique en priorité. Si l'on veut catégoriser les éléments pour une caractéristique précise en priorité on va augmenter le biais

$\beta_i$  de cette catégorie. C'est le cas par exemple si l'on veut déterminer parmi des lettres et des chiffres bleus et rouges, lesquels sont des chiffres. Le biais perceptuel pour les catégorisations « l'objet  $x$  à la forme d'un 1 », d'un 2, etc. ... sera plus élevé que les biais perceptuel pour les catégorisations « L'objet  $x$  est rouge, .. bleu ... ». De ce fait, par l'équation 1, pour tout élément, les catégorisations qui auront la plus forte probabilité d'être faites sont celles concernant l'appartenance aux chiffres.

Les consignes concernées sont celles où plusieurs catégories sont proposées ou possibles.

Dans la consigne 4, deux catégories sont mentionnées. Les poids attentionnels de tous les éléments présentés sont donc augmentés de manière équivalente. Cependant, pour chaque élément, la catégorisation qui sera faire en priorité est celle correspondant aux catégories précisées.

Ces différentes données permettent d'expliquer l'ordre de difficulté choisi. La consigne 5 ne privilégie aucune catégorie perceptuelle, et nécessite le traitement complet de tous les éléments du stimulus, elle est donc la plus difficile. La consigne 4 en est très proche, mais la précision au préalable des catégories à rechercher permet à leur traitement d'être facilité ainsi que la réalisation de la tâche. La consigne 3, en précisant une seule catégorie, permet le traitement préférentiel des éléments lui appartenant. Il faut cependant que le traitement de tous les éléments de cette catégorie soit terminé afin d'être certain d'avoir repéré toutes les cibles possibles. La consigne 1 suit la même règle que la consigne 3, mais dans son cas il suffit que le traitement d'un seul des objets privilégiés ait le temps de se compléter pour



pouvoir répondre. Entre ces deux consignes, la consigne 2 privilégie le traitement des catégories plutôt que celui des objets, la rendant plus difficile que la consigne 1. Néanmoins, il reste plus facile que l'exercice 3 puisque l'identification des catégories de deux éléments peut suffire pour répondre.

### Algorithme adaptatif

L'espace d'apprentissage est modélisé mathématiquement par une matrice  $K$  [ $m \times m \times m$ ], c'est-à-dire une matrice en trois dimensions avec chaque dimension de taille  $m$ . On pose  $m = 10$ .

L'ensemble des éléments est initialisé à 0,5 afin de représenter une performance initiale nulle (Un taux de réussite de 50% correspond au niveau du hasard). L'algorithme remplit deux fonctions : il permet de choisir la difficulté de l'essai suivant, en fonction des performances des essais précédents, et une fois l'essai réalisé, il permet de mettre à jour la matrice de performance en fonction de la réussite ou non à cet essai.

L'algorithme suivant est effectué après cinq essais avec le même vecteur difficulté  $d$ . La matrice est donc mise à jour tous les cinq essais.

On pose  $S$  = taux de succès moyen désiré,  $\alpha$  = facteur d'ajustement du taux d'apprentissage,  $\sigma$  = déviation standard de la fonction de dispersion. L'objectif est de déterminer quelle difficulté le problème suivant doit avoir afin de maintenir un taux de réussite de 75% (en fonction du taux de réussite des essais précédents). On veut s'assurer que  $P(\text{réponse correct}) \approx 75\%$ . Pour cela :

1- Calculer le taux de succès désiré :  $s$ . Pour les cinq premiers essais,  $s=S$  et pour tous les essais suivants, on calcule  $r$ , le succès moyen sur tous les essais précédents. Alors on calcule :

$$s = S - \alpha(r - S).$$

2- Identifier les points de la matrice  $K$  dont la valeur est le plus proche de celle de  $s$ .

3- Choisir un de ces points de la matrice au hasard, et convertir ce point en un vecteur sur l'échelle de difficulté ( $[0,1]^3$ )

4- Tirer la difficulté finale, un vecteur  $d$  appartenant à  $[0,1]^3$  sur une distribution normale de moyenne égale au point sélectionné précédemment et de déviation standard  $\sigma$ .

5- Présenter un problème au niveau de difficulté  $d$  au sujet et collecter sa réponse.

Le succès ou échec du sujet au problème  $d$  nous permet de mettre à jour la matrice  $K$ , avec la variable booléenne  $\gamma$  ( $\gamma = 1$  pour une bonne réponse,  $\gamma = 0$  pour une mauvaise réponse). La valeur de  $\gamma$  est définie en fonction du taux de réussite sur les quatre essais précédents. On calcule tout d'abord le taux de réussite sur les quatre derniers essais,  $T_{\text{courant}}$ .

Si  $T_{\text{courant}} > 0,5$ , alors  $\gamma = 1$  et on se trouve dans le cas bonne réponse.

Si  $T_{\text{courant}} < 0,5$ , alors  $\gamma = 0$  et on se trouve dans le cas mauvaise réponse.

On pose  $\omega$  = taux d'ajustement,  $g$  = distance de généralisation (proportionnelle à  $m$ ).

1- Généralisation faible aux exercices voisins :

- Définir  $v$ , le vecteur différence entre  $d$  et chaque point de  $K$ .
- Définir  $\beta = 1 - (|v|_1 / g + 1)$
- Pour tous les éléments de  $K$  tels que  $|v|_1 \leq g$ , ajuster les performances estimées ainsi :

$$k_{\text{current}} = (1 - \omega \beta) k_{\text{previous}} + \omega \beta \gamma$$

On pose  $\beta = 0,5$  pour la suite.

2- En cas de succès, généraliser à tous les exercices plus faciles

- Pour tous les éléments de  $K$  pour lesquels les indices sont inférieurs ou égaux aux éléments correspondants de  $d$ , ajuster les valeurs de  $K$  comme suit :

$$k_{\text{current}} = k_{\text{previous}} + \omega \beta (1 - k_{\text{previous}})$$

- Cet ajustement permet d'augmenter la probabilité de réussite de tous les exercices les plus faciles d'un facteur proportionnel à la différence entre la probabilité précédente et une probabilité de 100%.

3- En cas d'échec, généraliser à tous les exercices plus difficiles

- Pour tous les éléments de  $K$  pour lesquels les indices sont inférieurs ou égaux aux éléments correspondants de  $d$ , ajuster les valeurs de  $K$  comme suit :

$$k_{\text{current}} = k_{\text{previous}} + \omega \beta (0.5 - k_{\text{previous}})$$

- Cet ajustement permet de diminuer la probabilité de réussite de tous les exercices les plus difficiles d'un facteur proportionnel à la différence entre la probabilité précédente et une probabilité de 50%.

### **Sélection de la difficulté du problème suivant :**

On pose  $S$  = taux de succès moyen désiré,  $\alpha$  = facteur d'ajustement du taux d'apprentissage,  $\sigma$  = déviation standard de la fonction de dispersion. L'objectif est de déterminer quelle difficulté le problème suivant doit avoir afin de maintenir un taux de réussite de 75% (en fonction du taux de réussite des essais précédents). On veut s'assurer que  $P(\text{réponse correct}) \approx 75\%$ .

1- Calculer, pour cet essai, le taux de succès désiré :  $s$

- pour les 20 premiers essais,  $s = S$ .

- pour tous les essais suivants : on calcule  $r$ , le succès moyen sur les 80 essais précédents (ou autant d'essais qu'il y a déjà eu). Alors on calcule  $s = S - \alpha (r - S)$ .

2- Identifier les points de la matrice  $K$  dont la valeur est le plus proche de celle de  $s$ .

3- Choisir un de ces points de la matrice au hasard, et convertir ce point en un vecteur sur l'échelle de difficulté ( $[0,1]^3$ )

4- Tirer la difficulté finale, un vecteur  $d$  appartenant à  $[0,1]^3$  sur une distribution normale de moyenne égale au point sélectionné précédemment et de déviation standard  $\sigma$ .

5- Présenter un problème au niveau de difficulté  $d$  au sujet et collecter sa réponse.

## Annexe IX - RAPDYS, Consignes et écrans

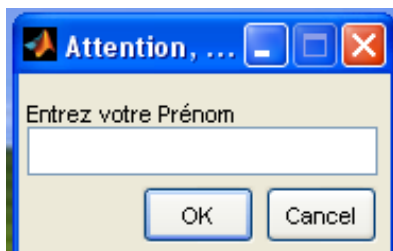
---

### Consignes présentées en modalité auditive

Consigne 1 : « Bonjour, on va jouer avec Dom et Tom. Tu vas entendre deux sons qui se suivent, à toi de me dire qui t'a parlé en appuyant sur les touches du clavier. Si tu entends Dom ou Tom parler deux fois à la suite, tu dois appuyer sur la touche 0. Sinon, quand tu entends les deux amis te parler, Dom et Tom ou Dom et Tom, appuie sur la touche 1. Pour t'aider, quand le jeu va commencer, tu verras à l'écran les images de nos amis. Lorsque tu auras répondu correctement, un cadeau descendra vers la bonne image. Si tu as des difficultés, demande à tes parents ou à un adulte de réexpliquer les consignes. Quand tu es prêt à commencer le jeu, appuie sur la touche espace de ton clavier. »

Consigne 2 : « A présent, tu peux directement appuyer sur la touche espace du clavier pour passer à la partie suivante. Si tu as besoin à nouveau des consignes, demande à tes parents ou à un adulte de te les relire. »

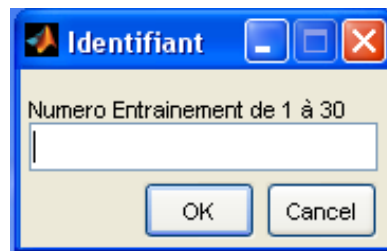
### Ecran de renseignements



Attention, ...

Entrez votre Prénom

OK Cancel



Identifiant

Numero Entraînement de 1 à 30

OK Cancel

### Ecrans de consigne

#### Bonjour ! Tu veux jouer avec nous ?

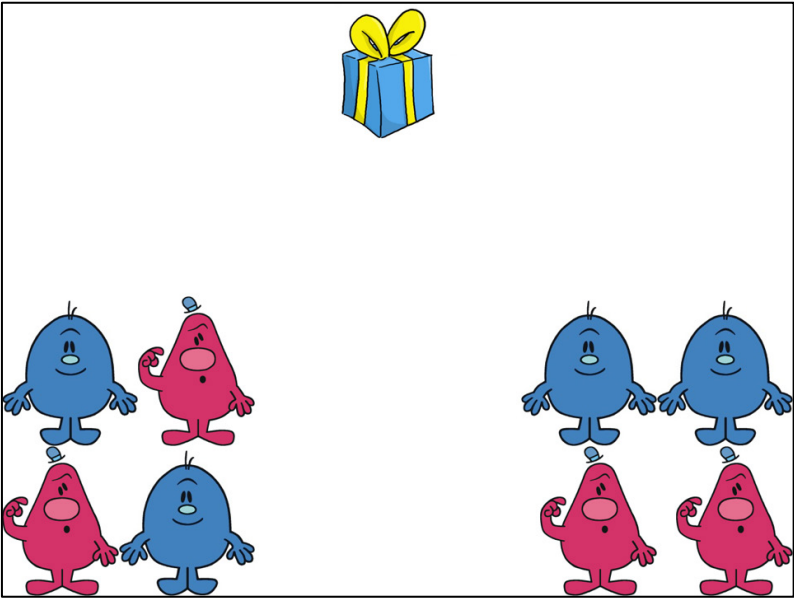
Si DOM puis DOM te parle, appuie sur 0  
Si TOM puis TOM te parle, appuie sur 0  
  
Si DOM puis TOM te parle, appuie sur 1  
Si TOM puis DOM te parle, appuie sur 1

ou

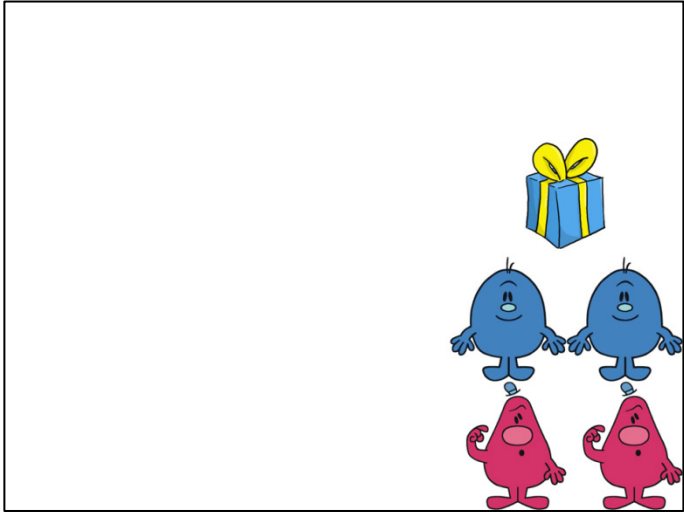
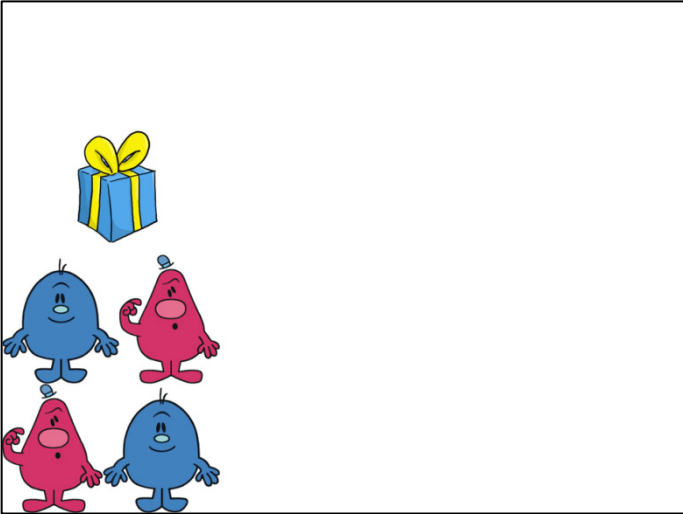
#### Tu veux continuer de jouer avec nous ?

Si DOM puis DOM te parle, appuie sur 0  
Si TOM puis TOM te parle, appuie sur 0  
  
Si DOM puis TOM te parle, appuie sur 1  
Si TOM puis DOM te parle, appuie sur 1

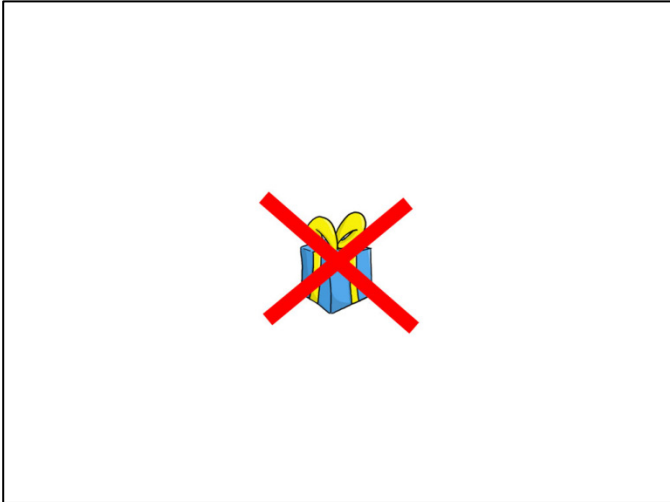
**Ecran simultané aux stimuli auditifs**



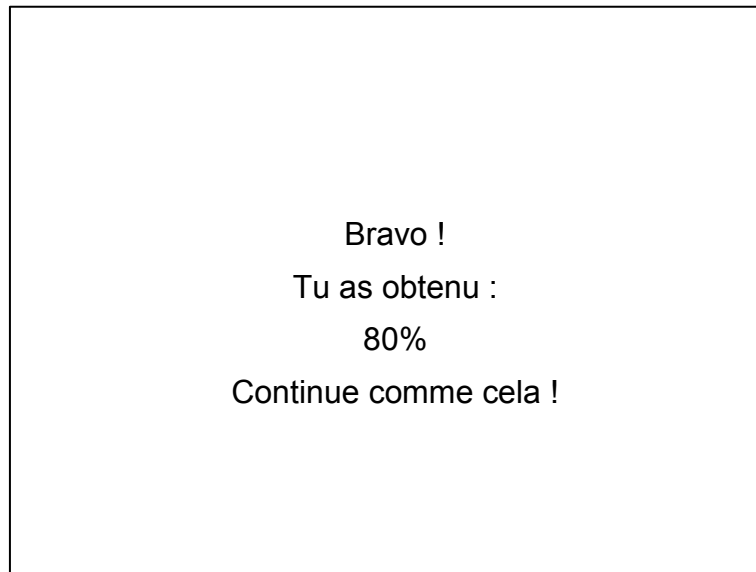
**Ecran de feedback par essai**



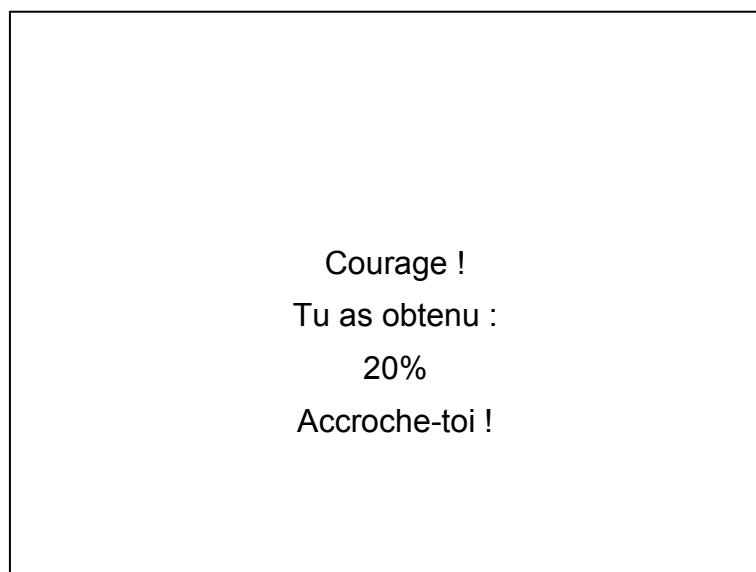
ou



## Ecran de feedback par block



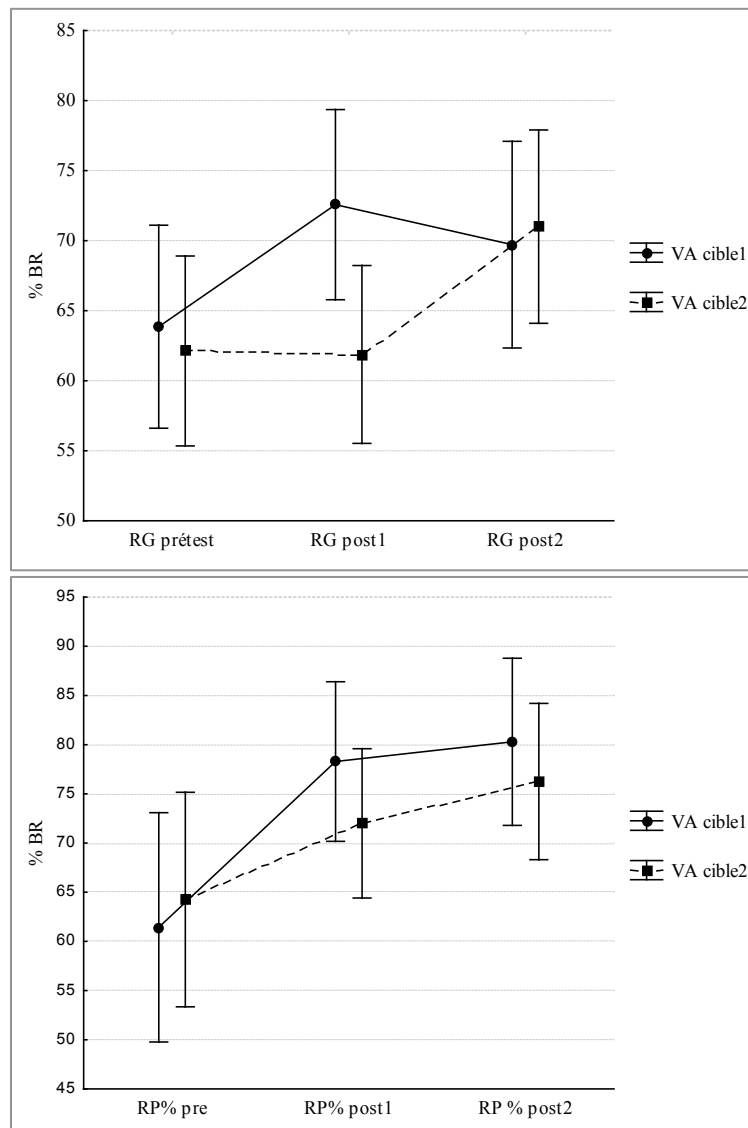
ou



## Annexe X - Analyses du report global et partiel, Etude IV

### Détails des analyses sur les épreuves de report global et report partiel

Sur l'épreuve de report global, nous avons observé le même pattern, c'est-à-dire l'absence d'un effet du groupe ( $F < 1$ ), mais un effet du temps [Wilk's  $\lambda = 0.21$  ;  $F(2,12) = 23.05$  ;  $p < .001$ ] et de l'interaction [Wilk's  $\lambda = 0.43$  ;  $F(2,12) = 8.01$  ;  $p < .01$ ], mais les deux contrastes d'interaction étaient ici significatifs ([ $t = -3.59$  ;  $p < .01$ ] pour la première période et [ $t = 4.2$  ;  $p < .01$ ] pour la seconde période), avec une différence significative entre les deux groupes au post-test 1 [ $F(1,13) = 6.18$  ;  $p < .05$ ]. Sur l'épreuve de report partiel, de même nous n'avons pas relevé d'effet du groupe ( $F < 1$ ) et l'effet du temps était significatif [Wilk's  $\lambda = 0.26$  ;  $F(2,12) = 16.96$  ;  $p < .001$ ], mais l'effet d'interaction n'était pas significatif [Wilk's  $\lambda = 0.74$  ;  $F(2,12) = 2.15$  ;  $p = .159$ ]. Cependant, les analyses de contrastes montraient un effet d'interaction à la limite du seuil de significativité [ $t = -2.15$  ;  $p = .051$ ] pour la première période. Les résultats sont présentés sur la Figure 50.



**Figure 49.** Scores moyens et écart-types (barre verticale) des scores en report global (en haut) et en report partiel (en bas) pour les deux groupes VA au pré-test, post-test 1 et post-test 2.



# New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles

Rachel Zoubrinetzky<sup>1,2\*</sup>, Frédérique Bielle<sup>1</sup>, Sylviane Valdois<sup>1,2</sup>

**1** Centre Référent de Diagnostic des Troubles du Langage et des Apprentissages, Pôle Couple-Enfant, Centre Hospitalier Universitaire, Grenoble, France, **2** Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, CNRS, UMR 5105, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

## Abstract

We examined whether classifications based on reading performance are relevant to identify cognitively homogeneous subgroups of dyslexic children. Each of the 71 dyslexic participants was selected to have a mixed reading profile, i.e. poor irregular word and pseudo-word reading performance (accuracy and speed). Despite their homogeneous reading profile, the participants were found to split into four distinct cognitive subgroups, characterized by a single phonological disorder, a single visual attention span disorder, a double deficit or none of these disorders. The two subgroups characterized by single and contrasted cognitive disorders were found to exhibit a very similar reading pattern but more contrasted spelling performance (quantitative analysis). A qualitative analysis of the error types produced in reading and spelling provided some cues about the participants' underlying cognitive deficit. The overall findings disqualify subtyping based on reading profiles as a classification method to identify cognitively homogeneous subgroups of dyslexic children. They rather show an opaque relationship between the cognitive underpinnings of developmental dyslexia and their behavioral manifestations in reading and spelling. Future neuroimaging and genetic studies should take this issue into account since synthesizing over cognitively heterogeneous children would entail potential pitfalls.

**Citation:** Zoubrinetzky R, Bielle F, Valdois S (2014) New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. PLoS ONE 9(6): e99337. doi:10.1371/journal.pone.0099337

**Editor:** Evelyn Kroesbergen, Utrecht University, Netherlands

**Received:** January 5, 2014; **Accepted:** May 14, 2014; **Published:** June 11, 2014

**Copyright:** © 2014 Zoubrinetzky et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Funding:** This work was supported by ANR Blanc ORTHOLEARN: ANR-12-BSH2-0013-01. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

\* E-mail: rachel.zoubri@gmail.com

## Introduction

Developmental dyslexia is a specific learning disability characterized by an unexpected difficulty in learning to read in children who have at least average intelligence, who do not have general learning difficulties, and whose reading problems are not due to extraneous factors that might interfere with learning to read, such as sensory acuity deficits, severe emotional problems, acquired brain damage or inadequate educational opportunity [1]. The dyslexic population is highly heterogeneous so that different dyslexic children may exhibit different reading profiles and their poor reading performance can be associated with different cognitive impairments and different brain dysfunctions [2–5]. Classification systems have been proposed to reduce this heterogeneity and identify more homogeneous subgroups [6,7]. A very popular subtyping approach is based on the recognition of different reading profiles as a way to distinguish cognitively distinct subtypes of developmental dyslexia.

Individual differences in developmental dyslexia have been conceptualized using dual route models [8,9]. The case study approach revealed the existence of two distinct reading profiles of developmental phonological and surface dyslexia. Prototypical cases of developmental phonological dyslexia show selective difficulties in pseudo-word reading but relatively preserved irregular word reading [10–15]. This reading profile is viewed as resulting from the inability of dyslexic children to acquire grapheme-phoneme conversion rules due to a phonological disorder. The converse reading pattern characterizes develop-

mental surface dyslexia in which pseudo-word reading is preserved but irregular word reading is selectively impaired [15–21]. Within the dual route framework, this profile is viewed as following from the selective impairment of the lexical pathway due to a specific orthographic processing disorder.

Through group studies, subtypes of reading disability have been identified based on the relative imbalances on the tasks of irregular word and pseudo-word reading. Regression techniques were then used to identify dyslexics with larger than expected discrepancies between irregular word and pseudo-word reading, based on the linear relationship between irregular words and pseudo-words in the control group. Using this procedure, two groups of phonological and surface dyslexic children have been identified as compared to age-matched controls. However, only about a third of the children exhibited strict discrepancies between irregular word and pseudo-word reading (i.e., poor performance on one type of items but not the other); most were impaired on both types of items, thus showing a pattern of mixed dyslexia. The preponderance of mixed reading profiles in the dyslexic population was estimated from 53% to 76% depending on the studies [8,22–26] (see [27] for a cross-language review).

Although classifications based on reading patterns were initially proposed to identify cognitively homogeneous subgroups of developmental dyslexia, there is no strong evidence for such a direct relationship. To the contrary, comparative studies of the phonological-like and surface-like groups as defined through regression analyses failed to show contrasted cognitive profiles.

## Annexe XII - Article Etude III, Version soumise

---

Relationships between categorical perception of phonemes, phoneme awareness, and visual attention span in developmental dyslexia

Authors: Rachel Zoubrietzky<sup>1,4\*</sup>, Gregory Collet<sup>2</sup>, Willy Serniclaes<sup>2,3</sup>, Marie-Ange Nguyen-Morel<sup>1</sup> and Sylviane Valdois<sup>1,4,5</sup>

<sup>1</sup> Centre Référent de Diagnostic des Troubles du Langage et des Apprentissages, Pôle Couple-Enfant, Centre Hospitalier Universitaire, Grenoble, France

<sup>2</sup> Unité de Recherche en Neurosciences Cognitives, Centre de Recherches en Cognition et Neurosciences and Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

<sup>3</sup> Laboratoire Psychologie de la Perception, CNRS, UMR 8242, and Université Paris-Descartes, France

<sup>4</sup> Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, CNRS, UMR 5105, F-38000, Grenoble, France

<sup>5</sup> Université Grenoble Alpes, LPNC, F-38000, Grenoble, France.

\* Corresponding author: Email: rachel.zoubri@gmail.com

### Abstract

We tested the hypothesis that the categorical perception deficit of speech sounds in developmental dyslexia is related to phoneme awareness skills, whereas a visual attention (VA) span deficit constitutes an independent deficit. Phoneme awareness tasks, VA span tasks and categorical perception tasks of phoneme identification and discrimination using a /d-t/ voicing continuum were administered to 63 dyslexic children and 63 control children matched on chronological age. Results showed a clear-cut difference in categorical perception between the dyslexic and control children. Significant correlations were found between categorical perception skills, phoneme awareness and reading. Although VA span correlated with reading, no significant correlations were found between either categorical perception or phoneme awareness and VA span. Moreover, mediation analyses performed on the whole dyslexic sample showed that the effect of categorical perception on reading was mediated by phoneme awareness. We then asked whether cognitively distinct subgroups of dyslexic children with either a single phoneme awareness deficit (PA DYS) or a single VA span disorder (VAS DYS) would show distinct categorical perception abilities. Results showed that the PA DYS exhibited a categorical perception deficit whereas the VAS DYS exhibited categorical perception skills close to those of controls. The overall findings thus suggest a privileged link between categorical perception and phoneme awareness and show that the speech perception disorder might be specific to phonological-awareness-impaired dyslexic children. The current findings are consistent with the idea that phoneme awareness and VA span independently affect reading acquisition.



## Introduction

Many different theories have been proposed to account for developmental dyslexia (DD), including the phonological theory (Snowling, 2001; Vellutino et al., 2004) and several visual or visual-attentional theories (Bosse et al., 2007; Facoetti, 2004; Hari et Renvall, 2001; Stein, 2014). The phonological and visual magnocellular theories, initially considered as concurrent, are now more likely viewed as related since the magnocellular dysfunction typically co-occurs with the phonological disorder (Boets et al., 2008; Cestnick et Coltheart, 1999; Witton et al., 1998). In the same way, sluggish attentional shifting (Hari et Renvall, 2001) and attention orienting disorders (Facoetti, Trussardi, et al., 2010) typically co-occur with phonological disorders in DD (Lallier, Donnadiu, et al., 2010; Lallier, Tainturier, et al., 2010; Lallier et al., 2009; Renvall et Hari, 2002). By contrast, the visual attention span disorder, defined as reduced multi-element simultaneous processing (Bosse et al., 2007), is typically found in children who have no phonological problem (Dubois et al., 2010; Valdois et al., 2011; Valdois, Bosse, et al., 2003; Valdois, Peyrin, et al., 2014), thus suggesting that VA span and phonological abilities may be two independent cognitive underpinnings of DD (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014; Zoubrinetzky et al., 2014).

Besides, low-level perceptual deficits have been studied as a potential cause of the phonological disorder in DD. Children with dyslexia were reported as having poor categorical perception (CP) of speech sounds, which could affect their phonological processing skills and hamper the set-up of grapheme-phoneme mappings (see Noordenbos et Serniclaes, 2015, for a recent meta-analysis). This theoretical framework assumes that CP should relate to phonological skills. Assuming that phonological skills and VA span abilities are independent cognitive disorders in DD, we should expect no relationship between VA span and CP abilities. The current study aims at providing additional support for a relationship between phonological skills and CP in children with DD. For the first time, we will provide evidence for the absence of links between categorical perception and VA span, which will again strengthen the significance of the phonological – categorical perception relationship.

## Categorical Perception in DD

The most consensual cognitive deficit in DD is a phonological awareness deficit (see Melby-Lervåg et al., 2012, for a review and meta-analysis). The potential causes of this phonological deficit have been further investigated and different types of auditory sensory dysfunctions have been reported (Goswami, 2015). Impairments in the ability to process the acoustic structure of speech sounds should affect phonological processing and thus appear as a potential cause of the phonological disorder in DD. In line with this expectation, a speech perception deficit has been evidenced in DD, most often through syllable discrimination tasks: dyslexic children are less efficient to discriminate pairs of consonant-vowel (CV) syllables that differ on a single phonological feature, as place of articulation (e.g. between /ba/ and /da/), or voicing (e.g. /ta/ and /da/) (Hurford, 1990; Mody et al., 1997) ; Adlard et Hazan, 1998 ; Masterson et al 1995). Phoneme discrimination reflects CP abilities, i.e. the ability to perceive differences between phonemes while ignoring acoustic differences between the variants of the same phoneme (Liberman et al., 1957). The acoustic differences between phonemes are normally perceived much better than acoustic differences of the same magnitude between variants of the same phoneme category. However, CP is often not perfect and the degree of CP depends on various factors such as the task demands (Schouten, Gerrits et van Hessen, 2003) and stimulus characteristics (Holt, Lotto et Diehl, 2004).

CP is typically assessed by collecting identification and discrimination responses to stimuli varying along some acoustic continuum. The identification task reveals how efficiently listeners can attach phonemic labels to the acoustic stimuli. The discrimination task measures their ability to judge two acoustic segments of the continuum as similar or different. Performance in identification is typically used to predict the probability of accurate discrimination; the degree of CP is then assessed by comparing such “predicted” discrimination scores with the actual discrimination scores. CP is sometimes assessed using the identification responses alone, i.e. without collecting discrimination responses (Simon et Fourcin, 1978). However, accurate identification of phonemes is only one ingredient of CP and identification responses do not provide straightforward evidence on the identification of sub-phonemic variants.

A large array of studies has shown that dyslexic individuals have a weaker degree of CP. They show weaker accuracy in discriminating phonemes across the categorical perception boundary (e.g., less accurate inter-categorical perception) but *better* discrimination of acoustic differences within the same phoneme category (e.g., enhanced intra-categorical perception) (Bogliotti et al., 2008; Godfrey et al., 1981; see Noordenbos et Serniclaes, 2015, for a meta-analysis; Reed, 1989; Serniclaes et al., 2001; Serniclaes et al., 2004; Werker et Tees, 1987). Arguments in support of a CP deficit in dyslexia have also been gained with identification data that evidenced a shallower slope at the phonemic boundary and a smaller asymptotic width at the endpoints of the continuum (see Manis et Keating, 2005, for a review; Manis et al., 1997; Paul et al., 2006; Reed, 1989; Zhang et al., 2012). However, the CP deficit in DD is typically stronger for discrimination than identification, probably because the identification task less likely reveals the atypical intra-categorical discrimination skills of dyslexic people (Noordenbos et Serniclaes, 2015).

Enhanced discrimination skills for intra-categorical stimuli suggest an ‘allophonic’ mode of perception in DD that may affect phonological awareness and normal reading development (Serniclaes et al., 2004). During early childhood, before around six months of age, the child is sensitive to “universal allophonic” features that are later combined to perceive phonemes in a specific language (Kuhl, 2004; Werker et Tees, 1984). The universal features that are not used in the native language can be termed as “universal allophonic”, as they can possibly be used in other languages. Different sources of evidence, both behavioral and neural, suggest that increased sensitivity to within-category variants of the same phoneme in children with DD is in fact due to the persistent use of allophonic features for perceiving the phonemes of their native language (see Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2015, for a review). As it blurs the relationships between letters and speech units, such allophonic sensitivity is a possible cause of DD whatever the language transparency. Indeed even in a perfectly transparent orthographic system, allophonic sensitivity should lead to associate several different allophones to each grapheme.

## **Categorical Perception and Phonological skills**

Variability of the categorical perception deficit in DD has been questioned. While some studies showed clear evidence for a categorical perception disorder, the deficit was sometimes marginally significant (Reed, 1989), or not found at all in other studies (see Vandermosten et al., 2011, for a review and meta-analysis on 50 studies). Such discrepancies can be attributed to methodological differences (e.g., as the use of different tasks) (Noordenbos et Serniclaes, 2015) but they could also reflect heterogeneity in the dyslexic population. Indeed, the phoneme discrimination deficit has sometimes been found to characterize just a subgroup of dyslexic individuals (Adlard et Hazan, 1998; Joanisse et al., 2000; Lachmann et al., 2005; Manis et al., 1997; Mody et al., 1997; Paul et al., 2006).

Manis et al. (Manis et al., 1997) used an identification task on a /p/ - /b/ continuum of Voice Onset Time (VOT) to estimate categorical perception in two subgroups of dyslexic children with or without phoneme awareness disorders. The authors reported a categorical perception disorder but only in the subgroup of dyslexic children with poor phoneme awareness. They further found that categorical perception and phoneme awareness performance correlated moderately but significantly in the whole sample of dyslexic, chronological age and reading age matched controls. When the population was restricted to dyslexic children, some studies reported significant correlations between phoneme identification and phoneme awareness (Breier et al., 2001) but others did not (Joanisse et al., 2000). Investigation of cortical responses to sound discrimination in DD also failed to reveal atypical functioning in children with phonological disorders (Lachmann et al., 2005). By contrast, studies on typical readers provided evidence for a link between categorical perception and phoneme awareness (Hurford, 1991; McBride-Chang, 1995). McBride-Chang (McBride-Chang, 1996) further explored the relationships between categorical perception, phoneme awareness and word reading performance. She showed that the relationship between phoneme identification and reading was mediated by phoneme awareness in typically developing children.

Recent findings from a remediation study in children with specific language impairment further suggest that categorical perception may causally relate to phoneme awareness (Collet et al., 2012). Nine children benefited from a two-week phoneme discrimination training program. After training, they showed sharper categorical boundaries than a matched control group of untrained children. Critically, discrimination training not only improved their categorical perception but further their phoneme awareness skills.

To summarize, there is consistent evidence for a relationship between CP and phoneme awareness. But we lack strong evidence for this relationship in DD. If impaired CP mainly characterizes a subgroup of children with poor phonological skills, discrepant results across studies may result from the heterogeneity of the dyslexic population which is often not taken into account.

## **Cognitive heterogeneity in the dyslexic population**

Most studies on categorical perception in DD have been carried out on unselected groups of dyslexic children without consideration for their potential cognitive heterogeneity. The few studies that tried to identify a phonologically impaired subgroup used various criteria (poor phoneme awareness or poor decoding skills) and did not systematically control for additional comorbid deficits as SLI (Joanisse et al., 2000) or ADHD (Breier et al., 2001) that seem to affect CP and its relationship with phoneme awareness. Furthermore, the phonologically identified subgroup was compared to cognitively unspecified subgroups of dyslexic children (mainly defined by exclusion criteria), which might have decreased the probability to find reliable evidence for a specific relation between CP and phonological disorders. Our aim in the current study was to better characterize our dyslexic population through assessment of the participants phonological and visual attention span abilities.

Visual attention span abilities correspond to the number of distinct visual elements that can be processed simultaneously, regardless of their verbal or non verbal nature (Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012). Case studies showed that some dyslexic individuals exhibit reduced visual attention span abilities (Dubois et al., 2010; Valdois et al., 2011; Valdois, Peyrin, et al., 2014) and that VA span and phonological disorders could dissociate in developmental dyslexia (Lallier, Donnadieu, et al., 2010; Valdois, Bosse, et al., 2003). Large scale studies revealed the existence of a subset of dyslexic children who exhibited a VA span disorder but preserved phoneme awareness while another subset showed poor phoneme awareness but preserved VA span (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014;

Zoubrinetzky et al., 2014). These studies further revealed that the VA span disorder contributed to the poor reading outcome of dyslexic children, independently of their phoneme awareness skills. Studies carried out on typically developing children provided support for the independent contribution of VA span and phonological skills to reading performance (Bosse et Valdois, 2009) and suggested special links between VA span and reading speed (Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012; van den Boer et al., 2013).

Neurobiological investigations led to identify the superior parietal lobes as the neuronal underpinnings of VA span (Lobier, Peyrin, et al., 2012; Lobier et al., 2014; Peyrin et al., 2011; Reilhac et al., 2013). As further evidence that the neuronal correlates of VA span differ from those typically reported as dysfunctioning in dyslexic individuals with a phonological disorder, Peyrin et al. (Peyrin et al., 2012) explored the brain activity of two young adults with developmental dyslexia who were engaged in two phonological and visual categorization tasks under fMRI. The two participants who were matched for their reading level nevertheless showed dissociated cognitive disorders, either phonological or VA span. Critically, under-activation of the perisylvian regions of the left hemisphere was found in the participant with a single phonological disorder but not in the VA span-impaired participant. Reversely, the participant with a single VA span disorder showed under-activation of the superior parietal lobules, whose activation was preserved in the phonologically-impaired participant. The whole findings strongly suggest the existence of different subtypes of dyslexia characterized by distinct cognitive disorders and distinct neurobiological dysfunctions.

In the current study, we will explore for the first time the relationship between categorical perception, phoneme awareness and VA span. We will first compare the CP performance of dyslexic children to that of chronological age matched controls. We will then focus on the dyslexic population and explore the relations between the key variables -- CP, phoneme awareness, VA span, and reading -- through correlation and mediation analyses. Last, in a second part, we will search for possible differences in CP deficit between subgroups of dyslexic children characterized by distinct cognitive disorders, either a single phoneme awareness deficit or a single VA span dysfunction.

## **Part 1. Relationship between categorical perception, phoneme awareness and VA span in the whole dyslexic sample**

In this first part of the study, we will first compare CP in the dyslexic population and in chronological-age-matched controls to replicate previous evidence of higher allophonic sensitivity in the dyslexic population. Correlation analyses will also be computed, in search for positive correlations between phoneme awareness and CP. We will further explore how these two processes relate to VA span abilities and reading skills. While phoneme awareness is expected to correlate with CP, the latter should not relate to VA span. Besides as largely documented in the literature, we should replicate positive relationships between phoneme awareness and reading accuracy and will further explore whether CP correlates with reading performance. We will also compute mediation analyses to assess whether the link between CP and reading accuracy is mediated by phoneme awareness.

## **Method**

## Participants

Sixty-three children with dyslexia (mean age = 10 years and 6 months, SD = 15 months) and 63 age-matched control children (mean age = 10 years and 1 months, SD = 11 months;  $F(1,124) = 3.3$ ,  $p = .071$ ) participated in this study. All were French native speakers, had normal hearing and normal or corrected-to-normal vision. They attended school regularly and none of them had any history of neurological illness or brain damage. All the participants and their parents gave their written consent to participate to the study. The local Grenoble Ethics committee approved the study.

The typically developing children were recruited from schools of the Grenoble urban area. They reported no history of oral language or reading disorder and showed a normal reading age on the Alouette Reading Test (Lefavrais, 1965) (mean reading age = 10 years and 10 months, SD = 19 months).

The dyslexic children were recruited at the center for learning disabilities of the Grenoble University Hospital or in speech therapy offices. All had normal IQ (exclusion if  $PM38 < 25$ e percentile (Raven et al., 1998) or if VCI and PRI < 85 on the WISC IV (Wechsler, 2005)). Children with associated specific language impairment or specific attentional disorder (ADHD) were not included. Their reading age was significantly lower than for the control group (mean reading age = 7 years and 5 months, SD = 8 months;  $F(1,124) = 236.5$ ,  $p < .001$ ).

## Neuropsychological assessment

The dyslexic children were administered tests of isolated regular and irregular word and pseudo-word reading, three phoneme awareness tasks of phoneme deletion, phoneme segmentation and acronyms, and two tasks of global and partial report to assess their VA span abilities. The tasks were presented in a random order that varied from one child to the other. The children were tested individually in one or two sessions for a total assessment duration of approximately two hours interrupted by a break (which could also be requested by the child at any time).

For the reading assessment, the participants were asked to read aloud the 80 (40 regular and 40 irregular) words and 40 pseudo-words of the ODEDYS neuropsychological battery (Jacquier-Roux et al., 2002). The regular and irregular word lists were matched for letter and syllable length, grammatical class and frequency. The 40 pseudo-words were legal pseudo-words without lexical neighbors. Both accuracy and reading speed were taken into account.

Phoneme awareness was assessed using the tasks of phoneme deletion and phoneme segmentation from Bosse & Valdois (Bosse et Valdois, 2009), and the acronyms task from the BELEC battery (Mousty et al., 1994). For each task, the participants were given a set of practice items for which they received feedback. No feedback was provided on the experimental items. We recorded the percentage of correct responses. In the phoneme deletion task, the participants had to delete the first sound of a spoken word and produce the resulting pseudo-word (e.g., “outil” /uti/ : /ti/; “placard” /plakaR/ : /lakaR/). Twenty experimental words were presented. Seven words began with a vocalic phoneme corresponding to a multiple letter grapheme so that the omission of the first letter (instead of the first phoneme) yielded incorrect responses, 9 began with a consonantal cluster, 4 with a singleton. In the phoneme segmentation task the participants had to successively sound out each phoneme of a spoken word (e.g. /kado/ ‘cadeau’ gift : /k/- /a/- /d/- /o/). Fifteen words made up of 4 phonemes on average (from 3 to 5) were presented. In the acronyms task, two oral words were successively presented. The children had to extract the first phoneme of each word and blend them to produce a

new syllable (e.g. “photo” “artistique” /foto/-/aRtistik/ says /fa/). The test comprised 10 series of two words made up of 4.4 phonemes on average (range 2–8). Seven words began with a phoneme corresponding to a digraph so that children generated an erroneous word if the first letter was extracted instead of the first phoneme (response /pa/ instead of /fa/ if orthographically biased in the above example).

The global and partial letter report tasks were administered to assess VA span abilities. A task of single letter identification threshold was further administered to control for single letter processing. The letter report tasks were displayed on a PC computer using E-prime software (E-prime Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA). The strings were made of black upper case (Arial, 7 millimeters high) letters displayed on a white background at the center of the screen.

In the global and partial report task, stimuli were random five letter-strings (e.g., RHSDM; angular size =  $5,4^\circ$ ) built up from 10 consonants (B, P, T, F, L, M, D, S, R, H). The consonant strings contained no repeated letters and did not match the skeleton of a real word (e.g.: FLMBR for FLAMBER “burn”). Two subsequent letters never corresponded to a French grapheme (e.g. PH, TH) or a frequent bigram in French (e.g. TR, PL, BR). The distance between adjacent letters was of  $0,57^\circ$  in order to minimize crowding. Twenty 5-letter strings were displayed in Global Report. Each letter was used ten times and appeared twice in each position. Fifty random 5-letter strings were used in Partial Report. Each letter occurred 25 times (5 times in each position). At the beginning of each trial, a central fixation point was presented for 1000ms followed by a blank screen for 50ms. Then, a horizontal 5-letter-string was displayed centered on fixation for 200ms, a duration which corresponds to the mean duration of fixations in reading, long enough for an extended glimpse, yet too short for a useful eye movement. In the Global report condition, children had to report verbally all the letters they had seen immediately after the string disappeared. In Partial Report, a vertical bar cueing the letter to be reported was displayed  $1,1^\circ$  below the target letter, at the offset of the letter-string. Each letter was used as target once in each position. Participants were asked to report the cued letter only. In both tasks, the experimenter pressed a button to start the next trial after the participant’s oral response. The experimental trials were preceded of 10 training trials for which participants received feedback. No feedback was given during the experimental trials. Score was the number of accurately reported letters across the 20 trials in Global report (regardless of order; maximum score: 100) or across the 50 trials in Partial report (maximum score:50).

The letter identification task was designed to control for single letter processing skills. Each of the 10 letters used in the report tasks were randomly presented (5 times each) with the same physical characteristics as in the experimental tasks, at 5 different presentation durations (33, 50, 67, 84 and 101 ms). At the offset of the letter, a mask (13 mm high, 37 mm wide) was displayed for 150 ms. Participants were asked to name each letter immediately after its presentation. The test trials were preceded of 10 practice trials (2 for each presentation time) for which participants received feedback. Children were excluded when the maximal score of 10 good responses was not reached at the maximal presentation duration of 101 ms.

Characteristics of the dyslexic group are presented in Table 1. The group was characterized by a 36 months delay on average in reading acquisition, showing that the dyslexic participants exhibited a severe reading disorder. Both word (regular and irregular) and pseudo-word reading (accuracy and speed) were severely impaired, suggesting impaired development of the two, global and analytic, reading procedures. The group’s phonological skills were within the normal range, even if a subgroup of participants did exhibit a severe phonological disorder. The dyslexic group’s VA span abilities were slightly lower than expected ( $<-1SD$ ) but here again some children showed a clear VA span disorder

while others performed within the normal range. The group's cognitive heterogeneity will be explored more in depth below.

**Table 1. Characteristics of the dyslexic group.**

	Score Mean	SD	Min	Max	Z-score Mean	SD
Age (months)	125,54	15,22	94	153		
Reading Age (months)	89,33	7,75	79	122		
Reading delay (months)	36,89	14,88	15	83		
RW score (/20)	15,69	3,44	3	20	-2,46	2,31
RW time (sec)	43,76	19,18	15	101	-2,66	2,20
EW score (/20)	11,21	4,43	2	20	-1,95	1,52
EW time (sec)	49,98	21,83	15	120	-2,41	2,19
PW score (/20)	12,20	3,71	4	18	-2,22	1,60
PW time (sec)	52,25	18,36	18	115	-1,95	1,66
Deletion (%)	71,11	19,52	30	100	-0,80	1,33
Segmentation (%)	59,26	25,15	7	100	-0,06	0,96
Acronym (%)	72,38	21,61	0	100	-0,48	1,10
Whole report (%)	70,76	11,58	41	94	-1,14	1,05
Partial report (%)	74,79	14,44	24	100	-1,20	1,39

Mean scores and Z-scores, standard deviations (SD) and ranges of age, reading age, regular word (RW), exception word (EW), and pseudo-word (PW) reading, phonological and visual attention span tasks for the dyslexic participants.

### Categorical perception tasks

A /də/-/tə/ VOT continuum, from -75 to +75 ms VOT in 30 ms step, was synthesized by a parallel formant synthesizer provided by Carré (Carré, 2004). F1, F2 and F3 transitions frequencies were 200, 2200 and 3100 Hz, respectively, and the steady-state formant parts were 500, 1500 and 2500 Hz, respectively. F0 frequency was maintained constant at 120 Hz. Each syllable of the continuum was 200 ms long. Previous studies that used the same stimuli have shown that both French-speaking typical children (Hoonhorst et al., 2011) and French-speaking SLI children (Collet et al., 2012) perceived negative VOT stimuli as /də/ and positive VOT stimuli as /tə/.

The identification and discrimination tasks were administered to the dyslexic and control participants. In order to facilitate the association between sounds' perception and the collection of answers, children were introduced to two different cartoons from a children's book (named Dom and

Tom). Each cartoon was associated with a specific syllable (/də/ or /tə/ respectively). The stimuli were binaurally delivered through headphones (Sennheiser HD 202).

Prior to the testing identification task, children completed a familiarization task composed of one block of twenty stimuli (ten trials of each VOT endpoints values of the continuum: -75 ms and +75 ms VOT) presented in a random order that differed for each session and each participant. The children had to associate each presented sound with a dedicated cartoon by pressing on the keyboard the “1” key if they heard the syllable /də/ and the “0” key if they heard the syllable /tə/. To facilitate this association, the cartoons were displayed at the bottom of the screen, Dom being located on the left (near the “1” key) and Tom on the right (near the “0” key) ; the keyboard is placed centrally in front of the screen. There was a 2000 ms interval between the child response and the following item. Following each answer, a feedback was provided on the screen (a red screen for incorrect answers, a picture of a gift at the screen center for a correct answer). At the end of the familiarization session, the experimental identification task was presented in one block of sixty stimuli (10 trials for each of the VOT values: 75, 45, 15, +15, +45, and +75 ms VOT) which were displayed in a random order that differed for each session and each participant. No feedbacks were provided during the experimental task.

Prior to the testing discrimination task, a familiarization task using the endpoints stimuli of the continuum was provided before the experimental discrimination task. One block composed of twenty pairs of sounds (5 trials of each of the following pairs: -75/-75, -75/+75, +75/75 and +75/+75 ms VOT) was built up and presented in a random order, different for each session and each participant. For each item, two pairs of identical cartoons (Dom-Dom and Tom-Tom) were displayed on the right side of the screen close to the “0” key that had to be pressed when the two successively displayed sounds were the same syllables, i.e. for the “/də/-/də/” and “/tə/-/tə/” pairs. The two pairs of different cartoons (Dom-Tom and Tom-Dom) were on the left side close to the “0” key that had to be pressed when the pair sounds were different. The same key was pressed whatever the order of the two successive sounds (/də/-/tə/ or /tə/-/də/). The participants had to press the response key at the offset of the sound pair. The child’s response corresponds to their judgement of the two successive syllables as identical or different, as a single key was used for the responses Dom-Dom and Tom-Tom and a single key for the Dom-Tom and Tom-Dom responses. There was a 100 ms interval between the pair’s stimuli and a 2000 ms interval between the child response and the following item. A feedback was provided on the screen (a red screen for incorrect answers, the picture of a gift at the screen center for correct answers). The discrimination task was subsequently presented to each child. It was composed of a set of eighty pairs of stimuli that were displayed in a random order that differed for each session and each participant (five trials of each of the eight identical pairs: -75/-75, -45/-45, -15/-15, +15/+15, +45/+45, and +75/+75 ms VOT; and five trials of each of the ten different pairs: -75/-45, -45/-75, -45/-15, -15/-45, -15/+15, +15/-15, +15/+45, +45/+15, +45/+75, and +75/+45 ms VOT). Neither positive nor negative feedback was provided during this task.

The observed discrimination curve was compared to the predicted discrimination curve derived from the identification data. Predicted discrimination was computed using elementary probability formulas (Pollack et Pisoni, 1971) that were adapted to an AX discrimination paradigm (with a binary choice between /də/ and /tə/). The discrimination differences between groups were tested using repeated-measures ANOVA with  $d'$  scores as the dependent variable, VOT (central value of each pair, five levels: 60, 30, 0, +30 and +60 ms) and Task (two levels: predicted vs. observed discrimination) as within-subject factors, and Group as between-subjects factor. Observed and predicted discrimination peaks were extracted from the individual discrimination functions. A discrimination peak was defined as the largest  $d'$  of the discrimination function. The size of the peak was defined as the corresponding  $d'$  value.



## Results

### Comparison of the dyslexic group and the control group on categorical perception skills

Fig. 1 shows the actual discrimination  $d'$  scores (observed  $d'$ ) and those predicted from the identification data (predicted  $d'$ ) for the DYS and CTL groups. A repeated measures ANOVA was performed with Task (Observed vs. Predicted) and Pair (5 pairs centered on -60, -30, 0, +30, +60 ms VOT) as within-participant variables, and Group (DYS vs. CTL) as between-participants variable. Results showed that the Group effect was significant [ $F(1,124) = 5,81$ ;  $p < .05$ ] as was the Group x Pair interaction [ $F(4,496) = 3,45$ ;  $p < .05$ ; Greenhouse-Geisser corrected;  $\eta^2 = .027$ ], indicating that the shapes of the discrimination curves differed between the DYS and CTL groups. However, the Task x Pair x Group interaction was not significant [ $F(4,496) = 1,64$ ;  $p = .187$ ; Greenhouse-Geisser corrected;  $\eta^2 = .013$ ] indicating that the difference between the Observed and Predicted discrimination curves did not depend on the Group.

### Insert Fig. 1. Observed and Predicted Discrimination scores for the Control (CTL) Group and for the Dyslexic (DYS) Group.

When the Group effect was tested with repeated measures ANOVAs separately for each pair with Task as within-participant variables, there were no significant differences between group for the -60 ms, -30 ms, and +60 ms VOT pairs (all  $F < 1$ ). For the pairs centered at 0 ms, a trend was found for the Group effect [ $F(1,124) = 2,81$ ;  $p = .096$ ], but Group contrasts on each task were not significant [ $F(1,124) = 2,25$ ;  $p = .136$  for predicted values and  $F(1,124) = 1,97$ ;  $p = .163$  for observed values]. All interactions between Group and Task were not significant for these four VOT pairs (all  $F < 1$ ). A significant group difference was only found for the +30 ms VOT pair [ $F(1,124) = 7,81$ ;  $p < .01$ ]. The interaction between Group and Task was trend [ $F(1,124) = 3,65$ ;  $p = .058$ ]. Group contrasts on each task showed a significant difference on the observed  $d'$  values [ $F(1,124) = 7,14$ ;  $p < .05$ ], but not on the predicted values [ $F(1,124) = 1,55$ ;  $p = .215$ ]. The observed discrimination scores for the +30 ms VOT pair are larger for the CTL group than for the DYS group (Fig. 1), suggesting that the DYS are *less* sensitive than the controls to VOT differences around +30 ms. This is unexpected because the +30 ms VOT pair corresponds to a universal boundary (Hoonhorst et al., 2009) that is allophonic in French and DYS children are expected to be *more* sensitive than controls to allophonic boundaries (Serniclaes et al., 2004).

A repeated measures ANOVA conducted on the magnitudes of the observed and predicted discrimination peaks with the Task (Observed vs. Predicted) as within-subjects factor and the Group (DYS vs. CTL) as between-subjects factor showed a significant Group effect [ $F(1,124) = 5,82$ ;  $p < .05$ ] but no significant Task x Group interaction ( $F < 1$ ). The univariate ANOVAs results showed a significant Group effect on the predicted peak [ $F(1,124) = 4,40$ ;  $p < .05$ ], and on the observed peak [ $F(1,124) = 4,06$ ;  $p < .05$ ], with DYS children showing lower discrimination peaks.

### Relationship between categorical perception, phoneme awareness and VA span in the dyslexic population

Correlation analyses were computed for the whole dyslexic population between the measures of categorical perception on which a significant Group effect was found, reading performance (accuracy and speed), and the composite measures of phoneme awareness (mean accuracy percentage on the three phoneme awareness tasks) and VA span (mean accuracy percentage on partial and global report tasks). Partial correlations are presented on Table 2 after control of chronological age.

**Table 2. Partial correlation on dyslexic population.**

	Reading Age	Reading Accuracy	Reading Speed	VA Span	Phoneme awareness	Predicted d' peak	Observed d' peak	Observed d' peak +30ms
Reading Age	1,000	<b>,551</b>	<b>-,684</b>	<b>,235</b>	<b>,230</b>	<b>,225</b>	<i>-,015</i>	<i>-,108</i>
	<i>-</i>	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<b>,067</b>	<b>,072</b>	<b>,078</b>	<i>,911</i>	<i>,402</i>
Reading accuracy	<i>,551</i>	1,000	<b>-,441</b>	<b>,220</b>	<b>,275</b>	<b>,246</b>	<i>,098</i>	<i>,049</i>
	<b>,000</b>	<i>-</i>	<b>,000</b>	<b>,086</b>	<b>,030</b>	<b>,054</b>	<i>,450</i>	<i>,706</i>
Reading speed	<b>-,684</b>	<b>-,441</b>	1,000	<b>-,312</b>	<i>-,020</i>	<i>-,139</i>	<i>,008</i>	<i>,188</i>
	<b>,000</b>	<b>,000</b>	<i>-</i>	<b>,014</b>	<i>,876</i>	<i>,283</i>	<i>,981</i>	<i>,143</i>
VA span	<b>,235</b>	<b>,220</b>	<b>-,312</b>	1,000	<i>-,060</i>	<i>-,100</i>	<i>-,153</i>	<i>-,135</i>
	<b>,067</b>	<b>,086</b>	<b>,014</b>	<i>-</i>	<i>,645</i>	<i>,439</i>	<i>,237</i>	<i>,297</i>
Phoneme awareness	<b>,230</b>	<b>,275</b>	<i>-,020</i>	<i>-,060</i>	1,000	<b>,252</b>	<i>-,003</i>	<i>,209</i>
	<b>,072</b>	<b>,030</b>	<i>,876</i>	<i>,645</i>	<i>-</i>	<b>,048</b>	<i>,981</i>	<i>,103</i>
Predicted d' peak	<b>,225</b>	<b>,246</b>	<i>-,139</i>	<i>-,100</i>	<b>,252</b>	1,000	<b>,270</b>	<b>,306</b>
	<b>,078</b>	<b>,054</b>	<i>,283</i>	<i>,439</i>	<b>,048</b>	<i>-</i>	<b>,034</b>	<b>,015</b>
Observed d' peak	<i>-,015</i>	<i>,098</i>	<i>,008</i>	<i>-,153</i>	<i>-,003</i>	<b>,270</b>	1,000	<b>,448</b>
	<i>,911</i>	<i>,450</i>	<i>,953</i>	<i>,237</i>	<i>,981</i>	<b>,034</b>	<i>-</i>	<b>,000</b>
Discrimination peak +30ms	<i>-,108</i>	<i>,049</i>	<i>,188</i>	<i>-,135</i>	<i>,209</i>	<b>,306</b>	<b>,448</b>	1,000
	<i>,402</i>	<i>,706</i>	<i>,143</i>	<i>,297</i>	<i>,103</i>	<b>,015</b>	<b>,000</b>	<i>-</i>

Partial correlations (controlling for chronological age) on dyslexic population (N = 63) between reading age, reading accuracy and reading speed, phoneme awareness, VA span and categorical perception by predicted and observed d' peak, and observed d' peak for VOT pairs centered at +30 ms. In italic: p-values; in bold: significant and trend correlations.

Results showed significant correlations between VA span and reading speed, and close-to-significant correlations between VA span and reading accuracy or reading age, while phoneme awareness correlated with reading accuracy (with a trend for reading age) but not with reading speed. Also in line with previous findings (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014; Zoubrinetzky et al., 2014), no significant correlation was found between VA span and phoneme awareness skills. Interestingly, none of the categorical perception indexes correlated with VA span abilities.

Critically, significant or close-to-significant correlations were found between the categorical perception indexes, the phoneme awareness score, and reading performance. Indeed phoneme awareness skills correlated with the predicted d' peak and close-to-significant correlations were found between phoneme awareness and the identification asymptotic width. Asymptotic width further correlated with reading age and reading accuracy and a close-to-significant correlation was found with

reading speed. Correlations between the predicted  $d'$  peak and reading accuracy, and between the predicted  $d'$  peak and reading age, were also close-to-significant.

### Mediation analysis

We used mediation analysis (MacKinnon et al., 2007) to test whether phoneme awareness mediated the effect of phoneme perception on reading accuracy. Mediation analysis allows exploring the relationship between an independent variable  $X$  and a dependent variable  $Y$  by explaining the mechanism by which  $X$  affects  $Y$ . In a mediation model, a third variable, the mediator variable  $M$  influences the effect of the independent variable  $X$  on the dependent variable  $Y$ . The effect of  $X$  on  $Y$  (path  $c$  in Fig. 2) is referred to as the total effect. The effect of  $X$  on  $Y$  through  $M$  (paths  $a$  and  $b$  in Fig. 2) is referred to as the mediated effect. The effect of  $X$  on  $Y$  in the mediated model (paths  $c'$  in Fig. 2) is referred to as the direct effect. For the mediation analysis, we selected the only variable among the categorical perception measures that significantly correlated with phoneme awareness (i.e., the predicted peak) as independent variable. The dependent variable was reading accuracy. The mediator variable for categorical perception was phoneme awareness. A classic causal-step approach was conducted, i.e. a three-step multiple regression approach (Baron et Kenny, 1986). First, variations in phoneme perception should predict variations in phoneme awareness (path  $a$  in Fig. 2). Second, variations in phoneme perception abilities should predict variations in reading accuracy (path  $c$  in Fig. 2). Third, phoneme awareness should predict variations in reading accuracy when phoneme perception skill is also included in the regression model (path  $b$  in Fig. 2). The most important step to certify a mediated effect is to show that the effect of  $X$  on  $Y$  (path  $c$  in Fig. 2) is no longer significant when the mediator variable is included in the regression model, i.e. phoneme perception skills should not predict reading accuracy when phoneme awareness is taken into account (path  $c'$  in Fig. 2). Because of the significant influence of VA span on reading accuracy, we also implemented this variable in the model (path  $d$  and  $d'$  in Fig. 2) as an independent variable. To ensure that results from the mediation analysis were not influenced by a common effect of age, age was added as a regressor to all mediation regression models. The regression models used in the causal steps were thus the following:

Step 1: *Phoneme awareness* =  $i1 + j1Age + aPredicted\ Peak + e1$

Step 2: *Reading Accuracy* =  $i2 + j2Age + cPredicted\ Peak + dVA\ span + e2$

Step 3: *Reading Accuracy* =  $i3 + j3Age + c'Predicted\ Peak + bPhoneme\ Awareness + dVA\ span + e1$

**Insert Fig. 2. Schematic diagram of mediation analysis results.** Path values are standardized regression coefficients. Significance levels are as follows: \*\*  $p < .05$ , \*  $p = .06$ , ns: non-significant.

Results showed significant influence of the predicted discrimination peak on both phoneme awareness skills and reading accuracy. The regression analysis further showed significant influence of the predicted discrimination peak and VA span and a close-to-significance influence of phoneme awareness on reading accuracy. But when phoneme awareness was included in the model, the influence of the predicted discrimination peak on reading accuracy was no longer significant, whereas the influence of VA span on reading remained significant.

## **Part 2. Categorical perception in cognitively-distinct dyslexic subgroups**

Groups of dyslexic children with a single phoneme awareness disorder (PA DYS) or a single VA span disorder (VAS DYS) were identified to provide in-depth analysis of their CP abilities. CP of the two groups of dyslexic children was further compared to performance of the controls to explore whether poor CP only characterizes the dyslexic group with a single phoneme awareness disorder.

### **Dyslexic subgroups**

The results of neuropsychological assessment were used to constitute groups of dyslexic children with single and distinct cognitive disorders. All dyslexic children whose z-scores were inferior to -1.5 on at least one of the three phonological tasks (phoneme deletion, phoneme segmentation, or acronyms) were identified as phonologically impaired. The children with z-scores below -1.5 on at least one of the report tasks (global or partial report) were considered as having a VA span disorder. Z-scores were computed for each school grade based on Bosse & Valdois (Bosse et Valdois, 2009)'s data for VA span and on the mean and standard deviation of the 63 controls of the current study for the phonological tasks. Seventeen dyslexic children were identified as having an isolated phoneme awareness deficit (27%), 20 showed an isolated VA span deficit (32%), seven children showed a double deficit (11%) and 19 showed none of these two deficits (30%).

The two groups with no or both deficits were not included in the analysis. The dyslexic children with both deficits were too few to be included. The dyslexic children belonging to the group with none of the PA or VAS disorders were not taken into account either, as we lacked evidence that they constituted a cognitively-homogeneous group. Some children of this group might have exhibited another cognitive disorder than the two taken into account in the current study. Some children might be borderline on one or both of the phoneme awareness or VA span tasks.

Comparisons between the two dyslexic groups with either a single phonological disorder (PA DYS; N=17) or a single VA span disorder (VAS DYS; N=20) were conducted through an ANCOVA with control of age (covariable) as the two dyslexic subgroups were not matched for chronological age [ $F(1;35) = 4,14; p < .05$ ]. Performances of the two dyslexic subgroups on the neuropsychological assessment tasks are presented in Table 3. As shown on Table 3, the PA DYS and VAS DYS groups had a similar reading age and a similar reading accuracy performance on both words (regular and irregular) and pseudo-words. The two groups significantly differed on reading speed, with slower reading speed in the VAS group. By construction, the PA group showed lower performance on all tasks of phoneme awareness while the VAS group performed lower on the two VA span tasks of global and partial report.

**Table 3. Performances of the two dyslexic groups on the neuropsychological assessment tasks and between-groups comparisons.**

Tasks	VA span group N=20			Phonological group N=17			Comparison VA vs. Phono	
	Mean (SD)	Range	Mean Z-score (SD)	Mean (SD)	Range	Mean Z-score (SD)	F (1,34)	p
Age (months)	120 (15.2)	94-143		130 (15.4)	105-153		covariable	
Reading age (months)	86 (5.5)	79-99		90 (4.9)	81-97		2.51	.122
Regular words score (/20)	15 (3.5)	6-20	-2.90 (2.4)	16 (2.8)	12-19	-2.48 (2.2)	<1	.724
Time (sec)	55 (18.7)*	25-101	-3.74 (1.6)	37 (15.2)	21-86	-1.86 (2.2)	6.49	.016
Irregular words score (/20)	10 (3.8)	4-18	-2.36 (1.4)	12 (4.1)	5-19	-1.77 (1.4)	<1	.768
Time (sec)	59 (19.9)	25-102	-2.89 (1.4)	44 (15.0)	21-77	-1.89 (1.9)	3.29	.079
Pseudo-words score (/20)	11 (4.1)	4-18	-2.56 (1.8)	12 (3.3)	6-17	-2.44 (1.5)	<1	.940
Time (sec)	60 (18.4)*	37-115	-2.42 (1.2)	45 (13.5)	27-79	-1.36 (1.5)	4.62	.039
VA Span								
Global report (%)	62 (7.4)***	44-73	-1.94 (0.6)	76 (8.2)	59-94	-0.62 (0.7)	23.96	<.001
Partial report (%)	64 (12.6)***	24-78	-2.24 (1.1)	82 (9.3)	66-96	-0.45 (0.8)	16.87	<.001
VAS composite score	63 (8.2)***	34-71		79 (7.9)	66-94		30.75	<.001
Phoneme Awareness								
Phoneme deletion (%)	79 (12.6)***	55-100	-0.19 (0.7)	56 (13.9)	35-80	-2.08 (1.1)	28.62	<.001
Phoneme segmentation (%)	63 (18.5)*	27-100	0.08 (0.7)	43 (28.9)	7-93	-0.71 (1.1)	6.16	.018
Acronyms (%)	81 (11.2)***	60-100	-0.05 (0.6)	52 (24.3)	0-80	-1.52 (1.3)	23.25	<.001
PA composite score	74 (10.7)***	60-94		50 (12.6)	24-78		39.95	<.001

\*\*\*  $p < .001$ , \*  $p < .05$

In the next sections, we have compared CP skills of each of the two cognitively distinct dyslexic groups with those of control children. For this purpose, each dyslexic group had to be matched with the control group on chronological age. The VAS DYS group matched the initial control group of 63 children on chronological age ( $F < 1$ ) (mean age = 10 years). As expected, they showed similar phoneme awareness skills as the controls [ $F(1;81) = 2.75$ ;  $p = .101$ ] but a lower reading age

[ $F(1;81) = 101$  ;  $p < .001$ ]. However, the PA DYS group did not match the initial control group of 63 children on chronological age. To preserve the number of participants in the PA DYS group, 15 CTL children (the younger ones) were excluded and a new CTL group of 48 children was designed whose chronological age was similar to the dyslexic group (mean age PA DYS = 10 years and 10 months; mean age CTL = 10 years and 6 months. [ $F(1;63) = 2,44$ ;  $p = .123$ ]. As expected, the PA DYS showed a lower phoneme awareness performance than the controls [ $F(1;63) = 62,20$ ;  $p < .001$ ] and a lower reading age [ $F(1;63) = 93,80$ ;  $p < .001$ ]. Performance of each dyslexic group was then compared to each control group independently for the identification and discrimination tasks.

## **Comparison of the PA dyslexic subgroup and the control group on categorical perception skills**

Fig. 3 shows the discrimination  $d'$  scores (observed and predicted from the identification data) for the age-matched PA DYS and CTL groups. A repeated measures ANOVA with Task (Observed vs. Predicted) and Pair (5 pairs centered on -60, -30, 0, +30, +60 ms VOT) as within-participant variables, and Group (PA DYS vs. CTL) as between-participants variable, showed a significant Group effect [ $F(1,63) = 6,14$ ;  $p < .05$ ]. The Group x Pair interaction was not significant [ $F(4,252) = 2,39$ ;  $p = .102$ ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .037$ ], as the Group x Task interaction [ $F < 1$ ]. However, there was a nearly significant Group x Pair x Task interaction [ $F(4,252) = 2,79$ ;  $p = .051$ ; Greenhouse-Geisser corrected ;  $\eta^2 = .042$ ], indicating that the Group x Pair interaction depended on the task.

### **Insert Fig. 3. Discrimination curves predicted and observed for the PA Dyslexic subgroup and the Control group.**

When the Group effect was tested with repeated measures ANOVAs separately for each pair, there were no significant differences for the -60 ms, -30 ms, 0 ms and +60 ms VOT pairs [all  $F < 1$  except for 0 ms VOT pair:  $F(1,63) = 1,14$ ;  $p = .290$ ]. All interactions between Group and Task were not significant for these four VOT pairs [all  $F < 1$  except for 0 ms VOT pair:  $F(1,63) = 1,32$ ;  $p = .254$ ]. A significant Group effect was only found for the +30 ms VOT pair [ $F(1,63) = 8,02$ ;  $p < .01$ ] and Group x Task interaction for this VOT value was close to significant [ $F(1,63) = 3,86$ ;  $p = .054$ ]. Group contrasts on each task showed no significant differences on the predicted  $d'$  values for those +30ms VOT pairs [ $F(1,63) = 1,45$ ;  $p = .233$ ] but a significant difference was found on the observed  $d'$  values [ $F(1,63) = 7,63$ ;  $p < .01$ ]. As for the whole dyslexic group, the observed and predicted discrimination scores for the +30 ms VOT pair are larger for the CTL group than for the PA DYS group (Fig. 3), suggesting that the PA DYS are *less* sensitive than the controls to VOT differences around +30 ms.

A repeated measures ANOVA on the magnitudes of the discrimination peaks with the Task (Observed vs. Predicted) as within-subjects factor and the Group (DYS vs. CTL) as between-subjects factor showed a Group effect [ $F(1,63) = 5,39$ ;  $p < .05$ ]. Group x Task interaction was not significant [ $F(1,63) = 1,14$ ;  $p = .289$ ; Greenhouse-Geisser corrected;  $\eta^2 = .018$ ]. However, univariate results showed a significant difference between groups on the predicted peak [ $F(1,63) = 5,72$ ;  $p < .05$ ], with a lower predicted peak for PA DYS, but not on the observed peak [ $F(1,63) = 1,85$ ;  $p = .179$ ].

Results of the comparison between the PA DYS and control group were fairly close to those previously reported for the whole dyslexic group. The PA group exhibited weaker predicted

discrimination skills and a difference in allophonic sensitivity as compared to controls, but quite unexpectedly the degree of allophonic sensitivity was *lesser* for the dyslexics than for the controls.

## **Comparison of the VAS dyslexic subgroup and control group on categorical perception skills**

Fig. 4 shows the discrimination observed and predicted  $d'$  scores for the age-matched VAS DYS and CTL groups. As previously, a repeated measures ANOVA was conducted with Task (Observed vs. Predicted) and Pair (5 pairs centered on -60, -30, 0, +30, +60 ms VOT) as within-participant variables, and Group (VAS DYS vs. CTL) as between-participants variable. The Group effect was not significant [ $F(1,81) = 1,35$ ;  $p = .249$ ]. The Group x Pair, Task x Group, and Task x Pair x Group interactions were not significant (all  $F < 1$ ), indicating that the Observed and Predicted discrimination curves did not differ between Groups. When a repeated measure ANOVA was conducted separately for each pair, the Group effect and Group x Pair interaction were not significant, for any pairs, with all  $F < 1$  excepted for Group effect on -30 ms VOT [ $F(1,81) = 2.06$ ,  $p = .155$ ], and on +30 ms VOT [ $F(1,81) = 2.89$ ,  $p = .093$ ] but without trend on univariate results for this +30 ms VOT on observed scores [ $F(1,81) = 1,65$ ,  $p = .202$ ] and predicted scores [ $F(1,81) = 1,96$ ,  $p = .166$ ].

**Insert Fig. 4. Predicted and observed discrimination curves for the VAS DYS and Control groups.**

Similar results were obtained with a repeated measures ANOVA conducted on the magnitudes of the observed and predicted discrimination peaks (dependent variable), with the Task (Observed vs. Predicted) as within-subjects factor and the Group (VAS DYS vs. CTL) as between-subjects factor [no significant Group effect:  $F(1,81) = 1.06$ ,  $p = .307$ ; no significant Task x Group interaction:  $F < 1$ ]. In summary, the VAS DYS group did not exhibit a CP deficit.

## **Comparison of the VAS and PA dyslexic subgroups on categorical perception skills**

In this last section, we compared directly the PA DYS group and the VAS DYS group on categorical perception tasks. The PA DYS group did not match the VAS DYS group on chronological age. Three VA children (the younger ones) were excluded and a new VA group of 17 children was designed whose chronological and reading ages were similar to those of the PA dyslexic group [ $F(1,32) = 1.67$ ,  $p = .206$  and  $F(1,32) = 2.92$ ,  $p = .097$ , respectively].

A repeated measures ANOVA was conducted with Task (Observed vs. Predicted) and Pair (5 pairs centered on -60, -30, 0, +30, +60 ms VOT) as within-participant variables, and Group (VAS DYS vs. PA DYS) as between-participants variable. The Group effect was not significant [ $F(1,32) = 1,93$ ;  $p = .174$ ]. The Group x Pair, and Task x Pair x Group interactions were also not significant [ $F < 1$  and  $F(4,128) = 1.10$ ,  $p = .341$ ;  $\eta^2 = .033$ , respectively], indicating that the Observed and Predicted discrimination curves did not differ between Groups.

Similar results were obtained with a repeated measures ANOVA conducted on the magnitudes of the observed and predicted discrimination peaks (dependent variable), with the Task (Observed vs. Predicted) as within-subjects factor and the Group (VAS DYS vs. PA DYS) as between-subjects

factor [no significant Group effect:  $F(1,32) = 1.80, p = .189$ ; no significant Task x Group interaction :  $F < 1$ ]. Fig. 5 shows the discrimination observed and predicted  $d'$  scores for the age-matched VAS DYS and PA and subgroups.

**Insert Fig. 5. Predicted and observed discrimination curves for the VAS DYS and PA DYS groups.**

## Discussion

We first investigated how CP relates to reading performance in dyslexia and more specifically explored whether the CP-reading relationship was modulated by phoneme awareness and VA span performances. We expected atypical CP to characterize the group of DYS children with poor phoneme awareness whereas DYS children who had good phonological skills but a VA span disorder were expected to have preserved CP skills.

### Relationship between the CP deficit and dyslexia

Investigation of the whole DYS sample revealed a clear-cut difference in speech perception between the DYS and CTL children. As expected, the DYS exhibited a weaker discrimination peak evidencing a weaker discrimination of acoustic differences (Noordenbos et Serniclaes, 2015). The DYS did not exhibit an enhanced sensitivity around -30 ms VOT and they even exhibited a *lower* sensitivity around +30 ms VOT, although these two VOT values correspond to universal boundaries (Hoonhorst et al., 2009). This was unexpected because previous studies showed that DYS children are generally *more* sensitive to universal boundaries in accordance with the allophonic theory of dyslexia (see Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2015, for a review). The paradoxically lower allophonic sensitivity in children with dyslexia that was found here is probably due to an inhibition of allophonic contrasts. Allophonic sensitivity disappears with school experience in DYS children (Noordenbos et al., 2012a) but it remains present at the neural level for these children and also for DYS adults (Noordenbos et al., 2013). This suggests an inhibition of the neural sensitivity to the allophonic boundaries in the behavioral responses of the DYS. Such inhibition might account for the absence of behavioral difference between DYS and CTL around -30 ms VOT and for the paradoxically lower discrimination of the DYS around +30 ms VOT. Some sensitivity to the +30 ms VOT boundary is usually found in French listeners (Hoonhorst et al., 2011; Medina et al., 2010) and it is due to the asymmetrical contribution of negative and positive VOT to voicing perception (Serniclaes, 1987). The fact that children with dyslexia do not present at least the same sensitivity to the positive VOT boundary as do normal reading controls is probably due to inhibitory processes. Close to significant correlations were found between reading skills and predicted discrimination peak, but not on other CP measures. But a significant correlation was found between this measure and phoneme awareness skills, which are correlated with reading skills.

### Relationships between CP, phoneme awareness and VA span performances

Mediation analyses were used to better grasp the links between CP, PA and reading in the dyslexic population. Results showed that the effect of CP on reading accuracy was mediated by its



relation with phoneme awareness. This replicates previous findings on typical readers (Manis et al., 1996) and supports the hypothesis that atypical CP alters the building of phonemic representations, which in turn lead to a deficit in the manipulation of phonemic units that itself interferes with the setup of grapheme-phoneme mappings, thus preventing normal reading acquisition (Noordenbos et Serniclaes, 2015; Serniclaes, 2011; Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2015).

The current study for the first time investigated potential links between VA span and CP in developmental dyslexia. No significant correlation was found between these two skills. As previously reported in dyslexic (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014; Zoubrinetzky et al., 2014) and typically readers (Bosse et Valdois, 2009), VA span correlated with reading skills but did not relate to phoneme awareness. These results show a clear relationship between categorical perception, phoneme awareness and reading but no relationship between VA span and CP.

The fact that phoneme awareness mediates the relationship between CP and reading whereas VA span relates to reading but not to CP could explain some discrepant results reported in the literature (Ramus et Ahissar, 2012; Vandermosten et al., 2011; Ziegler et al., 2009). Some of these discrepancies could then be due to the heterogeneity of the dyslexic population. However, only a few studies have taken this heterogeneity into account, despite more and more evidence that different cognitive disorders characterize different subset of dyslexic children.

Indeed, it has been shown that the VA span and phonological disorders typically dissociate in the dyslexic population (Bosse et al., 2007; Germano et al., 2014; Valdois, Bosse, et al., 2003; Zoubrinetzky et al., 2014) (see Peyrin et al., 2012, for a neurobiological evidence) and that variability in VA span and PA skills independently influences reading performance in typical readers (Bosse et Valdois, 2009; Lobier, Zoubrinetzky, et al., 2012; van den Boer et al., 2015). Recent findings further showed that poor VA span in developmental dyslexia is not just a consequence of the poor reading experience of DYS children (Lobier et Valdois, 2015). To the contrary, there is now strong evidence that VA span causally relates to reading acquisition. Results from a recent training case study of developmental dyslexia showed that reading performance improved following an intensive and specific VA span training (Valdois, Peyrin, et al., 2014). A longitudinal group study showing that typical children with higher VA span in kindergarten became faster readers one year later is in progress. So, if the VA span disorder and the phonological deficit are two independent causes of developmental dyslexia, and if atypical CP specifically relates to poor phoneme awareness skills, then we should predict a CP deficit in phonologically-impaired dyslexic children but preserved CP in the VA span impaired DYS children who exhibit preserved phonological skills.

To explore this hypothesis, we zeroed-in on two groups of DYS children --who showed either an isolated phoneme awareness deficit (PA DYS) or an isolated VA span deficit (VAS DYS) whose CP performance was compared to that of chronological age matched control children. Results showed that the PA DYS exhibited a weaker discrimination of acoustic differences and a *lower* sensitivity around +30 ms VOT. The CP performances of the PA DYS subset were thus similar to the pattern previously reported for the whole dyslexic population. Conversely, the CP performances of the VAS DYS subset were very close to those of the CTL group; no group effect was found in these analyzes. Nevertheless, comparisons between VAS DYS and PA DYS have failed to show significant differences in categorical perception between these groups.

Although a significant CP deficit was only found in the PA DYS subgroup, the absence of significant difference in CP performance between the PA and VAS DYS subgroups is worth mentioning. The VAS DYS subgroup could present a relatively mild form of CP deficit whose effect on reading is not mediated by phoneme awareness. But a greater variability in CP performances for the two dyslexic groups could also explain this inconsistency between analyzes.

## **Conclusion**

This study confirms that phoneme awareness and CP are related, as CP skills mediate phoneme awareness skills which in turn explain reading accuracy. VA span also relates to reading but not to CP, or phoneme awareness. The CP deficit was stronger for dyslexic children who only exhibited a phoneme awareness deficit compared to those who only exhibited a VA span deficit. CP could be at the origin of the phoneme awareness deficit in dyslexia, independently of the VA span deficit. Remediation studies with programs targeting these specific cognitive deficits should play a major role in tackling this issue.

## **Acknowledgements**

Thanks to Estelle Gillet-Perret, Frédérique Bielle, Aurélia Risso, Delphine Lassus-Sangosse, Laurence Casteran and Ilona Kuipers from the “Centre Référent des Troubles du Langage et des Apprentissages” (CHU de Grenoble, France) for their help in the participants’ recruitment. Thanks to Nadine Lions, Sandrine Meyer, Laura Dupuy, Myriam Servais, Béatrice Caniffi, Dominique Olivier, Isabelle Hue, Isabelle Doridor, Stéphanie Duigou, Patricia Gabriel Layour, Delphine Teissier, and Delphine Noir for their help in the participants’ assessment.

# CURRIVULUM VITAE

---

**Rachel ZOUBRINETZKY**

Email: rachel.zoubri@gmail.com

Web: [http://webcom.upmf-grenoble.fr/LPNC/membre\\_rachel\\_zoubrinetzky](http://webcom.upmf-grenoble.fr/LPNC/membre_rachel_zoubrinetzky)

## ***Formation universitaire***

**2009-2010** : Master 2 Recherche, Neurocognition et Cognition sociale : modélisation et évaluation, Université Pierre Mendès France.

**2008** : Master 2 Professionnel, spécialité Neuropsychologie, Université de Savoie.

**2007** : Master 1 de Psychologie, parcours " Modélisation cognitive, neurocognition et cognition sociale ", Université Pierre Mendès France.

**2003-2006** : Licence de psychologie, Université Pierre Mendès France

## ***Publications scientifiques***

Zoubrinetzky, R., Collet, G., Serniclaes, W., Nguyen-Morel, M.A., et Valdois, S. (soumis). Relationships between categorical perception of phonemes, phoneme awareness, and visual attention span in developmental dyslexia (PONE-D-15-39283)

Zoubrinetzky, R., Bielle, F. & Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes : Heterogeneity of mixed reading profiles. Plos One, 9, 6, e99337.

Mosca, C., Zoubrinetzky, R., Baciù, M., Aguilar, L., Minotti, L., Kahane, P., Perrone-Bertolotti, M. (2014) Rehabilitation of verbal memory by means of preserved non-verbal memory abilities after epileptic surgery. Epilepsy & Behavior Case Reports, 2: 167–173.

Lobier, M., Zoubrinetzky, R. & Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in developmental dyslexia is visual and not verbal. Cortex, 48(6):768-73.

Perrone-Bertolotti, M., Zoubrinetzky, R., Yvert, G., Le Bas, JF. & Baciù, M. (2012) Functional MRI and neuropsychological evidence for language plasticity, before and after surgery in a patient with left temporal lobe epilepsy. Epilepsy & Behavior, 23(1):81-6

## ***Communication orale***

Towards a multifactorial approach for investigating the cause of developmental dyslexia: A focus on visual attention. Symposium pour la British Dyslexia Association 9th International Conference. Participants : Sylviane Valdois, Marie Lallier, Delphine Lasseur-Sangosse, Rachel Zoubrinetzky. Guildford, Angleterre, du 27 au 29 mars 2014.

Etre Dys, quelle réponse au jour le jour ? Intervention orale pour la journée de Dys, Forum public au Conseil Général de Gap, France, 9 octobre 2013.

Zoubrinetzky, R. Le trouble de l'empan visuo-attentionnel dans la dyslexie développementale est visuel et non verbal. Journée nationale des Centres Référents. XXIIème congrès de Neurologie Pédiatrique. Marseille: 30 janvier 2012.

### ***Posters***

Zoubrinetzky, R., Serniclaes, W., Collet, G. & Valdois, S., (2014). Computer-Assisted Remediation of Cognitive Disorders in Developmental Dyslexia. Preliminary results. Twenty-First Annual Meeting of the Society for the Scientific Study of Reading, (Santa Fe), USA, July 16-19th 2014.

Zoubrinetzky, R., & Valdois, S., (2014). Rééducations Cognitives Ciblées des Dyslexies, Résultats préliminaires. 2ème journée scientifique de la Société Francophone des Troubles du langage et des Apprentissages, (Paris), France, 7 avril 2014.

Zoubrinetzky, R., & Valdois, S., (2013). New insights on developmental dyslexia subtypes: Heterogeneity of mixed reading profiles. International workshop on reading and developmental dyslexia, (San Sebastian), Spain, May 30-31st 2013.

Zoubrinetzky, R., & Valdois, S., (2013). L'hétérogénéité cognitive de la dyslexie mixte, Nouvelles perspectives sur les sous-types de dyslexies. 1ère journée scientifique de la Société Francophone des Troubles du langage et des Apprentissages, (Marseille), France, 18 mai 2013.

Zoubrinetzky, R., & Valdois, S., (2013). New insights on developmental dyslexia subtypes: Heterogeneity of mixed reading profiles. Third Oxford-Kobe symposium, (Oxford), United Kingdom, April 11-13th 2013.

Zoubrinetzky, R., Perrone-Bertolotti, M., Yvert, G., Pichat, C., LeBas, JF., Baciù, M. (2011). Case report: neuropsychology and fMRI evidence for cerebral plasticity for language in left temporal focal epilepsy before and after surgery. The 18th Annual Cognitive Neuroscience Meeting, (San Francisco) USA, April 2-5th 2011.

Lobier M., Zoubrinetzky R., and Valdois S. (2009) Visual categorization in multiple element arrays: extension of the visual attention span disorder to non-alphanumeric stimuli. Developmental dyslexia: searching the links between neurocognitive functions, (Rome) Italy, October 9-10th 2009.

### ***Encadrement des travaux de recherche***

Sandrine Meyer - Mémoire de Master 2 Neuropsychologie (Université de Savoie)  
« Dyslexie phonologique et empan visuo-attentionnel : une étude de cas » - sous la direction de Sylviane Valdois - juin 2013.

Laura Dupuy - Mémoire de Master 2 Neuropsychologie (Université de Savoie)  
« Validation d'une méthode de rééducation du déficit de l'empan visuo-attentionnel dans la dyslexie : MAEVA » - sous la direction de Sylviane Valdois - juin 2014.

Nadine Lions - Mémoire présenté pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste  
- « Vers un logiciel de rééducation des troubles de l'empan-visuo attentionnel dans les dyslexies développementales » - sous la direction de Sylviane Valdois et Karine Eskinazi - juin 2014

### ***Enseignements***

- Depuis 2010, Vacations d'enseignements à l'Université de Savoie :
  - Développement de la Lecture et Dyslexie Développementale, Master 1 Psychologie
  - Neuropsychologie de l'enfant : Pratique de tests, Master 2 Neuropsychologie
  - Neuropsychologie de l'enfant : Etude de cas, Master 2 Neuropsychologie
  - Langage Ecrit et Dyslexie Développementale, Master 2 Psychologie du développement
  - Remplacement 2012/2013 et 2014/2015 : Evaluation des fonctions cognitives chez l'enfant, Master 1 Psychologie
- 2014/2015 Vacation d'enseignement à l'ESPE : Processus d'apprentissage
- Mars 2015 : Formatrice pour le Syndicat des orthophonistes de l'Isère (SODI) sur le thème : « Rééducation des dyslexies : les apports récents de la recherche. »

### ***Activités cliniques***

Psychologue spécialisée en Neuropsychologie

Lieu : Centre Référent des Troubles du Langage et des Apprentissages, Hôpital Couple Enfant  
CHU de Grenoble CS10217 38043 Grenoble Cedex 9 France

Activité :

- Évaluation neuropsychologique des troubles développementaux et des apprentissages scolaires ; à savoir :

- Troubles spécifiques du langage écrit (Dyslexie-Dysorthographe)
- Troubles des fonctions visuo-spatiales et praxiques (Dyspraxie)
- Troubles des habilités mathématiques (Dyscalculie)
- Troubles de l'attention et des fonctions exécutives (type Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité)
- Evaluation des fonctions mnésiques
- Evaluation de l'efficience intellectuelle

- Elaboration de recommandations pédagogiques, proposition d'aménagements pour le quotidien ou la scolarité, et orientation des prises en charges
- Participation à des projets de recherches au sein du CRTLA
- Organisation de Journées de Formations, en partenariat avec l'Association Coridys
- Formation stagiaire Master Psychologie

#### ***Autres responsabilités***

- Membre du Conseil d'Administration de l'Association Coridys Isère (Coordination des intervenants autour des troubles Dys).
- Membre du Conseil d'Orientation Stratégique de La Société Fédérative de Recherche « SFR Santé et Société », Université Pierre Mendès France.

*Représentante de l'Association Coridys Isère.*

*Représentante suppléante du Centre Référent des Troubles du Langage et des Apprentissages du CHU de Grenoble.*

## Résumé

---

L'objectif de ce travail de thèse était de mieux caractériser l'hétérogénéité de la dyslexie développementale et d'étudier les implications de cette hétérogénéité pour la remédiation de ce trouble d'acquisition de la lecture. L'Etude I met en évidence une hétérogénéité cognitive au sein d'une population d'enfants dyslexiques, qui pourtant ont un profil de lecture homogène de dyslexie mixte. Ce profil est classiquement interprété comme relevant d'un double déficit. Or nous montrons que la plupart de ces enfants présente en fait un déficit cognitif unique, soit phonologique, soit de l'empan visuo-attentionnel (VA). De plus, ces deux sous-groupes à déficit unique ont des profils de lecture très similaires lorsqu'ils sont directement comparés. Ces données suggèrent donc que la classification en sous-types basée sur les profils de lecture n'est pas pertinente pour identifier des sous-groupes cognitivement homogènes dans la population dyslexique. Dans l'Etude II, nous décrivons un cas de dyslexie avec trouble sélectif de la lecture des pseudo-mots. Ce profil est classiquement interprété comme reflétant un déficit phonologique. Or, le cas que nous décrivons présente un trouble de l'empan VA en l'absence de toute atteinte verbale ou phonologique. Cette étude confirme une relation entre trouble cognitif et profil de lecture complexe et non univoque. L'Etude III interroge plus spécifiquement les liens entre troubles de l'empan VA, de la conscience phonémique et de la perception catégorielle des phonèmes. Nous montrons que la conscience phonémique joue un rôle de médiation entre perception catégorielle et lecture, et que cette relation est indépendante des capacités d'empan VA. Ces données nous ont ainsi permis de mieux caractériser l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique. Dans les deux dernières études, nous nous sommes interrogés sur la prise en compte de cette hétérogénéité cognitive dans la remédiation de la dyslexie. L'Etude IV est une étude d'entraînement cognitif. Deux types d'entraînements ont été successivement proposés à des enfants dyslexiques : un entraînement à la perception catégorielle et un entraînement de l'empan VA. Nous avons étudié les effets de chacun de ces entraînements sur des sous-groupes qui présentent un trouble cognitif unique, soit phonologique, soit de l'empan VA. Les résultats montrent l'intérêt de proposer une remédiation ciblée sur le déficit cognitif sous-jacent. Cette étude a également des enjeux théoriques majeurs, puisqu'elle nous a permis d'interroger les relations de causalité entre ces déficits cognitifs sous-jacents et la dyslexie. Enfin, dans l'Etude V la méthode d'adaptation visuelle par saillance syllabique étudiée n'améliore pas la lecture des enfants dyslexiques. L'ensemble de ces études confirment l'hétérogénéité cognitive de la population dyslexique et l'importance de prendre en compte cette hétérogénéité dans les méthodes de remédiation qui peuvent être proposées.

## Abstract

---

The first aim of this doctoral thesis was to better understand the heterogeneity of developmental dyslexia focusing on the relationship between reading profiles and cognitive disorders. Our second purpose was to question the implications of cognitive heterogeneity for the remediation of developmental dyslexia. Study I revealed cognitive heterogeneity despite the homogeneous reading profile of the recruited population. Most children with a mixed reading profile typically interpreted as resulting from a double deficit, actually suffered from a single cognitive disorder, either a phoneme awareness or a visual attention (VA) span disorder. In addition, direct comparisons of these two cognitively distinct subgroups revealed very similar reading profiles. These findings suggest that the classification based on reading profiles is irrelevant to identify cognitively homogeneous subgroups in dyslexia. In Study II, we report the case study of a child with a selective pseudo-word reading disorder, a profile typically attributed to a phonological deficit. Contrary to this prediction however, we show that this dyslexic child shows preserved verbal and phonological skills but a VA span deficit. This finding again suggests the absence of one-to-one relationships between reading profiles and cognitive disorders. Study III more specifically explored the links between three types of cognitive deficits, namely the VA span disorder, the phoneme awareness deficit and the categorical perception disorder. Results show that phoneme awareness mediates the relationship between categorical perception and reading: poor categorical perception causes poor phoneme awareness, which in turn impacts reading performance. Poor VA span also impacts reading performance but independently of phoneme awareness and categorical perception. These findings are further evidence for the independent contribution of phonology and VA span to the reading outcome of dyslexic children. In Study IV, we assessed the longitudinal effects of two cognitive trainings. Dyslexic participants with a single phonological or a single VA span disorder were administered successively either a categorical perception then a VA span intervention, or the two trainings in the reverse order. At the clinical level, results show that intervention is more efficient when targeted on the underlying cognitive deficit. At the theoretical level, they question causal relationship between these cognitive deficit and dyslexia. Last, Study V explored the compensation power of a visual adaptation method using syllabic saliency. Results failed to show any positive effect of this method on reading performance. The overall findings support the cognitive heterogeneity of the dyslexic population and show that taking this issue into account is crucial to improve the effects of intervention programs.

