



HAL
open science

Elaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie développementale

Nolwenn Troles

► **To cite this version:**

Nolwenn Troles. Elaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie développementale. Psychologie. Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne, 2010. Français. NNT : 2010REN20064 . tel-00795123

HAL Id: tel-00795123

<https://theses.hal.science/tel-00795123>

Submitted on 27 Feb 2013

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.



THESE / Université Rennes 2
*sous le sceau de l'Université européenne de
Bretagne*
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE RENNES 2
Mention : Psychologie
Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

présentée par
Nolwenn Trolès
Préparée au centre de Recherche en
Psychologie, Cognition et
Communication (CRPCC) – EA 1285

**ÉLABORATION D'UN
OUTIL D'AIDE AU
DIAGNOSTIC DE LA
DYSLEXIE
DÉVELOPPEMENTALE**

Thèse soutenue le 15 Décembre 2010

devant le jury composé de :

Sylvianne Valdois
Université Pierre Mendès France (Grenoble), CNRS UMR
5105 / *présidente*

Jean Ecalte
Université Lumière Lyon 2, EA 3082 / *rapporteur*

Marie-Noëlle Metz-Lutz
Université de Strasbourg, CNRS UMR 7004 / *rapporteur*

Gérard Faucon
Université de Rennes 1, INSERM UMR 642 / *examineur*

Jean-Emile Gombert
Université Rennes 2, Directeur de thèse

Cinq années de thèse. Cinq années au cours desquelles ce travail a accompagné ma vie, rythmé mon quotidien. La liste des personnes à remercier est longue, bien sûr. Du fond du cœur, je suis reconnaissante envers celles et ceux qui m'ont permis de mener ce projet jusqu'au bout. Dans les conseils, dans les échanges qui ont nourri nos conversations, dans les encouragements précieux, j'ai puisé l'énergie et les forces nécessaires pour achever cette thèse... Il me semble évident que l'on se construit dans nos rencontres. Elles furent nombreuses et chacune d'elles m'apportent encore chaque jour.

En tout premier lieu, je tiens à remercier profondément, le Pr Jean-Emile Gombert, mon directeur de thèse, pour sa disponibilité, les qualités humaines dont il fait preuve à chaque rencontre, la simplicité dans nos échanges. Et pourtant c'est un homme prestigieux, qui force l'admiration et le respect. J'ai vraiment conscience de la chance d'avoir pu mener ce travail avec lui. Ses mots toujours justes et ses conseils adéquats sont pour beaucoup dans le fait d'avoir réussi à voir le bout (enfin) de cette recherche. A nos prochaines rencontres en cortège avenue Janvier...

Je souhaite également remercier les membres du jury d'avoir accepté de participer à l'étape ultime de ce travail : la soutenance. Je tiens à remercier tout particulièrement Sylvianne Valdois qui m'a, dès ma maîtrise, mise sur le chemin de la dyslexie, m'a communiqué sa passion et m'a fait découvrir le monde de la recherche.

Un mot aussi pour les partenaires de l'Université Rennes 1, Gérard Faucon, Régine Le Bouquin-Jeannès, Guylaine Le Jan notamment pour les épreuves auditives et les analyses statistiques ... Et parce que la recherche ne peut pas survivre sans argent, je tiens à remercier Pascal Scalart pour la gestion des dossiers de financements.

Je tiens également à adresser mes remerciements aux techniciens de Dixid pour avoir répondu à nos exigences et avoir été très à l'écoute à nos demandes. Bonne route, désormais à Adeline et Anthony avec leur société Ezooty et que de nombreux logiciel venant à l'aide des personnes en situations de handicap voient le jour.

L'équipe du Centre de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelle de Trestel tient une place toute particulière dans ce travail, comme dans mon parcours. Elle a été, à la fois, investie pleinement dans le travail de recherche où médecins, orthophonistes, ergothérapeutes, psychomotricienne, neuropsychologue, secrétaire... ont constitué l'échantillon des enfants dyslexiques. Mais toutes ces personnes ont également été pour moi des collègues, avec qui j'ai découvert, en tant que neuropsychologue et praticienne, le monde des enfants souffrant de troubles des apprentissages. Merci à vous, pour le travail que vous menez avec eux, l'énergie que vous dépensez sans compter et surtout votre bonne humeur. L'air iodé marin du Trégor y est probablement pour quelque chose. Je garde un souvenir très chaleureux de cette période de ma vie...

Cela va de soi, mais je remercie, pleinement, les enfants qui ont donné de leur temps et ont fait preuve de grande patience. Merci également aux écoles, aux instituteurs, aux médecins scolaires de nous avoir permis de faire nos évaluations dans leurs établissements (les écoles de Saint-Donan, de Noyal, de Trémuson et de Saint-Brieuc), de s'être adaptés au quotidien et d'avoir montré autant d'intérêt à cette recherche qui porte sur un trouble des apprentissages, auquel ils sont confrontés chaque jour dans les classes.

Je pense aussi fortement à tous mes collègues de travail du Centre de Rééducation Fonctionnelle de Rennes-Beaulieu, de l'IME le Triskel de Bruz et du CRG de Chantepie, pour leurs attentions délicates, leurs motivations incessantes, leurs soutiens sans relâche... Merci à vous tous : Mélanie, Delphine, Marie-Christine, Gaëlle, Aurélie, Jean-Pierre, Alain et tous les autres qui m'ont supportée avec mes joies, mes peines, mes incertitudes.

Comment oublier mes patients ? A chaque rencontre se joue une nouvelle bataille, une lutte pour renouer avec les plaisirs de la vie, effacer les blessures des hasards. Devant autant de force de caractère, de motivations, d'énergies à ne jamais lâcher, au fil du temps, on se construit ensemble. Ces rencontres sont tellement intenses. Chaque fois. Merci à eux...

Je tiens également à remercier tous les membres de l'équipe du CRPCC (doctorants, professeurs, personnel administratif...), notamment Nathalie, Agnès, Virginie, Cyril, Julie pour leurs encouragements et leurs conseils avisés. Emmanuelle, nos discussions, nos réflexions, devant nos assiettes de saumon fumé ont été d'une aide précieuse.

Je veux également adresser un petit clin d'œil à mes collègues neuropsych. Pour nos rencontres lors des réunions rennaises, pour les échanges toujours passionnants et passionnés autour d'études de cas, de tests, de nouvelles méthodes de rééducation. Merci à vous Vanessa, Murielle, Marie-Gabrielle, Gaëlle, Marina, Gwenaëlle, Rose-Mary, Iris, Florian, Emilie... Toutes ces réflexions m'apportent tellement, en tant que praticienne et chercheuse...

Ma famille a aussi occupé une place incontournable dans cette expérience. En tout premier lieu, je remercie mes parents Nicole et Yvon pour leur soutien sans faille, pour toutes les petites attentions et surtout pour avoir cru en moi. Merci d'avoir respecté et soutenu mes choix, toujours. Johann, mon frère, pour l'ensemble de ses conseils, pour avoir été un exemple et m'avoir montré le chemin de la recherche. Et puis, Emilie pour ton optimisme légendaire, nos thés de fin d'après-midi, notre complicité depuis si longtemps et tous ces petits riens qui font tant... Au-delà de nos discussions si savoureuses, merci aussi à Gabrielle et à Alain pour vos relectures et votre chasse aux fautes d'orthographe, sans relâche.

Et parce que sans eux, la vie serait bien fade. Merci à vous tous et toutes, Aline, Delphine, Marie, Idriss, Imane, Aline, Zick, Sophie, JB, Charlotte, Nadine, Olive, Xavier, Anne, Gaby, Karen, Anne-Gaëlle, Seb, Marie, Yoann, Gwen, Marine, Julien, Saskia... Pour les balades à la mer ou à la campagne. Pour les échanges et les débats constructifs, les AG légendaires du collectif, les luttes diverses mais collectives à la recherche du consensus. On se retrouve dans le refus de l'injustice... Mais je pense aussi aux parties de pêches aux palourdes qu'il faut bien évidemment déguster ensuite, les thés, les cafés/clopes et les dance-floors... Les mille et une choses qui m'ont permis au quotidien de me sentir entourée et soutenue. Je pense particulièrement, à certaines d'entre elles : parce que finir une thèse, c'est possible, allez les filles !!!

Et enfin, pour toi, François, un si grand merci. Il semble évident que sans toi ce travail n'aurait jamais vu le jour. Merci pour tes lectures, tes re-lectures et tes re-re-lectures... Merci tout simplement d'avoir été si attentionné, d'avoir partagé avec moi tous les épisodes qui ont rythmé notre quotidien, les joies mais aussi les doutes, les angoisses... Merci pour tous les instants de bonheur qui me ramènent aux choses essentielles de la vie, merci pour les petits riens du quotidien qui font tout. Désormais les rôles vont s'inverser... A moi les tâches quotidiennes (enfin pas toutes...), à moi d'être souple, disponible, présente, encourageante, énergisante, motivante, compatissante... comme tu l'as été. Et bien plus encore...

Sommaire

INTRODUCTION.....	12
I. Définition de la dyslexie	13
II. Diagnostic de la dyslexie : quels outils ?	17
III. Les perspectives du projet Ready	20
1. Objectifs	20
2. Organisation	21
IV. Des hypothèses explicatives de la dyslexie au logiciel Alex	22
MÉCANISMES ET APPRENTISSAGE DE LA LECTURE	26
I. Qu'est-ce que lire ?	27
II. Le lecteur expert.....	28
III. L'apprenti lecteur	28
IV. Les différents modèles d'apprentissage de la lecture.....	30
1. Le modèle de la double voie de Coltheart	31
2. Le modèle de la double voie en cascade	32
3. Le modèle de Frith	33
4. Les modèles de lecture par analogies.....	35
5. Un modèle connexionniste : le modèle multi-traces.....	37
V. Les apports de l'anatomie cérébrale de la lecture	40
AUX ORIGINES DE LA DYSLEXIE : hypothèses et théories explicatives	44
I. Compétences lexiques	47
1. Les capacités de lecture.....	47
2. Les capacités en orthographe	49
II. Compétences co-morbides	52
1. La mémoire à court terme	52
2. L'attention.....	56
III. Théories explicatives de la dyslexie.....	57
1. L'hypothèse phonologique.....	58
2. L'hypothèse du double déficit : la dénomination rapide	68
3. Les traitements morphologiques dans l'apprentissage de la lecture	76
4. L'hypothèse du trouble visuo-attentionnel	83
5. L'hypothèse cérébelleuse.....	96
6. L'hypothèse d'un déficit du traitement auditif	100
7. L'hypothèse magnocellulaire	106

Sommaire

DU PROTOCOLE AU LOGICIEL :

les étapes de l'élaboration d'un outil d'aide au diagnostic.....	115
I. Participants	117
1. L'échantillon des dyslexiques	117
2. L'échantillon de la population tout-venant	118
II. Protocole : description des épreuves	119
1. Les épreuves de lecture	120
2. Les épreuves de mémoire.....	121
3. L'épreuve d'attention.....	123
4. Les épreuves métaphonologiques	123
5. Les épreuves d'automatismes phonologiques.....	125
6. Les épreuves de morphologie	126
7. Les épreuves de motricité	127
8. Les épreuves visuo-attentionnelles	127
9. L'épreuve d'orthographe.....	129
10. Les épreuves auditives	130
III. Analyses des résultats.....	132
1. Les variables d'étude pour l'analyse statistique	132
2. Analyses des compétences lexiques.....	134
3. Analyses des compétences co-morbides	140
4. Analyses des capacités phonologiques	141
5. Les épreuves de dénomination rapide : analyses spécifiques	143
6. L'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel : analyses spécifiques	149
7. Les capacités morphologiques : analyses spécifiques.....	160
8. L'hypothèse cérébelleuse : analyses spécifiques	161
9. L'hypothèse du trouble du traitement temporel : analyses spécifiques	162
10. Description de l'échantillonnage	165
11. Elaboration du logiciel.....	166
12. Le groupe des mauvais lecteurs : analyses spécifiques.....	176
IV. Discussion	183

Sommaire

PRÉSENTATION DU LOGICIEL ALEX	
-essai sur 3 enfants dyslexiques-	188
I. Entrée dans le logiciel	190
II. Le déroulement.....	192
1. Les épreuves préparatoires :.....	194
2. Les épreuves optionnelles :.....	197
3. Les épreuves prédictives :.....	199
III. Les résultats.....	204
CONCLUSION	208
BIBLIOGRAPHIE	213
ANNEXES	243
I. Distribution des variables.....	244
1. Variables lexiques :.....	244
2. Variables contrôles :	250
3. Capacités cognitives.....	253
II. Consignes et matériel de passation.....	260
III. Caractéristiques des enfants dyslexiques de l'échantillon	287
IV. Profils des enfants dyslexiques	288

Index des figures

Figure 1 : Modèle de la double-voie (Coltheart, 1978).....	32
Figure 2 : Modèle de la « DRC » par Coltheart et al. (2001).....	33
Figure 3 : L'apprentissage de la lecture selon Gombert et al. (1997).....	37
Figure 4 : Représentation schématique du Modèle Multi-Traces (MTM) de lecture.....	39
Figure 5 : Les trois zones de l'hémisphère gauche impliquées dans la lecture : l'aire occipito-temporale, le gyrus frontal inférieur, l'aire pariéto-temporale.....	41
Figure 6 : Schéma récapitulatif des différentes voies de lecture.....	42
Figure 7 : The revised working memory model (Baddeley, 2001).....	53
Figure 8 : Résumé des zones cérébrales de l'hémisphère gauche indiquant les activités anormales chez les adultes dyslexiques comparés à des sujets contrôle. (schéma issu de Démonet, 2004). ...	65
Figure 9 : Circuits de l'attention et localisation des trois aires cérébrales principales qui seraient impliquées dans le réseau attentionnel postérieur dans l'attention visuo-spatiale (adapté de Posner et Raichle, 1994).....	88
Figure 10 : Schéma récapitulatif de l'hypothèse d'un déficit cérébelleux dans la dyslexie (Nicolson et al., 2001).....	99
Figure 11 : Frontière catégorielle lors d'une tâche d'identification d'un <i>continuum</i> /ba/-/pa/ (schéma issu de la thèse de Jacquier, 2008).....	105
Figure 12 : Schéma récapitulatif différentes hypothèses explicatives de la dyslexie.....	114
Figure 13 : L'épreuve de l'Alouette (Lefavrais, 1965).....	120
Figure 14 : Empans endroit et envers.....	122
Figure 15 : Blocs de Corsi.....	122
Figure 16 : Epreuve de barrage de 3 issue de la BREV.....	123
Figure 17 : Epreuves de dénomination rapide de couleurs et de lettres.....	126
Figure 18 : Illustration des écrans lors de l'épreuve de report partiel.....	128
Figure 19 : Exemple d'une fonction d'identification.....	131
Figure 20 : Représentation graphique des vitesses de lecture moyennes des normo-lecteurs et des dyslexiques (n=113).....	136
Figure 21 : Représentation graphique des performances moyennes en dictée des sujets normo-lecteurs et dyslexiques (n=113).....	138
Figure 22 : Répartition des dyslexiques (ronds rouges) et des normo-lecteurs (carrés blancs) selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (NL, DYS ; n= 113).....	147

Sommaire

Figure 23 : Répartition graphique des dyslexiques selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (n=10).....	152
Figure 24 Représentation graphique des performances moyennes au report partiel NL, DYS ; (n=113)	155
Figure 25 : Répartition graphique des dyslexiques (ronds rouges) et les normo-lecteurs (carrés blancs) selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (n=113)	158
Figure 26 : Zoom sur la figure 25, spécifiquement sur les sujets rencontrant un trouble visuo-attentionnel.....	160
Figure 27 : Représentation de l'échantillon en fonction des déficits rencontrés au niveau phonologique, visuo-attentionnel, moteur et auditif.....	166
Figure 28 : Profil cognitif 507, dyslexie mixte sévère.....	173
Figure 29 : Profil cognitif 515, dyslexie compensée	174
Figure 30 : Profil cognitif 524, dyslexie d'allure visuo-attentionnelle	175
Figure 31 : Répartition graphique des dyslexiques (ronds rouges), des normo-lecteurs (carrés blancs) et des mauvais lecteurs (triangles verts) selon leurs coefficients factoriels des compétences lexiques, phonologiques et les compétences co-morbides obtenus lors de l'analyse canonique (n=126)	179
Figure 32 : Classes obtenues par les nuées dynamiques (NL, DYS, ML ; n=126)	181
Figure 33 : Mise en perspective des capacités en lien avec la lecture en fonction des classes retrouvées par la méthode des nuées dynamiques (NL, DYS, ML ; n=126)	182
Figure 34 : Page écran d'identification	190
Figure 35 : Page écran de la liste des dossiers	191
Figure 36 : Page écran de renseignement de l'enfant "dys sévère"	192
Figure 37 : Page écran de la liste des épreuves.....	193
Figure 38 : Page écran de l'épreuve de lecture de liste de mots.....	194
Figure 39 : Rendu graphique de la page qui sera imprimée pour l'enfant.....	195
Figure 40 : Page écran de l'épreuve de dictée.....	196
Figure 41 : Rendu graphique imprimé pour l'enfant.....	196
Figure 42 : Page écran de l'épreuve d'empans de l'enfant "dys sévère"	197
Figure 43 : Page écran de l'épreuve de dénomination rapide.....	198
Figure 44 : Page écran de l'épreuve de barrage de 4.....	199
Figure 45 : Page écran de l'épreuve omission de l'enfant "dys sévère"	200
Figure 46 : Page écran de l'épreuve de contrepèteries de l'enfant "dys sévère"	200
Figure 47 : Page écran de l'épreuve de morphologie (partie 1).....	201

Sommaire

Figure 48 : Page écran de l'épreuve de morphologie (partie 2).....	202
Figure 49 : Page écran de l'épreuve de report partiel.....	203
Figure 50 : Page écran de l'épreuve auditive.....	204
Figure 51 : Page écran de l'épreuve d'identification.....	- 204 -
Figure 52 : Page écran de l'épreuve de discrimination.....	- 204 -
Figure 53 : Page écran résultat de l'enfant "dys sévère".....	205
Figure 54 : Page écran résultat de l'enfant "dys phono".....	206
Figure 55 : Page écran résultat de l'enfant "dys compensé".....	207

Index des tableaux

Tableau 1 : Critères diagnostiques du trouble spécifique de la lecture selon la CIM-10.....	15
Tableau 2 : Différents outils d'évaluation du langage écrit.....	19
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des enfants normo-lecteurs, mauvais lecteurs et dyslexiques de l'échantillon.....	119
Tableau 4 : Récapitulatif des variables d'étude pour l'analyse statistique.....	133
Tableau 5 : Age chronologique et âge lexical pour les trois groupes de l'échantillon (n=126).....	135
Tableau 6 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques en vitesse de lecture (n=113).....	136
Tableau 7 : Corrélations des épreuves de vitesses de lecture (NL, DYS ; n=113).....	137
Tableau 8 : Moyenne, écart-type et test U des variables de la dictée des sujets normo-lecteurs et des dyslexiques (n=113).....	138
Tableau 9 : Poids factoriels de l'ACP réalisée sur les variables d'orthographe (indice KMO : 0,80, signification au test de Bartlett : .000).....	139
Tableau 10 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques en mémoire à court terme (n=113).....	140
Tableau 11 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques au barrage de 3 (n=113).....	141
Tableau 12 : Statistiques descriptives et test U des épreuves phonologiques (NL, DYS ; n=113).....	142
Tableau 13 : Corrélations des épreuves phonologiques entre elles (NL DYS ; n=113).....	142
Tableau 14 : Corrélations entre les épreuves phonologiques et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n=113).....	143
Tableau 15 : Résultats de l'analyse de régression des variables phonologiques sur les compétences en lecture (NL, DYS ; n= 113).....	143
Tableau 16 : Corrélations entre les capacités phonologiques, les vitesses de dénomination rapide et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113).....	145
Tableau 17 : Résultats de l'analyse de régression des variables de dénomination rapide sur les compétences en lecture (NL, DYS ; n= 113).....	145
Tableau 18 : Poids factoriels de l'ACP réalisée sur les variables métaphonologiques et de dénomination raide (indice KMO : 0,71, signification au test de Bartlett : .000).....	146
Tableau 19 : Corrélations entre les épreuves visuo-attentionnelles (n=10).....	150
Tableau 20 : Corrélation entre les épreuves visuo-attentionnelles et les épreuves de lecture (n=10).....	151

Sommaire

Tableau 21 : Poids factoriels l'ACP réalisée sur les variables sur les facteurs obtenus par l'ACP (n= 10)	151
Tableau 22 : Statistiques descriptives et test U du paradigme de Posner (NL, DYS ; n= 113)....	154
Tableau 23 : Statistiques descriptives et test U du report partiel (NL, DYS ; n= 113).....	154
Tableau 24 : Corrélations entre report partiel et Posner (NL, DYS ; n= 113)	155
Tableau 25 : Corrélations entre le report partiel et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113)...	156
Tableau 26 : Corrélations entre le report partiel et les épreuves phonologiques (NL, DYS ; n= 113).....	156
Tableau 27 : Poids factoriels des tâches phonologiques et visuo-attentionnelles dans les deux facteurs extraits par l'ACP (NL, DYS ; n= 113).....	157
Tableau 28 : r^2 des facteurs phonologiques et visuo-attentionnels explicatifs de la variance en lecture (NL, DYS ; n= 113).....	159
Tableau 29 : Statistiques descriptives et test U de l'épreuve morphologique.....	161
Tableau 30 : Statistiques descriptives et test U des épreuves motrices.....	162
Tableau 31 : Statistiques descriptives des épreuves auditives (NL, DYS ; n= 113).....	163
Tableau 32 : Corrélations entre les épreuves auditives (NL, DYS ; n= 113)	163
Tableau 33 : Corrélations entre les épreuves auditives et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113).....	164
Tableau 34 : Corrélations entre les épreuves auditives et les épreuves phonologiques (NL, DYS ; n= 113).....	164
Tableau 35 : Résultats de l'analyse de régression (B, r^2 et r^2 ajusté) des variables auditives sur les variables phonologiques (NL, DYS ; n= 113)	165
Tableau 36 : Descriptif et comparaison des normo-lecteurs et des dyslexiques à l'aide du test de Mann-Whitney (n=113).....	169
Tableau 37 : Variables sélectionnées et paramètres du modèle de régression logistique (Le Jan et al., 2010).....	170
Tableau 38: Valeur diagnostique du logiciel Alex.....	171
Tableau 39 : Epreuves sélectionnées pour le logiciel	176
Tableau 40 : Variables discriminantes issues de l'analyse discriminante (NL, DYS, ML ; n=126)	177
Tableau 41 : Poids factoriels des variables incluses dans les facteurs issus de l'analyse canonique (NL, DYS, ML ; n=126).....	178
Tableau 42 : Performances de classification de l'analyse discrimination (NL, DYS, ML ; n=126)	179

INTRODUCTION

Introduction

En novembre 1896, le Dr William Pringle-Morgan (1861-1934), ophtalmologue de formation, médecin généraliste dans une école de garçons du Sussex à Seaford, décrit pour la première fois une étude de cas d'un jeune patient (Percy, 14 ans) rencontrant des difficultés de lecture qu'il dénomme alors « *Congenital Word-Blindness* » (cécité verbale congénitale), parue dans le *British Medical Journal*. Tout au long du 20^e siècle, les domaines de la recherche, de la santé, de l'éducation n'ont cessé de coopérer, afin d'éclaircir l'origine de ces troubles dans la capacité à lire et de tenter de trouver des adaptations nécessaires.

Les travaux menés au cours de la présente recherche de thèse ont pour objectif d'élaborer un logiciel d'aide au diagnostic de la dyslexie. Bien qu'il existe, aujourd'hui, de nombreux autres outils permettant le diagnostic de la dyslexie, notre volonté était de créer un outil original, qui intègre les hypothèses explicatives les plus récentes tout en étant résolument pratique et fonctionnel d'un point de vue clinique. Ainsi, ces années de recherche ont conduit, au final, à un logiciel informatique « Alex » qui répond, de notre point de vue, aux exigences de la pratique clinique. En effet, il s'agit d'un outil peu chronophage, offrant un aperçu précis des déficits cognitifs rencontrés par l'enfant testé. En réalité, le logiciel Alex constitue un outil pour le pré-diagnostic indispensable dans les premières étapes de l'évaluation des troubles. Il est évident que des évaluations complémentaires viendront préciser les déficits, en vue d'apporter des aides appropriées à ces enfants en difficulté lors des apprentissages de la lecture.

Ce projet s'est construit dans une approche multidisciplinaire, allant des sciences de la santé à l'informatique, en passant par la psychologie cognitive.

I. Définition de la dyslexie

La dyslexie est un trouble spécifique de l'apprentissage qui concerne spécifiquement la mise en place de la lecture. Ce trouble d'acquisition de la lecture qui fait obstacle à la réussite scolaire, est le trouble des apprentissages, qui a fait l'objet du plus grand nombre de recherches et de définitions.

Il convient de signaler que toutes les difficultés scolaires liées aux troubles de l'apprentissage ne peuvent être imputées à la seule dyslexie. Il n'en demeure pas moins vrai que le pourcentage de dyslexiques touche, selon les sources, entre 3 et 6 % de la population. (Ringard G., 2000, Expertise collective INSERM, 2007).

Introduction

Désormais, il existe un consensus autour de la définition de la dyslexie énoncée par Rutter (1978), qui se base sur la Fédération Mondiale de Neurologie. La dyslexie est considérée comme « *un désordre manifesté par une difficulté sévère dans l'apprentissage de la lecture en dépit d'une intelligence normale, d'un enseignement conventionnel et d'opportunités socioculturelles adéquates* ». Cependant, cette définition ne fournit pas d'indices univoques pour son identification. Ainsi, des définitions liées aux avancées de la recherche dans le domaine ont été proposées. Selon l'Observatoire National de la Lecture, est considéré comme dyslexique, un mauvais lecteur « *chez qui le déficit résulte, en partie en tout cas, d'une anomalie de la capacité d'identification des mots écrits. L'origine de cette anomalie se trouve dans les structures cérébrales et cognitives qui sous-tendent cette capacité* » (Observatoire National de la Lecture, 1998, p. 171-175).

Dénoté dyslexie développementale, ce trouble primaire, spécifique de l'acquisition du langage écrit, se manifeste dès l'école primaire et peut se poursuivre jusqu'à l'âge adulte. Plusieurs formes de dyslexie développementale sont identifiées : dyslexie phonologique, dyslexie de surface (Castles et Coltheart, 1993 ; Coltheart, Materson, Byng, Prior et Riddoch, 1983) et dyslexie mixte. Dans un tel contexte, il est évident que les besoins en outils de dépistage efficaces et en traitements effectifs sont importants.

L'une des avancées les plus importantes dans ce domaine, depuis ces vingt dernières années, concerne la mise évidence d'un lien entre dyslexie et langage oral. En effet, de nombreuses études comportementales et des investigations neurologiques ont montré de façon convergente et convaincante que les dyslexiques présentent un déficit dans différents domaines, impliquant des traitements phonologiques : en lecture de mots nouveaux, en analyse phonémique et en mémoire à court terme phonologique. Un tel déficit concernerait environ 70 % des dyslexiques (Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White et Frith, 2003). De plus, les définitions se sont affinées, en évoquant plus spécifiquement les déficits cognitifs qui sont susceptibles d'entraîner des difficultés de lecture.

Les ouvrages de référence en médecine (CIM 10 et DSM IV) ne définissent pas la dyslexie exactement de la même manière.

Introduction

Les critères permettant d'identifier le trouble spécifique de la lecture, établis par l'Association Américaine de Psychiatrie, ont été publiés dans le manuel diagnostique DSMIV-TR (2004). Les deux critères retenus sont :

- Un écart significatif (au minimum 18 mois) entre le rendement intellectuel et les compétences en lecture (précision et/ou rapidité), qui interfère de façon significative avec la réussite académique et les activités de la vie quotidienne qui nécessitent de lire.
- Ce trouble spécifique de la lecture ne peut s'expliquer par une déficience intellectuelle, un trouble psychoaffectif, un déficit sensoriel (vision et audition), un manque d'opportunité éducative ou un manque de motivation et d'intérêt.

En définitive, le DSM-IV pose comme critère que les réalisations en lecture (exactitude, rapidité ou compréhension), évaluées par des tests, sont nettement en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

La définition de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans sa Classification Internationale des Maladies (CIM 10, 1993) diffère quelque peu : la dyslexie est un trouble spécifique, durable et persistant de l'acquisition du langage écrit, apparaissant chez un enfant d'intelligence normale (évaluée par des épreuves non verbales), dans un environnement scolaire adéquat, et ne présentant par ailleurs aucun trouble sensoriel, émotionnel, ni déficit socioculturel majeur.

Présence soit de 1 ou de 2 :

1. La note obtenue à une épreuve standardisée d'exactitude de la lecture se situe à au moins deux écart-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. Antécédents de difficultés en lecture, ou de résultats de 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 écart-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI.

Tableau 1 : Critères diagnostiques du trouble spécifique de la lecture selon la CIM-10

Introduction

Si les deux définitions s'accordent sur les difficultés à lire, la différence entre les approches se situe au niveau de la co-morbidité des troubles des apprentissages, qui accompagnent les troubles de la lecture. La définition du DSM-IV contextualise ces troubles en tenant compte des facteurs cognitifs, linguistiques, socio-environnementaux et psychologiques.

Au regard de ces définitions, aucun diagnostic ne peut être réellement posé avant 18 mois de confrontation à la lecture, c'est-à-dire au cours de l'année de CE1 dans le cas du système scolaire français. Toutefois, des indices sont perceptibles dès la grande section maternelle ou le CP, par l'évaluation des pré-requis nécessaires à la lecture, notamment les compétences en phonologie (Anthony, Williams, Mc Donald et Francis, 2007 ; Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson et Foorman, 2004).

Les définitions récentes évoquent les troubles cognitifs, à l'instar de Lyon, Shaywitz et Shaywitz (2003) qui font référence aux troubles phonologiques dans la dyslexie. Néanmoins, certains auteurs défendent d'autres hypothèses, évoquant par exemple l'existence d'autres troubles cognitifs, qui seraient responsables de la dyslexie (Stein, 2001 ; Valdois, Bosse et Tainturier, 2004).

Depuis le premier cas de dyslexie évoqué par Pringle-Morgan, les définitions ont beaucoup évolué, sans être opérationnelles d'un point de vue clinique. La plupart du temps, le diagnostic repose sur un travail pluridisciplinaire qui consiste à évaluer l'enfant dans sa globalité. Cependant, les diagnostics peuvent s'avérer différents en fonction des établissements et des professionnels. Cette réalité est problématique, dans la mesure où les écoles théoriques ne s'accordent pas toujours sur le diagnostic, ce qui signifie qu'en fonction des « courants de pensée » un enfant est reconnu comme dyslexique ou pas, selon les critères de définition retenus.

Dans cette étude, nous avons pris le parti de prendre en compte l'ensemble des théories, qui tentent d'expliquer les origines de la dyslexie, en essayant de conserver la vision la plus large possible, dans la mesure où l'objectif n'est pas de valider ou d'invalidier une hypothèse explicative. Au contraire, le but est de construire un outil diagnostique le plus complet possible, capable de répondre aux attentes des professionnels confrontés aux enfants

Introduction

rencontrant des troubles du langage écrit. Cette approche nous semble la plus appropriée et cliniquement la plus adaptée.

Ainsi, les définitions relatives à la dyslexie ne sont pas homogènes, mais cette recherche de thèse ne vise pas à prendre position pour ou contre les différents courants de pensée et hypothèses explicatives. La dyslexie est aussi hétérogène que les profils des dyslexiques. C'est dans la prise en compte de l'ensemble des éléments, que se trouve la clé du diagnostic de la dyslexie dont la forme est originale pour chaque sujet.

II. Diagnostic de la dyslexie : quels outils ?

De fait, il existe une grande hétérogénéité dans les outils d'évaluation du langage écrit (Ecalte, 2010). Dans leurs pratiques, les professionnels –notamment les orthophonistes– sélectionnent dans les différentes batteries de tests, les exercices qui leur apportent le plus de renseignements en fonction de l'âge et de niveau de l'enfant. De cette façon ils créent eux-mêmes leur propre instrument d'évaluation. Outre les évaluations concernant le langage écrit, au cours du diagnostic, une évaluation du langage oral est nécessaire afin de comparer les niveaux dans les deux domaines du langage.

La plupart des outils existent en format papier/crayon (sauf EVALEC : logiciel informatique qui vient tout juste de paraître en 2010), ainsi, dans ce contexte, l'idée de créer un outil informatisé a tout son sens.

Outils	Auteurs/Année	Public	Indications	Objectifs
N-EEL : Nouvelles épreuves pour l'examen du langage	Chevrie-Muller et Plaza (2001)	de 3 ans 7 mois à 8 ans 7 mois	Dysphasiques, troubles du langage liés ou non à une pathologie plus complexe	La batterie permet de faire un bilan complet des constituants formels du langage (phonologiques, lexicaux, morpho- syntaxiques) sur les deux versants réceptifs et expressifs, ainsi que des processus cognitifs en jeu dans l'apprentissage du langage (la mémoire auditivo-verbale, les aptitudes opératoires concrètes).
Alouette-R	Lefavrais (1965 ; test réétalonné en 2004)	De 6 ans à 16 ans	Détermination des typologies d'erreurs en lecture	L'Alouette-R permet, d'une part, d'évaluer les stratégies de lecture dans une situation de lecture à voix haute de texte et non pas de mots isolés. D'autre part, elle est utile pour analyser les difficultés en lecture en prenant appui sur les théories actuelles de l'apprentissage de la lecture, selon les types d'erreurs commises (les difficultés observées sont-elles liées à une atteinte de la voie phonologique, de la voie lexicale, des deux?).
ELO : Evaluation du langage oral	Khomsi (2001)	Enfants	- Evaluation de la compétence orale - Repérage et analyse des troubles du développement du langage	Cette batterie de six épreuves doit être considérée comme un bilan de langage oral complet. Elle est destinée à décrire et évaluer, de façon fine, diverses composantes de la compétence orale et donc à évaluer aussi le "risque" lecture.
L2MA : Batterie pour l'examen psycho- linguistique de l'enfant	Chevrie-Muller, Simon et Fournier (1997)	De 8 ans ½ à 11 ans ½	Bilan et suivi de la pathologie du langage oral et du langage écrit	Elle permet le diagnostic et l'évaluation des différentes capacités linguistiques susceptibles d'être altérées en pathologie chez l'enfant. Cette batterie se compose de 24 épreuves réparties en cinq domaines : langage oral, langage écrit, mémoire, attention, aptitudes visuo-motrices.
Odedys 2 : Outils de dépistage des dyslexies (2)	Jacquier-Roux, Valdois, Zorman, Lequette et Pouget (2005-2009)	De CE1- 5 ^{ème}	Analyse des mécanismes de la lecture	Ce test permet une analyse rapide du langage oral, des voies de lecture, de l'orthographe, des compétences phonologiques et visuo-attentionnelles et de la mémoire.
BREV : Batterie rapide d'évaluation	Billard, Livet, Motte, Vallée, Gillet, Galloux, Piller et Vol (2000)	De 4 à 9 ans	Troubles des apprentissages	La Brev sert à l'évaluation de différentes fonctions cognitives : langage oral, conscience phonologique, fonction non verbale, l'attention, mémoire et apprentissages scolaires Cette batterie à deux objectifs : dépister les enfants suspects d'un déficit des fonctions cognitives et préciser le profil de ce déficit, afin d'orienter l'enfant vers le professionnel compétent qui confirmera ou infirmera la présence d'un déficit.

LMC-R : Lecture de mots et compréhension révisée	Khomsi (1999)	CE1 à 5 ^{ème}	Analyse des stratégies de lecture des enfants en difficulté, par une approche clinique des difficultés de lecture	Les trois épreuves qui composent le test, visent à évaluer l'automatisation de la lecture, l'association de mots avec des images et la compréhension en lecture.
BELEC : Batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles	Mousty, Leybaert, Alegria, Content et Morais (1994)	7 ans à 12 ans	Belec est un outil d'investigation des processus de lecture et d'acquisition	Belec permet l'identification de leurs difficultés au niveau des processus de lecture et d'écriture ainsi que de leur mise en relation avec d'autres habiletés qui pourraient en être à l'origine. La conscience de la structure segmentale de la parole, la perception fine de la parole et la mémoire phonologique de travail font à cet effet partie de l'évaluation.
Timé 3 : Test d'Identification des Mots Écrits	Ecalte, (2006)	7 ans à 15 ans	Evaluation du niveau de lecture (individu, groupe ou classe)	Ce test évalue le niveau de lecture via la composante « identification des mots écrits ». Outil de passation simple et rapide (individuel ou en groupe) permet d'obtenir les performances en lecture (calcul âge lexique, repérage décile et établissement de profil de lecteur).
EVALEC : Batterie informatisée d'évaluation diagnostique des troubles spécifiques d'apprentissage de la lecture	Sprenger-Charolles, Colé, Piquard-Kipffer et Leloup (2010).	6 ans ½ à 10 ans 5 mois	EVALEC est une batterie de tests, qui permettent d'évaluer la sévérité des difficultés de lecture et des difficultés dans le développement d'habiletés reliées à la réussite en lecture.	EVALEC permet d'évaluer l'efficacité des deux voies de lecture : la voie lexicale ou orthographique (évaluée principalement par la lecture de mots irréguliers fréquents) et la voie sub-lexicale ou phonologique (évaluée par la lecture de pseudo-mots). EVALEC permet également d'évaluer les capacités d'analyse phonémique, de mémoire à court terme phonologique et de dénomination sérielle rapide, capacités reconnues comme essentielles à la lecture et souvent déficientes chez les dyslexiques.
BALE : Bilan analytique du langage écrit	Jacquier-Roux, Valdois, Zorman (2000)	CE1 au CM2	Evaluation du langage écrit	Cette batterie doit permettre de poser un diagnostic de trouble spécifique du langage écrit chez des élèves d'efficacité intellectuelle dans les normes présentant un retard de lecture. Elle permet aussi d'étudier les processus cognitifs sous-jacents (phonologie, visuo-attentionnel...) et de repérer d'éventuels troubles associés (langage oral, attention...). Cette batterie est composée de différentes épreuves de langage écrit, de langage oral, de métaphonologie, de mémoire et d'épreuves visuelles.

Tableau 2 : Différents outils d'évaluation du langage écrit

III. Les perspectives du projet Ready

1. Objectifs

L'objectif général consiste à développer un outil (informatisé) à destination des professionnels, confrontés à des enfants qui présentent des troubles du langage écrit facilitant les tests de dépistage et le diagnostic des troubles de l'apprentissage du langage écrit.

Basé sur la nomenclature française, un rapport de Ringard (février 2000) révèle qu'environ 5 % des enfants sont concernés par une déficience du langage et de la parole.

Mettant en avant le concept de « mauvais lecteur », qui renvoie à l'absence de maîtrise dans le langage écrit, des travaux récents de psychologie et de sciences de l'éducation (Expertise INSERM) permettent d'affiner les données statistiques. Les apprentis lecteurs fragiles forment 10 à 15 % des élèves en grande section de maternelle. Les apprentis lecteurs en difficulté avoisinent les 10-15 % en CP. Enfin, entre 4 à 5 % des élèves de 6^e sont repérés comme de très mauvais lecteurs (Bonjour, 2004).

Ces données de la prévalence sont, notamment, issues de travaux réalisés auprès des populations anglophones, les estimations oscillent entre 6 et 8 % dans le cas de la population française où les effectifs des échantillons sont plus faibles. Une étude longitudinale auprès de 500 enfants testés dès la grande section de maternelle (Sprenger-Charolles, Colé, Lacert Serniclaes, 2000) identifie 33 enfants classés comme dyslexiques, soit 6.6 % de l'échantillon. En 2005, une recherche impliquant 10 000 adultes conforte cette idée, puisque 7 % des 18-29 ans connaissent de graves difficultés en lecture (Murat, 2005).

Les définitions variant d'un auteur à l'autre, les critères d'inclusion et d'exclusion peuvent différer, ces variations expliquent les différences parfois considérables des données de prévalence d'une étude à un autre. Aujourd'hui, on peut considérer qu'il y a environ un enfant par classe qui est confronté à des problèmes en lecture, ce qui montre avec évidence l'importance d'un diagnostic précis et précoce.

Introduction

2. Organisation

Ce projet se situe au carrefour de la santé avec le Centre de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelle de Trestel (CRRF), des sciences exactes avec le Laboratoire du Traitement du Signal et de l'Image à l'Université de Rennes 1 (LTSI) et le laboratoire lannionnais de l'IRISA (Institut de Recherche en Informatique et Système Aléatoire), de l'informatique avec la société Dixid (développement de logiciels) et enfin de la psychologie à l'Université de Rennes 2 avec le Centre de Recherche en Psychologie, Cognition et Communication (CRPCC), qui apporte son expertise sur la dyslexie. C'est dans cette approche multidisciplinaire que s'est construit le logiciel Alex.

Le **Laboratoire Lannionnais de l'IRISA (LLI)** regroupe les activités de recherche menées à Lannion, il est rattaché à l'Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires (IRISA), laboratoire de recherche publique regroupant plusieurs partenaires (l'INRIA, le CNRS, l'Université de Rennes 1 et l'INSA de Rennes) au sein d'une unité mixte de recherche. L'implication de l'IRISA au sein du projet concerne la maîtrise des traitements « avancés » de signaux sonores et la mesure/restitution de signaux audio (chambre sourde, utilisation de matériels spécialisés pré-ampli, ampli, oreille artificielle etc...).

Le **Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI)** de l'Université de Rennes 1) est une équipe mixte de recherche INSERM (UMR 642). Il est construit sur la base d'une étroite articulation entre des recherches à caractère méthodologique et technologique relevant des sciences et technologies appliquées à la médecine. Le LTSI a pris en charge le traitement du signal.

Le service **MPR Pédiatrique du Centre Hospitalier Lannion-Trestel** est le pivot d'une filière interne de soins extrêmement larges : hospitalisation complète et de jour, consultations externes, CAMSP (Centre d'Action Médico-Sociale Précoce), SESSAD (Service d'Education Spéciale et de Soins à Domicile), structure d'accueil pour enfants polyhandicapés. Ce service a développé depuis 15 ans une consultation pour le diagnostic des troubles neuropsychologiques, au sein de laquelle les troubles du langage sont largement représentés. Il en a organisé aussi les soins en libéral ou en interne.

Le **Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication (CRPCC)** possède des axes de recherche variés dans le domaine de la psychologie du développement chez l'enfant et l'adolescent jusqu'au vieillissement et dysfonctionnement cognitif en passant

Introduction

par l'insertion professionnelle, scolaire et culturelle. Plus spécifiquement, les connaissances et les compétences expérimentales en psychologie cognitive et neuropsychologie sur la dyslexie s'inscrivent dans ce projet.

La société **Dixid**, spécialisée dans les services vocaux, effectue des prestations de conseil (études techniques, analyse des besoins, rédaction des appels d'offres) à la réalisation et à la mise en production de systèmes. L'objectif de la société Dixid est de rendre accessible la technologie des serveurs vocaux aux collectivités locales et territoriales ainsi qu'aux PME.

IV. Des hypothèses explicatives de la dyslexie au logiciel

Alex

Dans une première partie, il s'agit de réfléchir aux pré-requis de la lecture, en présentant les principaux modèles développementaux de la lecture.

Il existe plusieurs mécanismes dans l'apprentissage de la lecture. L'activité de lire consiste à décoder, identifier et comprendre les mots les phrases et les textes. Pour le lecteur expert, le fait de décoder est un processus automatique, avec une identification très rapide de cinq mots par seconde, libérant la capacité attentionnelle qui est alors dirigée vers la compréhension. Au contraire, pour l'apprenti lecteur, il s'agit surtout d'apprendre le code, avec un apprentissage explicite du code alphabétique et des phonèmes associés, de décoder les mots et de créer en parallèle un stock lexical. Au fil de l'évolution de l'apprentissage de la lecture, le but est d'automatiser le processus de lire pour dégager de la capacité attentionnelle dirigée ensuite vers la compréhension de ce qui est lu. En définitive, la lecture s'apparente à la capacité à identifier les mots, pour être en mesure de lire un texte en ayant le même degré de compréhension que lors de l'audition du langage oral. Le niveau de transparence orthographique de la langue facilite ou au contraire gêne ces processus.

Parmi les modèles développementaux d'apprentissage et/ ou de traitement de la lecture seront présentés les modèles de Frith (1986, modèle par stade), de Coltheart, Curtis, Akins et Haller (1993, modèle cognitiviste de la double voie), puis celui de Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, Ziegler (2001, modèle de la double voie en cascade), de Gombert, Bryant et Warrick (1997, modèle par analogies), et enfin celui de Ans, Carbonnel et Valdois (1998, modèle connexionniste).

Introduction

Le modèle de Frith décompose l'apprentissage en trois stades : la pré-lecture logographique, la procédure alphabétique (décodage graphème/phonème) et la stratégie orthographique (identification instantanée du mot en entier). Positionné sur le courant cognitiviste, Coltheart décrit la lecture experte, en se basant sur les études de l'alexie, problème de lecture qui fait suite à des lésions cérébrales chez l'adulte. Il définit la coexistence de la voie d'assemblage (conversion graphème-phonème) et de la voie d'adressage, la plus utilisée par le lecteur expert, qui permet d'accéder aux mots dans le stock lexical. Ce modèle est approfondi par le modèle implémenté dit par cascade, avec trois voies : la voie lexicale non sémantique (accès au mot, mais pas au sens), la voie lexicale sémantique (signification), la voie non lexicale (conversion graphème-phonème). Un autre modèle, élaboré par Gombert, identifie l'existence de quatre processeurs dans la lecture : le processeur pictural, qui traite l'information visuelle, le processeur phonologique, qui traite les informations linguistiques, auditivement perçues, le processeur sémantique, qui attribue une signification à ce qui est lu, et enfin le processeur contextuel, qui permet d'analyser les informations externes. En fait, ce modèle insiste surtout sur l'apprentissage implicite des régularités visuo-orthographiques, qui se développe en même temps que l'apprentissage explicite émanant de l'école. Enfin, le modèle multi-traces, modèle connexionniste, permet de répondre aux attentes de l'hypothèse des troubles visuo-attentionnels dans la dyslexie, en modélisant tout particulièrement la fenêtre visuo-attentionnelle.

Les aspects neurobiologiques seront également importants à prendre en compte, puisque les études sur les cerveaux et le fonctionnement cérébral mettent en évidence des différences entre les normo-lecteurs et les dyslexiques.

Les cerveaux des dyslexiques se singularisent au plan macroscopique avec l'existence d'ectopies sur les zones périsylviennes, zones impliquées dans le décodage phonologique. De plus, le planum temporale, intervenant lui aussi dans les activités de décodage, montre une asymétrie dans le cerveau des dyslexiques.

C'est aussi le cas au plan fonctionnel, puisque les techniques d'imagerie cérébrale révèlent une désorganisation et un fonctionnement différent des aires du langage chez les dyslexiques avec notamment une hypoactivation des aires du langage. Ainsi, des difficultés de lecture et dans les tâches de conscience phonologique sont à mettre en lien avec un fonctionnement particulier des réseaux temporo-pariéto-frontaux, distribués dans les aires du langage chez les dyslexiques.

Introduction

Il faut donc intégrer les apports de ces études, encore en cours, qui mobilisent les nouvelles techniques d'imagerie cérébrale, mettant l'accent sur la désorganisation et le dysfonctionnement des aires cérébrales impliquées dans le traitement phonologique et dans les aspects du décodage de la lecture.

La seconde partie interroge les compétences lexicales et orthographiques, les compétences co-morbides (attention, mémoire) et les différentes théories explicatives de la dyslexie. Conformément à la volonté de n'exclure aucune hypothèse, il a été choisi d'appréhender chaque hypothèse des origines de la dyslexie au regard de la validité expérimentale et neurobiologique, mais aussi des critiques suscitées.

La plupart des chercheurs s'accorde sur le fait qu'un **déficit phonologique** est au cœur de la dyslexie. En revanche, pour certains ce déficit est seulement la manifestation visible d'un dysfonctionnement sous-jacent plus général.

Un rapide panorama des recherches sur ces thèmes fait apparaître une diversité de positions théoriques, appuyées par des évidences théoriques. La tâche de **dénomination rapide** révèle la spécificité de la rapidité d'accès au lexique, en termes de prédiction et de diagnostic des troubles de la lecture (Wolf et Bowers, 1999). En s'attachant à l'analyse des **compétences morphologiques**, le profil des enfants dyslexiques montre un développement plus précoce de ces compétences (Casalis, 2006 ; Casalis, Colé et Sopo, 2004). Selon Stein (2003), la légère instabilité de la fixation oculaire engendre des distorsions, des déplacements et des superpositions de lettres et de mots (Stein, 2003). Cette idée, reprise dans **l'hypothèse visuo-attentionnelle** (Valdois et al., 2004) insiste sur un trouble des capacités de prise d'informations visuelles, relative à la réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle, qui affecte à son tour la mise en place de la lecture globale. Pour Tallal (1980) et Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Démonet (2001), **l'hypothèse auditive** se caractérise par un trouble du traitement temporel, touchant l'habilité à percevoir les sons brefs et les transitions rapides, sans laquelle les capacités phonologiques nécessaires à la lecture ne sont pas développées. La maladresse des enfants dyslexiques (problèmes d'équilibre, de coordination motrice ou d'automatisation) a incité Nicolson, Fawcett et Dean (1995) à envisager un dysfonctionnement du cervelet les données de neuro-imageries confirment l'hypoactivation de certaines zones du cerveau lors des tâches motrices, phonologiques et de lecture. Dans le sillage de Stein (2001), certains chercheurs ont tenté de concilier ces deux hypothèses auditive

Introduction

et visuelle au sein de la **théorie magnocellulaire** qui postule une anomalie neurologique unique (concernant les magnocellules de toutes les voies sensorielles) à l'origine à la fois des troubles auditifs et visuels.

Le contexte théorique est donc particulièrement chargé avec des hypothèses qui se confrontent selon les auteurs. Or, nous avons choisi de n'écarter aucune de ces théories qui présentent séparément des arguments convaincants et différents pour expliquer les causes de la dyslexie. L'originalité du dispositif repose justement sur l'idée que les caractéristiques du trouble de la lecture sont multiples. En intégrant les expérimentations associées aux différentes théories, le protocole vise à cerner au plus près des troubles cognitifs de la dyslexie.

Construit en ce sens, le protocole expérimental est décrit en détail dans la troisième partie, concernant la présentation des résultats.

Les analyses statistiques descriptives permettent d'isoler les spécificités des données au niveau des compétences lexiques et des différentes capacités cognitives en lien avec la lecture. Les tests multivariés permettent d'éprouver certaines hypothèses explicatives en étudiant les liens entre les différentes compétences visuo-attentionnelles et phonologiques ou auditives et phonologiques, et en déterminant quelles implications existent entre ces variables et les compétences en lecture. Il s'agit également de décrire et d'étudier spécifiquement l'échantillon des dyslexiques dans son ensemble, en lien avec le diagnostic posé au CRRF de Trestel. Ensuite, est exposée la démarche suivie pour la sélection des épreuves pour le logiciel Alex. En effet, la recherche d'un modèle prédictif performant et l'analyse des profils cognitifs ont été essentielles dans l'élaboration de l'outil final d'aide au diagnostic. Ces analyses intègrent une réflexion spécifique sur le groupe des mauvais lecteurs.

L'ultime partie s'intéresse au logiciel Alex, résultat abouti de ce projet de recherche. En définitive, l'idée est de présenter les épreuves du logiciel, et surtout sa fonctionnalité, en s'attachant à analyser l'exemple de trois cas d'enfants dyslexiques et à découvrir l'outil finalisé par l'intermédiaire de pages écrans au fil des étapes de la passation.

MÉCANISMES ET APPRENTISSAGE DE LA LECTURE

Mécanismes et apprentissage de la lecture

Pour mieux saisir les dysfonctionnements des processus impliqués dans la lecture, il est logique d'aborder le fonctionnement normal de la lecture, de connaître les mécanismes qui doivent être mis en place pour lire. Il semble indispensable de s'arrêter un moment sur les mécanismes d'apprentissage de la lecture ainsi que les différents modèles de fonctionnement et d'apprentissage de la lecture. Il s'agit d'exposer ces questions, en remontant aux modèles *princeps* de l'apprentissage de la lecture qui restent encore aujourd'hui très influents notamment pour la rééducation et d'évoquer par la suite les modèles théoriques plus récents.

Les avancées technologiques avec l'imagerie fonctionnelle permettant de voir le fonctionnement du cerveau en activité sont en grande partie à l'origine des progrès et de l'avancement des recherches sur les modèles de la lecture. Un détour par la neuroanatomie est donc nécessaire pour éclairer en retour ces modèles théoriques.

Les avancées neurobiologiques, considérables dans la période très récente, ont fait progresser la connaissance scientifique sur le fonctionnement du cerveau, et pour ce qui concerne la dyslexie, sur les zones cérébrales qui sous-tendent l'activité de lecture. Les résultats d'imageries cérébrales donnent effectivement des informations précieuses quant au fonctionnement cérébral. Toutefois, soulignons d'emblée une précaution importante quant à l'interprétation des données neurobiologiques : lorsque le fonctionnement cérébral est différent, comme cela semble être le cas d'après les travaux sur les cerveaux des dyslexiques, il est difficile de déterminer s'il s'agit d'une cause initiale ou si au contraire c'est une conséquence du dysfonctionnement. Néanmoins, les constatations neurobiologiques peuvent être mobilisées pour étayer les hypothèses théoriques.

I. Qu'est-ce que lire ?

Lire, c'est décoder, identifier et comprendre les mots ainsi que les textes qu'ils composent. Cependant, la compréhension demeure un processus amodal qui existe aussi dans le langage oral. La spécificité de la lecture porte donc essentiellement sur le décodage des mots.

L'identification des mots écrits est le résultat de l'activation de trois types de codes (Sprenger-Charolles et Colé, 2003). Le code orthographique renvoie au traitement perceptif de la prise d'informations visuelles et au traitement des *stimuli* visuels. Le code phonologique sert à reconnaître le mot écrit par deux processus : la voie d'adressage (accès direct dans le stock lexical) et la voie d'assemblage (décodage phonologique des unités visuelles en sons,

Mécanismes et apprentissage de la lecture

puis assemblage pour former le mot dont la forme phonologique est alors reconnue). Le code sémantique donne l'accès au sens du mot lu qui se définit comme l'ensemble des connaissances nécessaires à la compréhension d'un mot, d'une phrase ou d'un texte.

II. Le lecteur expert

Le lecteur expert est capable d'identifier en moyenne cinq mots par seconde. Cette identification est tellement rapide que les éléments contextuels n'ont pas le temps d'interférer (Perfetti, Goldman et Hogaboam, 1979).

Chez le lecteur expert, la lecture est automatique, non coûteuse d'un point de vue attentionnel. Les procédures d'identification des mots écrits automatisées fournissent un traitement rapide des informations.

L'expertise de la lecture implique d'être capable, de façon automatique, de comprendre un texte lu comme l'on comprend une conversation.

III. L'apprenti lecteur

L'objectif majeur de l'apprentissage de la lecture est de rendre automatique les processus d'identification des mots écrits. De cette façon, le niveau de compréhension du langage écrit atteint celui du langage oral. Le langage écrit se distingue du langage oral, par le fait que les mots sont codés par un système alphabétique : les sons entendus correspondent à des unités orthographiques, à une lettre ou à un groupe de lettres.

La première étape dans l'apprentissage de la lecture est l'acquisition du principe du code alphabétique. L'apprentissage se réalise alors essentiellement de manière explicite.

La maîtrise du code alphabétique rend possible une lecture phonologique, via un décodage graphème-phonème. L'enfant peut traduire les lettres ou un groupe de lettres en sons et les assembler, afin de créer phonologiquement un mot associé à un sens (voie d'assemblage). Dans ce cas, l'enfant est en mesure de faire correspondre la forme phonologique du mot à un mot déjà entendu, et ainsi de faire le lien avec son sens.

Parallèlement, un stock lexical se forme progressivement en mémoire de manière implicite. L'apprenti lecteur est alors en mesure d'associer des formes orthographiques

Mécanismes et apprentissage de la lecture

(lettres, groupes de lettres, mots) directement à la forme stockée lexicalement (voie d'adressage).

D'après de nombreux travaux de recherche, la compréhension du principe alphabétique repose sur une analyse consciente des unités phonémiques du langage parlé : la conscience phonologique (Leybaert et Content, 1995). Au cours de ses premières confrontations avec le langage écrit, l'apprenti lecteur s'appuie sur les représentations phonologiques qu'il possède. D'après les études (Sprenger-Charolles, Siegel et Bonnet, 1998), il semble que certaines compétences phonologiques soient déjà acquises dès l'âge de trois ans. Sur cette base, l'apprentissage explicite des correspondances graphème-phonème et l'entraînement à la lecture vont à leur tour développer les compétences phonologiques nécessaires aux progrès en lecture. L'expérience conduit l'apprenti lecteur, dans un second temps, à créer des représentations lexicales ouvrant alors la voie à une lecture plus automatique.

Des travaux (Goswami, Gombert et Barrera, 1998) montrent que l'apprentissage de la lecture dépend de la transparence des relations grapho-phonémiques de la langue, c'est-à-dire le degré de consistance entre les unités écrites et orales. Par exemple, l'espagnol est une langue transparente, le français est intermédiaire et l'anglais la langue la plus opaque (Tableau 3).

Langue	Phonèmes	Graphèmes	% lecture correcte fin 1ère année
Italien	30	32	92 %
Espagnol	32	45	92 %
Allemand	40	85	95 %
Français	35	130	82 %
Anglais	40	1100	32 %

Tableau 3 : Tableau du niveau de transparence des langues alphabétiques par rapport à la correspondance phonème-graphème

Avant l'apprentissage de la lecture, il n'existe pas de traitement conscient des unités phonémiques, puisque la plupart d'entre elles ne sont jamais prononcées de façon isolée à l'oral. Au cours de l'apprentissage de la lecture, les capacités métaphonologiques, à savoir la

Mécanismes et apprentissage de la lecture

capacité à manipuler consciemment les phonèmes, se développe. Différentes études montrent que les compétences phonologiques sont stimulées par l'apprentissage de la lecture (Lieberman Shankweiler, Fischer et Carter, 1974 ; Wagner, Torgesen et Rashotte, 1994). Ainsi, il existe un va-et-vient entre les compétences phonologiques et la lecture, avec un effet bénéfique des unes sur l'autre et réciproquement.

A ceci s'ajoute, au fur et à mesure de la confrontation à la lecture, une sensibilité aux régularités orthographiques de la langue qui stimule en retour la construction d'un stock de représentations lexicales.

L'importance des compétences phonologiques dans l'apprentissage de la lecture est argumentée par plusieurs éléments. Tout d'abord, les capacités phonologiques semblent être les meilleurs prédicteurs du futur niveau de lecture. De plus, l'étude des dyslexiques indique clairement un déficit majeur des compétences phonologiques, même comparés à un groupe ayant le même âge lexical (Sprenger-Charolles et al., 2000).

Dans sa méta-analyse, Scarborough (1998) évoque d'autres facteurs susceptibles de rentrer en jeu dans l'apprentissage de la lecture. Au total, les habilités non verbales précoces, visuelles, motrices et visuo-motrices, tout comme le QI non verbal, sont très faiblement reliées aux performances ultérieures de lecture. En revanche, les mesures précoces fortement reliées au futur niveau de lecture sont les capacités phonologiques, la connaissance des lettres et les capacités de dénomination sérielle rapide.

Il est également intéressant de noter que le niveau socioculturel apparaît, dans cette étude, moins fortement relié aux compétences en lecture que les habilités linguistiques.

IV. Les différents modèles d'apprentissage de la lecture

Parmi les modèles d'apprentissage de la lecture, on retrouve les modèles en étapes, les modèles cognitivistes, les modèles de lecture par analogies ainsi que les modèles connexionnistes.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

1. Le modèle de la double voie de Coltheart

Il ne s'agit pas d'un modèle développemental, mais l'influence majeure de ce modèle justifie pleinement sa description.

Ce modèle (Coltheart, 1978) se situe dans le courant cognitiviste. Cité dans presque toutes les recherches sur la lecture, il est à la base de la rééducation proposée aux dyslexiques aujourd'hui. Il a pour principal avantage d'être simple dans sa compréhension et très facilement applicable aux différents troubles de la lecture rencontrés. Ce modèle qui décrit la lecture experte est néanmoins couramment utilisé en contexte développemental, les modèles en étapes étant insuffisamment spécifiés. Ce modèle constitue aussi la base des modèles développementaux, comme celui de Frith (1986).

Pour Coltheart, la lecture peut s'effectuer de deux façons par assemblage ou par adressage.

La voie d'assemblage consiste à opérer la conversion graphème-phonème. Le lecteur doit assembler les sons, afin d'obtenir le mot dans son ensemble et de cette façon accéder à son sens. Ces règles de conversion sont enseignées à l'école. Cette méthode de lecture, lente et peu efficace, requiert beaucoup de ressources attentionnelles qui ne peuvent être investies ailleurs, au niveau de la compréhension par exemple. Cette stratégie est celle adoptée par le lecteur débutant ou par le lecteur expert confronté à un nouveau mot.

La voie d'adressage, méthode la plus utilisée chez le lecteur expert, permet un accès visuel au mot par adressage. En d'autres termes, le lecteur peut reconnaître instantanément certains phonèmes ou certaines parties de mot, voire le mot en entier. Le lecteur ne s'appuie plus sur les sons, en revanche il accorde une grande importance à l'ordre des lettres. Cette voie, très rapide et automatique, convoque des ressources attentionnelles limitées. L'efficacité de cette voie nécessite un stock lexical fourni, ce qui suppose une confrontation fréquente aux mots. Cette voie permet de lire les mots irréguliers, comme le mot « *femme* » par exemple, qui sans avoir été rencontré, en utilisant la voie d'assemblage serait lu [føm].

Ces deux voies s'installent successivement, d'abord la voie d'assemblage, puis la voie d'adressage. Elles restent toutes les deux disponibles au cours de notre vie, même si les lecteurs experts utilisent préférentiellement la voie d'adressage (plus rapide et utilisant moins de ressources cognitives), la voie d'assemblage reste disponible pour les mots nouveaux ou en cas de difficulté d'identification.

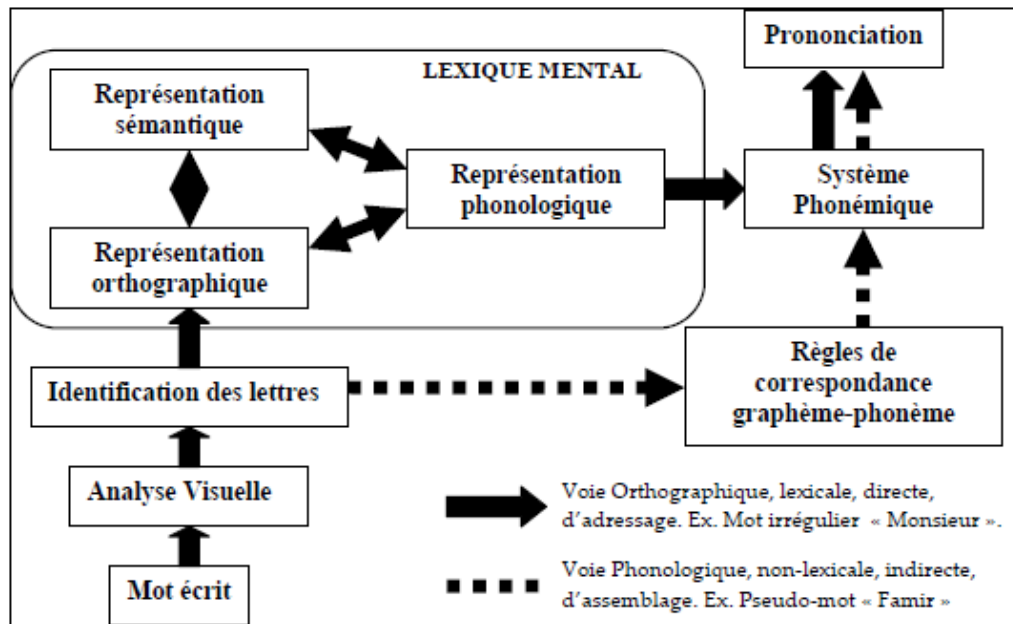


Figure 1 : Modèle de la double-voie (Coltheart, 1978).

2. Le modèle de la double voie en cascade

Le dual route cascade model (Coltheart et al, 2001 ; Coltheart, 2006) est la version implémentée du modèle à double voie de Coltheart (1978). Les informations sont transmises, d'un niveau à un autre, permettant aussi la lecture de pseudo-mots. Dans ce modèle, Coltheart distingue trois voies. Dans la voie lexicale non-sémantique, les informations visuelles activent le lexique orthographique qui active à son tour le lexique phonologique, mais sans passer par le système sémantique. Le système sémantique est activé uniquement dans la voie lexicale sémantique. Enfin, par la voie non-lexicale, les lettres sont converties en sons selon les règles de conversion graphème-phonème.

Les différents systèmes coexistent et interagissent, notamment les systèmes orthographique et phonologique.

Ce modèle est congruent avec les observations faites chez les dyslexiques, en particulier à propos de la double dissociation fréquemment rencontrée lors de la lecture de listes de mots irréguliers et de pseudo-mots. De ce fait, ce modèle apporte des éléments de réponse pour expliquer les différentes formes de dyslexie.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

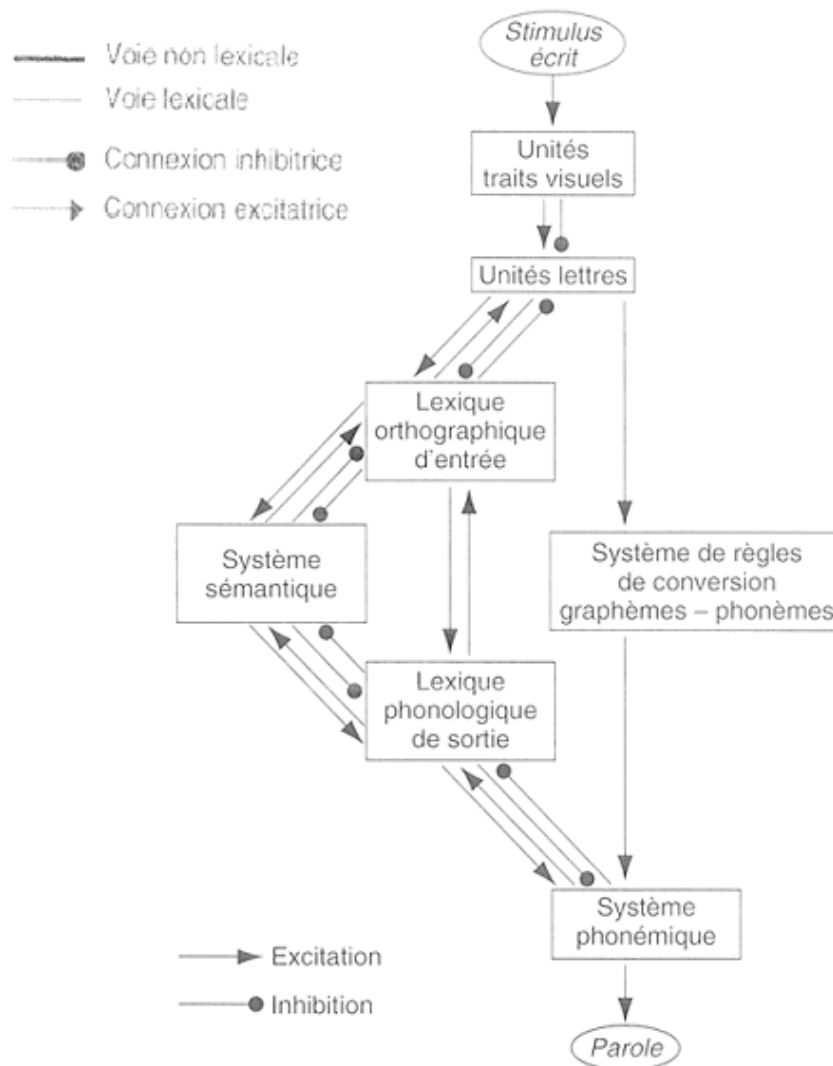


Figure 2 : Modèle de la « DRC » par Coltheart et al. (2001)

3. Le modèle de Frith

Les modèles en étapes décrivent les stades par lesquels passe l'apprenti lecteur pour atteindre une lecture experte.

Le modèle développemental de Frith (1986), composé de trois stades, s'intègre une logique hiérarchique : chaque stade est intégré dans le suivant. Ainsi, un trouble de l'acquisition « peut simplement être vu comme un échec persistant à accéder au stade suivant selon un processus normal d'acquisition ». Dans cette perspective, la dyslexie appréhendée comme un arrêt dans le développement n'est pas uniforme. Conséquence directe de cette analyse, il peut exister autant de types de dyslexie, qu'il y a de stades à franchir.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

Frith (1986) propose un modèle en trois stades. Le stade logographique concerne le traitement global et uniquement visuel des mots, sans aucune information d'ordre phonologique. Il s'agit d'identifier des mots sur la base d'un traitement de traits visuels saillants. La stratégie logographique correspond à la mémorisation de formes visuelles, permettant de développer un vocabulaire visuel (« *sight vocabulary* »). L'enfant reconnaît instantanément le mot qu'on lui présente, sur la simple base de caractéristiques graphiques. De fait, le mot doit appartenir au lexique visuel de l'enfant et avoir été appris globalement. C'est par exemple le cas lorsque l'enfant donne l'impression de savoir lire sur une bouteille « Coca-Cola », alors qu'en réalité, il reconnaît seulement le logo de cette marque.

Le second stade est le stade alphabétique. L'enfant s'appuie sur les connaissances qu'il a des lettres et de leurs correspondances sonores. C'est une procédure analytique, où tous les graphèmes sont traités les uns après les autres. Contrairement au premier stade, ici l'ordre et l'identité des lettres ont leur importance. Pour parvenir à cette étape, un enseignement explicite du système alphabétique est nécessaire, d'abord les règles de conversions simples, puis les plus complexes. L'enfant assemble les sons pour accéder au sens du mot.

Le dernier stade est le stade orthographique. L'analyse du mot écrit s'effectue sur la base orthographique. Les unités orthographiques, de tailles supérieures, correspondent aux morphèmes. Cette procédure découle de la fusion des deux premières procédures, à ceci près que l'unité de traitement est orthographique, c'est-à-dire ni phonologique ni visuelle. Cette stratégie offre un accès visuel au mot par la voie d'adressage. L'enfant reconnaît immédiatement certains morphèmes, ou le mot en entier, en s'appuyant sur le traitement en parallèle des séquences orthographiques qui les composent.

Par ailleurs, Frith considère que l'acquisition de la lecture et de l'écriture sont complémentaires et prennent appui l'une sur l'autre.

Les principales critiques de ce modèle reposent sur le fait qu'il est essentiellement descriptif plutôt qu'explicatif. Dans ces travaux, les changements de stratégies demeurent inexplicés. Par ailleurs, différentes expériences montrent que les stades peuvent coexister chez le même apprenti lecteur, phénomène non envisagé par Frith. Il n'en reste pas moins que ce modèle est très influent dans le domaine des recherches sur l'apprentissage de la lecture.

Plusieurs limites ont été dénoncées au sujet des modèles en stade. Tout d'abord, aucun chevauchement n'est possible entre chaque stade, pourtant, il semble que dans le développement du langage écrit, les étapes se chevauchent, les unes s'aidant des autres pour être plus performantes. Autre limite relative des modèles en stade, l'absence de prise en

Mécanismes et apprentissage de la lecture

compte des connaissances linguistiques préalables donne l'impression que l'apprentissage de la lecture des enfants se fait sans pré-requis au niveau du langage oral.

Afin de dépasser ces limites, les modèles interactifs prennent en compte les actions réciproques des différents processus, mais aussi le rôle du traitement implicite dans l'apprentissage, autrement dit s'ajoute aux connaissances explicites, un apprentissage implicite où l'apprenti lecteur développe des connaissances et des traitements qui n'ont jamais été enseignés.

4. Les modèles de lecture par analogies

Les modèles de lecture par analogies s'inspirent des perspectives connexionnistes, telles que celles proposées par Seidenberg et Mc Clelland (1989).

Le modèle de Gombert et al. (1997) cherche à démontrer l'articulation entre le traitement du langage écrit et le traitement du langage oral, ainsi que le rôle des traitements implicites dans l'apprentissage.

Selon Gombert (2003), l'enfant disposerait, avant même l'entrée dans l'apprentissage de la lecture, d'un système capable de traiter le langage oral d'une part et les *stimuli* visuels d'autre part, base à l'élaboration de tout système écrit.

Ce système se compose de quatre processeurs. Le processeur pictural traite les informations visuelles, le processeur phonologique les informations linguistiques auditivement perçues. Le processeur sémantique attribue une signification. Enfin, le processeur contextuel traite les informations externes, visuelles et/ou mot en cours de traitement.

Dès l'école maternelle, l'enfant traite visuellement les signes écrits. L'enfant reconnaît un certain nombre de mots d'une manière logographique, auquel il associe un sens. Dès ce moment, l'enfant développe une habitude à des régularités relatives de l'écrit. L'enfant intègre ainsi très tôt des connaissances visuo-orthographiques, phonologiques et morphologiques, acquises implicitement. Dès ses premières lectures, l'apprenti lecteur peut, sans en avoir conscience, faire des analogies entre les mots qu'il sait déjà reconnaître et ceux qu'il essaye de découvrir.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

La prise en compte de la complémentarité entre les processus implicites et les processus explicites dans l'apprentissage de la lecture fournit également des éléments de compréhension des dysfonctionnements de l'apprentissage, notamment en cas de dyslexie.

Dans ce cadre, l'apprentissage de la lecture est à la fois tributaire d'organisations préexistantes en mémoire et des connaissances à acquérir par le biais d'apprentissages explicites.

La lecture se trouve à l'interface entre les processus implicites et explicites (Demont et Gombert, 2004). Les apprentissages implicites sont responsables des automatismes de lecture, mais les connaissances conscientes sont indispensables au déploiement de ces apprentissages.

Les analogies, particulièrement impliquées dans les apprentissages implicites, ont fait l'objet de récentes et nombreuses recherches (Bosse, 2004) et ouvrent une piste de réflexion quant aux apprentissages de langage écrit et aux explications des troubles de ces apprentissages, tels que la dyslexie.

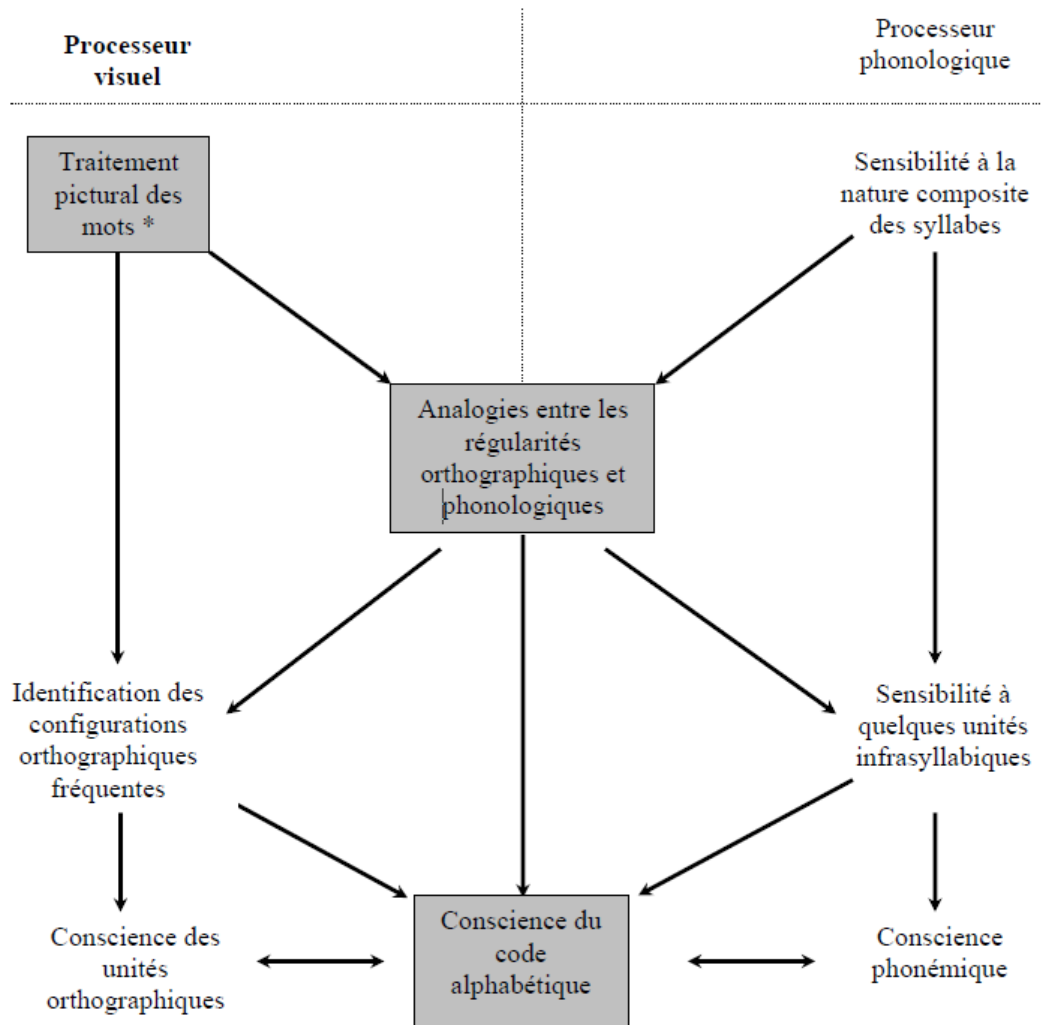
Kay et Marcel (1981) ont été les premiers à postuler que la prononciation de mots réguliers, irréguliers et de pseudo-mots peut se faire par analogie avec des mots déjà appris. Aujourd'hui, l'existence de telles analogies est reconnue (Gombert et al., 1997 ; Gombert, Bonjour, Marec-Breton, 2004) et le débat porte plutôt sur la précocité de leur apparition.

Goswami (1988) à la suite d'un grand nombre d'études, conclue que les enfants débutants utilisent des analogies pour lire des mots nouveaux.

Les études sur l'effet de voisinage permettent d'étudier les analogies sans présentation du mot indice. Plusieurs études, menées par Bosse, Tainturier et Valdois (2003), montrent que dès le CP, les enfants font des analogies. Ainsi, les effets de voisinage qu'elles observent sont dus à des activations de *patterns* orthographiques lexicaux. De plus, le taux d'analogies lexicales chez l'enfant ne diffère peu de celui des adultes. Ces données suggèrent que le fonctionnement par analogie ne dépendant ni de l'âge ni du niveau scolaire.

De même, il semble que la production d'analogies ne soit pas fortement en lien avec les capacités de conversion graphème-phonème.

Mécanismes et apprentissage de la lecture



* traitement incluant le traitement de certaines configurations orthographiques.

Figure 3 : L'apprentissage de la lecture selon Gombert et al. (1997)

5. Un modèle connexionniste : le modèle multi-traces

Ans, Carbonnel et Valdois (1998) ont proposé un modèle connexionniste de la lecture de mots polysyllabiques assez radicalement différent des modèles développementaux, simulant la dyslexie suite à l'atteinte d'une composante spécifique du système de lecture. Le modèle implémenté sous la forme d'un réseau neuromimétique se compose de quatre couches d'unités simples : deux couches orthographiques (O1 et O2), une couche centrale (ME pour mémoire épisodique) et une couche phonologique de sortie (P). Le modèle théorique inclut une composante supplémentaire, une mémoire temporaire phonologique (MTP) qui n'a pas été implémentée. Le modèle dispose en outre d'une fenêtre attentionnelle (sur O1) de taille variable, à travers laquelle est extraite l'information orthographique d'entrée. Cette fenêtre

Mécanismes et apprentissage de la lecture

attentionnelle joue un rôle important en lecture, pouvant être à l'origine de certains types de dyslexie développementale quand elle dysfonctionne.

Le Modèle Multi-Traces (MTM) postule l'existence de deux procédures de lecture, l'une globale et l'autre analytique (conformément au modèle de Coltheart, 1978), qui interviennent successivement lors du traitement. Le traitement de toute séquence orthographique est d'abord initié en mode global, le traitement analytique n'intervenant que secondairement en cas d'échec du traitement global. Ces deux procédures se différencient par la taille de la fenêtre visuo-attentionnelle (FVA), à travers laquelle est extraite l'information orthographique.

Lorsqu'un mot (ou pseudo-mot) est présenté au réseau, la procédure pour le lire se déroule de cette façon : la FVA englobe la totalité de la séquence orthographique d'entrée (O1). L'activation des unités de O1 se propage aux cellules de la couche ME (à savoir l'activation des informations préalablement mémorisées sur les mots appris), ce qui conduit à générer simultanément deux *patterns* d'activation sur O2 et sur P. Si le *pattern* d'activation, recréé sur O2, est exactement identique au *pattern* O1, on estime que la séquence orthographique d'entrée a été reconnue par le réseau comme objet familier. Dans ce cas, le *pattern* d'activation recréé sur la couche phonologique de sortie (P) est accepté comme la réponse du système. On dit que le mot a été lu en mode global.

Lorsque le *pattern* d'activation, recréé sur O2, n'est pas conforme au *pattern* d'activation de O1, il y a échec du traitement global et le système bascule en mode analytique. La FVA est alors réduite à la plus large portion initiale du mot que le système est capable de reconnaître. Seules les cellules appartenant à la fenêtre focale ainsi délimitée sont activées sur O1 et conduisent à générer, sur O2 et sur P, des *patterns* d'activation correspondant à l'information délimitée par cette fenêtre focale. Comme précédemment, c'est l'identité des *patterns* d'activation de O1 et O2, qui conditionne l'acceptation de la réponse phonologique générée sur P. Lorsque ces *patterns* sont identiques, la sortie phonologique correspondant à la partie initiale de la séquence orthographique est validée et maintenue en mémoire à court terme. La seconde étape du traitement analytique consiste à déplacer la fenêtre attentionnelle sur la deuxième partie du mot reconnaissable par le système et ainsi de suite jusqu'au traitement de la séquence entière. Ainsi, les différentes portions du mot, traitées successivement, conduisent à générer des séquences phonologiques successives qui seront maintenues en mémoire et pourront ensuite être fusionnées pour produire une séquence phonologique complète, correspondant à la totalité de la séquence orthographique d'entrée.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

Bien que les deux procédures de lecture ne soient pas *a priori* dédiées au traitement d'un type particulier d'items, mots ou pseudo-mots, il se trouve que la plupart des mots préalablement appris sont traités en mode global alors que les pseudo-mots sont lus en mode analytique.

Le modèle distingue donc deux procédures de lecture, qui se caractérisent par des fenêtres visuo-attentionnelles de taille différente : une fenêtre de grande taille qui englobe l'ensemble du mot lors du traitement global, et une fenêtre de petite taille, réduite à des portions de mot lors du traitement analytique. Un dysfonctionnement du mécanisme phonologique ou visuo-attentionnel pourrait être alors à l'origine des différentes formes de la dyslexie.

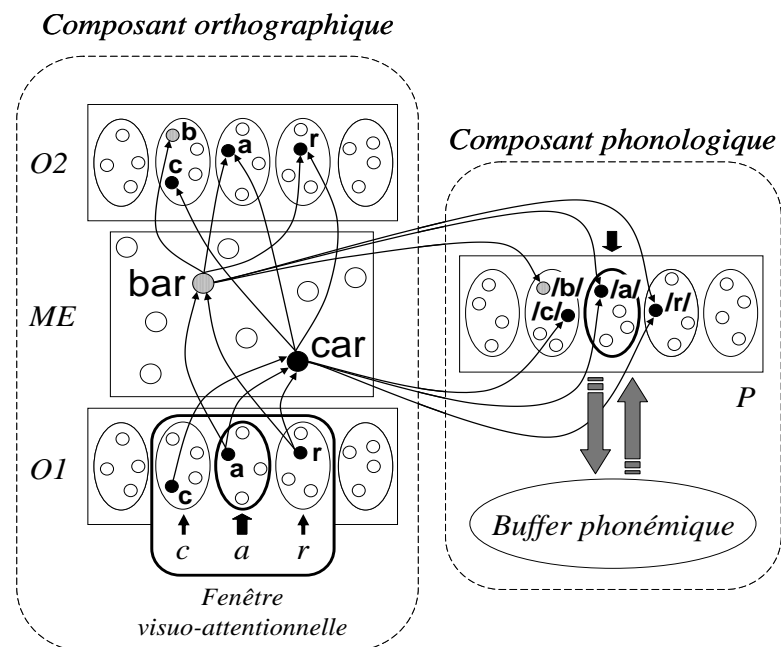


Figure 4 : Représentation schématique du Modèle Multi-Traces (MTM) de lecture

Le champ de la recherche sur les troubles visuo-attentionnels, qui seraient responsables de la dyslexie, ouvre désormais de nouvelles perspectives, en spécifiant les caractéristiques de ce trouble des capacités visuo-attentionnelles. Il s'agirait d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel en raison d'une rééducation de la fenêtre visuo-attentionnelle, associé le plus souvent à une certaine forme de dyslexie, et observé en dehors de toute présence de trouble phonologique (Valdois, Bosse, Ans, Carbonnel, Zorman, David et Pellat, 2003 ; Valdois et al., 2004)

Mécanismes et apprentissage de la lecture

Avant la parution de ces travaux novateurs, le trouble visuel était surtout considéré comme co-morbide aux troubles phonologiques qui sont les difficultés initiales se manifestant lors de troubles de la lecture. Une nouvelle voie de recherche pose au contraire l'hypothèse d'un déficit de l'empan visuo-attentionnel, comme trouble initial de la dyslexie, pouvant expliquer un trouble de lecture, en l'absence de déficit phonologique.

V. Les apports de l'anatomie cérébrale de la lecture

La lecture résulte, en effet, d'un apprentissage qui dure plusieurs années et ne s'arrête jamais véritablement, puisque chaque confrontation à l'écrit augmente l'expertise du lecteur. L'apparition de cette aptitude est tardive dans l'éventail d'activités cognitives réalisées par l'homme. Il est intéressant de s'interroger sur la manière dont se met en place cette expertise au niveau cérébral.

Existe-t-il des structures anatomiques qui se spécialisent graduellement dans le traitement nécessaire à la lecture grâce à cet apprentissage ? Ou bien cette activité repose-t-elle sur des exploitations de ressources cognitives impliquées dans d'autres activités ?

Les réponses à ces questions préoccupent les chercheurs depuis longtemps. Ces travaux sont d'ailleurs à la base des recherches tentant d'établir des liens entre les neurosciences et les aptitudes cognitives plus larges.

A ce jour, aucune aire spécifique à la lecture n'a été découverte dans le cerveau. La lecture des mots semble reposer sur un réseau d'aires, que l'on savait impliqué dans différents traitements de type visuel ou langagier.

Les résultats de ces recherches montrent une activation cérébrale pendant la tâche de lecture au niveau des zones périsylviennes de l'hémisphère gauche impliquées dans la perception et la production du langage, dans le gyrus supramaginal où sont stockées et traitées les informations phonologiques et enfin dans le gyrus angulaire, qui fait le lien entre les informations présentées visuellement et les représentations linguistiques.

S'appuyant sur les techniques d'imageries fonctionnelles, Habib (1997, 2000, 2004) et Démonet, Taylor et Chaix (2004) montrent que les sujets adultes non dyslexiques activent principalement deux zones lors de la lecture de mots : la région de Broca, zone classiquement

Mécanismes et apprentissage de la lecture

impliquée dans les processus de récapitulation pré-articulatoire et la zone temporelle inférieure et postérieure gauche, dont la proximité avec les aires visuelles incite à en faire un centre de perception de la forme visuelle des mots. Une zone frontale postérieure (aire motrice) et une zone temporelle supérieure (auditive) sont également activées.

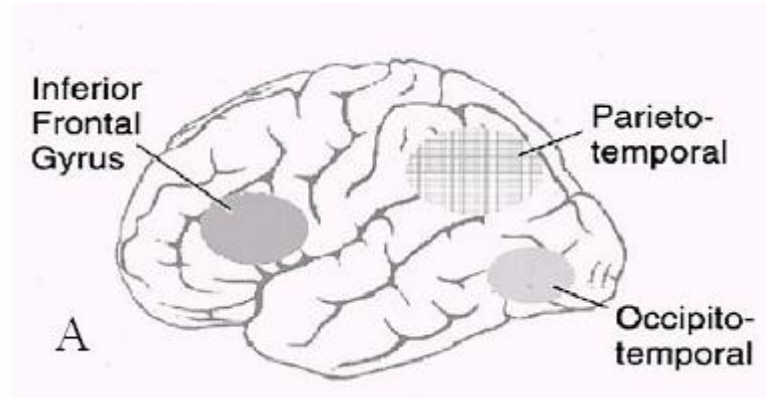


Figure 5 : Les trois zones de l'hémisphère gauche impliquées dans la lecture : l'aire occipito-temporale, le gyrus frontal inférieur, l'aire pariéto-temporale.

Comme déjà évoqué, la lecture fait appel à deux types de processus. Dans le premier cas, la lecture se fait de manière consciente, impliquant des efforts. Confronté à de nouveaux mots, le lecteur doit en effet effectuer la conversion graphème-phonème selon des règles apprises, afin de pouvoir accéder au sens. Cela repose sur une charge attentionnelle qui ne peut être utilisée ailleurs, notamment au niveau de la compréhension. D'après les travaux effectués dans ce domaine, il semble que cette activité repose sur des circuits cérébraux périsylvians, en charge du traitement phonologique des mots.

Dans le second type de processus, l'activité qui se fait de manière automatique sans charge attentionnelle spécifique, est donc beaucoup plus efficace. Cette automatisation permet de libérer de l'attention normalement nécessaire au décodage pour consacrer un maximum de ressources sur les aspects sémantiques. Dans ce cas, les structures cérébrales impliquées sont plus largement distribuées dans l'hémisphère gauche, mais sans doute aussi dans l'hémisphère droit.

Des données sur les zones cérébrales impliquées dans la lecture du mot ont été apportées par le biais de la neuro-imagerie.

Mécanismes et apprentissage de la lecture

Les hypothèses actuelles supposent que cette voie directe, c'est-à-dire cet accès direct au lexique mental, passe par la voie ventrale du lobe occipital vers le lobe temporal inférieur gauche. Au fur et à mesure du traitement sémantique, les traitements se font dans les aires temporales. Cette voie est identique à celle impliquée dans l'identification d'objets (Dehaene, 2006 ; Habib, 1997).

Pour la voie indirecte, concernant la transcription grapho-phonémique, le réseau serait essentiellement latéralisé à gauche, impliquant le gyrus frontal inférieur, le gyrus supramaginal et la moitié postérieure du sillon temporal supérieur. Ce réseau relève du rappel, du maintien, de la manipulation des attributs phonologiques dans les diverses tâches du langage (figure 6).

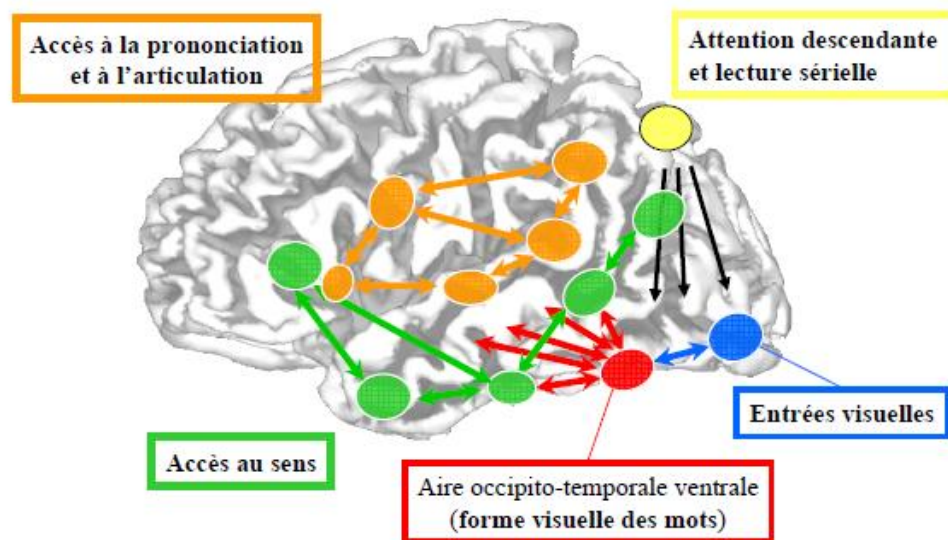


Figure 6 : Schéma récapitulatif des différentes voies de lecture (Dehaene, cours au collège de France, 2006-2007), la région occipito-temporale semble servir de « voie d'entrée » visuelle de la lecture, trois autres grands réseaux semblent ensuite être impliqués.

Plus récemment, des études (Cohen, Dehaene, Naccache, Lehericy, Dehaene-Lambertz, Henaff, Michel, 2000 ; Cohen Lehericy, Chochon, Lemer, Rivaud, Dehaene, 2002 ; Kherif Josse et Price, 2010 ; MacSweeney, Brammer, Waters et Goswami, 2009) se sont portées vers une région particulière du cerveau : la « *visual word form area* » (l'aire de la forme visuelle du mot). Cette région située dans la partie moyenne du gyrus fusiforme gauche, s'active lors de l'activité de lecture environ 200 ms après la présentation visuelle. Cette aire semble constituer une aire d'interface entre les représentations visuelles et linguistiques (Vigneau, Jobard, Mazoyer et Tzourio-Mazoyer, 2007). Les études montrent notamment l'implication de

Mécanismes et apprentissage de la lecture

cette aire lors de la lecture d'unités orthographiques familières pour toute chaîne alphabétique contenue dans des mots ou des pseudo-mots.

Conclusion

L'analyse des mécanismes de la lecture, puis de l'apprentissage de la lecture, a permis de montrer les différentes étapes qui conduisent à la lecture experte, en abordant les modèles *princeps* de la lecture et les soubassements neurobiologiques des processus de la lecture.

Ainsi, notre démarche visait en introduction à fournir une définition de la dyslexie, avant d'appréhender le fonctionnement normal de l'apprentissage de la lecture.

Il s'agit désormais de comprendre quels sont les aspects qui font défaut chez les dyslexiques qui, par définition, sont en échec lors des phases d'apprentissage de la lecture. Dès lors, la première partie a pour objectif d'évoquer les fondements de la dyslexie, en retraçant les différents modèles théoriques et en confrontant les hypothèses explicatives des difficultés d'apprentissage de la lecture.

**AUX ORIGINES
DE LA
DYSLEXIE :
hypothèses et
théories explicatives**

Introduction :

Depuis la découverte de cette nouvelle pathologie du langage, la dyslexie, il y a plus d'un siècle (Pringle-Morgan, 1896), les recherches d'abord calquées sur les modèles théoriques des troubles acquis chez l'adulte se sont progressivement spécifiées vers des modèles développementaux mieux adaptés à la réalité du terrain clinique.

Autour de cette pathologie, qui affecte environ 5% de la population française, est née une grande émulation pour en découvrir les origines afin de chercher des méthodes d'évaluation et de remédiation de la dyslexie. Notre recherche s'inscrit typiquement dans cet état d'esprit.

Nous nous sommes appuyée sur les hypothèses explicatives qui offrent, de notre point de vue, un intérêt clinique, nous les avons inventoriées et mises en perspective pour mettre en place notre protocole. Nous n'avons pas cherché à préciser de manière fondamentale le rôle, l'implication, les enjeux de chacune des hypothèses, mais ce qui a présidé à notre approche est une tentative d'identification de leur pertinence clinique.

L'ensemble des chercheurs s'accorde sur un fait : un déficit phonologique est au cœur de la dyslexie. Mais certains travaux suggèrent que ce déficit ne serait que la manifestation visible d'un dysfonctionnement sous-jacent plus général. Plusieurs théories, basées sur des évidences empiriques incontestables, ont été avancées quant à l'origine de ce déficit. En plus du courant majoritaire, qui défend l'idée d'un déficit phonologique initial non nécessairement lié à un déficit sensoriel ou moteur, on distingue quatre principaux courants :

L'hypothèse auditive, aussi qualifiée de trouble du traitement temporel, mise en évidence par les travaux de Tallal (1980) et plus récemment de Serniclaes et al. (2001), considère qu'un des aspects cruciaux de la dyslexie réside dans la résolution temporelle des *stimuli* auditifs, affectant en particulier la perception des sons brefs et des transitions rapides. Sans une telle habilité, un enfant n'est pas en mesure de développer des capacités phonologiques nécessaires à la lecture.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

L'**hypothèse visuelle** repose sur l'idée que les dyslexiques souffrent d'une légère instabilité de la fixation oculaire qui pourrait engendrer des distorsions, des déplacements et des superpositions de lettres et de mots (Stein, 2003). On peut y ajouter l'**hypothèse visuo-attentionnelle** (Valdois et al. 2004) selon laquelle les dyslexiques présentent un trouble des capacités de prise d'informations visuelles rapides et complexes, ce qui conduirait à une réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle, affectant à son tour la mise en place de la lecture globale.

Certains auteurs (Stein, 2001) ont proposé d'unifier les hypothèses auditive et visuelle au sein de l'**hypothèse magnocellulaire**, qui postule une anomalie neurologique unique (concernant les magnocellules de toutes les voies sensorielles) à l'origine à la fois des troubles auditifs et visuels.

L'**hypothèse cérébelleuse** résulte des observations concernant la maladresse des sujets dyslexiques qui connaissent souvent des problèmes d'équilibre, de coordination motrice et d'automatisation (conduire, taper à la machine, écrire, lire...). Pour Nicolson et al. (1995), un dysfonctionnement du cervelet serait ainsi à l'origine de la dyslexie. Les données de neuro-imageries révèlent une réduction de l'activité cérébelleuse dans les tâches motrices, phonologiques et de lecture. Nous nous sommes limitée aux épreuves motrices (hypothèse cérébelleuse) et nous avons abandonné celles relevant des hypothèses magnocellulaires, fondées dans une optique neurobiologique, mais dont l'intérêt clinique nous a semblé limité.

Le contexte théorique est donc particulièrement chargé avec des hypothèses qui se confrontent et s'opposent selon les auteurs. Or, nous avons choisi de n'écarter aucune de ces théories, qui présentent séparément des arguments convaincants et différents pour expliquer les causes de la dyslexie. L'originalité du dispositif est justement de penser que les origines du trouble de la lecture sont multiples. En intégrant les expérimentations associées aux différentes théories, ce protocole vise à cerner au plus près les troubles cognitifs de la dyslexie.

Cette approche neuropsychologique repose sur l'idée que seule l'identification des troubles initiaux responsables de la dyslexie n'est pas suffisante, la nécessité de prendre en compte les troubles secondaires, qui y sont fréquemment associés, demeure essentielle. Les épreuves ainsi choisies doivent évaluer l'ensemble des aptitudes cognitives requises par l'activité de lecture. C'est le profil cognitif dans son ensemble qui doit être pris en compte.

I. Compétences lexiques

Les compétences lexiques correspondent aux compétences en lecture et en orthographe attendues pour un enfant d'un certain âge. Nécessitant un apprentissage, elles se développent notamment à l'école élémentaire entre l'âge de 5 et 12 ans (Ecalte et Magnan, 2002, 2010). L'enfant installe, dès le plus jeune âge, les pré-requis pour un bon développement et un apprentissage de ces habiletés très particulières. Dans le protocole, les compétences lexiques sont assimilées aux variables dépendantes.

1. Les capacités de lecture

Deux familles de processus rentrent en jeu lors de la lecture : les processus responsables de l'identification des mots écrits et ceux en lien avec la compréhension, ces derniers n'étant pas spécifiques à la lecture, puisqu'ils interviennent également lors du langage oral. Nous avons choisi de prendre en compte dans notre évaluation uniquement les processus faisant spécifiquement défaut aux dyslexiques. Il s'agit des processus inhérents à l'identification des mots écrits. En effet, le défaut de compréhension n'est souvent que la conséquence des troubles de l'identification des mots écrits qui mobilisent tellement de ressources attentionnelles, qu'elles ne sont plus disponibles pour la compréhension.

La voie d'assemblage, dite aussi « voie phonologique », est testée en soumettant le patient à des listes de pseudo-mots : l'évaluation de la lecture des mots inconnus s'avère seulement possible par cette stratégie. Ainsi, il est possible de vérifier le fonctionnement du décodage graphème-phonème. Le test de la voie d'adressage, consiste à lire des mots irréguliers de la langue, c'est-à-dire les mots qui ne se prononcent pas comme ils s'écrivent (exemple : femme, monsieur). Ces mots doivent obligatoirement être mémorisés dans un stock lexical pour pouvoir être lus correctement. La lecture des mots irréguliers permet donc de tester l'efficacité de la voie lexicale.

Ce type d'évaluation a permis de définir une typologie en fonction du dysfonctionnement de l'une ou l'autre voie. Ainsi, plusieurs formes de dyslexie développementale sont généralement distinguées.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

La dyslexie phonologique serait liée à une atteinte de la voie phonologique. Ce trouble se caractérise par un défaut dans la représentation, le stockage ou la récupération des segments phonologiques. C'est pourquoi les enfants dyslexiques dont la voie phonologique est déficiente n'arrivent pas à segmenter les mots en sons et échouent dans la conversion graphème-phonème. Ils ne sont pas en mesure d'effectuer un apprentissage explicite du décodage puisque les habilités phonologiques nécessaires sont indisponibles (Gombert, 2003). De nombreuses données expérimentales établissent que ce trouble est repéré chez plus de 70 % des dyslexiques (Ramus et al., 2003).

La dyslexie de surface se manifesterait lors d'une atteinte de la voie lexicale, qui assure un accès visuel au mot par un adressage et permet de reconnaître instantanément une partie du mot ou le mot en entier. Le patient dyslexique fait seulement appel à une analyse consciente de la correspondance graphème-phonème, en lisant de façon séquentielle, sans concentrer son attention sur le mot dans son ensemble et sans jamais mettre en place une reconnaissance globale des mots. Pour ces patients, l'apprentissage explicite du décodage est possible. Toutefois, Gombert (2003) fait l'hypothèse que chez la plupart d'entre eux les organisations phonologiques sont de mauvaise qualité ce qui gênerait l'apprentissage implicite et de ce fait l'automatisation de l'assemblage.

Lors d'une atteinte des deux voies de lecture, on parle de **dyslexie mixte**.

Ces distinctions entre dyslexie phonologique, dyslexie de surface et dyslexie mixte sont efficaces d'un point de vue clinique, notamment en vue de la mise en place de stratégies de rééducation adaptées aux difficultés du patient. Toutefois, la différenciation des trois formes de dyslexie n'a pas toujours lieu d'être dans la mesure où les troubles sont imbriqués. Ainsi, une altération de la voie phonologique entraîne une moindre efficacité de la voie d'adressage puisque le manque d'expérience de lecture empêche la formation d'un stock lexical suffisant. La difficulté de reconnaissance globale des mots prive le patient d'une lecture fluide, non coûteuse d'un point de vue attentionnel.

Pour évaluer les performances en lecture, il est classique d'utiliser des listes d'items isolés dont les propriétés spécifiques testent de manière indépendante plusieurs difficultés rencontrées au cours de l'identification des mots écrits. Le cadre théorique de cette procédure de test est celui du modèle à double voie d'accès au lexique (Coltheart, 2001).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

De façon conventionnelle, l'évaluation des compétences en lecture permet donc de repérer quelle est précisément la voie atteinte en soumettant aux enfants des séries de pseudo-mots ainsi que des listes de mots isolés qui varient en fonction de leur degré de fréquence et de régularité. Les listes de pseudo-mots testent la fonctionnalité de la voie phonologique, en contraignant l'enfant à lire des termes jusque là inconnus et donc inaccessibles par la voie d'adressage. En revanche, les listes de mots irréguliers testent spécifiquement la voie d'adressage puisque le décodage graphème-phonème n'est pas suffisant pour accéder directement à ces mots (Coltheart et Leahy, 1992, Coltheart et Rastle, 1994)

La fréquence des mots est également un indicateur pour apprécier la maîtrise des compétences de lecture de l'enfant. La maîtrise du processus de lecture est totalement acquise lorsque l'enfant mobilise de façon préférentielle la voie d'adressage pour lire les mots rencontrés fréquemment qu'ils soient réguliers ou non. Cette procédure de lecture, peu coûteuse attentionnellement permet une concentration maximale de l'enfant sur la compréhension de ce qui est en train d'être lu. Au contraire, si l'enfant utilise de façon systématique la voie d'assemblage, en décodant les mots sons par sons, la compréhension est plus difficile.

Il est également possible de tester les analogies faites par le lecteur, en utilisant la lecture de séries de pseudo-mots, voisins orthographiques et/ou phonologiques de mots réels (Reynolds et Besner, 2002, Sprenger-Charolles et al., 1998, Sprenger-Charolles et al., 2003). La lecture d'un pseudo-mot comme « ardateur » poursuit un objectif d'évaluation du degré d'efficacité des procédures phonologiques et orthographiques, utilisées par l'enfant pour l'identification des mots écrits.

2. Les capacités en orthographe

Peu de données abordent le sujet des troubles spécifiques de l'orthographe, ce qui est notamment lié au caractère indissociable repéré dans la littérature entre processus de lecture et d'orthographe. En effet, la plupart des travaux postulent, au moins implicitement, la co-morbidité quasi-systématique entre les troubles de l'orthographe et les troubles de la lecture (Lussier et Flessas, 2001).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Pour chaque enfant, l'apprentissage de la production écrite est long et particulièrement difficile, en lien avec la transparence de la langue. Comme pour l'apprentissage de la lecture, plus une langue est transparente, plus la correspondance phonème/graphème est simple et plus l'apprentissage de l'écrit sera rapide (Majeres, 2005).

Processus inverse de l'action de lire, le fait d'écrire suppose d'effectuer un codage phonème-graphème. Cette proximité explique que la dysorthographie soit intrinsèquement liée à la dyslexie. Lors de l'évaluation d'un trouble de la lecture, il est donc indispensable d'évaluer en parallèle les capacités d'orthographe du patient.

Même si l'on considère généralement que la co-morbidité entre les troubles de la production écrite et la dyslexie coexistent, les compétences orthographiques s'installent plus tardivement dans l'apprentissage, leurs troubles sont donc repérés plus tardivement.

Les études menées sur la dysorthographie dissociée de la dyslexie sont quasi-inexistantes. On considère, en général, que les troubles d'orthographe sont nécessairement consécutifs aux troubles de la lecture. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des troubles sont donc, à la base, identiques. Le profil de la production écrite est similaire à celui de la lecture. Un enfant incapable de lire les mots irréguliers, en raison d'un défaut de la voie d'adressage, ne pourra pas écrire correctement ce type de mots. En effet, chez les dyslexiques de surface, l'écriture des mots complexes et irréguliers, est incorrecte alors qu'au contraire l'orthographe des pseudo-mots reste, en général, équivalente aux performances obtenues par les enfants de même âge lexique. Les erreurs produites sont le plus souvent plausibles phonologiquement (Martinet et Valdois, 1999). Inversement, un enfant confronté à des difficultés dans la lecture de pseudo-mots, c'est-à-dire dans le décodage graphème-phonème, rencontrera préférentiellement des difficultés pour écrire des pseudo-mots ou des mots nouveaux, plutôt que dans l'écriture des mots fréquents. Toutefois, il présente souvent des difficultés au niveau de l'orthographe des mots irréguliers (Valdois et al., 2003). Enfin, chez les enfants qui ne peuvent identifier ni les mots irréguliers, ni les pseudo-mots, la production écrite sera des plus chaotique.

Les processus en jeu dans l'orthographe sont en miroir de ceux énoncés à propos des différentes voies de la lecture.

La **procédure orthographique** consiste à récupérer l'orthographe d'un mot connu dans une représentation orthographique stockée en mémoire. Le mot dicté subit d'abord un

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

traitement préliminaire de manière à extraire une représentation intermédiaire de nature acoustico-phonétique. Dans le cas d'un mot familier, cette représentation active une entrée dans le registre de mémoire qui contient les représentations phonologiques des mots connus, à savoir le lexique phonologique d'entrée. Ensuite, la signification est récupérée par l'intermédiaire d'une représentation stockée dans le système sémantique.

Dans le cas de l'écriture spontanée, ce même système sémantique constitue le point de départ de la procédure. La représentation sémantique permet la récupération de la représentation orthographique correspondant au mot dans un lexique orthographique de sortie. Cette procédure est sensible à la fréquence d'usage du mot, les mots inconnus et les pseudo-mots ne peuvent donc être traités suivant cette procédure puisqu'ils ne sont pas représentés lexicalement dans le stock lexical. Pour ces items, il est nécessaire d'utiliser la procédure phonologique.

La **procédure phonologique** est basée sur l'utilisation d'un système de règles de conversion phonème-graphème. Après analyse de sa forme sonore, un mot entendu est segmenté en unités phonologiques qui reçoivent une traduction orthographique. L'orthographe est obtenue par l'assemblage de ces différents segments. Cette procédure est sensible au caractère plus ou moins systématique des relations phonème-graphème. Les tests d'orthographe utilisent des graphies particulières permettant d'isoler les mécanismes d'orthographe mis en place par l'enfant lors de l'écriture des mots : correspondances simples, prise en compte du contexte, stock orthographique de sortie, traitements morphologiques.

Les compétences morphologiques joueraient également un rôle dans l'apprentissage de l'orthographe (Pacton, Fayol et Perruchet 2005). Il est difficile de distinguer leur spécificité en rapport avec les autres ingrédients des compétences lexicales (phonologiques, orthographiques, sémantiques). Des recherches tentent, cependant, d'étudier leur interaction.

Sans être déterminante, la mesure des capacités d'orthographe oriente le diagnostic de la dyslexie. Il est donc nécessaire d'intégrer des épreuves d'orthographe au protocole de diagnostic de la dyslexie. Il faut d'ailleurs garder à l'esprit que le diagnostic de la dyslexie ne se suffit pas à lui-même, mais vise à apporter des solutions à ces jeunes patients face aux troubles co-morbides, notamment ceux rencontrés à l'écrit.

II. Compétences co-morbides

Un ensemble de capacités cognitives joue un rôle secondaire mais déterminant dans l'apprentissage de la lecture spécifiquement la mémoire et l'attention. De ce fait, un déficit dans l'une ou l'autre de ces fonctions peut entraîner des difficultés dans l'apprentissage de la lecture. Il semble donc essentiel de prendre en compte ces capacités dans le dépistage de la dyslexie. Non seulement leur évaluation permet d'établir un profil particulier des enfants présentant des troubles de la lecture, mais elle offre aussi une ouverture de la prise en charge qui ne sera alors pas ciblée uniquement sur les troubles de lecture, voire sur les troubles phonologiques, mais pourra s'orienter vers la rééducation des troubles de la mémoire et de l'attention.

Nous avons donc choisi d'évaluer la mémoire à court terme, la mémoire de travail et les capacités attentionnelles. Encore une fois, leur lien avec la lecture n'est pas spécifique mais elles restent déterminantes dans l'ensemble des apprentissages (compétences secondaires).

1. La mémoire à court terme

La mémoire à court terme et la mémoire de travail sont souvent associées aux troubles de la lecture (De Jong et Van der Leij, 1999, Ramus et Szenkovits, 2008, Smith-Park et Fisk, 2007).

En effet, de nombreuses études ont mis en évidence des performances en mémoire à court terme nettement inférieures chez les dyslexiques. Ce déficit en mémoire à court terme s'explique soit par un ralentissement dans l'articulation (Avons et Hanna, 1995, Hulme, Roodenrys, Brown, et Mercer, 1995, Kibby et Cohen, 2009, McDougall et Donohoe, 2002), soit par un déficit dans les apprentissages, l'encodage et l'utilisation des représentations phonologiques (Carroll et Snowling, 2004, Kramer, Knee, et Delis, 2000, Tijms, 2004).

Dans la plupart des recherches, les particularités de la mémoire à court terme sur les capacités de lecture sont étendues à celles de la mémoire de travail. La mémoire de travail est fortement mobilisée au cours de l'apprentissage de la lecture puisqu'il s'agit de mettre

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

en relation des lettres et des sons de la langue (Savage, Lavers et Pillay, 2007). De ce fait, les études se sont spécifiquement intéressées à la mémoire de travail. En effet, à la différence de la mémoire à court terme, la mémoire de travail est dynamique : cette capacité cognitive étant particulièrement impliquée dans le traitement simultané de plusieurs informations (Wolff et Lundberg, 2003).

La mémoire de travail se définit comme la capacité à mémoriser et à manipuler des informations dans une courte durée. Le concept de mémoire de travail a été largement étudié par Baddeley (2001). Selon lui, la mémoire de travail possède trois composantes : le calepin visuo-spatial traite les informations visuelles, la boucle phonologique assure l'analyse des informations auditivo-verbales et permet de rafraîchir les données verbales, l'administrateur central coordonne les ressources attentionnelles. Depuis une dizaine d'années, Baddeley a ajouté un quatrième élément dans son modèle, à savoir le buffer épisodique qui stocke temporairement et de manière limitée des informations provenant des sous-systèmes multimodaux.

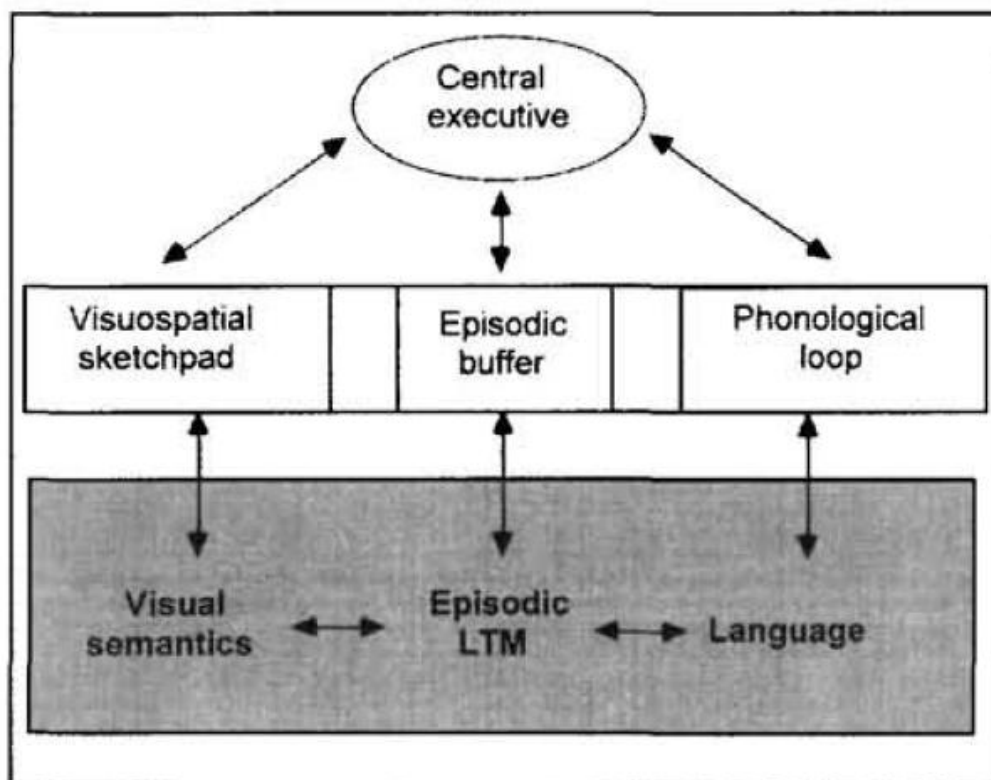


Figure 7 : The revised working memory model (Baddeley, 2001).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Lors de la phase d'assemblage, la suite de sons produits ou évoqués doit être stockée dans la mémoire de travail auditivo-verbale, selon l'ordre sériel d'origine, pour en permettre l'assemblage dans un second temps. Le coût cognitif de cette procédure est très important pour la mémoire de travail. Or, il est indispensable de pouvoir utiliser la mémoire de travail de façon pertinente, en fonction des mots précédents pour la compréhension contextuelle notamment. La moindre défaillance en mémoire de travail aboutit à un mauvais décodage du mot lu. Limitée en temps, la boucle phonologique est nécessaire pour apprendre les formes orthographiques des nouveaux mots, car elle permet d'associer les *patterns* de sons dans le système verbal et d'activer ainsi la lecture des mots familiers.

En effet, les dyslexiques obtiennent des performances nettement dégradées dans les tâches de mémoire de travail, type répétition de pseudo-mots (Smith Park et al., 2007). Il convient donc d'évaluer les habiletés de mémoire à court terme et de mémoire de travail, afin de contrôler ces paramètres.

Les travaux de recherche sur les liens entre la mémoire de travail et la dyslexie prennent très souvent en compte la mémoire de travail et plus particulièrement la mémoire de travail phonologique (Ackerman et Dykman, 1993 ; Jeffries et Everatt, 2004 ; Ramus et al., 2008 ; Savage et al., 2007 ; Wolff et al., 2003). Un large consensus est observé quant aux faiblesses des dyslexiques dans les épreuves de mémoire de travail phonologique.

Certains auteurs tentent d'intégrer la mémoire de travail visuo-spatiale, en comparaison avec la mémoire de travail phonologique dans les troubles de la lecture. En ce sens, ce ne sont plus les troubles phonologiques qui sont recherchés mais bien l'ensemble de la mémoire de travail avec comme hypothèse sous-jacente un trouble du contrôle exécutif possible chez les dyslexiques.

Les constatations de Jeffries et al. (2004), qui tentent de comparer un groupe de dyslexiques, à un groupe d'enfants rencontrant des difficultés scolaires (dyspraxie, déficit attentionnel, trouble psycho-affectif) et un groupe d'enfants sans particularité, évoquent des difficultés en mémoire de travail verbale et visuo-spatiale chez l'ensemble des enfants en difficulté, y compris les dyslexiques. Cependant, le groupe des dyslexiques se démarque

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

spécifiquement du groupe d'enfants confrontés à des difficultés dans les apprentissages autres que la dyslexie, au niveau de la mémoire de travail phonologique, où les performances des dyslexiques demeurent particulièrement inférieures.

Dans l'étude récente de Smith-Park et al. (2007), comparant 22 adultes dyslexiques et 22 adultes contrôles appariés en âge, les résultats révèlent des performances significativement inférieures chez les dyslexiques adultes dans les tâches d'empans verbaux. Cependant, l'auteur insiste sur le fait que la mémoire de travail visuo-spatiale n'est pas assez prise en compte chez les dyslexiques. Son protocole, qui teste la mémoire de travail phonologique mais aussi la mémoire de travail visuo-spatiale « complexe », met en évidence des difficultés spécifiques pour les enfants dyslexiques. Sans douter de l'inefficience de la mémoire de travail phonologique chez les dyslexiques, ces travaux indiquent qu'il est nécessaire de ne pas laisser de côté la mémoire de travail visuo-spatiale.

Enfin, on remarque aussi que l'évaluation de la mémoire de travail s'effectue dans différentes populations souffrant de diverses pathologies comme la dyspraxie et les troubles psycho-affectifs (Jeffries et al., 2004), et l'hyperactivité (Kibby et al., 2009). Dans tous les cas, un trouble de la mémoire de travail verbale est mis en évidence chez les dyslexiques. Ce trouble est par ailleurs très souvent observé dans les échantillons dits « pathologiques » (dyspraxiques, hyperactifs...) mais dans ce cas les performances des dyslexiques demeurent très souvent inférieures. Toutefois de récents travaux conduits par Nithart (Nithart, 2008, Nithart, Demont, Majerus, Leybaert, Poncelet, Metz-Lutz, 2009), indiquent que les dysphasiques qui ont une forte probabilité de rencontrer à terme des troubles en lecture se distinguent des dyslexiques par des difficultés encore plus sévères dans les capacités de mémoire à court terme et phonologique.

Les résultats concernant un déficit en mémoire de travail chez les dyslexiques sont également corroborés par les observations faites par imageries cérébrales. Des différences d'activation cérébrale ont été mises en évidence entre les dyslexiques et les normo-lecteurs dans le cervelet droit et le gyrus frontal inférieur bilatéral, autant de zones qui sont en lien avec les aires cérébrales commandant la boucle phonologique de la mémoire de travail (Eckert, Leonard, Richards, Aylward, Thomson, Berninger, 2003 ; Eckert, 2004). Plus récemment, Benevetti, Tonnessen et Erslund (2009) observent chez deux groupes distincts appariés en âge, une réduction de l'activation cérébrale du cortex préfrontal et du cortex

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

pariétal supérieur chez les dyslexiques lors de tâche de mémoire de travail phonologique. Il observe, également, les compétences des dyslexiques comparées à celles des normo-lecteurs appariés en âge chronologique sur des épreuves de mémoire de travail sans composante phonologique particulière. Les dyslexiques obtiennent des performances inférieures. Les résultats indiquent une réduction d'activité cérébrale au niveau du cortex préfrontal, pariétal et du cervelet.

Dans notre protocole, nous avons choisi d'intégrer de brèves épreuves d'empans verbaux et visuels, afin d'avoir un aperçu rapide des compétences en mémoire à court terme et en mémoire de travail. Elles sont considérées comme des variables contrôles, si un enfant rencontre des difficultés spécifiques, il sera nécessaire d'approfondir le bilan par le biais d'épreuves plus spécifiques.

L'évaluation des empans mnésiques (verbaux et visuo-spatiaux) permet également d'orienter la prise en charge rééducative. L'étude de cas de Kipp et Mohr (2008) montre l'efficacité d'une telle remédiation sur les compétences en lecture. Ce jeune garçon KH, qui rencontre des difficultés majeures dans la mémorisation des correspondances graphème-phonème, a fait des progrès significatifs après cinq mois d'entraînement.

2. L'attention

Un trouble de l'attention avec hyperactivité présente une co-morbidité très fréquente : 15 % à 40 % des enfants hyperactifs souffrent de troubles de la lecture (Moore, Nicolson et Fawcett, 2003). Pour certains, cette fréquence serait la conséquence des difficultés de compréhension engendrées par les troubles d'attention. Pour d'autres, il existerait bien un lien spécifique entre ces deux pathologies (Dykman et Ackerman, 1991 ; Willcutt, Pennington, Boada, Ogline, Tunick et Chabildas, 2001). L'étude de Knivsberg et Andreassen (2008) indique que les parents et les enseignants des enfants dyslexiques rapportent significativement (à l'aide d'échelles qualitatives) plus de difficultés attentionnelles chez les enfants dyslexiques. De surcroît, les subtests du WISC 3, théoriquement reliés aux capacités attentionnelles (c'est-à-dire les subtests : Arithmétique, Codes, Information, Empan de mémoire) sont significativement moins bien réussis par les dyslexiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Des ressources attentionnelles insuffisantes gênent les apprentissages en général et l'apprentissage de la lecture en particulier. De plus, un enfant souffrant de troubles attentionnels rencontre souvent une démotivation générale dans les apprentissages, qui peut également gêner la mise en place de la lecture. La mesure de ce paramètre s'impose donc dans le diagnostic de la dyslexie, c'est pourquoi une épreuve de barrage simple a été proposée dans le protocole.

Les troubles attentionnels sont appréhendés comme un trouble co-morbide à la dyslexie. D'un point de vue clinique, les dyslexiques rencontrent souvent des troubles attentionnels associés (Mazeau, 2005). De plus, certaines hypothèses explicatives de la dyslexie, comme un trouble neurobiologique de la voie magnocellulaire du système visuel, évoquent la possibilité d'un trouble attentionnel visuel mais aussi auditif (Stein, 2001). Il est également important d'évaluer les performances au niveau visuo-attentionnel. Toutefois, le trouble visuo-attentionnel n'est pas appréhendé dans notre étude comme une variable contrôle mais comme un trouble spécifique aux dyslexiques (Valdois et al., 2003). L'hypothèse d'un trouble de l'attention visuelle, associé à la dyslexie, a notamment été étayée par des études utilisant des paradigmes de recherche de cible parmi des distracteurs, c'est-à-dire les tâches qui nécessitent un traitement sériel attentionnel. Les dyslexiques rencontrent des difficultés spécifiques dans ce type de tâche avec des temps de traitement anormalement longs. (Buchhotz et Kone, 2004 ; Iles, Walsh, et Richardson, 2000 ; Marendaz, Valdois et Walch, 1996 ; Vidyasagar, 1999).

Il nous semblait important de prendre en compte ces constatations cliniques et d'inclure une mesure des capacités d'attention sélective visuelle simple dans notre outil, puisque la co-morbidité entre la dyslexie et la troubles attentionnels est très fréquente, et ce, en dépit de la controverse au sujet de l'existence d'un lien de causalité.

III. Théories explicatives de la dyslexie

En dehors de ces atteintes cognitives qui peuvent gêner la mise en place de la lecture mais pour lesquelles il n'existe pas de lien causal avec la lecture, les recherches fructueuses sur la dyslexie apportent un certain nombre de théories explicatives (Expertise

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

INSERM, 2007). Il s'agit donc de mettre en avant les théories les plus prégnantes de la littérature sur lesquelles nous nous sommes appuyée au cours de notre recherche (les variables causales).

Nous tenterons pour chacune d'entre elles de les définir, de mettre en lien les différentes validités expérimentales, d'évoquer les éventuelles recherches qui mettent en évidence des corrélats neurobiologiques, d'aborder les controverses et les critiques.

1. L'hypothèse phonologique

La fréquence d'un trouble des capacités phonologiques chez les dyslexiques n'est plus aujourd'hui à démontrer. La théorie d'un déficit phonologique, comme origine d'un trouble de la lecture, reste l'hypothèse explicative la plus reconnue dans les travaux de recherche. Cette hypothèse est sous-tendue par la constatation que la lecture est une activité de langage qui se construit secondairement, par un apprentissage explicite, sur les bases du langage oral. Cette activité de lecture repose effectivement à la fois sur une modalité visuelle (décodage des graphèmes) et sur une modalité verbale (faire le lien entre les sons et les mots qu'ils vont constituer).

a) Les processus phonologiques dans la lecture

Pour lire, il faut décoder des éléments graphiques (lettres, graphèmes), puis les transformer en sons, tels qu'ils existent dans le langage oral (phonèmes) et associer les sons entre eux, afin de constituer un mot particulier de la langue, recouvrant un sens précis. Ce décodage nécessite un apprentissage explicite qui doit devenir automatique, faisant alors place à une procédure lexicale. Dans ce cas, les ressources attentionnelles seront entièrement disponibles pour la compréhension, identique alors à celle du langage oral.

La maîtrise des compétences phonologiques qui permettent le traitement conscient des unités les plus petites du langage oral, est indispensable à la procédure de conversion graphème-phonème. Les dyslexiques se caractérisent spécifiquement par des difficultés à mettre en place ce décodage, entraînant également l'impossibilité d'une automatisation de la lecture.

La conscience phonologique n'est pas présente dès la naissance mais apparaît vers l'âge de cinq ou six ans (Bradley et Bryant, 1983). A ce moment seulement, les pré-requis

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

cognitifs sont en place et rendent possible l'apprentissage de la lecture des langues alphabétiques.

Cette conscience phonologique peut être définie comme la prise de conscience qu'en deçà du mot, la parole est composée d'unités (syllabes et phonèmes) qui se combinent. La capacité à manipuler les syllabes se développerait très tôt (Liberman et al., 1974). En revanche, la capacité à manipuler explicitement des phonèmes, plus tardive, semble aller de pair avec l'apprentissage de la lecture (Bryant, Maclean, Bradley et Crossland, 1990). Des études suggèrent que les habilités de traitement phonologique et les habilités de lecture se développent de manière bidirectionnelle (Bruck, 1992). Une sensibilité phonologique initiale permet l'entrée dans l'apprentissage des correspondances graphophonologiques qui, en retour, provoque la conscience des phonèmes. Ce constat a notamment été exposé par une étude longitudinale (Sprenger-Charolles, Siegler, Béchennec et Serniclaes, 2003) réalisée auprès d'enfants scolarisés en primaire. Ces travaux révèlent que les capacités de décodage phonologique interviennent de façon très précoce dans l'apprentissage de la lecture, les processus orthographiques prenant place plus tard dans la lecture.

b) Le trouble phonologique dans la dyslexie

Les premières constatations, qui ont suggéré un trouble phonologique comme origine de la dyslexie, reposent sur l'observation de dyslexiques se trouvant dans l'incapacité de mettre en place le décodage graphème-phonème : procédure qui nécessite un certain niveau de compétences dans les habilités phonologiques. Les études montrent un fort lien entre les compétences de conversion et les habiletés phonologiques ainsi que d'une manière plus générale entre les compétences en lecture (surtout lecture de pseudo-mots) et la conscience phonologique (Griffiths et Frith, 2002 ; Wagner, Torgesen, Rashotte, Hecht et Barker, 1997).

Ainsi, « *les capacités de traitement phonologique font référence au traitement intentionnel des unités linguistiques plus petites que le mot. Par trouble phonologique, on entend un trouble de la conscience phonologique, et plus précisément de la conscience des phonèmes. Ce trouble entraîne un défaut dans la représentation, le stockage et/ou la*

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

récupération des sons. On constate que les personnes présentant ce déficit n'arrivent pas à segmenter les mots en sons » (Ramus et al., 2008).

L'hypothèse d'un trouble phonologique comme déficit explicatif de la dyslexie repose donc sur l'idée que les dyslexiques sont incapables de se représenter les phonèmes, ce qui provoque, alors, des difficultés dans la conversion graphème-phonème et de ce fait des troubles d'apprentissage de la lecture. Si les sons sont mal représentés mentalement, stockés et/ou récupérés de façon inappropriée, alors l'apprentissage de la correspondance graphème-phonème, à la base de la lecture des langues alphabétiques, est fortement affecté.

Depuis plus de 40 ans, les recherches sur la dyslexie ont dégagé trois dimensions essentielles dans le déficit phonologique : le traitement, le stockage et la récupération (Ramus et al., 2008).

Un déficit de la conscience phonologique peut se définir comme la difficulté à traiter de manière consciente et attentionnelle les unités phonémiques. Les difficultés de stockage à court terme des représentations phonémiques dans le buffer phonologique participent également à ce déficit phonologique. La récupération des représentations lexicales phonologiques en mémoire à long terme en constitue la troisième dimension.

Ce défaut de la conscience phonologique affecte la maîtrise des correspondances graphème-phonème et donc la mise en place de la voie phonologique. Ce déficit altère également de manière secondaire la voie d'adressage (voie lexicale). En effet, plus l'enfant est confronté à la lecture et à l'utilisation des conversions graphème-phonème et plus il mémorise progressivement les mots dans le stock lexical qui augmente avec la pratique de la lecture.

En ce sens, ce constat rend problématique la distinction entre la dyslexie phonologique et la dyslexie de surface dans la dyslexie développementale, contrairement à l'alexie acquise chez l'adulte puisque les deux voies peuvent être atteintes lors d'un trouble phonologique : la voie d'assemblage par définition et secondairement la voie d'adressage par un manque de pratique (Sprenger-Charolles et al., 2000).

c) Arguments expérimentaux sur le déficit phonologique

L'altération des capacités phonologiques chez les dyslexiques a fait l'objet d'innombrables travaux de recherches. De surcroît, quelles que soient les capacités

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

observées, le recours aux épreuves phonologiques est systématiquement intégré aux expériences de recherche. Les épreuves phonologiques sont en effet incontournables dans les recherches sur la dyslexie. Quelles que soient les hypothèses testées, elles sont toujours mises en perspective avec des performances en phonologie. C'est pourquoi les preuves expérimentales d'un trouble phonologique associé à la dyslexie sont extrêmement nombreuses. Une tendance nette se dégage, comparativement aux autres troubles explicatifs de la dyslexie, montrant l'infériorité des performances des dyslexiques au niveau phonologique (Ramus et al., 2003 ; White, Milne, Rosen, Hansen, Wettenham, Frith et Ramus, 2006).

On distingue, généralement, deux types d'épreuves pour mesurer les capacités phonologiques. Les épreuves phonologiques implicites qui font appel à un traitement non conscient des unités phonologiques comportent des méthodes de chronométrie. C'est le cas par exemple dans les tests de jugement de similarité ou de chasse à l'intrus. Au contraire, les épreuves métaphonologiques, comme la segmentation et l'omission de phonème par exemple, impliquent quant à elles un traitement explicite de ces unités.

Les dyslexiques sont moins performants que les sujets normaux dans l'ensemble de ces tâches, aussi bien lors des épreuves phonologiques implicites que lors des tests métaphonologiques (Bruck, 1992 ; Snowling, 2001 ; Stanovich, Siegel et Gottardo, 1997 ; Swan et Goswami, 1997).

La proportion des troubles phonologiques rencontrés chez les dyslexiques a notamment été étudiée dans l'expérience dirigée par Ramus et al. (2003). Au cours de cette expérimentation, cette équipe a tenté, par le biais d'une large batterie de tests, d'éprouver diverses hypothèses explicatives de la dyslexie et capacités cognitives dont les capacités phonologiques. Un trouble phonologique est observé chez 77 % des adultes dyslexiques de l'échantillon. L'équipe de White et al. (2006), qui reproduit l'expérience de Ramus avec d'autres critères, observe des troubles dans les habilités phonologiques chez 52 % des enfants dyslexiques testés.

Les études de groupe indiquent clairement que les dyslexiques éprouvent davantage de difficultés à lire les pseudo-mots, c'est-à-dire à mettre en place la correspondance graphème-phonème (Sprenger-Charolles et al., 2003). En outre, cette procédure de lecture est déficiente dans de multiples cas chez les enfants dyslexiques, en comparaison avec des

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

enfants de même âge chronologique. De plus, une différence est généralement observée lorsque les dyslexiques sont appariés avec des apprentis lecteurs de même âge lexique, ce qui témoigne d'un développement particulier des compétences phonologiques chez les dyslexiques et non d'un retard simple de développement. En effet, les dyslexiques présentent des performances nettement inférieures à celles des enfants appariés en âge lexical (Bryant et Impey, 1986 ; Sprenger-Charolles et al., 2000 ; Stanovitch et al., 1997).

Dans leur ensemble, les études de cohorte/groupe révèlent une nette différence de performances dans les compétences phonologiques entre les dyslexiques et les normo-lecteurs (appariés en âge chronologique ou lexical), chez les adultes comme chez les enfants en cours d'apprentissage de la lecture.

Par ailleurs, il est établi que les compétences phonologiques sont élémentaires dès le début de l'apprentissage de la lecture. Il s'avère que la connaissance de la structure phonologique de la langue est prédictive des habiletés précoces de la lecture (Bradley et al., 1983 ; Mc Cardle, Scarborough, Catts, 2001).

Les analyses de régression ont pour objectif de rechercher les meilleurs facteurs explicatifs des futures capacités en lecture. D'après le *pattern* de résultats obtenus par l'équipe de Vellutino (Vellutino Fletcher, Snowling et Scanlon, 2004), les tests d'évaluation des connaissances sublexicales (conscience phonologique, lois de correspondance graphème-phonème, habiletés phonologiques, mémoire de travail) sont les meilleurs prédicteurs pour l'identification des mots écrits.

De nombreuses études longitudinales confirment que la conscience phonologique, la mémoire à court terme phonologique et les habiletés de dénomination rapide constituent les prédicteurs essentiels de l'apprentissage de la lecture (Anthony et al., 2007 ; McCardle et al., 2001 ; Schatschneider, et al., 2004 ; Sprenger-Charolles et al., 2000).

Dans ces études, la démarche consiste à suivre pendant plusieurs années une cohorte d'enfants tout-venant ou de pré-lecteurs à risque, susceptibles de développer des troubles de l'apprentissage de la lecture. L'évaluation pendant la période qui précède l'apprentissage de la lecture inclut des mesures des prédicteurs (Anthony et al., 2007). Les analyses de régression montrent que les variables phonologiques, les meilleurs prédicteurs du futur niveau de lecture, expliquent la plus grande part de variance en lecture entre 50 % et 76 % (White et al., 2006 ; Wood et Felton, 1994).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

En effet, la méta-analyse de Scarborough en 1998 indique que les prédicteurs les plus fiables sont les capacités d'analyse phonémique, de mémoire phonologique et de dénomination rapide. Les habilités non verbales précoces, faiblement corrélées au niveau futur de lecture, en comparaison aux variables phonologiques, sont toutefois de véritables critères prédicteurs.

Etayant également l'hypothèse du trouble phonologique aux origines de la dyslexie, il a été constaté que les enfants dyslexiques possédaient une mauvaise mémoire à court terme verbale ainsi qu'un défaut dans les automatismes, aspects qui seront développés plus loin. Dans de nombreuses études, on observe que le déficit de mémoire à court terme est souvent associé à un déficit phonologique. Nous pensons cependant que les compétences en mémoire à court terme ne doivent pas être confondues mais considérées comme des indices complémentaires dans le diagnostic.

Les études montrent aussi une persistance des troubles phonologiques chez les sujets adultes (Kemp, Parrila et Kirby, 2009 ; Ramus et al., 2003 ; Shaywitz, Fletcher, Holahan, Shneider, Marchione, Steubing, Francis, Pugh, et Shaywitz, 1999). Dans une étude de Bruck (1992), 39 adultes dyslexiques obtiennent des performances nettement inférieures dans les épreuves de conscience phonologique comparativement aux normo-lecteurs. Pour l'auteur, ces résultats ne reflètent pas un simple retard mais bien un développement particulier. Ainsi, la conscience phonologique reste déficitaire et caractérise les dyslexiques à tout âge.

Les travaux de Bruck (1992) comparent un groupe d'enfants dyslexiques, un groupe d'adultes dyslexiques et quatre groupes de normo-lecteurs, appariés en âge chronologique et lexical. Elle observe que la conscience phonologique est nettement moins bien développée chez les enfants et adultes dyslexiques par rapport aux groupes des normo-lecteurs. Mais ce qui particulièrement intéressant, c'est qu'elle rend compte que les dyslexiques, indifféremment adultes ou enfants, n'atteignent jamais le niveau attendu compte tenu de leur niveau de lecture dans les épreuves évaluant la conscience phonologique.

Deux informations sont donc à retenir, il ne s'agit pas d'un retard dans le développement de la conscience phonologique mais plutôt d'un trouble spécifique de cette compétence dans la dyslexie, par ailleurs, ce déficit perdure à l'âge adulte.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Un argument supplémentaire soutenant l'hypothèse phonologique concerne les études sur l'entraînement des compétences phonologiques qui améliorent l'apprentissage de la lecture (Bradley et al., 1983 ; Kirby, Parrila, et Pfeiffer, 2003 ; Parrila, Kirby et Mc Quarrie, 2004 ; Schatschneider et al., 2004,). Ainsi, Hatcher, Hulme et Ellis (1994) ont mené une étude longitudinale dans laquelle les enfants au cours de leur apprentissage en lecture bénéficiaient, en complément, d'un entraînement aux manipulations phonologiques. Les enfants ont fait des progrès considérables et significatifs en lecture grâce à cet entraînement.

De même, Elbro et Petersen, (2004) mettent en évidence plus récemment les effets bénéfiques à long terme d'un entraînement de 17 semaines de la conscience phonologique chez des enfants âgés de six ans considérés à risque (dont les parents sont dyslexiques).

Ainsi, l'hypothèse phonologique est renforcée par différents résultats de la recherche. Dans les études de groupe, qui comparent les habilités phonologiques et non phonologiques, aucun résultat ne justifie de remettre en cause la validité de cette hypothèse. Dans les données individuelles, une grande partie des dyslexiques présentent un trouble dans les capacités phonologiques, confirmant aussi les postulats de départ. Les études mettent en lumière un trouble phonologique, qui perdure dans le temps, persistant même à l'âge adulte alors que la lecture est fonctionnelle. Il semble, également, que les compétences en conscience phonologique soient les plus prédictives du futur niveau en lecture. Enfin, les entraînements de type phonologique ont des effets bénéfiques à long terme sur les compétences en lecture.

d) Corrélat neurobiologiques

Les preuves expérimentales sur les troubles phonologiques sont également corroborées par les données neurobiologiques. Les techniques d'imagerie cérébrale montrent ainsi un fonctionnement différent entre le cerveau des dyslexiques et celui des normo-lecteurs qui va dans le sens d'un déficit phonologique.

Il est largement admis que les commandes corticales de la lecture se situent majoritairement dans les réseaux neuronaux de l'hémisphère gauche, impliquant le gyrus frontal inférieur (traitements phonologiques) associé à la voie ventrale (aires occipito-temporales, qui prennent en charge le traitement de la forme visuelle des mots) et à la voie

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

dorsale (aires temporo-pariétales, gyrus angulaire et le gyrus supramarginal, particulièrement impliqués dans le traitement phonologique).

Les études neurobiologiques ont mis en évidence une hypoactivation des aires périsylviennes gauches chez le dyslexique (Démonet et al., 2004 ; Paulesu, Démonet, Fazio, Mc Crory, Chanoine, Brunswisck, Cappa, Cossu, Habib, Frith et Frith, 2001).

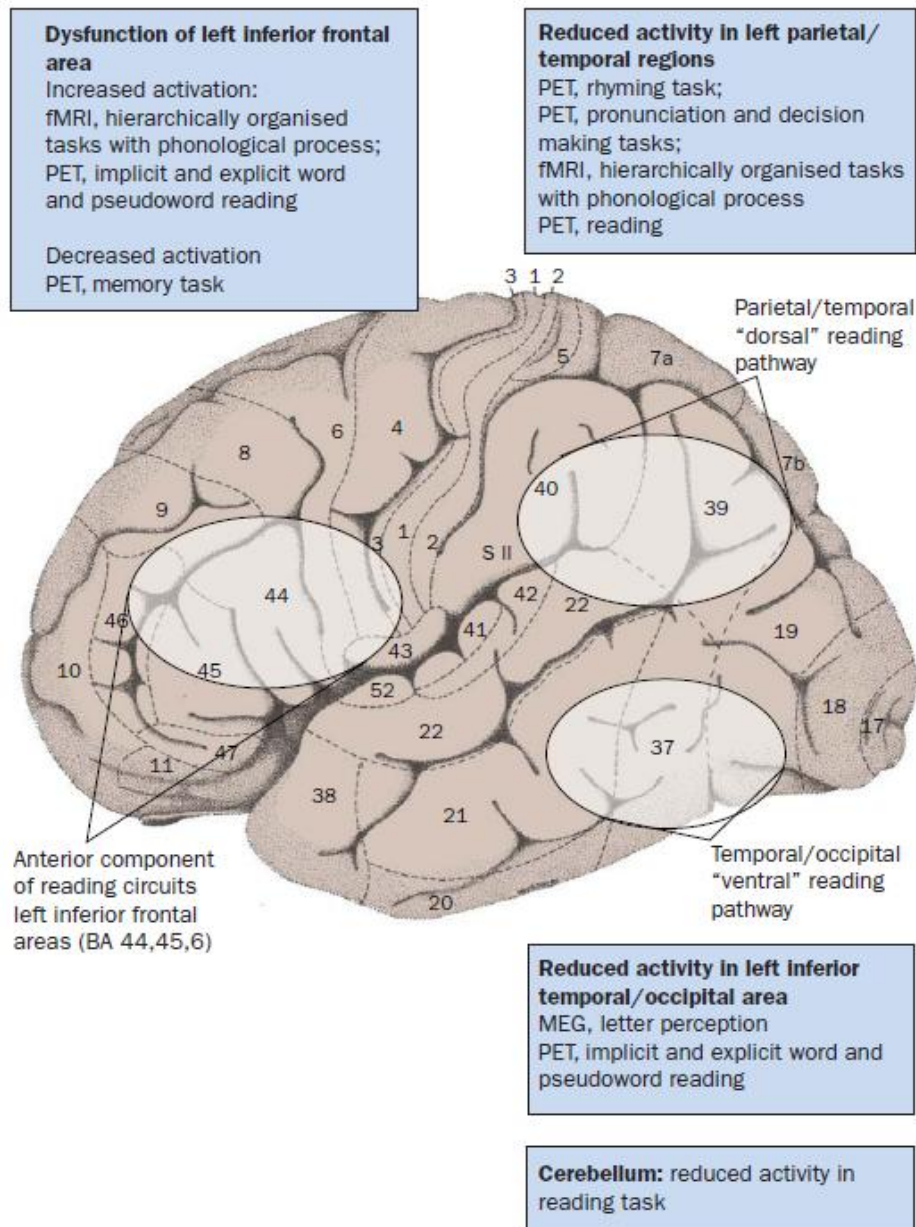


Figure 8 : Résumé des zones cérébrales de l'hémisphère gauche indiquant les activités anormales chez les adultes dyslexiques comparés à des sujets contrôle. Les numéros font référence à la classification de Brodman. Les encadrés indiquent la nature de l'activation anormale (schéma issu de Démonet, 2004).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Paulesu et al. (2001) avancent l'idée que les hypoactivations repérées dans les zones périsylviennes gauches peuvent être considérées comme un marqueur biologique universel de la dyslexie. Ces remarques sont tout de même à modérer parce que le *pattern* de résultats est différent chez les enfants chinois, qui utilisent une écriture logographique. De ce fait, il est impossible de les considérer comme des marqueurs universels.

Par ailleurs, d'autres activations anormales ont été mises en lumière par imagerie cérébrale, dans la zone frontale inférieure gauche tout comme dans la zone temporo-occipitale inférieure gauche. Ces zones sont impliquées dans les processus phonologiques et dans l'articulation. Des hyperactivations qui peuvent être le reflet d'hypothétiques mécanismes de compensation liés à la plasticité cérébrale sont également observées.

Les dernières données obtenues en imagerie cérébrale concernent les zones en lien avec l'accès automatique à la forme visuelle du mot (Cohen et al., 2000 ; Cohen et al., 2002 ; Cohen, Martinaud, Lemer, Lehericy, Samson, Obadia, Slachevsky, Dehaene, 2003). En effet, la partie moyenne du gyrus fusiforme gauche semble être le support de la forme visuelle du mot ou « *Visual Word Form Area* » (VWFA). Les données convergent vers la constatation d'une hypoactivation de cette zone chez les patients dyslexiques.

En ce qui concerne le niveau anatomique du cerveau du dyslexique, l'apport de Galaburda avec ses recherches *post-mortem* sur les cerveaux des dyslexiques constitue une avancée considérable. En effet, en réalisant des autopsies sur les cerveaux de dyslexiques, il constate la présence d'ectopies en bien plus grande quantité dans le cerveau des dyslexiques situées spécifiquement dans le cortex périsylvien gauche et recouvrant considérablement les réseaux neuronaux impliqués dans les capacités phonologiques.

Au niveau neurobiologique, deux hypothèses causales constituent des explications potentielles des troubles phonologiques au niveau cognitif et sont actuellement discutées. Il s'agit de l'hypothèse du déficit visuel magnocellulaire et de l'hypothèse cérébelleuse qui postule un déficit du cervelet avec des répercussions sur l'articulation et secondairement sur les compétences phonologiques. Ces deux hypothèses, prises en compte à part entière dans notre protocole, seront détaillées ultérieurement.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Malgré les avancées de grandes ampleurs, il n'est pas possible aujourd'hui de poser un diagnostic de dyslexique sous IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle). Les évaluations neuropsychologiques, orthophoniques restent aujourd'hui les éléments essentiels d'un diagnostic qui doit être pluridisciplinaire et prendre en compte le patient dans sa globalité.

e) Critique de l'hypothèse phonologique

Certains chercheurs tentent d'expliquer les troubles phonologiques rencontrés dans la dyslexie par d'autres hypothèses explicatives. C'est le cas de l'hypothèse du traitement temporel auditif (Tallal, 1980) ou de l'hypothèse magnocellulaire (Stein, 2001). Toutefois, même si dans ces hypothèses les troubles phonologiques ne sont pas considérés comme initiaux, ils n'en sont pas moins présents et responsables de l'échec de l'apprentissage des correspondances graphophonologiques.

Selon certaines études, des cas isolés de dyslexiques ne présentent aucun trouble phonologique, ce qui remet en cause l'hypothèse d'un trouble phonologique généralisable à toutes les types de dyslexie développementale. D'ailleurs, selon les méta-analyses de White et al., (2006) et de Ramus et al., (2003) tous les dyslexiques ne souffrent pas d'un déficit phonologique puisque, selon l'étude, la proportion varie entre 52 % et 77 %. Ainsi, aux origines de la controverse, des études neuropsychologiques suggèrent que les dyslexiques ne présentent pas tous un déficit phonologique (Brooms et Doctor, 1995 ; Castles et Coltheart, 1996)

Réfutant l'hypothèse univoque du trouble phonologique comme source de la dyslexie, les études de cas menées par Valdois (Valdois et al., 2003) relatent une dissociation claire entre deux dyslexiques. Si l'un des patients correspond au profil typique de dyslexie phonologique, l'autre cas relève d'un profil de dyslexie de surface sans trouble phonologique manifeste. Tout récemment, Dubois, Lafaye de Micheaux, Noël et Valdois (2007) ont étudié le cas de MT, un dyslexique de surface aux performances préservées dans les habiletés phonologiques qui rencontre, cependant, des problèmes dans les traitements visuels.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Il convient toutefois de nuancer la portée de ces études censées invalider le schéma phonologique de la dyslexie. La rééducation proposée aux dyslexiques porte essentiellement sur des exercices de phonologie, il est donc logique que leurs compétences se soient améliorées dans ce type d'épreuves, dans lesquelles les dyslexiques sont souvent surentraînés. Ce biais pourrait expliquer la différence repérée dans les résultats. Il est intéressant d'utiliser conjointement des épreuves de phonologie implicite pour lesquelles réside un caractère automatique sans conscience d'un traitement des unités phonémiques.

Ce type de controverse amène en tout cas à prendre conscience que, profondément hétérogène, la dyslexie est un trouble à plusieurs facettes, impossible à réduire au seul déficit phonologique. Même dans l'hypothèse où les troubles phonologiques font irrémédiablement partie de la dyslexie et perdurent dans le temps, il existe aussi des troubles co-morbides, dont l'évaluation est indispensable lors du diagnostic pour appréhender la complexité de la dyslexie développée par le patient, notamment en vue d'une rééducation adaptée.

2. L'hypothèse du double déficit : la dénomination rapide

Assimilé dans de nombreuses études à un trouble phonologique, le dysfonctionnement de la dénomination rapide est toutefois considéré par certains auteurs, comme spécifique à la dyslexie et indépendant du trouble phonologique (Wolf et al., 1999). De ce fait, une voie de recherche s'est ouverte avec l'hypothèse d'un trouble spécifique de la dénomination rapide chez les dyslexiques. En effet, la dénomination rapide prend, alors, une place importante dans les études sur la dyslexie. D'abord, il semble qu'elle ait un pouvoir prédictif (Savage, Pillay et Melidona, 2008) assez élevé sur les futures compétences en lecture puisque les dyslexiques se révèlent significativement plus lents dans ce type de tâches.

Selon les recherches, le trouble de la dénomination rapide est envisagé sous deux angles différents. Parfois, il est considéré comme un trouble phonologique à part entière ou comme un pré-requis de l'apprentissage de lecture, au même titre que les tâches de segmentation phonémiques ou d'omission de phonème (Wood, Hill, Meyer et Flowers,

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

2005). Dans d'autres recherches, il est perçu comme un trouble spécifique indépendant des troubles phonologiques (Wolf et al., 1999). La distinction entre trouble phonologique ou trouble spécifique peut s'expliquer par la différence d'aspects des tâches privilégiées par les chercheurs. Pour nous, il s'agit bien d'une épreuve phonologique, qui teste cependant des compétences implicites et ne requiert pas de traitement conscient des unités phonologiques : elle n'est donc pas métaphonologique.

Quelle que soit la position adoptée par rapport à la validité de l'hypothèse d'un déficit isolé et causal de la dyslexie, il semble nécessaire, à l'heure actuelle, d'intégrer une mesure des compétences de dénomination rapide afin d'être en mesure de préciser le diagnostic de dyslexie.

a) La tâche de dénomination rapide

Capacité à accéder au stock lexical de manière automatique, en un temps court, la dénomination rapide est un processus généralement évalué par les temps de réponses dans les épreuves de RAN test (*Rapid Automated Naming*). La version la plus utilisée reste celle de Denckla et Rudel (1974 et 1976). Très souvent utilisé dans les recherches sur la dyslexie comme sur d'autres troubles du langage, le RAN test apporte des résultats probants. En effet, cette épreuve possède de fortes capacités prédictives quant aux troubles de lecture. De plus, il apparaît que les personnes dyslexiques sont significativement plus lentes dans cette épreuve.

b) Les liens entre la dénomination rapide et le langage écrit

La tâche de dénomination rapide présente beaucoup de points communs avec l'activité de lecture. Les processus qui sous-tendent la dénomination rapide sont précisément les mêmes que ceux qui interviennent au niveau complexe de la lecture. Les deux activités ont les mêmes modalités tant au niveau visuel qu'au niveau verbal. Lors de la dénomination rapide, le sujet doit traiter des informations visuelles et verbaliser

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'information, comme lors des activités de lecture.

De plus, ces activités reposent sur le même format : la lecture s'effectue de façon continue, au même titre que lors de l'épreuve de dénomination rapide. La consigne donnée durant l'épreuve de dénomination rapide précise clairement au sujet qu'il ne doit pas s'arrêter à chaque fin de ligne, mais au contraire réaliser la tâche de la même façon que lorsqu'il lit.

La dénomination rapide d'items écrits comme la lecture fait appel à des processus visuels : prise d'informations visuelles et traitement de celles-ci. Dans les deux cas, la situation implique une intégration de l'information et un traitement lexical. De façon analogue, lors de l'épreuve de dénomination rapide, si le sujet connaît le mot, le chiffre ou la lettre, il a alors accès à son stock lexical. Les mêmes processus moteurs entrent également en jeu, dans les deux cas, il est nécessaire de pouvoir verbaliser et articuler.

La dénomination effectuée de manière rapide fait essentiellement appel à des processus automatiques avec peu de contrôle. Chez le lecteur débutant, les processus ne sont pas automatisés au contraire de la lecture experte qui est totalement automatisée et ne requiert que peu de contrôle attentionnel. Cette épreuve de dénomination rapide fournit donc un grand nombre d'indications quant au futur niveau de lecture.

D'un point de vue global, on trouve une évocation du mot, des processus automatiques et une séquentialité de la tâche dans ces deux activités. En revanche, aucun processus sémantique ou processus de compréhension n'intervient dans la tâche de dénomination rapide. Ce n'est pas le cas dans la lecture dont le but final est au contraire la compréhension.

Les habiletés prises une par une, c'est-à-dire l'attention, la fluence verbale pour l'évocation du mot ou les processus visuels, ne montrent pas de différences entre les dyslexiques et les normo-lecteurs. C'est par la combinaison des trois habiletés dans un contexte d'automatisation que l'on trouve des différences entre les normo-lecteurs et les dyslexiques. L'origine de la dyslexie se trouverait dans la difficulté à mettre en place les processus cognitifs nécessaires à la lecture de manière automatisée.

La dénomination rapide qui nécessite une capacité d'automatisation met en jeu les mêmes processus que la lecture. L'hypothèse de la dénomination rapide consiste à identifier une incapacité des dyslexiques à automatiser certains processus, phénomène

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

repéré par leurs difficultés lors des épreuves qui demandent de la rapidité, de l'attention, et la mobilisation de processus automatisés.

c) La dénomination rapide et la dyslexie

La dénomination rapide est souvent utilisée dans le cadre de l'étude de la dyslexie depuis les travaux précurseurs de Bowers et Wolf (1993) qui constatent que les habilités de dénomination des couleurs des jeunes enfants sont un bon prédicteur des niveaux futurs de lecture. Les processus de dénomination sont mis en place précocement dans le développement. C'est ce qui explique que la tâche de dénomination rapide soit aussi performante pour la prédiction du futur niveau de lecture. De nombreuses études obtiennent des résultats cohérents quant aux performances plus lentes des dyslexiques au RAN test, comparées à celles des normo-lecteurs. La tâche de dénomination rapide différencie les dyslexiques des normo-lecteurs (Bowers, Steffy, et Tate, 1988 ; Denckla et al., 1974 ; Katz, Curtiss et Tallal, 1992 ; Sternberg et Wagner, 1982 ; Tallal, 1980 ; Tallal, Stark et Mellitz 1985 ; Wolf, 1986), une fois les variables contrôlées (âge, classe, QI).

Des études longitudinales, comme celle de Kremin et Dellatolas (1996), montrent que la dénomination rapide est l'épreuve la plus corrélée avec le futur niveau de lecture.

d) L'apport de l'hypothèse du double déficit

L'approche de Wolf et al. (1999) suggère l'hypothèse d'un double déficit, qui va au-delà de la théorie phonologique exclusive comme source de la dyslexie. Ces chercheurs partent du postulat que l'hypothèse phonologique ne rend pas compte de l'ensemble des difficultés rencontrées par les enfants dyslexiques. Un autre facteur neuropsychologique intervient à savoir les processus cognitifs qui sous-tendent la dénomination rapide. Pour ces auteurs, la dénomination rapide -processus intermodal (visuel et verbal) du même type que la lecture- ne peut être confondue avec les processus phonologiques. Les auteurs proposent donc une classification des dyslexies développementale, qui comprend la dyslexie liée à un déficit phonologique, la dyslexie liée à un déficit de dénomination rapide et la dyslexie liée à un double déficit. Cette dernière forme de dyslexie, la plus sévère, s'explique par un double déficit de la dénomination rapide et des processus phonologiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

A partir de cette classification, les auteurs proposent de déterminer des programmes de prise en charge, adaptés aux difficultés spécifiques chaque enfant.

Pour Wolf, les processus de dénomination rapide ne dépendent pas uniquement des processus phonologiques. La dénomination rapide requiert différents processus cognitifs. Elle demande dans un premier temps de l'attention sur le *stimulus*, avant de faire entrer en jeu des processus visuels, puis l'intégration des informations orthographiques, phonologiques et visuelles. Ensuite, le sujet accède et récupère le *stimulus* dans son stock phonologique, avant de procéder à l'intégration sémantique (donner du sens). En dernier lieu, interviennent les processus moteurs de l'articulation.

L'accès et la récupération dans le stock phonologique sont les mêmes que lors des tâches verbales classiques. La particularité de la dénomination rapide concerne l'activation rapide de ces processus. En effet, « *la tâche de dénomination rapide de Denkla et Rudel représente un microcosme de la lecture, une fenêtre sur les connexions rapides entre le visuel et le verbal, éléments essentiels dans la lecture* » (Wolf, 1999).

Le deuxième argument avancé par Wolf s'appuie sur les données obtenues auprès d'autres populations. En effet, l'ensemble des recherches sur la dénomination rapide (avec lettres et nombres) montre que les enfants dyslexiques sont significativement plus lents que les autres lecteurs moyens, et même comparés à d'autres sujets ayant des troubles tels que des déficits d'attention (Ackerman et al., 1993 ; Denckla et al., 1976 ; Felton et Wood 1992 ; Felton, Wood, Brown et Campbell, 1987) ou un QI faible, (Badian, 1996). D'après l'ensemble des études, il semble que le déficit de dénomination rapide soit spécifique aux dyslexiques car les différences de performances au RAN test se retrouvent seulement dans cette population.

Le déficit de dénomination rapide s'inscrit aussi dans tous les systèmes de langage. Les études menées en France, Allemagne, Pays-Bas (système de langue alphabétique) et même en Chine (système de langue logographique) présentent les mêmes résultats. En 2002, Ho, Chan, Tsang et Lee ont mené une étude sur ce sujet. Pour lire le mandarin, les Chinois n'effectuent pas de conversion graphème-phonème lors de la lecture, cependant, le déficit de dénomination rapide s'avère dominant chez les enfants dyslexiques chinois. Ces études révèlent les mêmes résultats que dans les systèmes linguistiques alphabétiques.

D'autres études sur l'acquisition de la lecture montrent que les habilités phonologiques, telles que la conscience phonologique, la mémoire phonologique ou la

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

dénomination rapide sont fortement inter-corrélées et prédisent les performances en lecture des enfants chinois (Ho, 1997 ; Ho et Bryant, 1997-a- ; Ho et Bryant, 1997-b- ; Mc Bride-Chang et Ho, 2000). On retrouve les mêmes *patterns* de performances, même s'il s'agit de systèmes de langage écrits très différents. Cela suggère que les troubles ne sont pas liés uniquement à la spécificité de la langue mais que les processus mis en place requièrent, au moins en partie, des habilités cognitives identiques quel que soit le système.

Wolf évoque également des résultats statistiques obtenus dans différentes recherches pour appuyer l'hypothèse d'indépendance du déficit de dénomination rapide et des troubles phonologiques. En effet, les corrélations entre les tâches de dénomination rapide et les épreuves qui mesurent les capacités phonologiques sont le plus souvent modestes. Blachman (1984) et Mann (1984) ont trouvé des corrélations très faibles, voire non significatives entre la conscience phonémique et la tâche de dénomination rapide. C'est aussi le cas de Felton et Brown (1990), qui ne repèrent pas de corrélations significatives entre les mesures de dénomination rapide et les mesures de la conscience phonémique ou de la mémoire.

De plus, dans les régressions, les contributions de la phonologie et de la dénomination rapide dans la variance de facteurs, comme l'identification de mots, les habilités orthographiques, la lecture fluente de texte, voire la compréhension, sont indépendantes. Des chercheurs (Bowers et Swanson, 1991 ; Cornwall, 1992) ont montré que la conscience phonologique a un effet prédictif sur l'accès au mot ou sur la compréhension. La dénomination rapide a un effet sur l'identification de mots. Wolf, Goldberg O'Rourke, Gidney, Lovett, Cirino et Morris (2002), après une analyse de régression sur les résultats, montrent que les processus de dénomination rapide et les processus de conscience phonologique expliquent de manière indépendante la variance de trois types de mesure de la lecture (accès au mot, identification du mot, compréhension), les effets de l'âge, du QI et de la catégorie socioprofessionnelle étant contrôlés. Les résultats montrent que les deux facteurs n'ont pas la même contribution sur les différentes habilités de lecture.

Même si l'ensemble des résultats, obtenus dans les études sur la dénomination rapide, montre quelques divergences, il semble que les performances au RAN test constituent un prédictif très fiable, et ce dès le plus jeune âge. Les divergences observées peuvent s'expliquer par des différences d'âge, de niveau de lecture, de critères sur le diagnostic de la dyslexie, de la qualité du niveau d'enseignement, des niveaux socio-économiques, du QI. En effet, le QI et l'âge apparaissent corrélés avec les mesures de la

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

phonologie et non avec celles de la dénomination rapide (Wolf et al., 2002). Une fois ces facteurs contrôlés, ou du moins pris en compte, les résultats sont convergents. Pour Wolf, ces résultats montrent que le déficit de dénomination rapide est spécifique à la dyslexie et indépendant du trouble phonologique. De plus, il y a une forte relation entre la dénomination rapide et la lecture fluente de textes ou de mots d'une part et la conscience phonologique et l'accès au mot d'autre part.

Selon Wolf, la dernière preuve d'indépendance entre la dénomination rapide et la conscience phonologique repose sur la distinction des sous-formes de dyslexie. Lovett (1987) et Lovett et Steinbach (2000) s'appuient sur un groupe d'enfants qui possède des troubles de la dénomination rapide, sans développer de trouble de la conscience phonologique. De même, Wolf et al. (2002) testent auprès de 83 sujets la décomposition phonémique, la suppression phonémique et le RAN test avec les lettres. Les résultats indiquent que 49 % des sujets ont un double déficit, 43 % des sujets présentent un seul déficit (29 % un déficit de la dénomination rapide, 14 % un trouble de la conscience phonologique), alors que 9 % des sujets ne peuvent être classés.

Pour sa part, Badian (1998) émet l'hypothèse d'un troisième déficit. Le facteur orthographique pourrait expliquer le dernier groupe que Wolf et al., (2002) ne parviennent pas à classer. Ainsi, Badian rapporte que 18 % des dyslexiques présentent un double déficit (phonologique et dénomination rapide) alors que 50 % ont un triple déficit (phonologique, dénomination rapide et orthographique).

L'hypothèse du double déficit a également été testée auprès d'une population de mauvais lecteurs adultes (Miller, Miller, Bloom, Jones, Lindstrom, Craggs, Garcia-Barrera, Semrud-Clikeman, Gilger et Hynd, 2006). L'objectif est d'étudier le lien entre les habiletés de lecture, la conscience phonologique et la dénomination rapide. Les bonnes capacités en lecture sont associées à de bonnes capacités phonologiques et à de bonnes capacités de dénomination rapide. Le double déficit est lié quant à lui à des difficultés plus importantes en lecture qu'un simple déficit (déficit phonologique seul ou trouble de la dénomination rapide unique). Les habiletés de lecture, notamment la fluidité de la lecture, ont un lien étroit avec les performances phonologiques ou les résultats en dénomination rapide. Ces travaux indiquent aussi que les mauvais lecteurs adultes recourent à des stratégies de compensation qui peuvent faire varier les résultats, par rapport à ceux obtenus chez les enfants dyslexiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Enfin, il existe aussi des preuves neurobiologiques qui ne sont pas encore nombreuses mais qui restent relativement pertinentes.

Mc Pherson, Ackerman, Oglesby et Dykman (1996) divisent leurs sujets en deux groupes : l'un avec un trouble de la conscience phonologique et l'autre sans trouble phonologique mais avec un déficit de dénomination rapide. Leurs résultats indiquent que le premier groupe montre une absence d'activation dans l'hémisphère gauche alors que le second groupe montre, au contraire, une suractivité dans cette même zone.

e) Critiques de l'hypothèse du double déficit

Aujourd'hui, les études menées sur la dyslexie, pour la plupart, intègrent une mesure des compétences en dénomination rapide. Les interrogations ne concernent pas l'importance d'une telle évaluation mais plutôt l'hypothèse du double déficit.

En effet, Wolf et al. (1999) insistent sur l'indépendance des troubles phonologiques et des troubles de dénomination rapide, avec pour eux des déficits en lecture majorée dans le cas d'un double déficit (de dénomination rapide et phonologique). Toutefois, Ackerman, Holloway et Youngdalh (2001), ne mettent pas en évidence dans le sous-groupe « double déficit » de difficultés plus importantes en lecture et orthographe que dans les groupes avec un simple déficit (soit phonologique soit de dénomination rapide). De même, Schachneider, Carlson, Francis, Foorman, et Fletcher (2002) ne repèrent pas d'impact plus important dans le groupe « double déficit ». Pour eux, ces distinctions seraient liées à un artefact expérimental. Il n'existe pas de preuve (analyse de régression, corrélations) qui indique clairement la nécessité de distinguer ces groupes, d'autant que les sujets qui rencontrent un « double déficit » sont ceux qui ont des performances les plus mauvaises dans les compétences phonologiques. Enfin, Vellutino, dans sa revue de littérature (Vellutino et al., 2004) pointe la difficulté de distinguer les processus phonologiques et de dénomination rapide.

Sans remettre en question l'importance de l'évaluation des habiletés de dénomination rapide par une épreuve de RAN test, il faut rappeler qu'il est effectivement essentiel de s'interroger sur la place à lui donner, soit comme un déficit à part entière soit comme un déficit particulier des compétences phonologiques.

3. Les traitements morphologiques dans l'apprentissage de la lecture

Récemment, des études tentent de mettre en évidence l'implication de la morphologie dans l'apprentissage de la lecture. Dans cette perspective, quelques recherches étudient un hypothétique déficit des compétences morphologiques en raison de leur lien avec les compétences phonologiques chez les dyslexiques. Au contraire, d'autres auteurs indiquent l'implication toute particulière des processus morphologiques chez les dyslexiques lors de l'apprentissage de la lecture (Colé, Marec-Breton, Royer et Gombert, 2003).

Les morphèmes désignent les plus petites unités de signification de la langue. Les morphèmes sont des composants des mots complexes. Il existe deux types de mots complexes. Pour les mots fléchis, on parle alors de morphologie flexionnelle traitant de la fonction syntaxique des morphèmes (le nombre, le genre : chat/chats). Dans le cas des mots dérivés, il s'agit de la morphologie dérivationnelle qui repose sur la fonction sémantique des morphèmes (affixation : chat/chaton).

Dans la langue française, la dérivation des mots, qui peuvent être préfixés et suffixés, est un processus très courant. Ce constat a conduit, depuis quelques années, les chercheurs à s'intéresser au rôle de la morphologie dans la reconnaissance des mots écrits.

a) Les traitements morphologiques chez le lecteur expert

On peut envisager que les mots dérivés aient leur propre représentation lexicale, mais il est possible également d'admettre que les unités morphémiques, conservées dans le stock lexical, font l'objet d'un traitement spécifique par le lecteur expert. Les recherches tentent de déterminer la nature des liens entre les représentations lexicales complètes d'un mot dérivé et les unités morphémiques, au cours de l'identification des mots écrits. Les données recueillies montrent que le système de reconnaissance des mots écrits est très précocement sensible à la structure morphologique des mots.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Les études suggèrent l'intervention d'une décomposition morphologique pendant la lecture. En effet, il s'avère que chez le lecteur expert, les temps de lecture des pseudo-mots affixés (ex : regretter) est plus long que pour les mots affixés (ex : repartir) (Marec-Breton, 2003).

b) Les traitements morphologiques chez l'apprenti lecteur

Généralement, les traitements morphologiques ne sont pas évoqués dans les modèles d'acquisition de la lecture. Certains modèles théoriques tiennent compte des paramètres morphologiques dans l'identification des mots écrits. Ils évoquent la possibilité d'une décomposition des mots complexes avant l'accès au lexique. C'est le cas du modèle de Caramazza, Laudanna et Romani (1988), qui distingue chez le lecteur deux procédures de reconnaissance des mots écrits qui fonctionnent en parallèle, l'une dirigée vers l'identification de la forme globale du mot et l'autre s'appuyant sur les représentations morphologiques. La procédure la plus rapide activerait alors la représentation lexicale. Pour la lecture des mots connus et fréquents, c'est la voie d'adressage qui fonctionnerait préférentiellement. En revanche, lors de la lecture d'un mot inconnu, c'est le code de la forme décomposée (affixe + racine) qui déclencherait la représentation graphique.

On peut également évoquer le modèle de Seymour (1997) qui inclut explicitement l'intervention des processus morphologiques. Toutefois, ce modèle postule une intervention tardive de ces processus lorsque le lecteur parvient à un haut niveau d'expertise en lecture. Il est vrai que dans les rares modèles qui les prennent en compte, les dimensions morphologiques sont généralement considérées comme intervenant tardivement au cours de l'apprentissage de la lecture, une fois que les procédures de décodage graphème-phonème sont maîtrisées (Carlisle, 2000 ; Carlisle, Fleming, 2003 ; Pacton et al., 2005).

Quelques chercheurs avancent, pourtant, l'hypothèse que les informations morphologiques pourraient participer très précocement à la lecture des mots en complément du décodage qui n'est pas encore automatisé. Lors d'un décodage lent, l'information morphologique, dont l'activation peut être plus rapide, participerait ainsi à la lecture du mot. Une fois la reconnaissance des mots devenue automatique, le processus de décodage se trouve condamné à s'éteindre, laissant place à la procédure automatique de

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

reconnaissance orthographique. Moins coûteuse en attention, cette procédure utiliserait également la morphologie. Il existe des arguments sérieux plaçant en faveur de cette intervention précoce des processus morphologiques dans l'apprentissage de la lecture.

Les auteurs ont tendance à considérer que les enfants novices n'ont pas de conscience morphologique, car elle est fortement liée au développement des compétences phonologiques et sémantiques. Il est donc courant de penser que la conscience morphologique n'apparaît qu'au niveau du CE2, à un moment où les compétences phonologiques sont acquises. Pourtant, des recherches apportent la preuve de la présence d'une conscience morphologique chez les pré-lecteurs, dès 3 ou 4 ans (Tunmer et Bowey, 1983). Dès le début de l'apprentissage de la lecture, les enfants ont une certaine conscience morphologique et sont capables de l'utiliser. Plus précisément, la réussite lors des tâches de production de mots dérivés est significativement liée aux performances en lecture et à la réussite dans les tâches de segmentation morphologiques à la compréhension écrite (Casalis et Louis Alexandre, 2000).

Marec-Breton (2003) met en évidence des compétences morphologiques, en distinguant compétences morphologiques explicites et implicites, dès le niveau CP. En effet, ces apprentis lecteurs sont capables de produire des néologismes en respectant les règles de structure morphologiques. Ils utilisent également la structure morphologique des mots pour accéder à leur signification. Ainsi, l'analyse morphologique constituerait, dès le CP, une aide notable à la lecture des mots nouveaux.

De même, les relations entre la conscience morphologique et la conscience phonologique évoluent au cours de l'acquisition de la lecture, selon des liens d'interdépendance (Casalis et al., 2000 ; Casalis, Mattiot, Becavin, et Colé, 2003).

Il existe un lien entre la conscience morphologique et la lecture, indépendamment des liens entretenus avec la phonologie, à partir du CE1. Le rôle de la conscience morphologique est croissant au cours de l'acquisition de la lecture. Toutefois, le rôle des processus morphologiques semble plus important dans la lecture de mots complexes. En effet, l'apprentissage de la lecture contribue au développement de la conscience morphologique, comme le suggère le fait que la conscience morphologique augmente significativement de la grande section maternelle jusqu'au CE1 (Lecocq, Casalis, Leuwers et Watteau, 1996)

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Les difficultés de lecture s'accompagnent le plus souvent de faiblesses dans les autres habiletés métalinguistiques (Gombert, 1990). C'est pourquoi, il est intéressant de s'interroger sur les processus morphologiques dans l'apprentissage de la lecture et également sur les difficultés d'apprentissage de la lecture. Il s'avère que la conscience morphologique contribue, au même titre que d'autres habiletés métalinguistiques, à l'acquisition de la lecture. En effet, plusieurs études (Ben-Dror, Bentin et Frost 1995 ; Lecocq et al., 1996) mettent en évidence des performances inférieures dans les compétences morphologiques chez les enfants qui rencontrent des difficultés de lecture. De surcroît, il existe des corrélations significatives entre les compétences de conscience morphologique et la lecture (Lecocq et al., 1996 ; Shankweiler, Crain, Katz, Fowler, Liberman, Brady, Thornton, Lundquist, Dreyer, Fletcher, Stuebing, Shaywitz et Shaywitz, 1995).

Certaines études mettent en évidence le caractère prédictif des compétences morphologiques sur le futur niveau de lecture (Casalis et al., 2000) et constatent que les compétences morphologiques de grande section maternelle sont prédictives des habiletés de lecture en classe de CE1.

Les études longitudinales (Casalis et al., 2000 ; Ku et Anderson, 2003) observent une contribution des habiletés morphologiques dans la lecture, notamment sur les capacités de compréhension et aussi sur les performances en lecture.

Enfin, Lyster (2002) propose un entraînement phonologique et morphologique à deux groupes distincts d'enfants. Après six mois, Les enfants qui ont reçu un entraînement phonologique ont des performances supérieures au groupe « entraînement morphologique » et au groupe contrôle dans les compétences en lecture. De surcroît, le groupe « entraînement morphologique » obtient, quant à lui, des scores en lecture significativement supérieurs au groupe « contrôle ». De même, Casalis et Colé (2010), tout récemment, ont observé les relations entre les compétences morphologiques et phonologiques chez les enfants en maternelle, ainsi que leur influence sur le futur niveau en lecture et l'effet d'un entraînement de chacune de ces dimensions. Elles démontrent une amélioration de la sensibilité phonologique après un entraînement morphologique sans effet sur la manipulation explicite des phonèmes. Ces travaux montrent aussi que l'entraînement phonologique améliore les compétences des enfants à segmenter les morphèmes mais pas à dériver des mots complexes. Enfin, l'enseignement morphologique a un impact modeste sur les futures habiletés en lecture (en CP) comparativement à

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'entraînement phonologique. Toutefois, cet entraînement morphologique a une influence bénéfique sur les futures compétences en lecture comparativement au « groupe contrôle ».

Le rôle des traitements morphologiques, lors de la lecture et de l'apprentissage de la lecture, n'enlève rien au rôle déterminant des processus phonologiques. Cependant, il est intéressant de prendre également en compte cette dimension dans l'apprentissage de la lecture, mais aussi dans les difficultés d'apprentissage de la lecture, notamment, car les compétences morphologiques auraient un développement tout particulier chez les dyslexiques.

c) Les traitements morphologiques chez le dyslexique

La conscience morphologique semble contribuer à la lecture de manière indépendante à la phonologie. Les enfants en difficulté auront tendance à utiliser l'information morphologique pour lire les mots longs et complexes. On peut donc supposer que les dyslexiques, qui rencontrent des difficultés dans le traitement grapho-phonémique, peuvent s'appuyer sur les unités morphologiques, en partant du sens qu'elles véhiculent, pour lire.

Les études menées sur une classe de grande section maternelle par Casalis (2006) ont montré que les faiblesses des dyslexiques dans les compétences morphologiques seraient davantage la conséquence de leur manque d'expérience en lecture que d'un quelconque déficit.

Les études révèlent qu'il est possible de développer des connaissances morphologiques, indépendamment d'habilités phonologiques bien développées. Le développement des compétences morphologiques différerait cependant chez les dyslexiques et chez les enfants tout-venant (Casalis et al., 2004). Les résultats de cette étude montrent que les dyslexiques ont développé une conscience morphologique supérieure à ce que laissent présager leur niveau en lecture et leurs habilités phonologiques.

En se basant sur ces observations, on peut penser que les dyslexiques élaborent des stratégies de compensation de leurs troubles, s'appuyant plus largement sur le sens des

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

mots. En effet, ils se concentrent alors plus sur les unités de sens (les morphèmes) que sur le traitement phonologique. Dans cette perspective, leur conscience morphologique s'avère plus développée que celle des normo-lecteurs, alors que leur conscience phonologique est très affectée.

D'après les travaux d'Elbro et Arnback (1996) sur la transparence sémantique, les dyslexiques lisent plus facilement les mots sémantiquement transparents que les autres, contrairement aux normo-lecteurs qui ne montrent pas de sensibilité particulière à ce facteur. Ces données confirment qu'ils ont tendance à prendre appui sur le sens des mots pour pouvoir lire. D'une manière générale, les résultats obtenus confortent l'idée que les unités morphémiques pourraient effectivement constituer des unités (formelles) de traitement privilégiées chez les dyslexiques.

Les études mettent en évidence une corrélation significative entre la conscience morphologique et les performances de compréhension en lecture. Toutefois, les données actuellement disponibles n'ont pas montré de lien clair entre les performances en lecture et la conscience morphologique, les variables phonologiques étant les plus contributives des scores en lecture de mots isolés.

Les études sur l'entraînement des compétences morphologiques ne démontrent pas *a priori* d'effets positifs sur les compétences futures en lecture. Seuls, Arnbak et Elbro (2000) ont montré, pour la première fois, que les dyslexiques répondent positivement à ce type d'entraînement, mais les effets restent peu importants.

Casalis (2006) a mené un entraînement de la modalité orale et écrite dans une classe de grande section de maternelle. Les élèves produisent alors plus de formes dérivées de mots et améliorent leurs performances en décodage. L'amplitude de l'effet reste toutefois modeste et aucune amélioration n'est repérée sur la compréhension de phrases et de textes.

Les données récentes sur les processus morphologiques doivent être maniées avec prudence, mais il s'agit d'une voie de recherche intéressante, notamment si une sensibilité particulière des dyslexiques venait à se confirmer au niveau de l'information morphologique.

Le lien trouvé entre la conscience morphologique et les scores de compréhension est cohérent avec l'idée que les dyslexiques compensent leurs difficultés de reconnaissance des mots écrits par des processus de haut niveau (sémantiques). La connexion entre compréhension et conscience morphologie apparaît évidente. Il semble que le groupe de

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

lettres constituant les unités morphologiques est traité comme si elles étaient des unités fonctionnelles. En ce sens, s'ouvrent de nouvelles perspectives de rééducation sur la base de la morphologie comme moyen de compensation du trouble de lecture.

Toutefois, les données récentes mettent en évidence une variabilité interindividuelle, sans faire preuve d'un lien entre la conscience morphologie et le décodage des mots. Il est nécessaire de construire des outils spécifiques permettant d'évaluer précisément les compétences en morphologie.

Les travaux menés sur les compétences morphologiques invitent à réfléchir sur l'intégration, dans les modèles développementaux, de la dimension morphologique de façon précoce et du traitement implicite de l'information morphologique permettant au lecteur de lire plus rapidement les mots dérivés.

d) Les compétences morphologiques en débat

L'hypothèse du rôle compensateur des compétences morphologiques dans l'apprentissage de la lecture ouvre de nouvelles voies de recherche. Il s'agit désormais d'éprouver cette hypothèse plus largement (études de cohorte, corrélats neurobiologiques, effets bénéfiques d'un entraînement...).

L'analyse du traitement morphologique dans la lecture a conduit à des constatations intéressantes puisqu'il a été observé que les dyslexiques auraient des compétences spécifiques dans ce type d'habiletés. On voit donc tout l'intérêt d'évaluer les performances des enfants et de travailler avec eux sur le traitement morphologique lors de l'apprentissage de la lecture, mais elles ne seront seulement des indicateurs lors du diagnostic de dyslexie.

Toutefois, au regard des apports récents de la recherche, même si les compétences morphologiques sont très intéressantes à étudier, la conscience morphologique ne peut être assimilée à un déterminant précoce de la lecture aussi important que la phonologie. Ces données portent à croire que la conscience morphologique s'apparente à un facteur intervenant plus tardivement dans la maîtrise de la lecture. Par exemple, l'entraînement morphologique en maternelle n'offre que de modestes améliorations dans les compétences en lecture, ce qui s'oppose par exemple aux effets de l'entraînement phonologique durant la même période (Arnback et al., 2000).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Cette nouvelle approche offre de nouvelles perspectives en terme de remédiation des troubles de lecture en s'appuyant spécifiquement sur les compétences morphologiques.

4. L'hypothèse du trouble visuo-attentionnel

Largement diffusée auprès du grand public, l'hypothèse d'un trouble visuel aux origines de la dyslexie est aussi historiquement la plus ancienne. Dès 1987, Brannan et Williams associent un trouble visuo-attentionnel avec la dyslexie. L'idée reçue la plus présente, sur la dyslexie, concerne la confusion des lettres proches, telles que b et d ou p et q caractérise la dyslexie. Cette idée est d'ailleurs relayée par les représentations médiatiques, voire par les acteurs du système éducatif. Mais si l'on s'en tient à cette hypothèse, les confusions ne devraient porter que sur les lettres qui se ressemblent visuellement, alors que les dyslexiques ont des difficultés à différencier les lettres t et d, qui elles, sont proches phonologiquement et non visuellement. Les travaux de Vellutino, Smith, Stager et Kaman (1975) et Vellutino (1979) ont mis fin à ces constatations empiriques, en contestant l'idée d'une atteinte visuelle sensorielle et en confirmant le trouble du langage avec une atteinte phonologique. Depuis cette étude pionnière, de multiples travaux sont venus conforter cette hypothèse qui réfute le lien de causalité entre les troubles visuels et le niveau de lecture, indépendamment d'un trouble phonologique.

Cependant, de nouvelles recherches ont réactivé la possibilité de l'implication de processus liés à la vision dans la dyslexie. Si la dyslexie de type phonologique trouve aujourd'hui des explications théoriques solides, ce n'est pas le cas de la dyslexie de surface. Les profils de lecture de ces deux types de dyslexie peuvent être considérés comme totalement opposés, les explications théoriques qui sont proposées devraient donc être radicalement différentes. En ce sens, l'hypothèse d'un trouble phonologique n'est peut-être pas suffisante pour expliquer certaines formes de dyslexie. C'est dans ce cadre, que l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel a été émise, tentant d'expliquer l'origine de la dyslexie de surface et les profils de lecture associés.

Deux écoles se sont opposées au sein de ce courant théorique : l'hypothèse d'un déficit neurobiologique dans le système magnocellulaire, initiée dans les années 1980 et la théorie, plus récente, du trouble visuo-attentionnel. La controverse autour de la présence ou

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

non de troubles visuels (ou visuo-attentionnels) chez les dyslexiques s'accroît avant tout par les différences profondes qui existent entre les épreuves très spécifiques (souvent informatisées) qui testent ce type de compétences et par voie de conséquence par les résultats obtenus.

Dans notre perspective, fondée en particulier sur la volonté de rassembler dans une même démarche les hypothèses les plus prégnantes de la littérature scientifique actuelle, il semble essentiel, d'un point de vue clinique, de faire référence à ce type de troubles fréquemment mentionné dans les travaux.

L'hypothèse magnocellulaire sera abordée plus loin, car elle ne s'appuie pas seulement sur l'existence de troubles visuels, mais tente d'inclure également aussi les troubles dans le traitement auditif.

a) Le déficit visuo-attentionnel dans la dyslexie

A l'origine, l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel dans la dyslexie repose sur l'idée d'un déficit d'orientation de l'attention ainsi appelé mini-négligence par Facoetti et Molteni (2001). Les dyslexiques rencontrent, selon les tenants de cette hypothèse visuo-attentionnelle, des difficultés d'hypersensibilité, entraînant un déficit d'inhibition controlatérale. En effet, les expériences montrent que les dyslexiques ont des temps de réaction plus longs dans l'hémichamp gauche que dans l'hémichamp droit.

De même, le constat d'une capture attentionnelle ralentie chez les dyslexiques traduit le fait qu'ils mettent plus de temps pour engager leur attention visuelle sur une cible mais aussi pour désengager leur attention visuelle d'une cible. Concrètement, au cours de la lecture, les troubles de l'attention visuelle se traduisent par des difficultés à lire les pseudo-mots, car la procédure analytique est altérée (Facoetti, Zorzi, Cestnick, Lorusso, Molteni, Paganoni, Ulmita et Mascetti, 2006). Dans le cas de pseudo-mots relativement longs, l'attention doit être focalisée sur la première partie du mot, puis se désengager pour se réengager sur la seconde partie du mot. Comme les dyslexiques rencontrent des difficultés particulières dans l'engagement et le désengagement de l'attention visuelle, alors la lecture des pseudo-mots devient très difficile. Les données expérimentales mettent en évidence des corrélations fortes entre les processus d'attention visuelle et la lecture de pseudo-mots.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

La portée de ces conclusions doit cependant être nuancée, ce qui limite en partie la validité de cette hypothèse du trouble visuel chez les dyslexiques. Les troubles visuels se rencontrent plus fréquemment chez les dyslexiques de type phonologique dont la caractéristique première est de rencontrer des troubles phonologiques conduisant à l'incapacité à lire les pseudo-mots.

Dans des travaux plus récents (Facoetti et al., 2006), les temps de réactions face à l'engagement et au désengagement d'une cible expliquent 17 % de la variance de la lecture des pseudo-mots, une fois contrôlées les variables concernant l'âge, le QI et la dimension phonologique.

Ces résultats témoignent bien de la présence d'un trouble visuo-attentionnel dans la dyslexie. Mais les débats se poursuivent encore quant à la généralisation de ce trouble visuo-attentionnel qui concernerait préférentiellement la dyslexie de surface ou la dyslexie phonologique si l'on s'en tient aux analyses de Facoetti.

D'autres recherches avancent plutôt l'idée d'un trouble amodal de l'attention perceptive (Hari et Renvall, 2001), en montrant que les dyslexiques rencontrent à la fois des troubles de l'attention visuelle et des troubles de l'attention auditive. Dans ce cadre, les troubles attentionnels seraient plutôt co-morbides à la dyslexie.

L'existence d'un trouble visuo-attentionnel chez les enfants dyslexiques est mise en évidence par de multiples travaux de recherche. On suppose une déficience de l'attention visuelle qui facilite normalement l'extraction des informations dans une zone particulière du champ visuel. Dans la lecture, l'attention visuelle, séquentielle, est nécessaire pour prélever l'information pertinente au cours d'une fixation. Séduits par cette idée, plusieurs auteurs (Ducrot, Lété, Sprenger-Charolles, Pynte et Billard, 2003 ; Lété, Ducrot, 2008) ont émis l'hypothèse du point de fixation optimal, l'OVP (*Optimal Viewing Position*) qui permet la meilleure reconnaissance du mot. L'existence de ce point optimal de fixation situé en deuxième et troisième lettre d'un mot de cinq lettres chez les normo-lecteurs, semble moins marqué chez les dyslexiques. Ils émettent l'hypothèse d'un déficit de l'OVP chez les dyslexiques.

Plusieurs types de données suggèrent que des difficultés dans le traitement visuo-attentionnel sont liées à un trouble spécifique de la lecture. Ainsi, Brannan et al. (1987), Facoetti, Lorusso, Paganoni, Cattaneo, Galli et Mascetti (2003) mettent en évidence un défaut d'orientation spatiale de l'attention visuelle chez les dyslexiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Des travaux montrent aussi que les dyslexiques sont anormalement performants dans le traitement des lettres situées dans le champ périphérique droit (dans le sens de la lecture) et qu'ils ont tendance à focaliser leur attention au centre (Geiger, Lettvin et Zegarra-Moran, 1992). Ces particularités semblent exister quel que soit le type de dyslexie. Ainsi, Valdois décrit le cas d'un enfant dyslexique qui connaît de sévères difficultés dans la recherche de cibles, en l'absence de déficit phonologique (Valdois et al., 2003). Par ailleurs, Marendaz et al. (1996) indiquent que les dyslexiques sont en difficulté dans une tâche de recherche sérielle mais non lors d'une recherche parallèle.

Conformément à l'ensemble de ces données, il semble possible d'envisager l'existence d'un déficit visuo-attentionnel indépendant d'un déficit phonologique. Même si l'on pense qu'un trouble visuo-attentionnel peut perturber l'apprentissage de la lecture, il faut démontrer que cet effet agit indépendamment d'un trouble phonologique

b) Les fondements théoriques en lien avec les capacités visuo-attentionnelles

Le modèle de Posner

Le modèle construit par Posner et Petersen (1990) reste le plus efficace pour évaluer l'orientation visuo-spatiale de l'attention. Leurs travaux ont porté sur des sujets normaux et des sujets cérébro-lésés. Les expériences types consistent à demander aux sujets de fixer un point central, puis de réagir le plus rapidement, dès qu'un *stimulus* (la cible) apparaît à droite ou à gauche du point de fixation. Ce *stimulus* est précédé d'indices qui précisent le côté le plus probable d'apparition de la cible. Le sujet se trouve donc soit face à une condition valide (l'indice et la cible sont situés du même côté), soit face à une condition non valide (l'indice et la cible ne se trouvent pas du même côté). Il existe également une condition neutre, lorsque l'indice n'indique aucun côté préférentiel. Avec ce type de paradigme expérimental, le temps de réaction des sujets dans la condition valide est en moyenne plus court de 30 ms environ par rapport à la condition neutre ou non valide. A la lecture des résultats obtenus, l'effet de l'indice peut donc être soit un bénéfice (diminution du temps de réaction), soit un coût (augmentation du temps de réaction).

En 1994, Posner et Raichle ont développé un modèle, décrivant le déroulement des opérations mentales impliquées dans leur tâche. Tout d'abord, l'indice capte et bloque

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'attention du sujet (alerte et interruption). Après avoir repéré la cible (localisation), le sujet désengage son attention de l'emplacement précédent (désengagement) pour l'amener (mouvement) vers le nouvel emplacement. Enfin, l'attention se concentre alors sur ce nouvel emplacement (engagement), inhibant dans le même temps l'ancien emplacement (inhibition).

Selon les auteurs, les processus d'orientation de l'attention sont à la fois endogènes et exogènes. Activé par l'apparition d'indices, le processus exogène d'orientation de l'attention spontané s'apparente à un réflexe. Mis en jeu lors de la condition neutre dans laquelle le sujet porte volontairement son attention d'un côté ou de l'autre, le processus endogène d'orientation de l'attention donne lieu à une orientation volontaire et contrôlée de l'attention.

Cette dissociation, dans les processus attentionnels, entre un processus exogène automatique et un processus endogène contrôlé, a également été confirmée par d'autres expériences (Schneider et Shiffrin, 1977).

Posner et al. (1994) ont mis en relief ces compétences avec des localisations cérébrales, en basant leurs études sur des animaux ainsi que des patients cérébro-lésés. Spécifiant les aires cérébrales et les réseaux sous-jacents aux processus attentionnels, ils ont repéré trois zones cérébrales impliquées dans ces différents processus : le lobe pariétal postérieur, le colliculus supérieur et le pulvinar. Se basant sur ces trois zones, ils suggèrent la présence de trois réseaux attentionnels, sous-jacents à ces différentes opérations mentales attentionnelles : le réseau attentionnel postérieur, le réseau attentionnel antérieur et le réseau de vigilance (figure 9).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

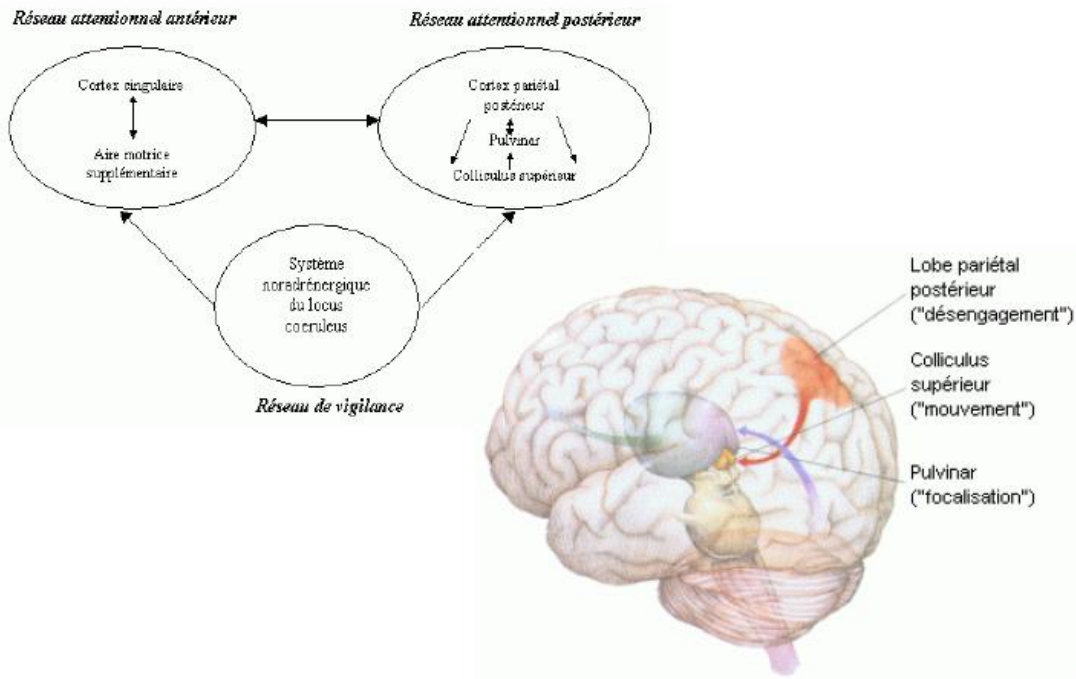


Figure 9 : Circuits de l'attention et localisation des trois aires cérébrales principales qui seraient impliquées dans le réseau attentionnel postérieur dans l'attention visuo-spatiale (adapté de Posner et Raichle, 1994)

Bien sûr, les fonctions de ces réseaux sont de nature différente. Le réseau attentionnel postérieur est responsable de l'orientation de l'attention vers des *stimuli* pertinents. Le cortex pariétal postérieur est impliqué dans les processus de désengagement de l'attention. Le colliculus supérieur agit au niveau du mouvement de l'attention vers un nouvel emplacement. Le pulvinar permet l'engagement de l'attention sur la nouvelle cible. Le réseau attentionnel antérieur, impliqué dans la détection, est constitué du cortex cingulaire et de l'aire motrice supplémentaire.

Le troisième réseau, appelé réseau de vigilance, implique le *locus coeruleus* ainsi que les connexions de cette structure avec le lobe pariétal et le colliculus. Les connexions noradrénergiques du locus coeruleus au cortex seraient cruciales dans le maintien de la vigilance qui est latéralisée spécifiquement dans l'hémisphère droit. Ainsi, ces trois réseaux sont liés les uns aux autres.

En ce qui concerne la dyslexie, le traitement visuo-attentionnel fait référence, de façon assez large, aux capacités de prise d'information visuelle et de traitement de cette information par le système. Les capacités visuo-attentionnelles sont particulièrement

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

sollicitées lors de prises d'informations rapides, excentrées ou sur des *stimuli* complexes. Ce qui nous intéresse spécifiquement dans la lecture, c'est à la fois la rapidité mais aussi la prise d'informations complexes telles que les mots ou les lettres.

Le Modèle Multi-Traces

Le Modèle Multi-Traces (MTM), déjà présenté, tente d'éprouver l'hypothèse qu'un trouble visuo-attentionnel gêne l'apprentissage de la lecture et indépendamment d'un trouble phonologique. Ce modèle connexionniste, implémenté informatiquement, test spécifiquement la réduction de la fenêtre visuo-attentionnel sur l'apprentissage des mots.

c) L'hypothèse d'un trouble de l'empan visuo-attentionnel dans la dyslexie

La notion d'empan visuo-attentionnel se définit comme la quantité d'informations pouvant être traitée simultanément au sein d'une seule séquence d'éléments distincts. Dans un contexte de lecture, l'empan visuo-attentionnel correspond au nombre de lettres traitées en une seule fixation visuelle, autrement dit celles qui sont contenues dans une même fenêtre visuo-attentionnelle.

L'implication de l'empan visuo-attentionnel dans la lecture

Classiquement, deux formes de troubles dans la dyslexie, au moins, sont distinguées. Dans le cas d'une dyslexie phonologique, l'enfant rencontre des difficultés lors de la conversion graphème-phonème. Dans le cas d'une dyslexie de surface, l'enfant ne crée pas de stock lexical, ce qui ne lui permet pas de lire de façon automatique et rapide, en reconnaissant directement la forme orthographique du mot et en accédant ainsi au sens des mots qui sont lus. Ces deux formes de dyslexie sont exprimées par le déficit de l'une ou l'autre des deux procédures de lecture, qui diffèrent au niveau des processus phonologiques et/ou visuo-attentionnels requis : la lecture analytique qui repose sur la conversion ou la lecture globale qui s'appuie sur la reconnaissance orthographique.

En « lecture globale », la fenêtre visuo-attentionnelle cadre toute la séquence de lettres. En revanche, dans la lecture analytique, l'attention visuelle se focalise partie par partie, de façon séquentielle. En même temps que la fenêtre attentionnelle se déplace, les

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

processus phonologiques se font soit en une seule étape (la lecture globale), soit pas à pas (lecture analytique), les unités perçues devant ensuite être maintenues dans la mémoire à court terme.

Les processus de décodage nécessitent la mobilisation de la boucle phonologique en mémoire, un trouble phonologique est donc susceptible d'affecter l'acquisition de ces processus analytiques. Par ailleurs, la création de traces mnésiques requiert une fenêtre attentionnelle suffisamment large. Si cette fenêtre se réduit, le lecteur focalise sur un nombre restreint de lettres, ce qui peut aussi avoir un impact sur les processus de lecture analytique. Un trouble visuo-attentionnel, indépendamment d'un trouble phonologique, peut donc affecter la lecture par procédure analytique (Valdois, 2010).

La lecture globale est liée à une activation de mots en mémoire au fil de la lecture. La réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle se traduit directement par une limitation du nombre de lettres lues, ce qui empêche le lecteur de reconnaître le mot dans sa totalité et donc d'activer son stock lexical. Cette réduction de la taille de la fenêtre attentionnelle affecte ainsi la mise en place des processus de la lecture globale. Par conséquent, un trouble visuo-attentionnel peut contribuer à une mauvaise lecture des mots, indépendamment de l'existence ou non d'un trouble phonologique.

Le modèle connexionniste MTM qui tente de représenter l'hypothèse du trouble visuo-attentionnel postule que les deux types de traitements phonologiques et visuo-attentionnels, jouent un rôle très important dans l'acquisition de la lecture (Ans et al., 1998 ; Valdois et al., 2004).

Généralement, un trouble phonologique se traduit par des scores faibles en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots. En revanche, un trouble visuo-attentionnel est associé à des résultats faibles en lecture de mots irréguliers. Le modèle MTM montre qu'une telle dissociation stricte n'est pas suffisante puisque la procédure analytique influe non seulement sur la lecture de pseudo-mots et de mots réguliers mais aussi sur l'acquisition des connaissances lexicales, spécifiques à la lecture des mots irréguliers. En outre, le modèle postule l'indépendance entre ces deux types de dysfonctionnement si bien que la plupart des enfants dyslexiques devraient présenter un trouble isolé, soit de type phonologique, soit de type visuo-attentionnel. Cette réalité n'exclut pas la présence de doubles déficits pour un nombre limité d'enfants dyslexiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Dans ce cadre théorique, et contrairement au modèle de la double voie de Coltheart, des difficultés portant sur la lecture de mots irréguliers ainsi que sur la lecture de pseudo-mots sont attendues lors d'un trouble phonologique isolé, d'un trouble visuo-attentionnel isolé ou d'un double déficit.

Les mesures de l'empan visuo-attentionnel

Dans le modèle MTM, le traitement visuo-attentionnel est caractérisé par la fenêtre visuo-attentionnelle, dont la taille correspond au nombre d'éléments traités en parallèle au cours d'une seule prise d'information visuelle. Pour répondre à cette exigence, des épreuves de report global et partiel ont été créées

La tâche de report global consiste à demander aux participants, à chaque essai, de rappeler oralement un ensemble de cinq lettres présentées rapidement au centre de l'écran. Cette épreuve fournit une estimation de la quantité d'informations perçues, pendant une présentation visuelle rapide et encodée, dans la mémoire visuelle à court terme.

Ainsi, vingt-cinq suites de lettres ont été construites, à partir de dix consonnes (B, D, F, H, L, M, P, R, S, T). Chaque lettre est utilisée dix fois et apparaît deux fois dans chacune des cinq positions. Au début de chaque essai, un point de fixation centrale est présenté pendant une seconde, suivi d'un écran blanc durant 500 ms. La suite de cinq lettres apparaît alors au centre de l'écran pendant 200 ms seulement, afin d'éviter tout mouvement oculaire. Le sujet doit alors donner oralement le maximum de lettres qu'il a vues, selon l'ordre de son choix.

La tâche de report partiel est tout à fait similaire à la précédente, si ce n'est que les participants doivent reporter oralement, seulement une des cinq lettres. La lettre cible est désignée par un indice visuel (un tiret). La performance reflète essentiellement les capacités de traitement de l'information, avant la perte de ces informations en mémoire iconique. La tâche de report partiel a été proposée afin de s'assurer que la performance en report global de cinq lettres ne reflétait pas simplement les capacités de mémoire à court terme phonologique des enfants. Le report verbal du nom des cinq lettres pourrait en effet solliciter cette composante, contrairement au report partiel où une seule lettre doit être dénommée. Comme pour le report global, un point de fixation est présenté au début de

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'essai pendant une seconde, suivi d'un écran blanc qui s'affiche pendant 500 ms, avant que la suite de lettres n'apparaisse (50 ms).

Les études menées montrent que la mémoire à court terme n'est que faiblement impliquée dans l'épreuve de report global. De plus, les épreuves de report partiel et de report global sont fortement corrélées (Lassus-Sangosse, N'Guyen-Morel et Valdois, 2008).

Ces épreuves testent les capacités à traiter simultanément plusieurs éléments d'une séquence. Cette tâche est propre à la lecture, mais dans ce cas précis, il ne s'agit pas de lecture puisque toute influence lexicale a été éliminée. Ces épreuves évaluent des processus visuels prélexicaux, qui interviennent lors de la lecture. Les études, cherchant à mesurer la fenêtre visuo-attentionnelle, utilisent ces épreuves (Dubois, 2008 ; Lassus-Sangosse et al., 2008 ; Prado, Dubois et Valdois, 2007).

Les données expérimentales

Valdois et al. (2003) ont décrit le cas de deux collégiens, Laurent et Nicolas, qui présentent un retard sévère dans l'apprentissage de la lecture. Le profil de performances de ces deux enfants montre une dissociation, alors que tous les paramètres habituels, comme la mémoire et l'intelligence, ont été contrôlés. Le cas de Laurent s'apparente à un profil classiquement décrit comme relevant de la dyslexie phonologique, avec notamment de nombreuses régularisations des mots irréguliers. Multipliant les erreurs de lexicalisation, Nicolas présente, quant à lui, une dyslexie de surface. Lors des épreuves métaphonologiques, Laurent rencontre plus de difficultés que Nicolas qui a développé une conscience phonémique. En revanche, dans les épreuves visuo-attentionnelles de report global et partiel, Nicolas obtient de mauvaises performances. Incapable d'énoncer une séquence dans sa totalité, ses performances sont d'autant plus mauvaises que la lettre à rappeler s'éloigne du début de la séquence. Ces résultats suggèrent l'existence d'un trouble visuo-attentionnel chez Nicolas, alors que Laurent ne rencontre aucune difficulté dans cette épreuve. La comparaison de ces deux cas met en évidence une double dissociation entre le trouble phonologique et le trouble visuo-attentionnel. Ces résultats sont conformes aux prédictions du modèle MTM. De récentes études de cas portant sur des enfants dyslexiques, corroborent ces observations. Lallier, Donnadiou, Berger et Valdois (2010)

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

mettent en évidence des profils de sujets rencontrant spécifiquement des troubles phonologiques sans difficultés dans les compétences visuo-attentionnelles, alors que Dubois, Kyllingsbaek, Prado, Peiffer, Lassus-Sangosse et Valdois (2010) démontrent la présence d'une réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle en l'absence de déficit phonologique.

Ce type d'expérience a été effectué à plus grande échelle sur un groupe entier (Bosse, Tainturier et Valdois, 2007), lors de travaux qui étudient les performances de 68 enfants dyslexiques. Cette population est soumise aux épreuves de base : Alouette, niveau intellectuel, lecture de mots isolés, épreuves métaphonologiques, et épreuves visuo-attentionnelles. Les enfants de l'échantillon rencontrent des difficultés dans les capacités phonologiques et visuo-attentionnelles et finalement la majorité d'entre eux (60 %) présente un trouble isolé, soit phonologique soit visuo-attentionnel sans double déficit. De ce fait, la dissociation de ces deux types de troubles est fréquente. De plus, les auteurs observent une proportion quasi-identique d'enfants rencontrant un trouble visuo-attentionnel isolé ou un trouble phonologique isolé.

En outre, une analyse en composante principale a été opérée à partir des données récoltées. Le premier facteur est essentiellement expliqué par les performances visuo-attentionnelles, le second par les performances métaphonologiques et le troisième par la variable âge. Ces données suggèrent bien que les facteurs visuo-attentionnels et métaphonologiques sont indépendants de la performance de lecture.

Les enfants dyslexiques ont ensuite été regroupés en différentes catégories. La répartition montre que 44 % des dyslexiques ont un trouble visuo-attentionnel, 19 % de l'échantillon présentent des performances phonologiques anormalement basses et 15 % des enfants testés ont un double déficit. A l'issue de cette expérience, 20 % des enfants ne présentent ni trouble visuo-attentionnel, ni trouble phonologique.

Une étude réalisée par Bosse et al. (2004) auprès de 29 enfants anglophones propose de généraliser les résultats à d'autres langues alphabétiques. Par le biais de leur protocole, ces travaux montrent que les enfants dyslexiques peuvent être classés selon un déficit cognitif isolé à 62 % (34 % avec un déficit visuo-attentionnel, 28 % avec un déficit phonologique), 14 % auraient un double déficit et enfin, un groupe composé de 24 % de

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'échantillon obtient des résultats équivalents aux lecteurs normaux. En revanche, dans cette étude le facteur visuo-attentionnel explique seulement une faible part de la variance de la lecture, contrairement aux résultats décrits précédemment. Les auteurs supposent que cette différence provient de l'opacité de la langue anglaise. En effet, la langue anglaise étant moins transparente que la langue française, les correspondances grapho-phonémiques requièrent davantage de capacités de traitement phonologique.

D'autres preuves expérimentales, qui corroborent l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel, concernent les données traitant des pré-requis de l'apprentissage de la lecture. Des études se sont penchées sur la valeur contributive des compétences visuo-attentionnelles dans l'acquisition de la lecture (Pammer, Lavis, Cooper, Hansen et Cornelissen, 2005). Une étude de Bosse et Valdois (2009), portant sur une cohorte de 417 enfants en classe de CP, CE2, CM2 met en évidence un effet prédictif de l'empan visuo-attentionnel sur les compétences en lecture. Cet effet, indépendant des capacités phonologiques, est notamment visible sur au cours de la lecture des mots irréguliers.

Enfin concernant la remédiation, quelques études sont en cours (Valdois, 2010) qui tentent de montrer un effet bénéfique de la rééducation des troubles visuo-attentionnels sur les compétences en lecture, en partant de l'hypothèse que les régions pariétales seraient réactivées suite à un entraînement intensif de l'empan visuo-attentionnel.

Les corrélats neurobiologiques

Afin d'appuyer l'hypothèse visuo-attentionnelle, des recherches toutes récentes ont été conduites au niveau neurobiologique. Tout d'abord chez les adultes normo-lecteurs, les épreuves qui évaluent spécifiquement les compétences visuo-attentionnelles (report global ou lettres enchâssées) semblent activer particulièrement le lobe pariétal bilatéralement et plus spécifiquement le lobule pariétal supérieur gauche (Valdois, 2010). Chez les jeunes adultes dyslexiques, qui rencontrent un trouble de l'empan visuo-attentionnel, on observe une hypoactivation de ces aires pariétales, plus spécifiquement au niveau du lobule pariétal supérieur gauche et de la jonction temporo-occipito-pariétale gauche (Peyrin, Démonet, N'Guyen-Morel, Le Bas et Valdois, 2010).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

De même, une étude de cas, menée sur deux jeunes adultes dyslexiques qui possèdent un profil de lecture dissocié, corrobore l'hypothèse visuo-attentionnelle (Valdois, 2010). En effet, le premier dyslexique rencontre spécifiquement des difficultés de lecture de pseudo-mots avec un déficit des habiletés phonologiques, sans présenter de difficultés au niveau visuo-attentionnel. Dans l'autre cas, le *pattern* est inversé, c'est-à-dire qu'il rencontre des difficultés à lire des mots irréguliers, possède un déficit dans les compétences visuo-attentionnelles sans trouble phonologique. Les résultats observés sous imagerie cérébrale, en réalisant ce type de tâches, une épreuve de type phonologique (jugement de rimes) et une épreuve visuo-attentionnelle (lettres enchâssées) vont dans le sens des attentes des auteurs. En effet, le dyslexique de type « phonologique » dispose d'une hypoactivation du réseau fronto-pariétal gauche (aire de Broca et gyrus supramarginal) (Démonet et al., 2004) qui ne montre pas de différence en comparaison avec les normo-lecteurs au niveau du lobule pariétal inférieur gauche. En revanche, chez le jeune dyslexique de type « surface », les auteurs font des observations totalement inverses. En effet, les imageries cérébrales mettent en évidence une hypoactivation des régions pariétales et plus spécifiquement du lobule pariétal gauche, zone censée s'activer spécifiquement lors des épreuves visuo-attentionnelles, et une activation comparable à celle des normo-lecteurs des régions frontales inférieures et le gyrus supramarginal.

Les limites de l'hypothèse d'un déficit visuo-attentionnel

Récent et encore peu diffusé dans la littérature scientifique, ce modèle pionnier du trouble visuo-attentionnel suscite des critiques extrêmement stimulantes au niveau de la recherche. D'un point de vue théorique, ce modèle repose sur des bases solides, le modèle MTM. Même si la thèse de Bosse (2004) apporte de nombreux éléments en sa faveur, les résultats évoquent un lien causal entre les capacités visuo-attentionnelles et la lecture, sans le démontrer formellement. L'essentiel des analyses repose sur des corrélations qui ne permettent pas de conclure à une relation causale. En effet, un troisième élément qui n'est pas pris en compte pourrait interférer avec les deux autres. La théorie postule que les troubles visuo-attentionnels peuvent expliquer toutes les formes de dyslexie. Pourtant, expérimentalement seuls les dyslexiques de surface rencontrent des troubles visuo-attentionnels.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Il serait intéressant de s'assurer que les épreuves de report global et partiel mesurent bien les capacités visuo-attentionnelles, en les comparant à des épreuves contrôles, comme celles utilisant le paradigme de Posner.

Les tâches de report partiel et global utilisent les lettres comme matériel, mais il semble qu'une tâche contrôle, sans matériel verbalisable, soit également indispensable à la validation du modèle. En effet, l'utilisation de lettres dans ces épreuves présente le risque de mettre en jeu d'autres activités cognitives que l'attention visuelle, impliquées elles aussi dans la lecture.

Enfin, les épreuves destinées à démontrer l'existence d'un trouble phonologique, dans la plupart des études, sont des épreuves de métaphonologie, testant la conscience de la phonologie. Il pourrait être intéressant de prendre également en compte les compétences phonologiques implicites.

Les troubles visuo-attentionnels sont souvent rencontrés chez des dyslexiques qui ont conjointement une atteinte des capacités phonologiques. L'existence d'un trouble visuo-attentionnel chez les dyslexiques reste compatible avec l'hypothèse phonologique selon laquelle la cause proximale est exclusivement de nature phonologique.

C'est pourquoi il nous semble que l'évaluation des capacités visuo-attentionnelles reste indispensable dans un protocole de diagnostic qui se veut innovant et qui tente de mesurer différentes capacités cognitives en lien avec la lecture.

5. L'hypothèse cérébelleuse

a) Le dysfonctionnement de la fonction cérébelleuse

C'est essentiellement au niveau du cortex cérébral qu'il faut rechercher l'origine des troubles chez les dyslexiques. Si l'on sait, que le dysfonctionnement est essentiellement phonologique, il est important de chercher quelles sont les structures cérébrales sous-tendant les activités de lecture qui peuvent expliquer les troubles cognitifs spécifiques rencontrés dans la dyslexie.

Un grand nombre d'observations indiquent que de nombreux dyslexiques sont maladroits sujets à des problèmes d'équilibre et de coordination motrice. Ainsi, selon les

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

études, 40 % à 100 % d'entre eux sont moins performants que les normo-lecteurs dans les épreuves motrices. Certains auteurs, comme Nicolson et Fawcett (1990, 2000) explorent les processus moteurs avec un *choice reaction time test*. Les dyslexiques ont des temps de latence plus longs que les autres dans les épreuves motrices.

Nicolson, Fawcett et Dean (2001) ont fait l'hypothèse d'un dysfonctionnement cérébelleux à l'origine de la dyslexie, déficit général non spécifique au langage. Appuyant cette hypothèse, des données en neuro-imagerie ont permis de voir, chez des dyslexiques, une réduction de l'activité cérébelleuse dans les tâches motrices, phonologiques et de lecture.

L'hypothèse cérébelleuse intègre tout un ensemble de phénomènes, certains au cœur de la dyslexie, comme un dysfonctionnement du circuit cerveau-cervelet chez les dyslexiques, rendant compte du déficit en mémoire de travail et de la difficulté de la mise en place du décodage, alors que d'autres ne sont que des symptômes associés (hyperactivité, trouble de l'attention). De plus, elle va dans le sens d'un défaut d'automatisation dans l'activité de lecture souvent évoquée dans la dyslexie

Les dyslexiques rencontrent des problèmes de lecture mais également d'autres troubles dans différents domaines (visuel, auditif, moteur...). Il a été constaté chez les patients dyslexiques un retard dans le développement moteur, observations creusées par Fawcett et Nicolson (1999). Les troubles de développement moteur concernent essentiellement des troubles de nature séquentielle et temporelle (exemple : dire l'heure, les saisons...) et surtout des troubles de la coordination motrice et d'équilibre. Ces symptômes correspondent généralement aux dysfonctions classiques lorsqu'il y a une lésion au niveau du cervelet. Les auteurs ont donc évoqué le tableau caractéristique de la dyslexie comme « *un déficit des aptitudes phonologiques, des habiletés motrices de la rapidité du traitement d'informations et de l'automatisation* ».

Selon l'hypothèse cérébelleuse, une déficience motrice de type déficit d'automatisme des codes articulatoires affecterait la mise en place des compétences phonologiques.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

b) Les données expérimentales

Les études *post-mortem* sur les cerveaux humains ont parfois pointé une anomalie au niveau du cervelet (Leonard, Eckert, Lombardino, Oakland, Kranzler, Mohr, King et Freeman, 2001). De plus, des recherches sous imagerie cérébrale (Eckert et al., 2003 ; Fawcett et al., 1999) ont montré une hypoactivation du cervelet des dyslexiques lors de tâches purement motrices. Plus rarement, certaines études mettent en évidence également une hypoactivation localisée au niveau du cervelet lors de tâches de lecture (Nicolson et al., 2001).

Si le rôle moteur du cervelet est reconnu de longue date, il semble également avéré qu'il joue un rôle dans les fonctions cognitives plus générales, notamment l'organisation temporelle (Nicolson et al., 1995). De fait, le cervelet peut effectivement affecter la lecture puisqu'il est impliqué dans les contrôles des mouvements oculaires, dans l'attention visuo-spatiale et dans la vision périphérique. Il intervient également dans la gestion du temps et de l'espace contribuant aux troubles de la coordination sensori-motrice observés chez les dyslexiques.

Un dysfonctionnement au niveau cérébelleux explique les troubles fréquemment rencontrés chez les dyslexiques : trouble de l'écriture, trouble de l'automatisation (Moore, et al., 2003) et déficit dans les aptitudes articulatoires. Ce déficit engendre alors un défaut dans la boucle articulatoire qui conduit à un déficit en mémoire à court terme verbal et à un trouble de la conscience phonologique (Ivry et Justus, 2000 ; Nicolson et al., 2001).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

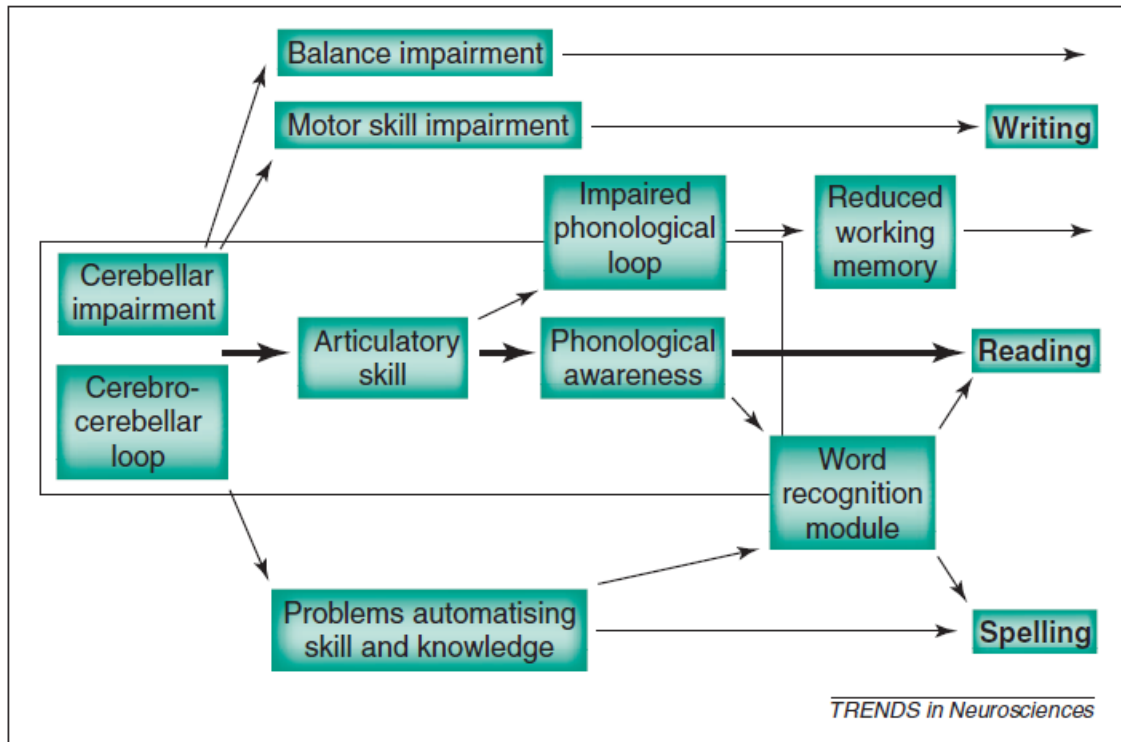


Figure 10 : Schéma récapitulatif de l'hypothèse d'un déficit cérébelleux dans la dyslexie (Nicolson et al., 2001)

Nicolson et al., 1995 supposent que le déficit cérébelleux, présent très précocement dès la naissance, interfère avec la mise en place des capacités d'articulation entraînant un défaut dans les compétences phonologiques nécessaires à la mise en place du décodage graphème-phonème indispensable à la lecture (figure 10 : schéma récapitulatif).

Selon les études, des différences significatives sont retrouvées chez 50 % des enfants dyslexiques (White et al., 2006) surtout dans les épreuves évaluant le contrôle postural ou la dextérité digitale. Toutefois, ces différences ne sont pas retrouvées chez les adultes dyslexiques (Ramus et al., 2003). De plus, ce type de difficultés se rencontre majoritairement chez des dyslexiques qui ont des troubles associés tels qu'un déficit de l'attention ou de la coordination motrice.

Des études se consacrent, par ailleurs, à la reproduction de rythme (Wolff, 2002) chez les dyslexiques. Il semble qu'ils ont une avance sur le rythme et accusent un retard plus important quand il y a changement de *tempo* par rapport aux normo-lecteurs...

Testée sur 68 enfants dyslexiques par Tiffin-Richards, Hasselhorn, Richards, Banaschewski et Rothenberger (2004), l'épreuve de *tapping* ne permet pas de déceler de

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

déficit significatif, mais une légère tendance chez les dyslexiques à altérer leurs performances en fonction de la complexité du rythme à reproduire.

Concernant le déficit de la boucle articulatoire, Lalain, Joly-Pottuz, Nguyen et Habib (2003) montrent des différences significatives dans les processus d'articulation en langage oral ainsi qu'une corrélation significative entre les difficultés d'articulation et les troubles phonologiques.

Pour Nicolson et Fawcett (2001, 2006), tenants de cette hypothèse, il semble que l'hypothèse cérébelleuse soit susceptible de rendre compte de l'ensemble des phénomènes expliqués par la théorie phonologique, l'hypothèse du double déficit et la théorie magnocellulaire.

c) Analyse critique de la théorie cérébelleuse

L'hypothèse cérébelleuse, défendue par Nicolson et Fawcett, peut être affaiblie par l'absence de l'ensemble du syndrome cérébelleux (hypotonie, asthénie...) chez les dyslexiques. Toutefois les auteurs précisent que seule la zone connectée avec les zones du langage est affectée de façon systématique

De plus, on n'observe pas de troubles moteurs chez tous les dyslexiques. Néanmoins, White et al. (2006) retrouvent des difficultés motrices de type cérébelleux dans 50 % de l'échantillon. Une telle proportion justifie clairement l'importance d'une évaluation de type moteur dans notre protocole. Il est évident que le diagnostic de dyslexie doit impliquer ce type de mesure. En effet, l'indication des capacités motrices chez les enfants peut avoir des conséquences pour la prise en charge et la prise en compte de l'enfant et de ses troubles dans sa globalité.

6. L'hypothèse d'un déficit du traitement auditif

a) Le trouble du traitement temporel

Cette théorie explicative promeut l'idée que les troubles du traitement phonologique auraient pour cause sous-jacente un déficit auditif spécifique qui concernerait essentiellement le traitement des sons brefs à transition rapide. Cette théorie

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

repose essentiellement sur la contribution fondamentale de Tallal et Percy (1973) et Tallal, Miller, Bedi, Byrna, Wang, Nagarajan, Schreiner, Jenkins et Merzenich (1996) dont l'idée directrice est que les troubles de langage sont dus à des difficultés dans la discrimination temporelle des sons. Depuis, les études se succèdent afin de mettre au clair le rôle de ces processus dans la lecture et dans les troubles d'apprentissage de la lecture.

Lors de leurs premières recherches sur ce sujet, Tallal et al. (1973) étudiaient les enfants aphasiques avec l'idée d'élargir les constatations de troubles du traitement temporel des unités de sons chez les enfants dyslexiques. Le postulat de départ repose sur l'idée que les dyslexiques ont un déficit de nature perceptive, supra-modale, qui explique un développement atypique du langage. Cette incapacité perceptive correspondrait à un traitement inapproprié des *stimuli* brefs en succession rapide dans les tâches d'analyse des sons comme dans la parole humaine.

Le test de jugement temporel (*TOJ : Temporal Order Judgment*) de Tallal est le plus couramment utilisé pour évaluer ce déficit. Il s'agit de faire varier l'intervalle de temps entre deux *stimuli* (*ISI : Intervalle Inter-Stimuli*), les *stimuli* étant des sons.

Une vingtaine de dyslexiques ont été soumis à des tests de jugement d'ordre temporel. Aucune différence n'a été mise en évidence entre les dyslexiques et les témoins lorsque l'intervalle entre deux *stimuli* est long, en revanche, des différences apparaissent avec les intervalles courts (inférieurs à 150 ms). Une analogie est faite par les auteurs entre la durée des ISI et certaines composantes du langage, notamment les consonnes occlusives dont la durée de voisement est de 40 ms.

Des corrélations relativement fortes (.58 et .81) ont également mises en évidence entre les performances obtenues aux tests de jugement temporel et des épreuves de lecture. La plus élevée (.81) se situe entre les performances obtenues aux subtests avec des ISI brefs et la lecture de pseudo-mots. Les auteurs concluent à un lien entre le traitement temporel et les mécanismes de conversion graphème-phonème.

Daffaure, De Martino, Chauvin, Cay-Maubuisson et Camps (2001) ont étudié le lien entre la perception de la durée, le jugement d'ordre temporel et la conscience phonologique chez 23 dyslexiques et 20 normo-lecteurs appariés en âge lexical. Les deux marqueurs temporels sont corrélés avec la conscience phonologique mais pas entre eux, il convient donc de distinguer lors des études ce qui correspond aux reproductions successives de *stimuli* auditifs et ce qui relève de la perception de la durée entre deux *stimuli*.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Au niveau neurobiologique, les observations réalisées sous imagerie cérébrale (Temple, Poldrack, Protopapas, Nagarajan, Salz et Tallal, 2000) mettent en évidence des réseaux impliquant des structures corticales, sous-corticales et cérébelleuse. Les structures mises en jeu varient en fonction de la tâche, ce qui va dans le sens des constatations de Daffaure et al. (2001). Dans une étude de Gaab, Gabrielia, Deutschb, Tallal et Temple (2007), les enfants normo-lecteurs montrent une différence d'activation cérébrale au niveau du cortex préfrontal gauche, avec notamment une activation plus soutenue lors des *stimuli* rapides. Au contraire, chez les enfants dyslexiques il n'existe aucune différence d'activation entre les *stimuli* lents et rapides. De surcroît, dans cette même étude, après huit semaines d'entraînement phonologique ainsi que sur les processus auditifs rapides, on observe une amélioration sensible des compétences en langage et en lecture des enfants dyslexiques. A l'imagerie cérébrale, les activations se différencient désormais entre les *stimuli* lents et rapides comme chez les normo-lecteurs.

L'efficacité de certaines rééducations intensives (Habib, 2002 ; Tallal et al., 1996), donne aussi des arguments en faveur d'un déficit du traitement temporel conduisant à un déficit phonologique. En effet, l'utilisation d'un matériel acoustique, modifié en allongeant la durée du signal auditif, a pour but d'améliorer le système perceptif des enfants souffrant de trouble du langage. Une écoute quotidienne permet d'obtenir des résultats assez concluants.

b) Les limites de la théorie du trouble du traitement temporel

Ces résultats ont été contestés notamment par des études longitudinales (Share, Jorm, Mc Lean et Matthews, 2002) qui observent une différence significative également avec des ISI longs. Elles montrent, d'une part, qu'il n'y a pas de différence si le groupe des dyslexiques est comparé à un groupe contrôle apparié en âge lexique et, d'autre part, que les capacités auditives ne sont pas prédictives du futur niveau en lecture. Ces auteurs ne valident donc pas l'hypothèse de Tallal. Pour eux, le déficit phonologique n'est pas conséquent du trouble de traitement temporel, en revanche, ils n'écartent pas la possibilité que ce trouble du traitement temporel ait un rôle dans les difficultés du langage oral.

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

Dans une autre recherche, Chiappe, Stringer, Siegel et Stanovich (2002) ont utilisé deux épreuves, l'une portant sur le jugement temporel et l'autre sur l'identification entre deux syllabes /pa/ et /da/. Les différences observées entre le groupe des dyslexiques, le groupe des enfants appariés en âge et le groupe d'enfants appariés en âge lexical ne sont pas significatives.

Ramus et al., (2003) et White et al., (2006) qui ont tenté au cours de leurs travaux de tester, chez des adultes et enfants dyslexiques, entre autres l'hypothèse d'un trouble du traitement temporel, n'ont pas mis en évidence de difficultés spécifiques de cet ordre. Cependant, ils retrouvent des performances nettement altérées dans le traitement phonologique. Ils évoquent trois arguments contredisant les hypothèses de Tallal : un trouble du traitement temporel est rencontré chez une minorité de dyslexiques, le déficit ne se limite pas aux *stimuli* à transitions rapides et ils n'observent pas de corrélation entre les difficultés perceptives et les troubles phonologiques (Bretherton et Holmes, 2003).

Quant au programme de réentraînement, certains auteurs (Mody, Studdert-Kennedy et Brady, 1997) l'ont largement critiqué notamment sur l'efficacité toute relative face à des enfants dyslexiques dépourvus de trouble du langage oral au préalable.

Les auteurs favorables à l'hypothèse du traitement temporel ont tenté de l'étendre à d'autres modalités. Tallal avait remarqué chez les enfants dysphasiques des difficultés à identifier précisément les doigts touchés simultanément. Dans la même perspective, Grant Zangalade, Thiagarajah et Sathian (1999) ont remarqué l'élévation du seuil de discrimination tactile chez des patients dyslexiques. Les auteurs ont donc tenté d'élargir le déficit de traitement des informations à succession rapide à toutes les modalités sensorielles. Witton, Talcott, Hansen, Richardson, Griffith, Rees, Stein et Green (1998), Witton, Stein, Stoodley, Rosner et Talcott (2002) observent un déficit auditif chez 50 % des dyslexiques de leur échantillon tandis que 25 % présentent des troubles visuels, les mesures étant corrélées aux performances des épreuves phonologiques. De son côté, Cestnick (2001) trouve également un déficit de traitement temporel dans les deux modalités. Enfin, Laasonen, Tomma-Halme, Lahti-Nuutila, Service et Virsu (2000) observent des performances plus faibles chez les enfants dyslexiques dans le traitement temporel auditif, visuel et tactile. Plus récemment, des auteurs comme Hairston, Burdette, Flowers, Wood et Wallace (2005) évoquent l'élargissement d'une fenêtre d'intégration

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

chez les dyslexiques provoquant des erreurs dans le transcodage puisque deux informations avec des modalités différentes doivent être traitées de manière rapide et précise.

Les avis divergent sur cette hypothèse du traitement temporel, il est vrai que les études observent souvent (mais pas toujours) ce trouble chez les dyslexiques. Il peut s'agir d'une co-morbidité ou effectivement d'un lien de causalité entre trouble du traitement temporel et déficit phonologique, empêchant la mise en place de la lecture.

Dans tous les cas, une mesure des aptitudes de traitement temporel peut donner des indications, nous avons donc choisi de l'intégrer dans le protocole.

c) Le déficit de la perception catégorielle

Si le déficit de traitement temporel est très discuté, une autre hypothèse concernant les capacités auditives a été évoquée, elle concerne cette fois la capacité à discriminer les sons de la parole. Comme nous l'avons déjà énoncé, lire c'est être capable de mettre en relation des sons et des lettres ainsi que de comprendre qu'un mot parlé est constitué de sons élémentaires. La capacité de segmentation de ces unités demande des représentations phonémiques bien spécifiées, qui permettent le mécanisme de la perception catégorielle (c'est-à-dire la discrimination de deux sons). Les études *princeps* sur ce thème ont été menées par Brandt et Rosen (1980).

On mesure cette perception catégorielle par la manipulation du délai de voisement, BA devient progressivement PA. L'épreuve est appelée VOT (*Voice Onset Time*), il s'agit d'observer les performances de catégorisation en variant l'intervalle de temps entre l'occlusion orale et le début de la vibration de la corde vocale. Le VOT peut être négatif ou positif selon si le départ de la voix précède ou suit la détente. Les résultats de ce type d'épreuve montrent que les sujets normaux catégorisent les deux sons, ils différencient systématiquement les deux sons : il n'y pas de *continuum*. On a un changement radical dans les réponses au moment de la perception de la différence entre les sons (Jacquier, 2008). Chez les dyslexiques, cette catégorisation serait déficitaire sans doute du fait d'une représentation phonémique qui ne serait pas bien spécifiée. Ce déficit s'observe par le biais des pentes d'identification, sachant qu'une pente faible indique une frontière catégorielle moins précise (Manis, Mc Bride-Chang, Seidenberg, Keating et Doi, 1997). Il a été montré

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

que les dyslexiques ont une perception moins catégorielle que les normo-lecteurs (Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré et Sprenger-Charolles, 2004). Ils ont un pic de discrimination plus faible au niveau de la frontière phonémique. Les dyslexiques sont moins performants pour détecter deux sons différents, En revanche, ils ont tendance à juger différents des sons appartenant à la même catégorie (Bogliotti, Serniclaes, Messaoud-Galusi et Sprenger-Charolles, 2008). En ce sens, ces auteurs posent l'hypothèse d'un mode de perception allophonique comme cause du trouble phonologique, et par conséquent des troubles en lecture.

L'ensemble des résultats obtenus chez les dyslexiques indique la présence d'un mode de perception particulier de la parole.

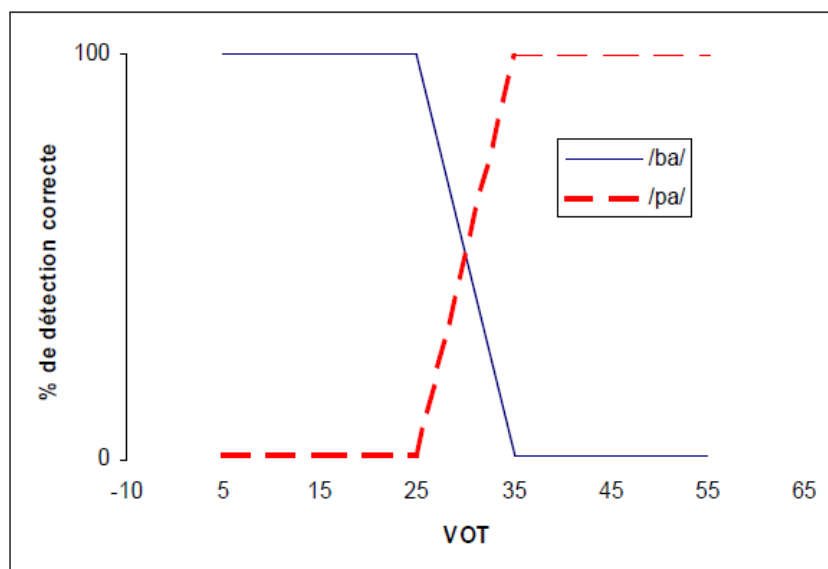


Figure 11 : Frontière catégorielle lors d'une tâche d'identification d'un *continuum* /ba/-/pa/ (schéma issu de la thèse de Jacquier, 2008)

L'altération de ces processus de perception auditifs peut entraver la mise en place de l'apprentissage de la lecture. En effet, pour effectuer les conversions graphème-phonème nécessaires à la lecture, il faut posséder une perception catégorielle fonctionnelle. Si les dyslexiques rencontrent des difficultés à percevoir une différence entre deux phonèmes différents, ils ne seront pas en mesure d'effectuer les correspondances graphème-phonème correctement. Ceci peut également rendre compte des déficits observés

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

dans les épreuves phonologiques et des déficits en mémoire à court terme, le répertoire phonologique étant plus large puisqu'ils différencient des phonèmes qui n'ont pas à être différenciés.

Pour résumer, l'altération des processus phonologiques en lecture, comme conséquence des difficultés à traiter des *stimuli* auditifs lorsqu'ils sont présentés rapidement, est actuellement une hypothèse largement discutée dans les origines de la dyslexie. Elle nécessite encore de nombreuses expérimentations avant d'être validée de façon incontestable. C'est un champ de la recherche qui a pour avantage de donner une explication unitaire de la dyslexie. Les recherches actuelles tentent d'évaluer le pouvoir explicatif de ce phénomène, d'étudier le lien entre ce déficit et le déficit phonologique et enfin de mettre à jour les éventuels corrélats neurologiques.

7. L'hypothèse magnocellulaire

Les données expérimentales qui suggèrent que les dyslexiques souffrent de troubles dans les processus visuels, indépendamment de troubles sensoriels sont nombreuses. Ce constat a entraîné de nombreux travaux sur le déficit visuel potentiel rencontré chez le dyslexique. L'hypothèse d'un déficit neurobiologique au niveau du système magnocellulaire a vu le jour à la suite des travaux fondateurs de Livigstone, Rosen, Drislane et Galaburda (1991).

L'hypothèse de l'atteinte du système magnocellulaire, tout d'abord évoquée pour les troubles visuels, a été ensuite étendue aux troubles auditifs (Stein, 2003). Un bon fonctionnement du système magnocellulaire est essentiel pour avoir une sensibilité des mouvements et une bonne stabilité lors de la fixation binoculaire, toutes deux nécessaires à la lecture. Mais il joue également un rôle important dans les capacités auditives, le traitement des informations de haute fréquence et la sensibilité dans le changement des modulations d'amplitudes des sons.

A première vue, le système magnocellulaire semble peu adapté à l'activité de lecture qui nécessite des compétences au niveau de la reconnaissance des formes visuelles des mots pour la mise en place de la voie lexicale (voie d'adressage). Toutefois, chez des dyslexiques, des anomalies ont été repérées au niveau du système magnocellulaire, au

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

cours d'autopsies du cerveau ou d'imageries cérébrales notamment. L'hypothèse d'un trouble neurobiologique qui affecte les magnocellules et explique les troubles de lecture procède de ces observations. Cette théorie magnocellulaire permet de rassembler les hypothèses d'un trouble visuel et d'un déficit auditif. Elle donne en effet une explication neurobiologique aux différentes formes des troubles de la lecture : les troubles de reconnaissance de la forme visuelle des mots (qui affectent la voie d'adressage) et les troubles phonologiques (qui concernent la voie d'assemblage).

a) Système visuel, système magnocellulaire

Au-delà du cortex occipital, deux types de processus visuels peuvent être mis en jeu : la voie dorsale et la voie centrale.

La voie parvocellulaire (*parvo* signifie « petit » en latin) capte les détails dans la lecture, en prenant l'information de manière précise, pendant le temps d'une fixation. Cette voie est spécialisée dans l'identification des formes visuelles, via le cortex temporal.

La voie magnocellulaire (*magno* signifie « large » en latin) capte au contraire la forme globale du *stimulus* et réagit aux mouvements. L'information est alors prise pendant la saccade oculaire. Ces deux voies interagissent pendant la lecture. La voie magnocellulaire, activée pendant une saccade oculaire, doit inhiber les informations captées lors des saccades précédentes. La voie dorsale, dominée par les neurones magnocellulaires est spécialisée dans la détection des mouvements visuels. Ce système dévolu au contrôle des yeux et des membres passe par le gyrus supramarginal et angulaire dans le cortex pariétal postérieur.

Ainsi, la vision intégrée dans le système de la lecture par le biais de deux voies (l'une qui passe par le cortex pariétal postérieur et l'autre par le cortex temporal), est corroborée par les études d'imageries cérébrales qui montrent des activations de ces régions pendant la lecture.

Les magnocellules qui forment les 10 % des cellules de la rétine les plus grosses possèdent des axones permettant une transmission d'information rapide. Ces magnocellules répondent aux *stimuli* de faible fréquence spatiale et de haute fréquence temporelle. Ce système impliqué dans le traitement des faibles contrastes, permet une

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

analyse globale alors que l'analyse dans le détail est dévolue aux parvocellules. Une autre caractéristique des magnocellules est de traiter les mouvements et les changements rapides. Les informations sont alors très vite communiquées au cortex visuel, via les couches magnocellulaires du Corps Genouillé Latéral (CGL), le thalamus et le colliculus supérieur pour les réflexes des mouvements oculaires. Ces cellules se projettent ensuite au niveau du système dorsal, du cortex primaire visuel, vers l'aire médio-temporale, et de là, vers les régions de l'attention et du contrôle de mouvement des yeux dans le cortex pariétal postérieur, pour gagner ensuite les régions visuelles frontales et le cervelet.

b) Le rôle du système magnocellulaire dans la lecture

Dans l'activité de lecture, le sujet prélève l'information visuelle par la rétine. Au centre de la rétine (fovéa), on trouve l'acuité visuelle la plus importante. Les informations prélevées par la zone périfovéale sont moins précises. Cette zone guide les saccades oculaires nécessaires dans la lecture. Ainsi, les informations sont prélevées de manière saltatoire. D'après Von Karolyi, Winne, Gray et Sherman (2003), les dyslexiques présentent de meilleures performances que les normo-lecteurs, lorsqu'il s'agit de traitement global des informations visuelles. En revanche, ils obtiennent des résultats inférieurs dans le traitement local. Ces constatations sont à l'origine des travaux visant à tester l'hypothèse d'un déficit du système magnocellulaire.

La lecture nécessite la prise d'informations visuelles et leur traitement. Le système magnocellulaire entre en jeu dans les saccades oculaires et efface les détails précédemment analysés par le système parvocellulaire. Il a également un rôle dans l'orientation de l'attention visuelle, dans le mouvement oculaire et dans la recherche visuelle de cible. Tous ces processus sont essentiels lors de la lecture.

c) Le système magnocellulaire dans la dyslexie : preuves expérimentales

Les constatations neuro-anatomiques corroborent l'hypothèse considérant qu'au cours de la lecture, succession de saccades oculaires et de fixation, le système magnocellulaire, déficient, ne peut inhiber les informations à chaque saccade activée par le système parvocellulaire. Il y a, alors, une superposition des images si le système magnocellulaire n'inhibe pas le système parvocellulaire pendant la saccade oculaire. Le

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

système magnocellulaire intervient également pour diriger l'attention visuelle, le mouvement des yeux et la recherche visuelle. Or, ces trois processus sont déficitaires chez les dyslexiques.

Les dyslexiques qui souffrent d'un déficit du système magnocellulaire, rencontrent des difficultés de stabilité dans la fixation visuelle, pouvant conduire à une inversion des lettres. Ils ont une densité moins forte de neurones magnocellulaires dans les centres visuo-moteurs, c'est-à-dire dans le cortex pariétal postérieur, le colliculus et le cervelet.

L'étude *princeps* réalisée par Livingstone et al. (1991), avec l'enregistrement des potentiels évoqués de six patients et quatre contrôles, apporte des données histologiques et comportementales. Dans les études en EEG (Electro-Encéphalogramme), on montre aux patients des cibles noires et blanches (fort contraste) et des cibles gris clair et gris foncé (faible contraste). Les tracés EEG sont différents entre les dyslexiques et les normo-lecteurs sur les cibles ayant peu de contraste. Cette différence n'est pas mise en évidence pour les cibles à fort contraste. Les auteurs concluent à une atteinte du système visuel, spécifiquement impliqué dans les faibles contrastes, c'est-à-dire le système magnocellulaire. Pour corroborer cette constatation, cette même équipe de chercheurs a analysé le cerveau *post-mortem* de cinq dyslexiques. Les couches magnocellulaires dans le CGL et dans le thalamus sont désordonnées. De plus, environ 30% des neurones sont plus petits. En revanche, on n'observe aucune différence sur le système parvocellulaire.

Les études sur le cerveau des dyslexiques, notamment les travaux de Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz et Geswind (1985) ont montré l'absence de l'asymétrie dans le planum temporal normalement constatée chez les non-dyslexiques, phénomène confirmé par les imageries cérébrales. De même, il a été remarqué une symétrie anormale du cortex pariétal postérieur (voie dorsale). En 1979, Galaburda et Kemper, toujours en effectuant des autopsies sur le cerveau des dyslexiques, ont mis en évidence des ectopies autour de la jonction temporo-pariétale. Les recherches avec imagerie cérébrale montrent des activations diminuées dans les zones visuelles de la voie dorsale. Cette voie dorsale joue un rôle majeur dans le mouvement des yeux et le prolongement dans le champ frontal des yeux, le colliculus supérieur et le cervelet, qui sont vraiment importants dans le contrôle visuo-moteur.

De nombreuses données (Stein, 2003) suggèrent que les dyslexiques ont un trouble spécifique de leur système magnocellulaire visuel puisqu'ils ont plus de difficultés que les

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

normo-lecteurs dans le traitement des informations visuelles de basse fréquence spatiale, qui sont gérées par la voie magnocellulaire.

Ces travaux ont donc lancé une nouvelle vague de recherches, évoquant une atteinte spécifique du système magnocellulaire dans la dyslexie. Les dyslexiques présentent de mauvaises performances dans la sensibilité aux mouvements, ce qui est confirmé aussi par l'imagerie cérébrale. Ces études visent à démontrer que le fonctionnement du système magnocellulaire, sensible au mouvement prédit les habilités de lecture, notamment pour les mots irréguliers. Stein (2001) a repéré chez les normo-lecteurs une corrélation entre la sensibilité aux mouvements visuels et les capacités à épeler correctement des mots irréguliers. Des travaux (Talcott Hansen, Assoku et Stein, 2000) ont également montré chez des enfants que cette sensibilité aux mouvements visuels explique 25 % de la variance de la lecture des mots irréguliers. Dans cette même étude, si ils mettent en évidence une corrélation entre la sensibilité des mouvements visuels et la lecture de pseudo-mots homophones, ils n'isolent pas de corrélation avec les habilités phonologiques.

La tâche RDK (*Random Dot Kinematograms*) est la plus utilisée pour mesurer la performance de détection de mouvement. Sur un écran est présenté un ensemble de points dont certains bougent de manière aléatoire, d'autres suivent un mouvement cohérent. Les travaux d'Eden, Vanmeter, Rumsey, Maisog et Zeffiro (1996) montrent que les dyslexiques sont moins performants pour repérer un mouvement d'ensemble. Cette épreuve, réalisée sous IRM, indique qu'il n'y a pas d'activation de l'aire du mouvement (Lovegrove, Bowling, Badcock et Blackwood, 1980 ; Stein 2001) chez les dyslexiques en comparaison avec les normo-lecteurs.

En dépit de ces études, il n'est pas évident de voir le lien entre un déficit de la voie magnocellulaire et un trouble de la lecture. Stein et Walsh (1997) répondent que ce lien existe du fait de l'existence de projections des couches magnocellulaires du CGL vers le cortex pariétal postérieur. La région pariétale postérieure est importante dans le contrôle des mouvements des yeux, l'orientation de l'attention visuelle et la vision périphérique. Ainsi, le déficit magnocellulaire pourrait avoir un impact sur la lecture à travers les fonctions du cortex pariétal postérieur (Stein, Richardson et Fowler, 2000).

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

d) Elargissement de l'hypothèse magnocellulaire : des troubles visuels aux troubles auditifs

Au-delà des troubles visuels, l'hypothèse d'un déficit magnocellulaire peut également expliquer les troubles auditifs, et par conséquent les troubles phonologiques attestés dans la dyslexie. Il s'agit par le biais de l'hypothèse magnocellulaire, de donner une base neurobiologique aux déficits de conscience phonologique. Stein (2001, 2003) pose cette nouvelle hypothèse, en reprenant les conclusions de Tallal. Les dyslexiques ont du mal à traiter les informations temporelles rapides, visuelles et auditives, suite à l'atteinte des systèmes magnocellulaires visuels et auditifs.

Les sons des mots changent en fonction de leur fréquence et de leur amplitude. Des chercheurs ont trouvé (Talcott, 2000) que les dyslexiques obtiennent des performances plus faibles pour détecter les transitions en comparaison à des normo-lecteurs. Il faut que les changements soient significativement plus larges, aussi bien sur le plan de la fréquence que de l'amplitude, pour que les dyslexiques soient en mesure de les distinguer. Comme pour les troubles visuels, il s'agit bien d'un trouble spécifique et non d'un trouble simple de l'audition.

Witton et al. (1998) observent des seuils de détection de modulation plus élevés chez les dyslexiques. Ces seuils de détection sont corrélés entre eux mais aussi avec la lecture des pseudo-mots. La proportion des dyslexiques rencontrant ce type de difficultés reste cependant modeste.

Ces études mettent en avant des corrélations entre les capacités de sensibilité de fréquence, l'amplitude des sons et la lecture des pseudo-mots. Cette sensibilité de fréquence explique 64 % de la variance de la lecture des pseudo-mots. Toutefois, aucun lien de prédiction entre la sensibilité auditive et les habiletés phonologiques n'a été mis en évidence.

Confortant l'hypothèse magnocellulaire, les résultats de l'équipe de Galaburda montrent des anomalies structurelles. Si les dyslexiques ont un déficit magnocellulaire, les incidences ne portent pas seulement sur les lettres mais aussi sur le repérage de points. Ainsi, Riddell, Fowler et Stein 1990 ont montré que des enfants ayant une instabilité binoculaire étaient nettement moins performants que les normo-lecteurs pour localiser des points. Plus récemment, Klingberg, Hedehus, Temple, Salz et Gabrieli (2000) posent

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

l'hypothèse d'un défaut dans la matière blanche comme une cause plausible des multiples déficits dans les processus de changement rapide d'une stimulation sensorielle.

e) Controverses autour de l'hypothèse magnocellulaire

Dans une récente étude de Skoyles et Skottun (2004), il est montré que le déficit magnocellulaire ne concerne pas exclusivement les dyslexiques. Ce déficit ne serait donc pas spécifique à la dyslexie. En 2000, Skottun a réalisé une méta-analyse sur vingt-deux études. Les résultats ne sont pas en faveur de l'hypothèse magnocellulaire, en effet, quatre recherches vont dans le sens de l'hypothèse, onze la contredisent et sept ne montrent pas de perte d'efficacité en basse fréquence. Ainsi, le déficit magnocellulaire chez les dyslexiques n'est pas systématiquement retrouvé dans les études.

A première vue, la lecture devrait plutôt être associée au système parvocellulaire, qui gère le traitement des informations dans le détail qu'au système magnocellulaire, qui effectue les traitements des informations plus grossières. De fait, dans l'étude de Ramus qui teste plusieurs hypothèses, seuls deux dyslexiques sur seize semblent présenter un trouble du système magnocellulaire visuel associé. De plus, aucun lien n'a été montré entre le système magnocellulaire et l'instabilité lors de la fixation visuelle.

Divers auteurs (Cestnick et Coltheart, 1999) ont remarqué que les déficits de contrastes et de détection de mouvements se rencontraient le plus souvent chez les dyslexiques phonologiques, alors qu'il était plus évident de trouver ce type de trouble chez les dyslexiques visuels. Ces constatations ont conduit à expliquer que le déficit magnocellulaire serait plus une conséquence de la dyslexie qu'une cause.

Certains travaux expérimentaux ont continué à affaiblir cette hypothèse, notamment Amitay, Ben Yehudah, Banai et Ahissar (2002) qui montrent que c'est la caractéristique temporelle de la tâche, et non son contenu perceptif qui serait déterminant dans la dysfonction.

Nous n'avons pas pris en compte, ni expérimenté dans notre recherche, cette hypothèse explicative de la dyslexie. En effet, l'hypothèse magnocellulaire se situe au niveau neurobiologique et non neuropsychologique. Or, nous cherchons à mettre en évidence les comportements cognitifs particuliers aux dyslexiques. Le diagnostic que nous

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

voulons apporter n'est pas enrichi par le fait que la cause sous-jacente soit ou pas un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire.

Les recherches fondamentales, qui continuent à tester cette hypothèse, apporteront probablement plus tard des éclaircissements et des tests spécifiques. Mais pour l'instant, la recherche est encore loin de trouver un moyen d'évaluer les capacités dérivées du système magnocellulaire, pouvant apporter un réel intérêt au diagnostic de la dyslexie. Concernant les stratégies de réadaptation proposées aux dyslexiques dans cette perspective, Stein et al. (2000) tenté d'éprouver l'occlusion d'un œil pendant quelques mois, les résultats restent controversés.

Conclusion

Suite à l'exposé de l'ensemble des théories explicatives de la dyslexie sur lesquelles la recherche est largement abondante, il est important de s'interroger sur l'intérêt d'une explication unitaire. La dyslexie est très hétérogène cliniquement et elle reflète ou est associée à des troubles cognitifs (neurobiologiques) multiples et indépendants.

L'hypothèse phonologique reste et demeure l'hypothèse explicative incontestable de l'origine de la dyslexie, s'appuyant sur les liens interdépendants entre le langage oral et le langage écrit. Cette hypothèse rassemble une grande majorité de chercheurs, les preuves expérimentales (études de cas, études de cohorte, études longitudinales, pouvoir prédictif, corrélats neurobiologiques, persistances des troubles à l'âge adulte...) étant désormais stables et reproduites. Cette théorie explicative de la dyslexie répond empiriquement et cliniquement à la symptomatologie des troubles de lecture.

Toutefois, l'hétérogénéité des symptômes accompagnant le trouble de lecture a conduit les chercheurs vers d'autres perspectives. Ils ont, notamment, tenté de comprendre les origines des troubles phonologiques. En ce sens, ils ont posé d'autres hypothèses pouvant expliquer leur origine entraînant par conséquent des difficultés en lecture. Des déficits de traitement temporel auditif de catégorisation, ou encore un dysfonctionnement magnocellulaire, seraient alors la cause sous-jacente au déficit phonologique.

Un autre champ de recherche s'est consacré aux autres déficits pouvant être aux origines de la dyslexie indépendamment d'un trouble phonologique. L'hypothèse visuo-

Aux origines de la dyslexie : hypothèses et théories

attentionnelle, spécifiquement, cherche à expliquer un déficit en lecture isolé de troubles phonologiques.

Au regard de l'accumulation de données impressionnantes sur la dyslexie, les tentatives de réconciliation paraissent très délicates (figure 12 : schéma récapitulatif).

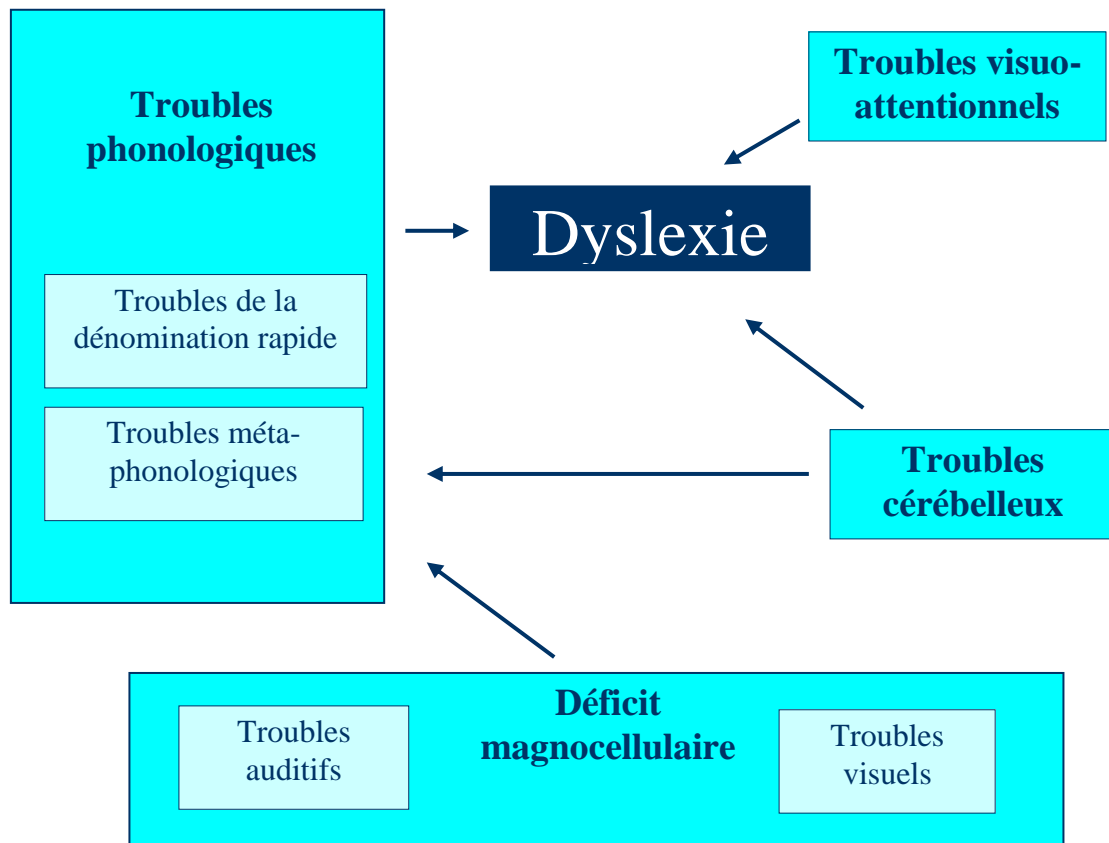


Figure 12 : Schéma récapitulatif différentes hypothèses explicatives de la dyslexie

En ce sens, dans l'objectif d'élaborer un outil d'aide au diagnostic qui vise la complémentarité, nous avons tenté de rassembler les théories explicatives dans un même protocole, afin d'obtenir un *pattern* de résultats, un profil spécifique à chaque enfant tester.

C'est dans la multiplicité et l'hétérogénéité des manifestations chez les individus et des symptômes que se situe la clé du diagnostic.

**DU PROTOCOLE
AU LOGICIEL :**

**les étapes de
l'élaboration d'un
outil d'aide au
diagnostic**

Introduction

L'objectif principal de ce travail de thèse consiste à élaborer un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie développementale. Ainsi, le protocole READY (REeducation et Analyse de la Dyslexie) comprend des épreuves papier/crayon et des épreuves informatisées, préexistantes pour la plupart. Certaines épreuves sont issues de tests qui évaluent des fonctions cognitives spécifiques. D'autres épreuves, provenant de matériels expérimentaux conçus par des laboratoires de recherche sur la dyslexie, ont pour but d'évaluer certaines habilités théoriquement impliquées dans la lecture. Enfin, un dernier groupe d'épreuves complémentaires, a été inventé dans le cadre de ce protocole. Au total, l'ensemble des épreuves réunies tente de mesurer les principales capacités cognitives impliquées dans la lecture.

Deux possibilités s'offraient à nous, tenter de réduire le protocole aux épreuves les plus discriminantes afin de déterminer la présence d'un trouble de lecture (que les capacités mesurées soient à l'origine des difficultés en lecture ou y soient simplement associées) ou utiliser un panel plus large d'épreuves pour établir des profils cognitifs.

Les deux approches s'avérant à la fois complémentaires et indispensables à la qualité du diagnostic, les choix opérés ont tenté de permettre la poursuite conjointe de ces deux objectifs.

En effet, il était essentiel de concevoir un outil pratique à utiliser dans un court laps de temps, afin de répondre aux impératifs concrets des professionnels confrontés aux troubles des apprentissages, qui manquent en permanence de temps. Cependant, l'approche neuropsychologique (un déficit dans une habileté peut conduire à des performances réduites dans d'autres domaines cognitifs) n'a pas été perdue de vue, en conservant une évaluation d'habilités cognitives sous-jacentes à la lecture. Un bilan complet, en dépit de l'inconvénient d'un temps de passation plus long, offre également des renseignements indispensables pour le diagnostic et la prise en charge rééducative de l'enfant par la suite.

Une fois le protocole construit, la phase de test a été réalisée sur des enfants tout-venant et sur des enfants dyslexiques appariés en âges chronologiques. Le but était d'établir des normes et de comparer des enfants de même âge chronologique. Il est vrai qu'une comparaison avec un groupe d'enfants appariés en âge lexical aurait apporté des informations complémentaires,

Du protocole au logiciel

notamment quant à la validité de certaines hypothèses théoriques, mais il ne s'agissait pas ici de vérifier fondamentalement les hypothèses explicatives de la dyslexie. Cependant, l'analyse des données a permis d'étudier le fonctionnement de certaines habiletés cognitives et d'apporter des éléments dans la réflexion sur les hypothèses explicatives de la dyslexie. Il a donc été question, au cours de cette recherche, de tenter d'observer l'évolution des performances de chaque habileté cognitive répondant aux hypothèses théoriques explicatives de la dyslexie.

I. Participants

1. L'échantillon des dyslexiques

L'échantillon de dyslexiques comporte 38 enfants. Pour la majorité d'entre eux, l'évaluation s'est déroulée au Centre de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelle (CRRF) de Trestel. Dans un premier temps, l'enfant a été soumis à un protocole classique d'évaluation des troubles de la lecture par les professionnels médicaux et paramédicaux, qui établissaient le diagnostic.

Cet échantillonnage s'est déroulé sur environ un an. Les enfants, qui souhaitaient une consultation médicale pour des troubles de langage écrit, ont été vus prioritairement (à condition d'obtenir, au préalable, l'accord parental pour participer à l'étude) par l'équipe du CRRF de Trestel, qui avait un temps particulier dédié aux passations READY. L'enfant était alors rencontré par un médecin rééducateur pédiatre (Dr Dominique Pichancourt et Dr Laurent Jézéquel). Cette visite orientait ensuite les bilans pluridisciplinaires.

Un bilan orthophonique composé de tests étalonnés était alors réalisé systématiquement. Parfois, les enfants rencontraient également un ergothérapeute pour une évaluation plus écologique des troubles du langage écrit. La batterie de tests utilisée par les orthophonistes du CRRF de Trestel comprenait certaines épreuves issues de :

- ELO (Evaluation du Langage Oral) (Khomsî, 2001).
- L2MA (Langage oral, Langage écrit, Mémoire et Attention) (Chevrier-Muller, Simon et Fournier, 1997).
- DRA (Dénomination Rapide) (Plaza, Chauvin, Lanthier, Rigoard, Roustit, Thibault et Touzin, 2002).

Du protocole au logiciel

- NEEL (Nouvelles Epreuves pour l'Evaluation du Langage) (Chevrier-Muller et Plaza, 2001).
- BELEC (Batterie d'Evaluation du Langage ECrit) (Mousty, Leybaert, Alegria, Content et Morais, 1994).

Par ailleurs, les enfants ont bénéficié également d'une évaluation neuropsychologique systématique, au cours de laquelle les capacités attentionnelles (attention visuelle de la Nepsy, appariement d'images), les capacités exécutives (Tours de la Nepsy, Trail Making Test, Stroop, Wisconsin) ont été évaluées, en l'absence d'une évaluation intellectuelle, le Wisc 3 a été réalisé. La neuropsychologue, Magalie Carado a réalisé ces évaluations complètes, ainsi que les passations du protocole READY.

Une réunion pluridisciplinaire avec l'ensemble de ces intervenants déterminait ensuite le diagnostic et mettait en place une prise en charge pour chaque enfant. Dans ce cadre, certains enfants ont donc bénéficié de la mise en place d'une Assistante de Vie Scolaire au cours de l'année, ou d'un ordinateur et d'un apprentissage à son utilisation par un ergothérapeute. Parmi ces enfants, deux ont bénéficié d'une scolarisation dans l'école du CRRF de Trestel, dans la mesure où leurs troubles particulièrement handicapants nécessitaient une scolarisation adaptée.

Sur les 38 enfants testés dans ce dispositif, 3 ont été éliminés du corpus de base, car leurs troubles associés (troubles psychologiques et/ou troubles d'hyperactivité) étaient prédominants aux troubles de la lecture selon l'avis des professionnels qui les ont évalués. L'échantillon de dyslexiques final est donc composé de 35 enfants.

2. L'échantillon de la population tout-venant

Selon les normes scientifiques, la dyslexie est repérée seulement à partir de deux ans de retard dans la lecture. Par conséquent, un enfant n'ayant jamais redoublé ne peut théoriquement pas être identifié comme dyslexique avant le CE2. Pour constituer un groupe de comparaison, il a donc été décidé de tester le protocole sur des enfants scolarisés en classe de CE2 ou de CM1 ayant entre 9 et 10 ans (la moyenne d'âge du corpus est de 9 ans et 3 mois). Pour éviter les différents biais sociologiques, il a été choisi de retenir des écoles situées dans des secteurs ruraux aussi bien que dans des zones urbaines, mais aussi des établissements

Du protocole au logiciel

localisés dans des zones d'éducation prioritaires (ZEP). Il a donc été nécessaire d'établir un partenariat avec l'Education Nationale, de manière à ce que les enfants puissent être sélectionnés, par les services de santé scolaire, sur la base de ces informations

Au total, 91 enfants ont testé le protocole. La durée totale de la passation est répartie en trois fois 45 minutes environ.

Certains enfants tout-venant (13) ont été repérés comme mauvais lecteurs (ML), ils avaient un retard en lecture supérieur à 18 mois au test de l'Alouette. Il a donc été décidé de créer deux groupes parmi cette population : un groupe de normo-lecteurs (NL) et un groupe de mauvais lecteurs (ML). L'ambiguïté quant au statut de ces enfants mauvais lecteurs, concernant une possible dyslexie chez certains d'entre eux, nous a conduit à ne pas les prendre en compte dans les tests statistiques, de façon à éviter certains biais dans les résultats.

	effectif	Classe (CE2/CM1/CM2)	Age chronologique	Age lexical	Retard en lecture	%filles/garçons
NL	78	63 / 15 / 0	8 ans et 9 mois (σ : 5 mois)	9 ans et 1 mois (σ : 16 mois)	+ 3 mois (σ : 15 mois)	52% / 48%
ML	13	6 / 7 / 0	9 ans et 8 mois (σ : 9 mois)	7 ans et 3 mois (σ : 7 mois)	- 29 mois (σ : 13 mois)	42% / 58%
DYS	35	13 / 21 / 1	9 ans et 6 mois (σ : 7 mois)	7 ans et 2 mois (σ : 6 mois)	- 27 mois (σ : 8 mois)	37% / 63%

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des enfants normo-lecteurs, mauvais lecteurs et dyslexiques de l'échantillon

II. Protocole : description des épreuves

Le protocole retenu au sein du projet « Ready » regroupe un ensemble d'épreuves, mesurant différentes capacités cognitives impliquées dans l'activité de lecture ; mémoire, attention, habilités phonologiques, habilités motrices, capacités visuo-attentionnelles, habilités auditives. On peut regrouper l'ensemble des épreuves retenues en 10 catégories.

1. Les épreuves de lecture

L'épreuve de l'Alouette (Lefavrais, 1965 ; test réévalué en 2004) vise à déterminer l'âge lexical de l'enfant. L'enfant doit lire à haute voix, pendant trois minutes, un texte qui n'a pas de sens. L'âge est déterminé à partir de la vitesse et de l'exactitude de la lecture.



Figure 13 : L'épreuve de l'Alouette (Lefavrais, 1965)

La lecture de mots isolés et de pseudo-mots consiste à lire six listes de mots le plus rapidement possible, soit au total 120 mots regroupés dans différentes catégories selon leur fréquence (contrôlée par Manulex, Lété, Sprenger-Charolles et Colé, 2004) et leur régularité : liste de mots réguliers fréquents (ex : maman), liste de mots irréguliers fréquents (ex : monsieur), liste de mots réguliers peu fréquents (ex : dorade), liste de mots irréguliers peu fréquents (ex : chorale), liste de pseudo-mots (ex : abindeur) et enfin liste de pseudo-mots voisins phonologiquement de mots (ex : ardinateur). L'exactitude et le temps de la réponse sont relevés, ce qui conduit à créer pour chaque liste de mots des variables de vitesse de lecture, correspondant au nombre de mots correctement lus, divisé par le temps. Le principe de la lecture de mots isolés est retrouvé systématiquement dans les batteries de tests évaluant les capacités de lecture (par exemple : l'Odedys, la Belec...).

Du protocole au logiciel

L'analyse des performances obtenues dans ce test permet d'identifier des profils de dyslexie (dyslexie de surface, dyslexie phonologique, dyslexie mixte) et de vérifier l'existence de certains automatismes. Comme nous l'avons vu dans la partie théorique, la lecture de mots irréguliers et la lecture de pseudo-mots isolés testent les deux voies de lecture (respectivement adressage ou assemblage). L'effet de fréquence des mots donne une indication sur la capacité de reconnaissance globale des enfants, qui font appel à leur stock lexical, créé grâce aux rencontres fréquentes avec ces mêmes mots. L'effet de lexicalité, entre les mots fréquents et les pseudo-mots donne des informations sur la voie assemblage puisqu'un pseudo-mot n'existant pas dans le stock lexical, sera obligatoirement lu via cette voie. Quant à l'effet de régularité, un mot irrégulier, sera lu correctement uniquement si l'enfant possède ce mot dans son stock lexical, ce qui teste donc la voie d'adressage.

L'analyse des performances permet de déterminer le profil de la dyslexie de l'enfant. En effet, un sujet qui obtient des performances faibles en lecture de mots irréguliers et des performances normales en lecture de pseudo-mots sera considéré comme un enfant ayant un profil de dyslexie de surface. A l'inverse, avec des performances faibles en lecture de pseudo-mots et correctes en lecture de mots irréguliers, le sujet présentera un profil de dyslexie phonologique (Coltheart et al., 1983).

2. Les épreuves de mémoire

Selon certaines études (Sprenger-Charolles et al., 2000), les dyslexiques auraient une mémoire à court terme verbale plus faible que la normale, présentant notamment un déficit de mémoire de travail avec un dysfonctionnement de la boucle phonologique. La mémoire de travail, qui permet de retenir des informations le temps qu'elles soient traitées, est impliquée dans la lecture, notamment au cours de la conversion graphème-phonème et de l'assemblage lors de l'apprentissage.

L'épreuve mnésique se décompose en trois subtests : l'empan de chiffres verbal endroit (empan de mémoire à court terme verbale), l'empan de chiffre verbal (mémoire de travail), les blocs de Corsi (empan de mémoire à court terme visuelle).

Du protocole au logiciel

Endroit :

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

Envers :

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

Figure 14 : Empans endroit et envers

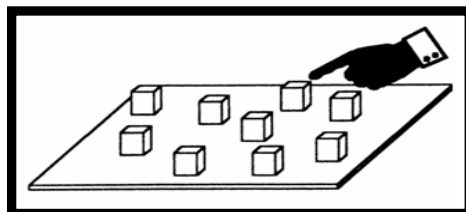


Figure 15 : Blocs de Corsi

Les capacités de mémoire épisodiques ont été contrôlées chez les enfants dyslexiques lors du bilan neuropsychologique, si des plaintes mnésiques étaient exprimées. Même si l'hypothèse de la présence d'un déficit mnésique chez les dyslexiques (Anthony et al., 2007) existe, elle reste marginale. On peut effectivement penser que certains enfants souffrant de troubles mnésiques (sachant que la dysmnésie est très rare), ont par conséquent, aussi des difficultés lors de l'apprentissage de la lecture, les troubles de mémoire épisodique ne caractérisent pas pour autant la dyslexie.

3. L'épreuve d'attention

Les troubles attentionnels sont appréhendés comme un trouble co-morbide à la dyslexie (Mazeau, 2005), on retrouve un trouble de l'attention chez environ 25 % à 40 % des enfants dyslexiques. De plus, certaines hypothèses, notamment celle évoquant un trouble neurobiologique d'origine magnocellulaire (Livingstone, 1991), évoquent la possibilité d'un trouble attentionnel visuel et auditif (Stein, 2003).

Issue de la Batterie Rapide d'Evaluation des fonctions cognitives : BREV (Billard, Gillet, Galloux, Piller, Livet, Motte, Vallée et Vol, 2000), cette épreuve consiste en un barrage de chiffres. L'enfant doit barrer aussi rapidement que possible tous les "3" présents sur une feuille test, un score est obtenu au bout de vingt secondes puis de soixante secondes. Il s'agit d'observer la vitesse de réalisation, les oublis et les erreurs ainsi que la stratégie exploratoire utilisée par les enfants, qui peut être soit linéaire (ligne par ligne) soit aléatoire (l'enfant ne suit pas de logique dans l'exploration visuelle).

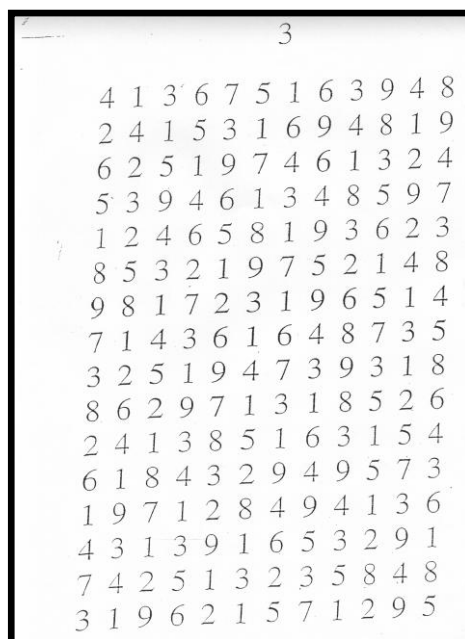


Figure 16 : Epreuve de barrage de 3 issue de la BREV

4. Les épreuves métaphonologiques

Ce type d'épreuve requiert un traitement conscient des unités phonologiques. Selon l'hypothèse la plus consensuelle, ces capacités sont particulièrement altérées chez les

Du protocole au logiciel

dyslexiques, qui rencontrent des difficultés de représentation, de stockage et de récupération des unités phonémiques (Ramus, 2001 ; Ramus et al., 2003). Les arguments en faveur de cette hypothèse sont nombreux, tout d'abord les dyslexiques ont des performances inférieures aux normo-lecteurs du même âge chronologique mais aussi du même âge lexical attestant un (dys)fonctionnement spécifique et déficitaire de la conscience phonologique (Lundberg et Høien, 1989 ; Sprenger-Charolles et al., 2003). Par ailleurs, les capacités phonologiques sont les meilleurs prédicteurs du futur niveau en lecture (Antony et al., 2007 ; Vellutino et al., 2004) et l'entraînement de ces capacités améliore les performances en lecture (Hatcher et al., 1994). Les épreuves choisies mesurent ces compétences spécifiques et sont classiquement celles observées dans les recherches et dans les protocoles d'évaluation du langage écrit.

a) Segmentation des phonèmes

Les sujets doivent décomposer les mots présentés oralement en phonèmes. Par exemple, le mot « café » se décompose en quatre phonèmes : [c]/[a]/[f]/[e]. Dans la liste, on trouve des mots allant de deux à cinq phonèmes.

b) Omission du phonème initial

Dans cette épreuve, il est demandé au sujet de supprimer mentalement le premier phonème d'un mot et de donner oralement le mot sans ce phonème. Ainsi, pour [gri], la réponse attendue est [ri]. Présentés oralement, les mots commencent soit par une consonne puis une voyelle soit par deux consonnes. On prend en compte le nombre d'erreurs et le type d'erreurs.

c) Jugement de rimes

Parmi les trois mots présentés à l'enfant, un seul ne se termine pas par le même son alors que les deux autres riment. L'enfant doit donc indiquer ce mot, désigné comme l'intrus (exemple : bec-*port*-sec) On compte le nombre de bonnes réponses sur les huit items proposés.

d) Contrepèteries

Au cours de cette épreuve, l'enfant doit inverser les deux premiers phonèmes de deux mots donnés oralement. Par exemple, pour les mots « lapin / robot », la réponse attendue correspond à « rapin / lobot ».

Cet exercice est coûteux au niveau de la mémoire de travail, cependant, comme ce n'est pas ce qui est testé spécifiquement dans cette épreuve, l'expérimentateur peut redonner plusieurs fois les mots à transformer, afin de soulager la mémoire de travail de l'enfant.

Néanmoins, cette épreuve qui combine, malgré tout, la mobilisation des capacités phonologiques et de mémoire de travail, offrira probablement des résultats pertinents.

5. Les épreuves d'automatismes phonologiques

Au contraire des épreuves métaphonologiques, ces épreuves ne nécessitent pas un traitement conscient des unités phonémiques. Le traitement des informations se réalise de manière implicite, ce sont les automatismes qui sont questionnés.

a) La discrimination phonémique

Au total, vingt paires de pseudo-mots préenregistrées sont présentées à l'enfant, qui doit dire si les deux pseudo-mots qu'il entend sont « pareils » ou « pas pareils ». En effet, certaines paires (douze) ont été modifiées, comme par exemple « tarnaval – parnaval ». Les modifications sont réalisées sur la première syllabe, la seconde ou la dernière. On prend note du nombre de bonnes réponses.

b) La dénomination rapide

L'épreuve de dénomination rapide teste notamment l'hypothèse du double déficit défendue par Wolf et al., (1999), en faisant notamment appel aux capacités de rapidité d'accès au lexique. Ces auteurs proposent un statut particulier à cette épreuve, souvent assimilée aux épreuves phonologiques, puisqu'ils considèrent que les capacités nécessaires à la dénomination rapide sont indépendantes des capacités phonologiques. Ainsi, les dyslexiques pourraient rencontrer un trouble phonologique isolé, un trouble de dénomination rapide isolé, ou un double déficit.

Du protocole au logiciel

Il s'agit de dénommer le plus rapidement possible une série de lettres ainsi qu'une série de couleurs (Denckla et al., 1976). Cinq items différents répétés dix fois, sont placés aléatoirement sur chaque planche. Une planche test contient les lettres « a, o, p, d, s », comme dans la version classique du RAN test. L'autre planche est composée de couleurs, les noms des couleurs choisies sont fréquents et monosyllabiques : rouge, jaune, bleu, vert, gris.

Les temps ainsi que le nombre d'items correctement dénommés sont pris en compte ce qui permet de calculer la vitesse de dénomination de lettres et de couleurs.

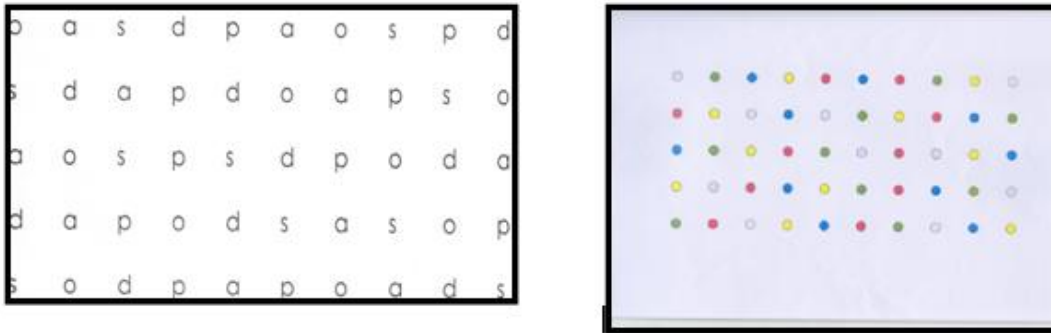


Figure 17 : Epreuves de dénomination rapide de couleurs et de lettres

6. Les épreuves de morphologie

La connaissance de la morphologie des mots est considérée par certains auteurs (Colé et al., 2003) comme une capacité nécessaire à la lecture. Il a notamment été évoqué récemment que ces capacités pourraient être plus performantes chez les dyslexiques, le décodage graphème-phonème étant difficilement mis en place, les dyslexiques s'appuieraient alors sur des compétences sémantiques qui permettent d'analyser les mots en morphèmes.

Dans le premier test, il s'agit de valider des affirmations en testant la connaissance morphologique des mots.

Par exemple : Est-ce qu'un chaton est un bébé chat ? (vrai ou faux)

Est-ce qu'un canon est un bébé cane ? (vrai ou faux)

Dans le second, il s'agit de trouver le mot pseudo-affixé mêlé à trois mots affixés (exemple : recoller, *regretter*, reparler, repartir).

Ces deux exercices requièrent un traitement morphologique des mots.

7. Les épreuves de motricité

Dans ces épreuves issues de la NEPSY (Korkman, Kirk et Kemp, 2003), l'enfant doit exécuter des séquences motrices manuelles ainsi qu'un exercice de *tapping*, conçu pour évaluer la dextérité digitale et la vitesse motrice. Ces épreuves sont censées prendre en compte les performances motrices des enfants que l'hypothèse cérébelleuse suppose atteintes chez les dyslexiques.

Les séquences motrices évaluent la capacité à apprendre et à automatiser une série de mouvements rythmiques. L'examineur montre une séquence de mouvements et l'enfant doit la reproduire cinq fois.

Le *tapping* quant à lui évalue la dextérité des doigts, l'enfant doit frapper 32 fois le bout de son index sur la face interne du pouce le plus vite possible (mouvement simple). Il doit aussi frapper son pouce en respectant la séquence allant de son index à son petit doigt (mouvement moteur complexe). Cette épreuve mesure l'organisation, la planification, la coordination et le contrôle des gestes fins des doigts de manière rapide et précise. Des difficultés dans ce type de tâches sont souvent remarquées chez les enfants dyslexiques (Tiffin-Richards et al., 2004).

Par le biais de ces épreuves, nous tentons de prendre en compte l'aspect motricité de la dyslexie, l'hypothèse cérébelleuse évoque en effet un trouble moteur avec des difficultés de coordination et plus particulièrement un défaut d'automatisation (Nicolson et Fawcett, 1990, 2000).

8. Les épreuves visuo-attentionnelles

Les dyslexiques rencontreraient des difficultés dans la prise de l'information visuelle et dans son traitement lorsqu'elle est présentée rapidement (Valdois et al., 2003). Validée empiriquement, cette hypothèse reste toujours très controversée. Il était intéressant de mesurer les performances des enfants sur ce type d'épreuves, qui apportent des informations précieuses dans le diagnostic de la dyslexie.

Du protocole au logiciel

a) Le report partiel

Par souci d'économie de temps, sur les deux épreuves possibles (report global et report partiel), seule l'épreuve du report partiel a été retenue, puisque ces deux épreuves sont fortement corrélées (Bosse et al., 2007).

Cette épreuve est présentée par le biais d'un ordinateur. Après l'apparition d'un point au centre de l'écran (200 ms), une série de cinq lettres apparaît brièvement sur l'ordinateur (250 ms), puis une barre (50 ms) apparaît sous l'emplacement d'une des lettres. L'enfant doit rappeler cette lettre. On tient compte du nombre de bonnes réponses.

Ce test évalue la taille de la fenêtre visuo-attentionnelle, théoriquement réduite chez les dyslexiques (Bosse et al., 2003). Ce dysfonctionnement a notamment des répercussions sur la lecture par adressage, puisque le mot n'est jamais traité dans son entier et ne peut donc pas être mis en correspondance avec un mot du stock lexical.

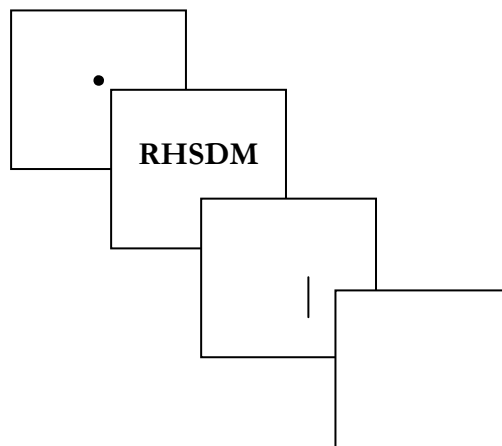


Figure 18 : Illustration des écrans lors de l'épreuve de report partiel

b) Le paradigme de Posner

Cette épreuve qui permet d'examiner la capacité de déplacement du foyer attentionnel visuel a été recréée informatiquement par le Laboratoire du Traitement du Signal et de l'Image (LTSI).

Ce test consiste à faire apparaître une croix à gauche ou à droite d'un point de fixation situé au centre de l'écran. Avant l'apparition de la croix, une flèche apparaît sur le point de fixation, pointant aléatoirement soit vers la droite soit vers la gauche. Elle indique, dans 80 % des cas, le côté où apparaîtra effectivement la croix (*stimuli valides*) et dans 20 % des cas

Du protocole au logiciel

l'autre côté (*stimuli* non valides). A chaque fois que l'enfant voit cette croix apparaître, il doit réagir le plus vite possible en pressant sur un bouton.

9. L'épreuve d'orthographe

L'épreuve d'orthographe correspond à une dictée extraite de la BELEC (Mousty et al., 1994). Il était indispensable de mesurer ces capacités, puisque les dyslexiques rencontrent majoritairement voire systématiquement des difficultés d'orthographe.

Il s'agit d'une dictée à trous. La phrase est d'abord lue dans son entier à l'enfant, avant que ne soient donnés les mots manquants. Deux répétitions pour chaque mot sont possibles. La dictée est notée sur onze scores, représentant plusieurs types d'erreurs possibles :

- Graphies Consistantes Acontextuelles (GCA) : ces graphies (29) sont indépendantes du contexte, elles comprennent les consonnes simples (f) ou plus complexes (ch).
- Graphies Consistantes Contextuelles fréquentes/rares (GCC freq/rares) : la correspondance graphème/phonème est systématique dans le contexte où elles s'écrivent, par exemple « m » devant un « p » ou « b » (campagne). La dictée comporte douze graphies de ce type, six dans des mots fréquents et six dans des mots rares.
- Graphies Inconsistantes Contextuelles Dominantes fréquentes/rares (GICD freq/rares) : les règles de correspondance graphème/phonème, dans ce type de graphies, n'existent que dans un certain contexte. Pour dix-huit mots (qui se partagent en deux sous-ensembles en fonction de leur fréquence), on considère que la règle de conversion est dominante, par exemple le son /s/ est écrit « s » devant un « e ».
- Graphies Inconsistantes Contextuelles Minoritaires fréquentes/ rares (GICM freq/rares), il s'agit du même principe que précédemment mais cette fois, les règles de conversion sont considérées comme minoritaire : c'est le cas par exemple de le son /s/ écrit avec un « c » devant un i comme dans « cigale ».
- Graphies Dérivables Morphologiquement fréquentes/rares (GDM freq/rares), ce sont des graphies muettes (douze), mais qui peuvent être retrouvées à l'aide d'une dérivation morphologique, telle que le « s » à la fin de « gris », en lien avec le mot « grise ».
- Graphies Indérivables Morphologiquement fréquentes/rares (GIM freq/rares), pour ces graphies muettes, la dérivation morphologique n'apporte pas d'indication quant à la présence de cette graphie à la fin du mot, par exemple comme le « s » dans le mot « lilas ».

10. Les épreuves auditives

Ces épreuves ont été mises au point informatiquement par le LTSI (Le Jan, Trolès, Le Bouquin-Jeannès, Faucon, Gombert, Scalart et Pichancourt, 2007). Nous avons tenté avec ces épreuves de tester l'hypothèse d'un trouble de segmentation auditive (Tallal, 1980), qui empêcherait alors la mise en place des représentations phonémiques.

a) L'épreuve de TMTf

L'épreuve de TMTf permet de mesurer la capacité du sujet à détecter une modulation sinusoïdale d'amplitude, appliquée à un bruit blanc selon la fréquence de modulation.

Deux sons (un bruit blanc modulé et le même bruit non modulé) vont être présentés à l'enfant dans un ordre aléatoire (en première ou en deuxième position). Au vue de la complexité de l'épreuve, il a été demandé à l'enfant de nous indiquer en appuyant sur des « button box » si le son qui ressemble à un petit train (le son modulé), apparaît en première ou en deuxième position. Seules trois fréquences de modulation sont expérimentées : 4 Hz, 16 Hz et 128 Hz.

Le test commence par une profondeur de modulation de 0 dB, puis cette valeur évolue en fonction de la réponse de l'enfant, suivant une méthode de détection de seuil, c'est-à-dire que la profondeur de modulation augmente au fur et à mesure des bonnes réponses de l'enfant.

D'après Lorenzi, Dumont et Füllgrabe (2000), les dyslexiques auraient un seuil de détection de la modulation beaucoup plus haut, comparé à des sujets normaux. Ce trouble du traitement temporel des sons brefs à transition rapide conduit, par voie de conséquence, à une mauvaise représentation des phonèmes et donc entrave la mise en place du décodage en lecture.

b) L'épreuve du VOT

L'épreuve du VOT (*Voice Onset Time*) consiste à générer un *continuum* entre deux syllabes qui diffèrent par leur délai de voisement (ou VOT). Le VOT correspond à la durée séparant le relâchement de l'air comprimé (explosion) et la mise en vibration des cordes vocales. Une différence de 20 ms entre les valeurs du VOT de deux *stimuli* n'est perceptible

Du protocole au logiciel

que si les *stimuli* appartiennent à des catégories phonétiques distinctes. Il n'existe pas de *continuum* en termes de perception, autrement dit, on perçoit soit l'une soit l'autre syllabe.

Le choix s'est porté sur la réalisation d'un *continuum* /ba-/pa/, puisque ces syllabes se distinguent par des valeurs du VOT respectivement négatives et positives à partir de trois signaux de références : un [ba] français, un [pa] français et un [fa] français.

A partir d'un *continuum* allant d'un VOT de -40 ms à +40 ms, deux exercices sont proposés : un exercice d'identification et un exercice de discrimination.

Dans le premier cas, l'enfant entend un ensemble de neuf *stimuli* présentés dix fois et de manière aléatoire et doit indiquer à l'aide de bouton box s'il entend /pa/ ou /ba/.

Dans l'exercice de discrimination, l'enfant doit déterminer si les deux sons qu'il entend sont « pareil » ou « pas pareil ». Au total, sept paires de *stimuli* qui diffèrent d'un VOT de 20 ms et neuf paires de *stimuli* identiques sont répétées huit fois. Les sujets normaux ont un pic de discrimination au voisinage d'un VOT de 0 ms. Chez les enfants dyslexiques, ce pic de discrimination n'est pas retrouvé (Serniclaes et Sprenger-Charolles, 2003).

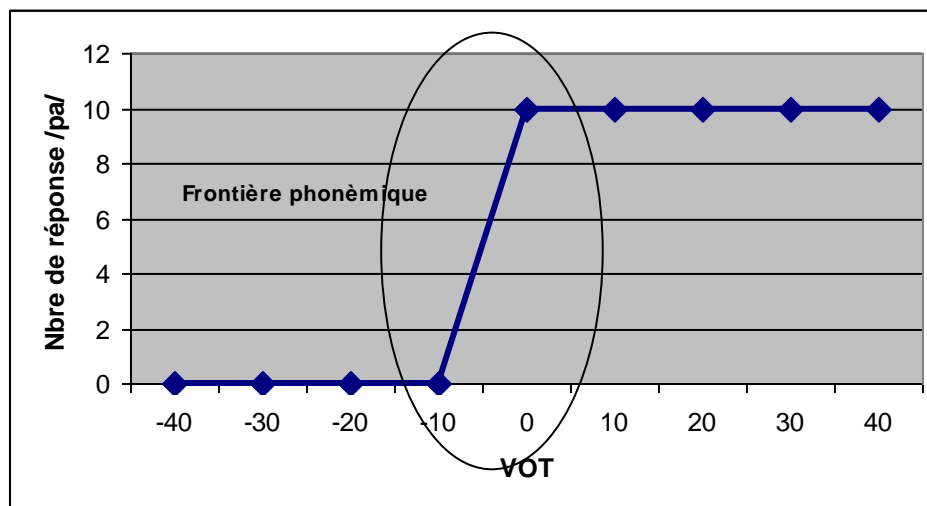


Figure 19 : Exemple d'une fonction d'identification

Une frontière phonémique est attendue, nous avons choisi de prendre comme indice sur cette épreuve le score de la pente, avec l'hypothèse qu'une pente élevée signifie que l'enfant identifie les deux phonèmes de façon catégorielle, alors qu'une pente faible indique une frontière phonémique floue. Ces difficultés de perception catégorielle engendreraient, par répercussion, une mauvaise conscience phonémique.

III. Analyses des résultats

L'analyse des résultats porte sur deux niveaux. Il s'agit modestement, dans un premier temps, de tester les hypothèses explicatives de la dyslexie exposées au cours de la partie théorique grâce aux données recueillies. Dans un second temps, nous avons réfléchi à l'intégration des épreuves dans le logiciel de diagnostic, en cherchant un modèle prédictif déterminé par un minimum d'épreuves les plus discriminantes et aussi trouver les épreuves qui offrent le plus d'indications diagnostic dans l'objectif de créer des profils cognitifs afin d'orienter la prise en charge.

1. Les variables d'étude pour l'analyse statistique

- Les épreuves de lecture sont évaluées à partir de l'exactitude et du temps de lecture de l'ensemble des items (corrects ou non corrects) ainsi que de six vitesses de lecture correspondant aux six listes de mots (mots correctement lus/temps) et de deux scores notant les erreurs de régularisation.
- Les épreuves de mémoire sont évaluées par trois scores : un score d'empan endroit, d'empan visuel et un score de mémoire de travail (empan endroit verbal – empan envers verbal).
- L'attention se mesure par deux notes : nombre de trois barrés en 20 et 60 secondes.
- Les épreuves de métaphonologie sont composées de quatre scores : score de segmentation, omission, jugement de rimes et contrepèteries.
- Les épreuves d'automatismes phonologiques donnent un score de discrimination lexical et deux vitesses de dénomination rapide (couleurs et lettres).
- La morphologie est évaluée par un seul score.
- Les épreuves visuo-attentionnelles donnent six scores pour le report partiel (un score pour chaque position de lettres et un score global) et un temps pour le Posner (temps de réponses entre les *stimuli* valides et non valides).
- Les épreuves de motricité sont évaluées à partir d'une note pour les séquences motrices et d'une vitesse de dextérité pour le *tapping*.
- La dictée est notée sur onze scores, représentant plusieurs types d'erreurs possibles (GCA : Graphies Consistantes Acontextuelles, GCC freq/rares : Graphies Consistantes Contextuelles fréquentes/rares, GICD freq/rares : Graphies Inconsistantes

Du protocole au logiciel

Contextuelles Dérivables fréquentes/rares, GICM freq/rares: Graphies Inconsistantes Contextuelles Morphologiques fréquentes/rares , GDM freq/rares : Graphies Dérivables Morphologiquement fréquentes/rares , GIM freq/rares : Graphies Indérivables Morphologiquement fréquentes/rares).

- Enfin, les épreuves auditives donnent pour le TMTf, trois profondeurs de modulation pour chaque valeur de fréquence. La variable retenue pour la tâche du VOT est la pente.

MEMOIRE	CAPACITES VISUO-ATTENTIONNELLES
empan endroit verbal	Posner
empan envers verbal	report partiel 1
empan visuel	report partiel 2
ATTENTION	report partiel 3
barrage de 3 en 20 secondes	report partiel 4
barrage de 3 en 1 minute	report partiel 5
LECTURE	report partiel total
vitesse de lecture de mots réguliers fréquents	MOTRICITE
vitesse de lecture de mots irréguliers fréquents	séquences motrices
nombre de régularisation	Tapping
vitesse de lecture de mots réguliers peu fréquents	ORTHOGRAPHE
vitesse de lecture de mots irréguliers peu fréquents	GCA
nombre de régularisation	GCC Freq
vitesse de lecture de pseudo-mots voisins phonologiquement	GCC rare
vitesse de lecture de pseudo-mots	GICD freq
METAPHONOLOGIE	GICD rare
segmentation de phonème	GICM freq
omission du phonème initial	GICM rare
jugement de rimes	GDM fre
contrepièries	GDM rare
AUTOMATISMES PHONOLOGIQUES	GIM freq
discrimination phonémique	GIM rare
vitesse de dénomination de lettres	dictée totale
vitesse de dénomination de couleurs	CAPACITES AUDITIVES
CONNNAISSANCES MORPHOLOGIQUES	TMTF 4 Hz
morphologie	TMTF 16 Hz
	TMTF 128 Hz
	pente de la courbe d'identification de phonèmes

Tableau 4 : Récapitulatif des variables d'étude pour l'analyse statistique

L'analyse de l'alpha de Cronbach fait apparaître un indice de "consistance" des variables incluses dans le protocole à .73 (valeurs élevées), ce qui signifie que le degré d'homogénéité des variables est satisfaisant.

Du protocole au logiciel

L'analyse des résultats porte en premier lieu sur une description statistique des variables lexiques, des variables contrôles et des variables considérées comme indépendantes. Il s'agit d'aborder les aspects descriptifs (moyenne, écart-type, distribution...), puis leurs implications entre elles (corrélations) en recourant à des statistiques univariées.

Afin de prendre en compte la globalité des variables et de l'échantillon, des analyses multivariées sont conduites, en vue de connaître l'implication des variables entre elles, tout en mesurant leur impact sur les compétences en lecture.

Certaines variables ne suivaient pas la loi normale dès le départ, c'est pourquoi certaines d'entre elles ont subi des transformations, de façon à obtenir une distribution permettant d'appliquer des tests paramétriques (distribution des variables en annexe).

2. Analyses des compétences lexiques

a) Les capacités de lecture

L'Alouette a permis d'évaluer l'âge lexical des enfants de l'échantillon. Ainsi, il est possible de différencier trois groupes : un groupe de normo-lecteurs (NL) qui n'est pas en retard de lecture, un groupe de mauvais lecteurs (ML) formés des enfants qui possèdent un retard de lecture supérieur à 18 mois (sans être diagnostiqués dyslexiques) et le groupe de dyslexiques (DYS) diagnostiqués au CRRF de Trestel.

		Age chrono	Age lexical
DYS (N=35)	Moyenne	115,11	87,37
	Ecart-type	7,53	6,38
	Médiane	116	87
	Minimum	98	78
	Maximum	135	99
ML (N=13)	Moyenne	118,23	88,69
	Ecart-type	9,25	7,32
	Médiane	120	91
	Minimum	103	73
	Maximum	137	99
NL (N=78)	Moyenne	107,69	110,73
	Ecart-type	5,53	16,42
	Médiane	108	108
	Minimum	97	87
	Maximum	121	166
Tout-venant (N=91)	Moyenne	109,198	107,582
	Ecart-type	7,127	17,162
	Médiane	108,000	103,000
	Minimum	97,000	73,000
	Maximum	137,000	166,000

Tableau 5 : Age chronologique et âge lexical pour les trois groupes de l'échantillon (n=126)

Dans l'idéal, il aurait été intéressant de connaître le statut des enfants en retard de lecture. Est-ce un simple retard de lecture ou un trouble développemental ? Mais les instances de l'Education Nationale ont refusé que les enfants soient vus par l'équipe de Trestel. L'argument principal avancé, et totalement justifié, était que si les parents avaient accepté que leurs enfants participent à une recherche, il ne leur avait pas été précisé qu'elle pouvait conduire à une consultation médicale.

L'incertitude qui plane autour de ce groupe de « mauvais lecteurs » (ML), nous a conduit, le plus souvent, à faire les analyses statistiques avec uniquement les groupes des normo-lecteurs et des dyslexiques. Cependant, des analyses plus détaillées concerneront spécifiquement le groupe des mauvais lecteurs.

Les épreuves de lecture sont évaluées à partir de six vitesses de lecture (le nombre de

Du protocole au logiciel

mots correctement lus, divisé par le temps) correspondant aux six listes de mots. Les résultats montrent que les vitesses de lecture sont nettement réduites chez les dyslexiques, pour toutes les catégories des mots testées (tableau 6, figure 20).

	groupe	N	Moyenne	Ecart-type	t	p
vitesse MRF+	NL	78	1,66	0,32	9,60	0,000
	DYS	35	0,97	0,42		
vitesse MIF+	NL	78	1,18	0,42	10,04	0,000
	DYS	35	0,40	0,27		
Vitesse MRF-	NL	78	0,94	0,33	9,62	0,000
	DYS	35	0,36	0,20		
vitesse MIF-	NL	78	0,55	0,34	7,18	0,000
	DYS	34	0,12	0,09		
vitesse PWPP	NL	78	0,72	0,22	9,01	0,000
	DYS	34	0,34	0,16		
vitesse PW	NL	78	0,70	0,24	8,34	0,000
	DYS	34	0,31	0,18		

Tableau 6 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques en vitesse de lecture (n=113)

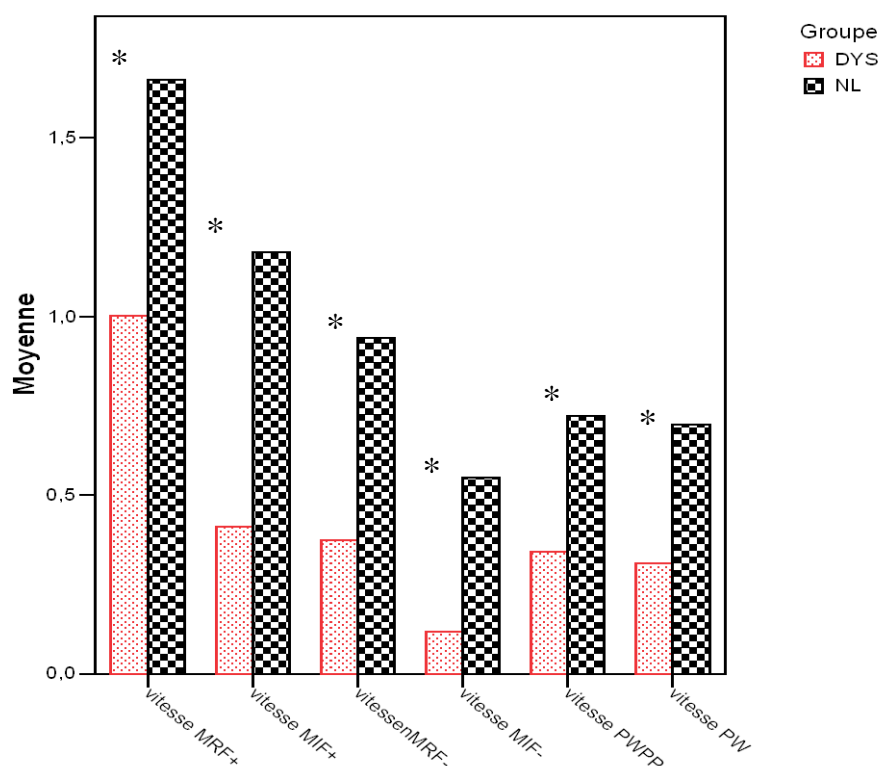


Figure 20 : Représentation graphique des vitesses de lecture moyennes des normo-lecteurs et des dyslexiques (n=113)

Du protocole au logiciel

L'étude des corrélations des vitesses de lecture indique clairement que ces épreuves sont très en lien les unes avec les autres. Plus un enfant lit rapidement les mots réguliers fréquents, plus il lit vite également les mots irréguliers fréquents (.87), l'inverse est tout aussi vrai.

	vitesse MIF+	Vitesse MRF-	vitesse MIF-	vitesse PWPP	vitesse PW
vitesse MRF+	,87(**)	,82(**)	,73(**)	,78(**)	,80(**)
vitesse MIF+	1	,88(**)	,79(**)	,81(**)	,82(**)
Vitesse MRF-		1	,83(**)	,88(**)	,90(**)
vitesse MIF-			1	,81(**)	,79(**)
vitesse PWPP				1	,90(**)

** La corrélation est significative au niveau 0.01

Tableau 7 : Corrélations des épreuves de vitesses de lecture (NL, DYS ; n=113)

b) Les capacités en orthographe

La distribution des performances obtenues aux épreuves de dictée ne suit pas la loi normale, nous avons donc appliqué un test non paramétrique (Test U de Mann-Whitney) afin de savoir si les scores obtenus par les deux groupes de l'échantillon sont significativement différents. Les résultats mettent en évidence, quelle que soit le type de graphies, des performances nettement inférieures en orthographe de la part des enfants dyslexiques par rapport aux résultats des normo-lecteurs. On constate également, qualitativement, que les dyslexiques ont besoin de beaucoup plus de temps pour réaliser cette épreuve.

	Groupe	N	Moyenne	Ecart-type	U	p
GCA *	NL	74	27,86	1,8	1042,5	0,04
	DYS	34	25,71	2,76		
GCC rare *	NL	74	4,27	1,71	1042,5	0,04
	DYS	34	1,29	1,38		
GCC freq ***	NL	74	5,04	1,4	213	0,00
	DYS	34	2	1,54		
GICD rare	NL	74	7,01	1,39	1139,5	0,23
	DYS	34	7,35	1,25		
GICD freq	NL	74	8,68	0,6	1099,5	0,09
	DYS	34	8,32	0,91		

Du protocole au logiciel

GICM rare ***	NL	74	4,03	2,01	366	0,00
	DYS	34	1,38	1,26		
GICM freq ***	NL	74	7,62	1,5	475	0,00
	DYS	34	4,91	2,56		
GDM rare ***	NL	74	1,99	1,52	286	0,00
	DYS	34	0,09	0,29		
GDM freq ***	NL	74	4,28	1,48	286,5	0,00
	DYS	33	1,76	1,37		
GIM rare ***	NL	74	1,73	1,34	548	0,00
	DYS	34	0,47	0,56		
GIM freq ***	NL	74	4,35	1,16	398	0,00
	DYS	34	2,41	1,4		
DICTEE TOT ***	NL	74	76,86	10,65	156,5	0,00
	DYS	34	55,65	8,18		

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 8 : Moyenne, écart-type et test U des variables de la dictée des sujets normo-lecteurs et des dyslexiques (n=113)

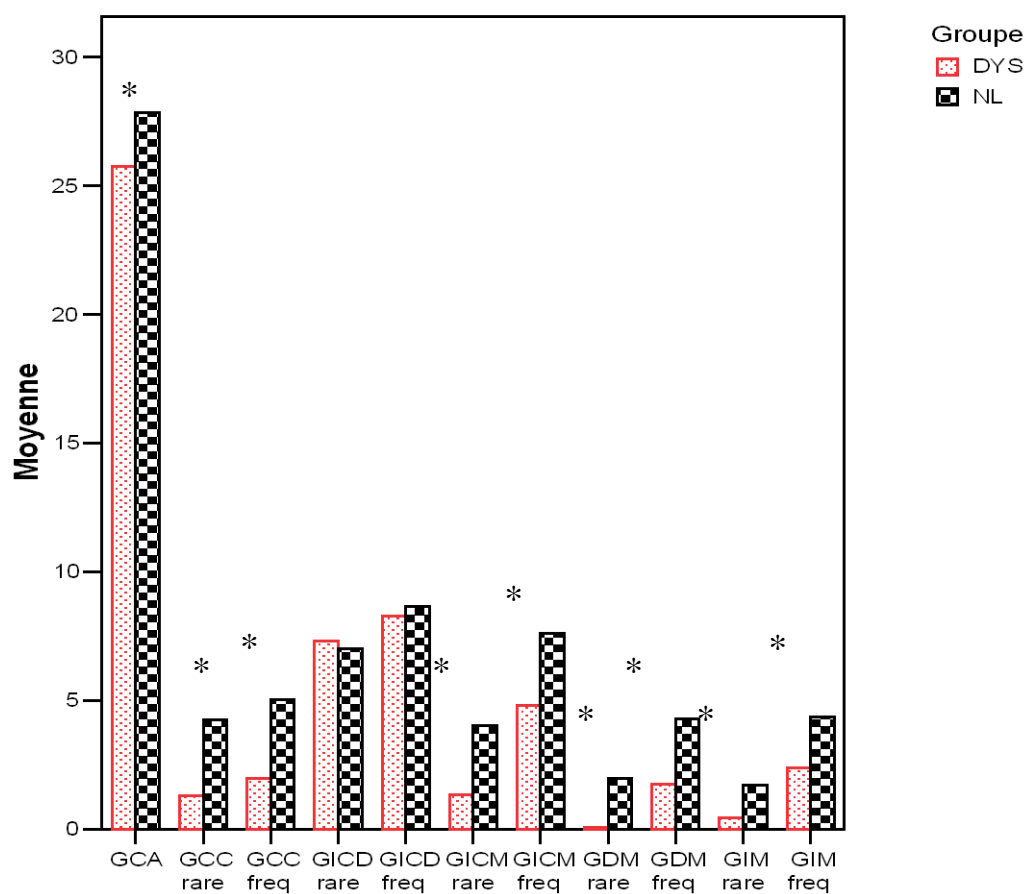


Figure 21 : Représentation graphique des performances moyennes en dictée des sujets normo-lecteurs et dyslexiques (n=113)

Du protocole au logiciel

L'épreuve de dictée est particulièrement longue, notamment pour les enfants dyslexiques qui rencontrent des difficultés importantes à ce niveau (pour certains dyslexiques il a fallu plus d'une heure). Dans la perspective de la construction de logiciel, il était nécessaire de réduire cet exercice. Au regard des différences très significatives, tester les compétences orthographiques sur quelques mots manquants peut suffire dans un objectif de signalement, les troubles de l'orthographe n'étant pas ceux principalement ciblés dans l'évaluation. En procédant à une analyse en composante principale (ACP) sur les différentes variables d'orthographe, il a été possible de déterminer les variables qui contribuent le plus à l'explication de la variance.

Lors de cette analyse (ACP, rotation varimax), parmi l'ensemble des graphies, ce sont les Graphies Contextuelles Consistantes fréquentes qui ont un poids factoriel le plus élevé sur le facteur extrait qui explique 54 % de la variance. Les mots qui composent cette variable (« nombre », « chambre », « campagne », « guérir », « guerre » et « guider ») seront les mots tests inclus dans le logiciel final pour évaluer les capacités d'orthographe. Seules les erreurs de graphies, concernant les règles du « m » devant la lettre « p » ou « b » et l'écriture du son [g] sont spécifiquement observées, les autres erreurs de graphies ne sont pas prises en compte.

	Poids factoriels
GCA	0,67
GCC rare	0,85
GCC freq	0,89
GICD rare	0,00
GICD freq	0,43
GICM rare	0,82
GICM freq	0,81
GDM rare	0,71
GDM freq	0,86
GIM rare	0,68
GIM freq	0,80

Tableau 9 : Poids factoriels de l'ACP réalisée sur les variables d'orthographe (indice KMO : 0,80, signification au test de Bartlett : .000)

3. Analyses des compétences co-morbides

a) Les épreuves de mémoire à court terme

La mémoire à court terme verbale (endroit, envers) est significativement diminuée chez les dyslexiques, comme cela est souvent évoqué dans la littérature. Les résultats ne mettent pas en évidence de différence entre les deux groupes au score d'empan verbal, identiques dans les deux groupes. L'indice de mémoire de travail (= empan endroit verbal – empan envers verbal) ne montre pas de différence significative entre les deux groupes. Pour autant, cet indice n'est pas suffisant en lui-même pour conclure à l'absence d'un trouble de la mémoire de travail chez les dyslexiques. L'empan verbal endroit étant déjà affaibli, l'empan envers l'est aussi nécessairement, il est donc difficile d'obtenir des performances encore plus faibles en empan envers.

		N	Moyenne (écart-type)	t	p
Empan endroit verbal ***	NL	78	5,28 (1,02)	3,09	0,00
	DYS	35	4,66 (0,94)		
Empan envers verbal ***	NL	78	3,86 (0,88)	3,58	0,00
	DYS	35	3,29 (0,52)		
MDT	NL	78	1,42 (0,99)	0,03	0,98
	DYS	35	1,43 (0,95)		
Empan visuel	NL	78	5,01 (0,76)	0,83	0,41
	DYS	35	5,14 (0,77)		

* : p<.05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 10 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques en mémoire à court terme (n=113)

b) L'épreuve attentionnelle

Les deux variables (barr 3 en 20 secondes et barr 3 en 60 secondes) sont quasi-identiques puisqu'elles proviennent de la même épreuve, seul le temps de réalisation est différent. Les tests statistiques ne mettent pas en évidence de différence statistique entre les deux groupes. Cependant, le barrage de 3 en 20 secondes s'approche du seuil de significativité. On peut penser que les dyslexiques sont gênés par la vitesse d'exécution, leurs stratégies exploratoires n'étant pas efficaces.

	Groupe	N	Moyenne	(ET)	U Mann-Whitney	p
barr 3 (20")	NL	77	10,88	(3)	1048	0,0586
	DYS	35	9,66	(2,77)		
barr 3 (1')	NL	77	24 ;23	(3,65)	996,5	0,1719
	DYS	31	24,1	(4 ,2)		

Tableau 11 : Performances des normo-lecteurs et des dyslexiques au barrage de 3 (n=113)

4. Analyses des capacités phonologiques

Les compétences phonologiques sont largement décrites dans la littérature, comme responsables de la dyslexie (Ramus, 2001, 2003, 2008 ; Kemp et al., 2009). Leur évaluation est donc indispensable dans un outil de diagnostic de la dyslexie.

Concernant la distribution des variables phonologiques, certaines ne suivent pas la loi normale, c'est pourquoi le test non paramétrique U de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les moyennes des deux groupes. Cependant, afin de pouvoir utiliser des tests paramétriques les variables omission, contrepèteries et jugement de rimes ont subi des transformations à l'aide d'une racine carrée sur les scores obtenues pour obtenir des distributions normales (Howell, 2008).

Comme l'indique le tableau des tests de comparaisons de moyennes, les dyslexiques ont des performances phonologiques très basses. Seules les épreuves de discrimination phonémique et du jugement de rimes indiquent des performances qui ne diffèrent pas dans les deux groupes. Dans ces deux exercices, les performances chez les normo-lecteurs et les dyslexiques sont très élevées (effet plafond). Il semble que ces exercices aient été trop faciles pour cette classe d'âge.

Par ailleurs, les épreuves de segmentation, omission et contrepèteries sont significativement mieux réussies par les normo-lecteurs. Les vitesses de dénomination sont également sources de grandes différences, les normo-lecteurs dénomment plus vite et correctement les lettres et les couleurs.

Du protocole au logiciel

	Groupe	N	Moyenne	Ecart-type	U Mann-Whitney	p
Segmentation **	NL	78	11,19	3,03	895	0,0034
	DYS	35	9,03	3,95		
Omission ***	NL	78	10,81	1,44	582,5	0,0000
	DYS	35	8,34	2,72		
Jugement rimes	NL	78	7,12	1,06	1072,5	0,0542
	DYS	35	6,66	1,28		
Contrepèteries ***	NL	78	7,76	1,89	164,5	0,0000
	DYS	35	3,37	1,97		
Discrimination phonémique	NL	78	18,62	1,58	1210,5	0,3147
	DYS	35	18,97	1,25		
VIT oapds ***	NL	78	1,70	0,40	755	0,0002
	DYS	35	1,41	0,33		
VIT couleurs ***	NL	78	1,08	0,19	834,5	0,0010
	DYS	35	0,93	0,20		

* : p< .05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 12 : Statistiques descriptives et test U des épreuves phonologiques (NL, DYS ; n=113)

Les épreuves phonologiques ne sont corrélées ensemble que de manière modérée dans l'ensemble (entre -.20 et .52). Il semble que ce soit les épreuves de contrepèteries et de vit de DR couleurs qui regroupent le plus de lien avec les autres épreuves phonologiques. De plus, il existe un lien de corrélation entre les épreuves dites de métaphonologie et les épreuves d'automatismes phonologiques.

	omission	jugement rimes	contrepèteries	VIT oapds	VIT coul
segmentation	-,50(**)	-,30(**)	-,51(**)	0,18	,27(**)
omission	1,00	0,15	,50(**)	-,32(**)	-,28(**)
jugement rimes		1,00	,41(**)	-,21(*)	-,20(*)
contrepèteries			1,00	-,44(**)	-,34(**)
VIT oapds				1,00	,52(**)

* : p< .05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 13 : Corrélations des épreuves phonologiques entre elles (NL DYS ; n=113)

Toutes les variables phonologiques sont corrélées avec les vitesses de lecture (entre .22 et .68), il semble que les épreuves de contrepèteries sont celles qui ont le plus de lien avec l'ensemble des vitesses de lecture (-.58 et -.68).

Du protocole au logiciel

	segmentation	omission	jugement rimes	contrepèteries
vitesse MIF+	,30(**)	-,48(**)	-,31(**)	-,61(**)
vitesse MRR	,30(**)	-,44(**)	-,33(**)	-,66(**)
vitesse MIR	,31(**)	-,37(**)	-,34(**)	-,68(**)
vitesse PW	,26(**)	-,37(**)	-,30(**)	-,63(**)
vitesse PWVP	,22(*)	-,41(**)	-,28(**)	-,58(**)

* : p< .05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 14 : Corrélations entre les épreuves phonologiques et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n=113)

Une analyse de régression multiple a été menée afin de voir quel était le pouvoir explicatif des variables phonologiques sur les variables de lecture. A elles seules, les variables phonologiques et notamment « contre-pèteries », « vit OAPDS » et « vit couleur » expliquent entre 57 % et 61 % de la variance en lecture.

	Niveau lecture	vit MRF	vit MIF	vit MRR	vit MIR	vit PW	vit PWVP
segmentation	-0,06	-0,10	-0,11	-0,11	-0,11	-0,10	-0,16 (*)
omission	0,02	-0,18 (*)	-0,20 (*)	-0,10	-0,20	-0,05	-0,16 (*)
jugement rimes	-0,01	0,00	-0,06	-0,06	-0,06	-0,04	-0,05
contre-pèteries	-0,57 (***)	-0,34 (***)	-0,33 (***)	-0,44 (***)	-0,33 (***)	-0,40 (***)	-0,32 (***)
vit OPADS	0,25 (***)	0,38 (***)	0,28 (***)	0,27 (***)	0,28 (***)	0,40 (***)	0,39 (***)
vit couleur	0,20 (*)	0,16 (*)	0,26 (***)	0,25 (***)	0,26 (*)	0,19 (**)	0,20 (**)
r²	.63	.60	.60	.62	.60	.63	.60
r² ajusté	.61	.57	.58	.60	.58	.61	.57

* : p< .05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de régression des variables phonologiques sur les compétences en lecture (NL, DYS ; n= 113)

5. Les épreuves de dénomination rapide : analyses spécifiques

Il a été possible de tester l'hypothèse du double déficit de Wolf et al., (1999), grâce à l'ensemble de notre batterie. Comme déjà évoqué dans la première partie, certains auteurs posent l'hypothèse d'une indépendance entre les processus de dénomination rapide et de métaphonologie, pensant que les capacités métaphonologiques ne rendent pas compte de l'ensemble des difficultés rencontrées, et avançant l'idée qu'il existe des différences dans les processus cognitifs mis en jeu dans chacune de ces épreuves. Ces processus de dénomination

Du protocole au logiciel

rapide seraient alors responsables, de manière indépendante aux déficits phonologiques, des troubles de la lecture.

Cette indépendance se justifie pour les auteurs, par certains aspects particuliers de la tâche de dénomination rapide. En effet, ce déficit de dénomination rapide semble spécifique aux dyslexiques, on ne retrouve pas ce déficit dans les autres pathologies développementales, notamment chez les hyperactifs (Wood et Felton, 1994). Les résultats obtenus au cours de ces recherches (Wolf et al., 1999) indiquent également des corrélations très faibles. Les analyses de régression montrent que les capacités métaphonologiques et de dénomination rapide appartiennent à des facteurs indépendants (Wolf et al., 2002).

L'analyse des résultats révèle effectivement que les vitesses de dénomination rapide sont significativement inférieures chez les dyslexiques (tableau 12) par rapport aux normo-lecteurs. Tentons de déterminer si cette différence est spécifique et indépendante des capacités phonologiques.

a) Interactions entre les compétences de dénomination rapide, de phonologie et de lecture

Les analyses de corrélations ne vont pas dans le sens d'une indépendance entre les compétences phonologiques et les compétences de dénomination rapide, puisque les variables sont toutes corrélées entre elles. Les analyses indiquent un lien fort entre les variables de métaphonologie et de dénomination rapide (entre .20 et .44).

Par ailleurs, la dénomination rapide est très fortement corrélée avec les épreuves de lecture (entre .48 et .67), il existe donc un ensemble de capacités cognitives communes à ces deux types d'épreuves.

Du protocole au logiciel

	VIT oapds	VIT coul
vitesse MIF+	,62(**)	,55(**)
vitesse MRR	,62(**)	,55(**)
vitesse MIR	,60(**)	,48(**)
vitesse PW	,68(**)	,52(**)
vitesse PWVP	,66(**)	,51(**)
segmentation	0,181	,27(**)
omission	-,32(**)	-,28(**)
jugement rimes	-,21(*)	-,20(*)
contrepèteries	-,44(**)	-,34(**)

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 16 : Corrélations entre les capacités phonologiques, les vitesses de dénomination rapide et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113)

Les variables de dénomination rapide expliquent une grande part de la variance des compétences en lecture.

L'analyse de régression menée sur les compétences phonologiques dans leur ensemble indique (tableau 15), qu'elles expliquent entre 57 % et 67 % des compétences en lecture. Prises de manière isolées (tableau 17), les variables de dénomination rapide expliquent entre 38 % et 50 % de la variance en lecture. Les habilités de dénomination rapide apparaissent comme les meilleurs variables explicatives des compétences en lecture.

On remarque également que la variable « vit Oapds » explique une part plus grande de la variance sur les variables MRF et PWVP, ce qui conforte l'idée que les automatismes de lecture sont bien en jeu dans ce type de liste de mots.

	Niveau lecture	vit MRF	vit MIF	vit MRR	vit MIR	vit PW	vit PWVP
vit OAPDS	.45 (***)	.54 (***)	.45 (***)	.46 (***)	.47 (***)	.55 (***)	.54 (***)
vit Couleurs	.27 (**)	.22 (**)	.32 (***)	.31 (***)	.23 (**)	.24 (**)	.24 (**)
r²	.40	.46	.46	.45	.40	.50	.48
r² ajusté	.39	.45	.45	.44	.38	.49	.47

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de régression des variables de dénomination rapide sur les compétences en lecture (NL, DYS ; n= 113)

L'analyse factorielle en composante principale (avec rotation Varimax), réalisée sur les performances métaphonologiques et les vitesses de dénomination rapide, permet de voir si deux facteurs indépendants peuvent se dégager entre la phonologie et la dénomination rapide.

Du protocole au logiciel

L'analyse montre effectivement la présence de deux facteurs. Le facteur 1 (métaphonologiques) regroupe les variables de segmentation, omission du phonème initial et contrepèteries. Le facteur 2, celui des Automatismes Phonologiques, correspond aux variables de vitesse de dénomination rapide. Ces deux facteurs expliquent 71 % de la variance et vont effectivement dans le sens d'une indépendance entre ces deux types de variables.

	Poids factoriels	
	Facteur 1 :	Facteur 2 :
	Métaphonologique	Dénomination rapide
segmentation	-0,86	0,04
omission	0,79	-0,20
contrepèteries	0,73	-0,38
VIT oapds	-0,17	0,87
VIT couleur	-0,17	0,83

Tableau 18 : Poids factoriels de l'ACP réalisée sur les variables métaphonologiques et de dénomination rapide (indice KMO : 0,71, signification au test de Bartlett : .000)

Les coefficients factoriels de chaque enfant ont été utilisés pour créer un diagramme de dispersion et connaître leur position sur chacun des facteurs. Ce diagramme détermine la proportion des dyslexiques qui possèdent un trouble de dénomination rapide isolé, un trouble métaphonologique ou un double déficit.

Sur chaque facteur, une droite de références basée sur les valeurs seuils est placée sur le graphique. Les valeurs seuils sont calculées grâce à la moyenne et les écart-types des normo-lecteurs sur chaque facteur (-1,5 écart-type de la moyenne des normo-lecteurs), ce qui permet de déterminer si un enfant rencontre des difficultés sur chaque facteur.

D'après ces calculs, trois enfants parmi les trente-cinq dyslexiques rencontrent des difficultés en vitesse de dénomination rapide (9 %), dix-huit présentent des troubles métaphonologiques isolés (51 %) et deux seulement ont un double déficit (6 %). Un peu plus de 34 % des dyslexiques de l'échantillon possèdent des caractéristiques similaires aux normo-lecteurs ou rencontrent d'autres déficits non considérés dans cette analyse.

Ces résultats sont très différents des études de Wolf et al., (2002) : pour eux 60 % des sujets rencontraient un double déficit, 15 % un déficit de dénomination rapide, 19 % un déficit phonologique et 6 % ne pouvaient être classés.

Du protocole au logiciel

Cependant, même si nous repérons la présence de deux facteurs indépendants dans cette analyse, une grande part de l'échantillon rencontre un trouble métaphonologique ou mixte (66 %) et apparemment 34 % de l'échantillon ont des caractéristiques similaires aux normo-lecteurs ou rencontrent des difficultés dans des domaines cognitifs non représentés sur ce graphique. Il apparaît de toute évidence que les troubles phonologiques (métaphonologie et automatismes phonologiques) ne peuvent expliquer seuls les troubles de lecture. Il est nécessaire alors dans un souci diagnostique d'explorer d'autres habiletés cognitives.

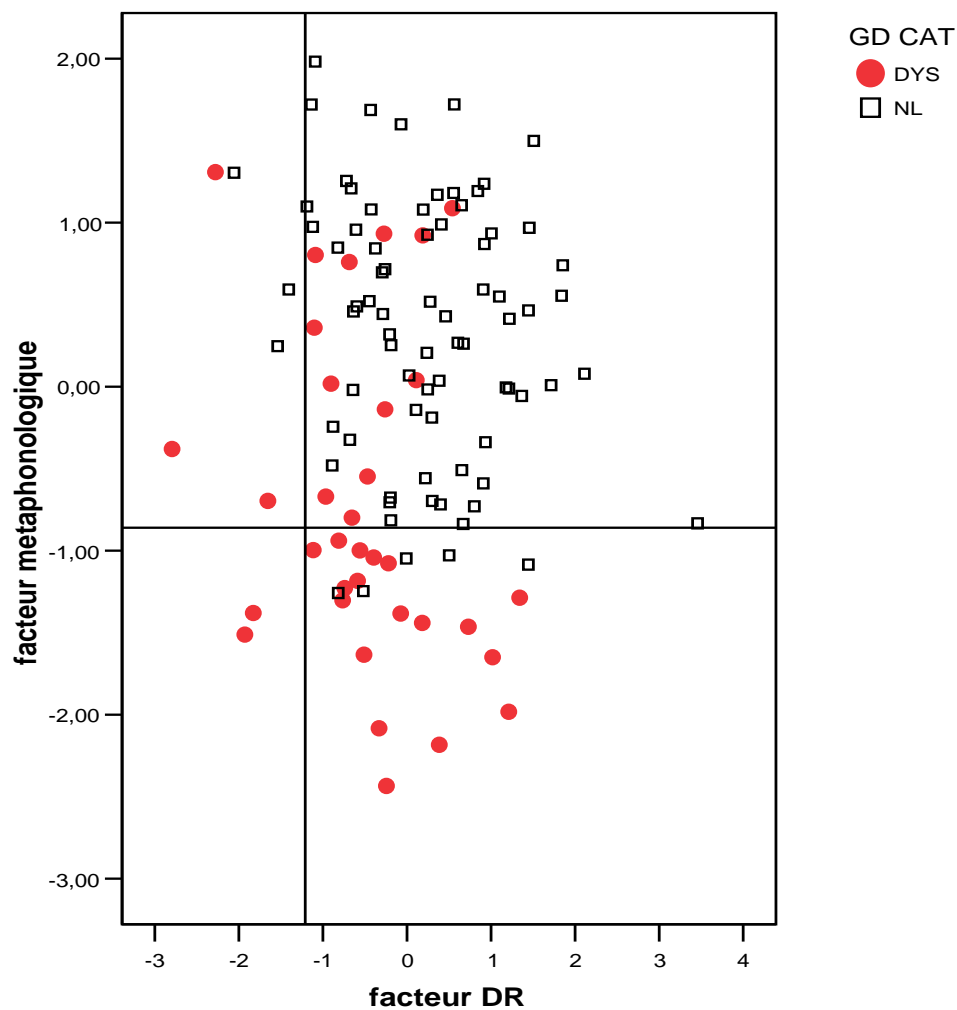


Figure 22 : Répartition des dyslexiques (ronds rouges) et des normo-lecteurs (carrés blancs) selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (NL, DYS ; n= 113)

Du protocole au logiciel

b) Les spécificités des sujets présentant un double déficit

Deux dyslexiques de l'échantillon rencontrent un double déficit. Selon Wolf et al. (1999), le fait de rencontrer un double déficit en métaphonologie et en dénomination rapide engendrerait des troubles de la lecture plus majeurs.

L'étude des résultats concernant ces deux sujets (507 et 537) de l'échantillon ne va pas nécessairement dans ce sens et ne corrobore pas cette hypothèse. En effet, le retard moyen en lecture du groupe des dyslexiques est de 27 mois (σ : 8 mois), ce qui est équivalent au retard de lecture du sujet 537 avec 29 mois. Effectivement, le sujet 507 rencontre des troubles sévères en lecture avec 34 mois de retard en lecture par rapport à son âge chronologique.

Même si le nombre de sujets rencontrant un double déficit est très faible dans l'échantillon, le fait qu'ils devraient être particulièrement en difficultés dans les compétences en lecture n'est pas corroboré.

c) Conclusion

Les résultats obtenus ne vont pas dans le sens de l'hypothèse du double déficit de Wolf et Bowers (1999). Ainsi, nos corrélations indiquent clairement des relations étroites entre les variables phonologiques et les variables de dénomination rapide. Les analyses de dispersion de la population testée témoignent également de la faible proportion de sujets rencontrant un déficit isolé (9 %) ou un double déficit (6 %), ce qui nous conduit à considérer les capacités de dénomination rapide dans la catégorie des épreuves phonologiques.

Les corrélations élevées entre la dénomination rapide et les vitesses de lecture ainsi que les résultats aux analyses de régression incitent à croire dans l'importance de l'évaluation de ces capacités dans le diagnostic d'un trouble de lecture.

Toutefois, au regard des analyses, la séparation des variables de dénomination rapide et des variables métaphonologiques ne trouve pas son sens.

En ce sens, l'évaluation des compétences de dénomination rapide offrent un intérêt dans l'évaluation des troubles de la lecture néanmoins, leur dissociation avec les épreuves métaphonologiques ne présente pas d'intérêt clinique, en ce sens, elles peuvent être assimilées à l'ensemble des épreuves phonologiques.

6. L'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel : analyses spécifiques

L'hypothèse d'un trouble des capacités visuo-attentionnelles à l'origine de la dyslexie est relativement controversée dans la littérature. Cependant, de récents et de nombreux résultats, dont certains obtenus par nous-mêmes (Trolès, 2005), montrent des performances basses chez les dyslexiques dans ce domaine. C'est ce qui nous a conduit à inclure ces épreuves dans le protocole. L'expérience 1, ci-dessous, rapporte les principaux résultats de l'étude menée en Master 2 de Recherche.

a) Expérience 1

Cette étude préalable a consisté à analyser de manière détaillée les compétences visuo-attentionnelles dans la dyslexie en s'attachant notamment à l'analyse des méthodes d'évaluation de ces capacités. Nous tenions dans un premier temps, à comparer l'épreuve visuo-attentionnelle du report partiel provenant du protocole du LPC de Grenoble (Laboratoire de Psychologie Cognitive, CNRS-UMR 5105), avec le paradigme de Posner, épreuve reconnue dans la littérature scientifique comme évaluant les capacités visuo-attentionnelles.

Dans un second temps, puisque l'épreuve de report partiel implique uniquement des lettres, et qu'elle est donc susceptible de requérir des processus communs avec la lecture, nous avons comparé l'épreuve du report partiel avec une épreuve fabriquée, gardant le même format mais dont les lettres sont remplacées par des symboles.

Population :

Au total, dix enfants recrutés par le biais du CRRF de Trestel, ont été testés. Auparavant, ils ont déjà été diagnostiqués comme dyslexiques par un bilan pluridisciplinaire. Après consultation des dossiers de ces jeunes patients, il a été décidé de sélectionner seulement ceux qui ne rencontraient pas d'autres troubles associés avérés (hyperactivité, trouble psycho-affectif ...).

Du protocole au logiciel

Matériel :

Un protocole contenant l'évaluation des capacités de mémoire à court terme (empan verbaux endroit/envers), des âges lexicaux (Alouette), des capacités de lecture (lecture de liste de mots isolés) et des capacités phonologiques (segmentation, omission du phonème initial, contrepèteries) a été élaboré et expérimenté sur l'échantillon.

Nous avons intégré dans ce protocole trois épreuves évaluant les capacités visuo-attentionnelles : le report partiel, le paradigme de Posner, précédemment décrits dans le protocole Ready et le report partiel de symbole. Cette épreuve, contruite grâce à l'application Powerpoint, est pour l'essentiel identique à l'épreuve du report partiel. Dans cette épreuve, les symboles utilisés ne sont logiquement pas verbalisables, ce qui doit annuler l'effet « lettre » de l'épreuve du report partiel. Cinq symboles (# + ✕ § Ω Φ ≈ Δ □ ◇) apparaissent sur l'écran, un tiret se place sous l'un d'entre eux, l'enfant doit indiquer sous quel symbole le tiret s'est placé. Ne disposant pas du même logiciel informatique que pour le report de lettre, l'enfant doit entourer le symbole sur une feuille réponse.

Interactions entre les capacités visuo-attentionnelles, phonologiques et de lecture

Les analyses de corrélation montrent que les trois épreuves visuo-attentionnelles (report partiel, de symbole et paradigme de Posner) sont bien liées : douze variables sur quinze obtiennent des corrélations significatives allant de (.66 à .95). L'épreuve de report partiel obtient une corrélation positive (.69) avec l'épreuve de report partiel de symbole, et ce en dépit d'un format différent. Enfin, les corrélations obtenues avec le paradigme de Posner et les deux épreuves de report partiel (lettre et symbole) sont toutes négatives : si un enfant a de bonnes capacités visuo-attentionnelles, il aura un temps de réaction plus court à l'épreuve de Posner.

	RPTOT LET	RPTOT SYM	TPS FG/CG	TPS FG/CD	TPS FD/CG	TPS FD/CD
RPTOT LET	1	.69*	-.62	-.62	-.61	-.66*
RPTOT SYM		1	-.75*	-.83*	-.73*	-.75*
TPS FG/CG			1	.78*	.92*	.95*
TPS FG/CD				1	.90*	.77*
TPS FD/CG					1	.89*
TPS FD/CD						1

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 19 : Corrélations entre les épreuves visuo-attentionnelles (n=10)

Du protocole au logiciel

Cependant, on ne retrouve aucune corrélation entre les épreuves de lecture et les épreuves mesurant les capacités visuo-attentionnelles. Les résultats suggèrent donc que les compétences visuo-attentionnelles n'ont pas de lien significatif avec les compétences en lecture chez les enfants dyslexiques.

	RPTOT LET	RPTOT SYM	TPS FG/CG	TPS FG/CD	TPS FD/CG	TPS FD/CD
AGE LEX	0,21	0,34	-.42	-.01	-.27	-.45
LRF+	.01	-.12	-.08	.24	-.001	.04
LIF+	.52	.24	-.31	.05	-.08	-.21
LPWF+	-.12	-.34	.03	.53	.21	.01
LRF-	-.25	-.48	.13	.57	.30	-.003
LIF-	-.02	.06	-.17	.31	.09	-.21
LPWF-	-.05	-.30	.13	.59	.31	.11

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 20 : Corrélation entre les épreuves visuo-attentionnelles et les épreuves de lecture (n=10)

Avec l'analyse en composante principale (avec rotation Varimax), on obtient deux facteurs orthogonaux, regroupant les variables visuo-attentionnelles d'une part et les variables phonologiques d'autre part, qui expliquent 88 % de la variance.

	facteur VA	facteur phonologique
DEC_LEXI	0,31	0,47
SEGMENTA	0,77	0,22
OMMIS	-0,37	0,89
RIMES	0,02	0,94
RPTOT_LE	-0,74	0,07
RP_TOT_S	-0,88	-0,10
TPS_FG_C	0,92	-0,32
TPS_FG_C	0,93	0,31
TPS_FD_C	0,95	0,00
TPS_FD_C	0,94	-0,29

Tableau 21 : Poids factoriels l'ACP réalisée sur les variables sur les facteurs obtenus par l'ACP (n= 10)

Le diagramme de dispersion, construit grâce aux poids factoriels sur chaque facteurs de participants de cette étude, montre que parmi les dyslexiques testés quatre rencontrent des

Du protocole au logiciel

troubles visuo-attentionnels isolés, deux ont des troubles phonologiques isolés et trois souffrent d'un double déficit (visuo-attentionnel et phonologique). Enfin, un dyslexique ne rencontre pas de difficultés dans ces habiletés cognitives.

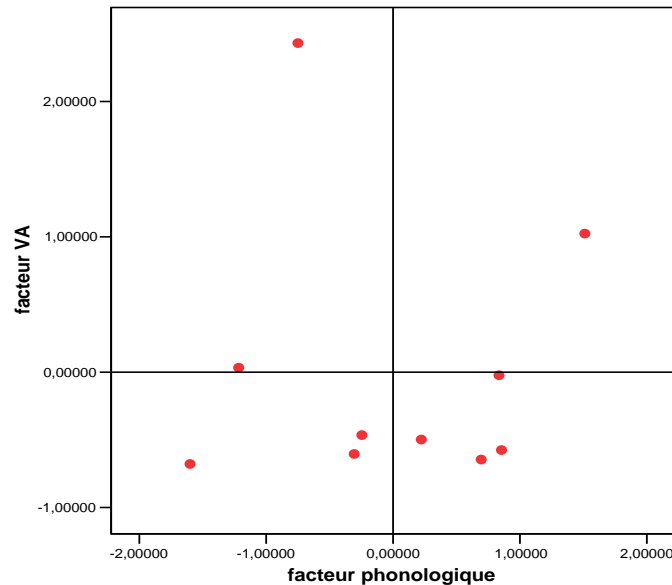


Figure 23 : Répartition graphique des dyslexiques selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (n=10).

Discussion :

Le report partiel et le paradigme de Posner sont fortement corrélés, les deux épreuves mesurent donc sensiblement les mêmes capacités visuo-attentionnelles. De plus, quelle que soit la nature du matériel, verbal ou visuel, les épreuves sont fortement corrélées et les enfants dyslexiques présentent le même profil et obtiennent les mêmes résultats.

L'analyse statistique, qui consiste à étudier la variance en fonction de facteurs explicatifs, montre qu'il y a bel et bien deux facteurs distincts : visuo-attentionnel et phonologique. Toutefois, la segmentation phonologique est associée au facteur visuo-attentionnel, ce qui peut être expliqué par le fait que les deux types d'épreuves requièrent des capacités de traitement séquentiel.

Néanmoins, en analysant les corrélations, il existe un lien uniquement entre les épreuves de phonologie et la lecture. Les capacités visuo-attentionnelles ne varient pas en fonction des performances en lecture chez les enfants dyslexiques, bien qu'un trouble visuo-attentionnel puisse exister chez certains d'entre eux.

b) Expérience 2

Dans le protocole Ready, nous avons intégré le report partiel et le paradigme de Posner. En effet, le report partiel de symbole était très fortement corrélé avec le report partiel, sans offrir d'indication diagnostique supplémentaire.

Nous avons alors analysé précisément les capacités visuo-attentionnelles avec un échantillon plus important, comprenant également des enfants tout-venant. Ainsi, il a été possible d'observer leur lien avec la lecture et les autres habilités cognitives ainsi que leur contribution aux troubles de lecture (Trolès, Pichancourt et Gombert, 2010).

Les variables du report partiel ne possédaient pas une distribution normale, c'est pourquoi il a été nécessaire d'effectuer une transformation (Howell, 2008) à l'aide de la formule : $y = \sqrt{x + (\sqrt{x + 1})}$. Lors des tests paramétriques, ce sont ces variables (ex : RPtrans) qui seront, alors, utilisées.

Statistiques descriptives des épreuves visuo-attentionnelles

Le paradigme de Posner

Les résultats indiquent une différence significative entre les deux groupes au niveau des performances obtenues au paradigme de Posner. Toutefois, la variable Posner est construite à partir de la soustraction du temps de réaction lors de la condition non valide au temps de réaction de la condition valide. En ce sens, les dyslexiques ont, en moyenne, des temps de réaction inférieurs en condition non valide et allongés en temps valide, ce qui va à l'encontre des hypothèses de départ.

Des soucis ont été rencontrés dans la construction de nos variables. Dans l'ensemble, les enfants de l'échantillon avaient tendance à répondre de manière anticipée. Il existe aussi une grande diversité dans les temps de réponse avec parfois des temps de latence très longs. Malgré plusieurs tentatives de manipulation de variables, il n'a pas été possible d'analyser ces résultats de façon satisfaisante. Il a donc été décidé de ne pas prendre en compte cette variable dans la suite des analyses statistiques.

Du protocole au logiciel

	Groupe	N	Moyenne	Ecart-type	U	p
POSNER ***	NL	61	6,45	(51,65)	418	0,000
	DYS	34	-54,41	(78,13)		

*** : $p < .001$

Tableau 22 : Statistiques descriptives et test U du paradigme de Posner (NL, DYS ; n= 113)

Le report partiel

En ce qui concerne le report partiel, les dyslexiques obtiennent des performances significativement inférieures à celles des normo-lecteurs (position 1, 3, 4, 5). D'après ces résultats, les dyslexiques auraient donc des capacités visuo-attentionnelles moins développées que les normo-lecteurs : ils sont capables de dénommer moins de lettres. Ces résultats confortent l'hypothèse d'un trouble visuo-attentionnel chez les dyslexiques.

	Groupe	N	Moyenne	u	p	
RP ***	NL	78	38,91	(6,53)	777,50	0,000
	DYS	35	33,06	(8,28)		
RP Pos1 **	NL	78	8,36	(1,99)	907,50	0,004
	DYS	35	7,29	(2,15)		
RP Pos2	NL	78	7,17	(2,17)	1100,50	0,097
	DYS	35	6,17	(2,77)		
RP Pos3 ***	NL	78	8,29	(1,47)	789,50	0,000
	DYS	35	6,60	(2,38)		
RP Pos4 *	NL	78	7,35	(2,03)	1011,00	0,026
	DYS	35	6,11	(2,77)		
RP Pos5 *	NL	78	7,77	(2,44)	1042,50	0,042
	DYS	35	6,91	(2,50)		

Tableau 23 : Statistiques descriptives et test U du report partiel (NL, DYS ; n= 113)

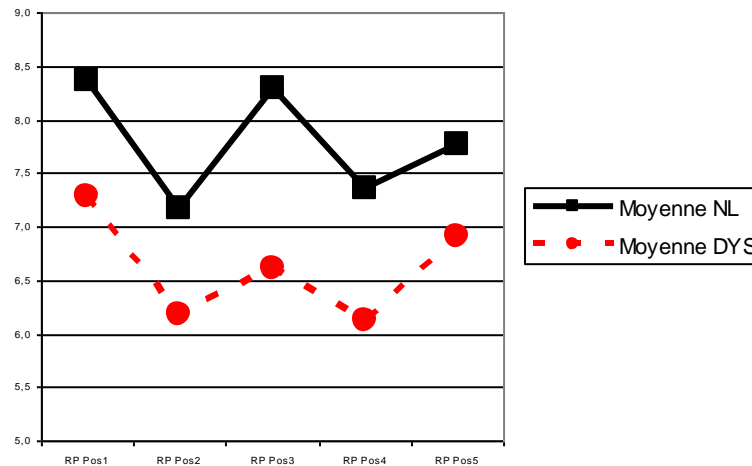


Figure 24 Représentation graphique des performances moyennes au report partiel NL, DYS ; (n=113)

Liens entre les épreuves visuo-attentionnelles

Les résultats obtenus avec cet échantillon, ne corroborent pas ceux trouvés dans la première expérience. En effet, la corrélation reste significative mais elle est diminuée avec .44 au lieu de .70 ou même .95.

	RP trans	POSNER
RP trans	1,00	0,44 (**)
POSNER		1,00

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 24 : Corrélation entre report partiel et Posner (NL, DYS ; n= 113)

Interactions entre les capacités visuo-attentionnelles, phonologiques et de lecture

Le score total du report partiel total et les performances obtenues en position 1 et 3 sont corrélées significativement avec les vitesses de lecture (entre .21 et .36) : plus les scores obtenus en report partiel total et position 1 (notamment) sont élevés et plus l'enfant a tendance à lire rapidement et correctement.

On remarque également des corrélations significatives avec le niveau de lecture, ces résultats indiquent un lien entre les épreuves visuo-attentionnelles et les compétences en lecture.

Les résultats obtenus vont à l'encontre de ce qui a été observé dans l'étude préliminaire. Cette fois, les compétences visuo-attentionnelles ont un lien significatif avec la lecture. Cette différence s'explique probablement par la taille de l'échantillon, considérablement élargi au cours de la seconde étude.

Du protocole au logiciel

	RP trans	RP1trans	RP2trans	RP3trans	RP4trans	RP5trans
Nivo lect	-,29(**)	-,26(**)	-0,14	-,24(*)	-0,13	-,23(*)
vitesse MIF+	-,29(**)	-,28(**)	-0,12	-,33(**)	-0,12	-0,16
vitesse MRR	-,30(**)	-,35(**)	-0,12	-,32(**)	-0,08	-0,13
vitesse MIR	-,27(**)	-,31(**)	-0,11	-0,18	-0,07	-,23(*)
vitesse PW	-,28(**)	-,36(**)	-,20(*)	-0,17	-0,01	-0,12
vitesse PWVP	-,21(*)	-,29(**)	-0,10	-,28(**)	-0,01	-0,07

* : p<.05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 25 : Corrélations entre le report partiel et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113)

Les corrélations indiquent également un lien entre les capacités phonologiques et les capacités visuo-attentionnelles (entre .20 et .40), ce qui suggère qu'elles ont certains processus en commun. Ces résultats vont à l'encontre de l'hypothèse d'une indépendance entre les capacités visuo-attentionnelles et phonologiques dans la lecture (Bosse et al., 2007).

	RP trans	RP1trans	RP2trans	RP3trans	RP4trans	RP5trans
segmentation	-0,16	-0,11	0,02	-0,05	-0,12	-,19(*)
omission	,23(*)	,23(*)	-0,02	,21(*)	0,08	0,11
jugement rimes	0,01	,24(*)	0,04	-0,04	-0,02	0,13
contrepèteries	,40(**)	,35(**)	0,15	,27(**)	,20(*)	,30(**)
VIT oapds	-,22(*)	-,33(**)	-0,16	-0,13	-0,11	-0,04
VIT coul	-,19(*)	-,21(*)	-0,01	-,25(**)	-0,04	-0,07

* : p<.05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 26 : Corrélations entre le report partiel et les épreuves phonologiques (NL, DYS ; n= 113)

En revanche, l'Analyse en Composante Principale (ACP avec rotation varimax) extrait deux facteurs orthogonaux (rassemblant les variables phonologiques d'une part et les variables visuo-attentionnelles d'autre part), qui expliquent 47 % de la variance. Ainsi, l'ACP sur les performances dans les capacités visuo-attentionnelles et dans les capacités phonologiques met en évidence l'indépendance entre ces deux processus.

Du protocole au logiciel

	Poids factoriels	
	facteur phonologique	facteur VA
Segmentation	-0,69	0,01
Omission	0,76	0,01
Contrepèterie	0,76	0,30
VIT oapds	-0,64	-0,17
VIT coul	-0,65	-0,09
RP Pos1	0,33	0,51
RP Pos2	-0,06	0,80
RP Pos3	0,25	0,38
RP Pos4	0,00	0,71
RP Pos5	0,12	0,63

Tableau 27 : Poids factoriels des tâches phonologiques et visuo-attentionnelles dans les deux facteurs extraits par l'ACP (NL, DYS ; n= 113)

Les coefficients factoriels, appliqués à chaque enfant de l'échantillon, ont permis de déterminer le nombre d'enfants dyslexiques qui présentent un trouble isolé phonologique ou visuo-attentionnel. Les dyslexiques ont été considérés comme faibles sur les facteurs lorsque leur coefficient se situait en dessous du dixième centile de la population des normo-lecteurs (ce qui équivaut à $-1,15$ sur le facteur visuo-attentionnel et $-0,79$ pour le facteur phonologique).

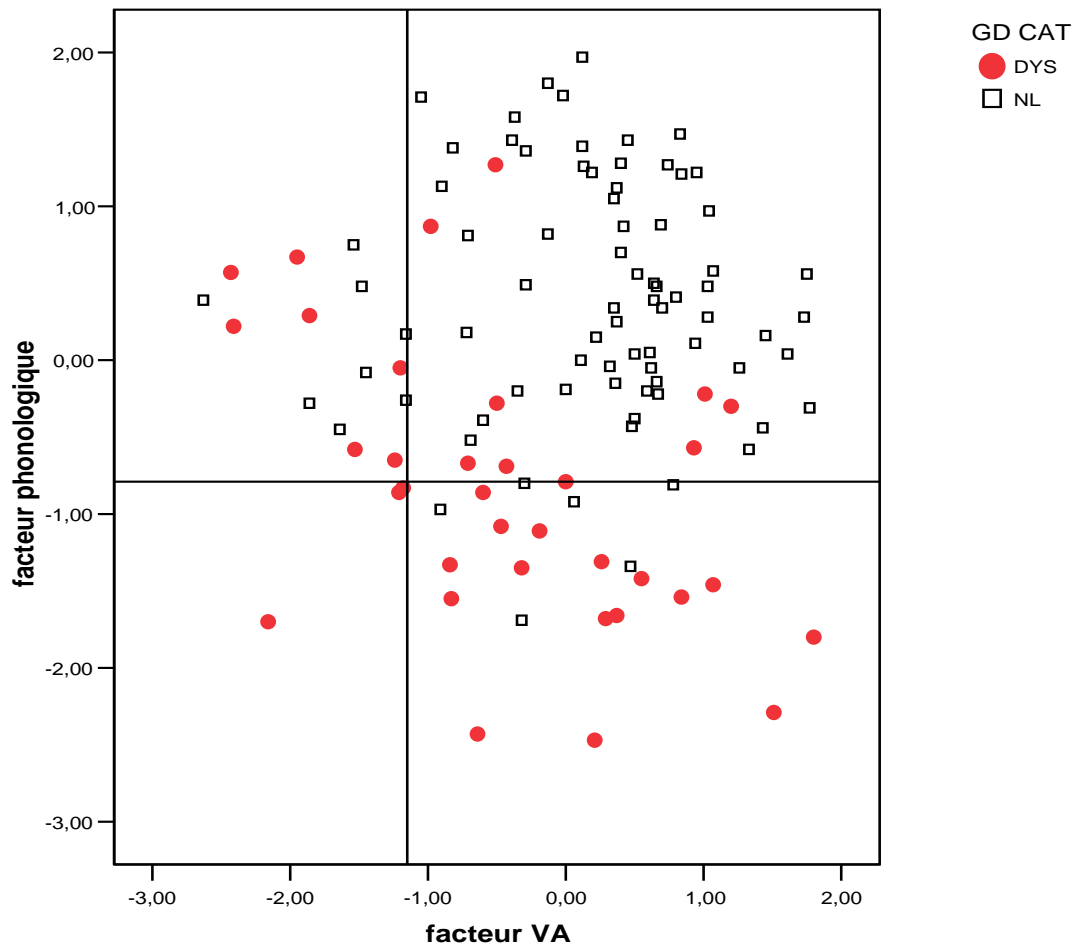


Figure 25 : Répartition graphique des dyslexiques (ronds rouges) et les normo-lecteurs (carrés blancs) selon leurs coefficients factoriels phonologiques et visuo-attentionnels (n=113)

L'observation du graphique, dans son ensemble, permet de remarquer une distribution assez particulière. En effet, il apparaît une forte hétérogénéité des profils des enfants dyslexiques, ce qui contraste avec l'homogénéité des profils des normo-lecteurs.

La représentation graphique indique la proportion d'enfant dyslexique ayant un trouble phonologique ou visuo-attentionnel : 48 % des dyslexiques de l'échantillon rencontrent un trouble phonologique, 20 % un trouble visuo-attentionnel isolé, 9 % un double déficit. Enfin 22 % de l'échantillon ne sont pas en difficulté au niveau de ces capacités. Ils possèdent le même profil que les normo-lecteurs, mais il est également possible qu'ils rencontrent d'autres troubles non pris en compte dans la représentation graphique. Ces résultats témoignent d'une indépendance claire entre les troubles phonologiques et les troubles visuo-attentionnels dans notre population de dyslexiques.

Du protocole au logiciel

Les proportions retrouvées sont assez similaires avec celles de Bosse et al. (2007). En effet, dans leur étude menée sur un échantillon constitué de 29 enfants dyslexiques anglophones et 23 contrôles de même âge réel, 28 % des dyslexiques rencontrent un trouble phonologique, 34 % un trouble visuo-attentionnel, 14 % de l'échantillon rencontrent des difficultés sur les deux types de capacités et 22% ont des performances similaires aux normo-lecteurs sur les deux facteurs.

L'analyse de régression multiple indique clairement une contribution significative et importante du facteur phonologique sur les différentes variables lexiques qui expliquent entre 30 % et 50 % de la variance en lecture. En revanche, la contribution significative du facteur visuo-attentionnel apporte une très faible contribution quant à l'explication de la variance en lecture.

	Niveau						
	lecture	vit MRF	vit MIF	vit MRR	vit MIR	vit PW	vit PWVP
facteur phono	.436(***)	.452(***)	.482(***)	.496(***)	.440(***)	.434(***)	.282(***)
facteur VA	.060(**)	.059(**)	.040(**)	.038(**)	.042(**)	.052(**)	
r² total	.496	.511	.522	.534	.482	.486	.282

Tableau 28 : r² des facteurs phonologiques et visuo-attentionnels explicatifs de la variance en lecture (NL, DYS ; n= 113)

Mise en perspective des résultats obtenus et des diagnostics des sujets dyslexiques

Nous avons souhaité comparer les diagnostics posés eu CRRF de Trestel (voir tableau en annexe) et les sujets situés en difficultés sur le facteur visuo-attentionnel.

En ce qui concerne les sept sujets qui rencontrent un trouble visuo-attentionnel isolé sans trouble phonologique, pour la plupart il s'agit de dyslexiques mixtes compensés sur la voie phonologique et donc avec des troubles persistants sur la voie lexicale (515, 532, 513, 503), deux d'entre eux ont été diagnostiqués comme dyslexiques mixtes (514, 521) et un (524) a été diagnostiqué comme dyslexique visuo-attentionnel.

Dans l'ensemble, les diagnostics correspondent aux troubles rencontrés sur les différents facteurs. De plus, les sujets ayant un double déficit (visuo-attentionnel et phonologique) sont des sujets qui ont un retard de lecture conséquent, 37 mois pour le 534, 36 mois pour le 538 et 24 mois pour le 516, alors que la moyenne du retard en lecture de l'ensemble des dyslexiques se situe à 27 mois.

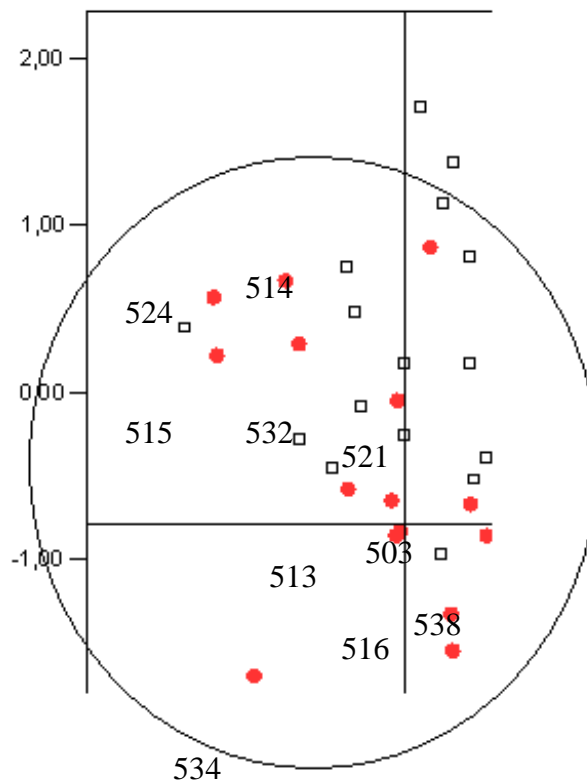


Figure 26 : Zoom sur la figure 25, spécifiquement sur les sujets rencontrant un trouble visuo-attentionnel

7. Les capacités morphologiques : analyses spécifiques

Certains auteurs soulignent la précocité des traitements morphologiques chez les apprentis lecteurs (Casalis et al., 2000), d'autres vont jusqu'à postuler des performances bien spécifiques des dyslexiques dans ce type de processus, évoquant une sorte de compensation des voies de lecture défaillante (Marec-Breton, 2004).

Dans l'échantillon testé, aucune différence n'est retrouvée entre les deux groupes. Les performances moyennes sont identiques et atteignent des niveaux plafonds, ce qui laisse à penser que les exercices choisis manquaient probablement de difficultés et donc de sensibilité. Les exercices étaient trop courts, ce qui était insuffisant pour explorer correctement les capacités morphologiques.

	Groupe	N	Moyenne	U	p	
Morphologie	NL	78	4,833	(1,18)	1352	0,93
	DYS	35	4,829	(1,15)		

* : p< .05, ** : p<.01, *** : p<.001

Tableau 29 : Statistiques descriptives et test U de l'épreuve morphologique.

8. L'hypothèse cérébelleuse : analyses spécifiques

L'hypothèse cérébelleuse, qui suppose un déficit au niveau moteur, a été évoquée notamment en faisant état d'une certaine maladresse chez de nombreux dyslexiques. Nicolson et al. (1999), auteurs à l'origine de cette théorie, mettent en évidence des troubles du développement des traitements de nature séquentiel et temporel, trouble de l'équilibre et de la coordination motrice. Dans notre protocole, il a été choisi de tester les capacités motrices des enfants à l'aide des séquences motrices de la Nepsy, qui testent la coordination motrice et la séquentialité des gestes, ainsi que le *tapping* qui mesure la dextérité digitale.

Les résultats indiquent une faiblesse des dyslexiques dans les séquences motrices manuelles comparativement aux normo-lecteurs, ce qui corrobore l'approche de Nicolson et Fawcett puisque certains dyslexiques semblent rencontrer un trouble de la coordination motrice.

Cependant, le trouble de la dextérité digitale n'est pas repéré, à la différence des travaux de White et al. (2006). Nous ne retrouvons aucune différence significative entre les dyslexiques et les normo-lecteurs à l'épreuve de *tapping*, de surcroît, tous les dyslexiques ont des performances dans les normes à cette épreuve. Ces résultats vont dans le sens de ceux obtenus dans l'étude de Tiffin-Richards et al. (2004) où ils ne retrouvent aucun déficit significatif mais une tendance des dyslexiques à altérer leurs performances en fonction de la complexité du rythme à reproduire.

Un déficit dans la coordination motrice peut effectivement traduire un dysfonctionnement du cervelet. Cependant, le syndrome cérébelleux dans son entier n'est pas observé chez les dyslexiques au cours de la consultation médicale au CRRF de Trestel.

Il est, toutefois, intéressant d'observer ce type de déficit chez les dyslexiques car cela ouvre aussi de nouvelles approches dans la rééducation. Un enfant dyslexique

Du protocole au logiciel

particulièrement pénalisé par un trouble de coordination motrice pourra bénéficier d'une rééducation type psychomotrice. Que l'origine de la dyslexie soit effectivement comme le suggère Nicolson et Fawcett, un dysfonctionnement du cervelet ou que ce dysfonctionnement soit un trouble co-morbide fréquemment rencontré chez les dyslexiques, son évaluation et sa prise en charge sont nécessaires pour ces enfants.

	Groupe	N	Moyenne	U	p
seq mot man ***	NL	78	51,923	(5,55)	708 0,000
	DYS	35	48,229	(4,02)	
tapping	NL	78	93,359	(29,83)	1282,5 0,783
	DYS	34	86,738	(10,18)	

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 30 : Statistiques descriptives et test U des épreuves motrices.

9. L'hypothèse du trouble du traitement temporel : analyses spécifiques

Cette étude intègre dans le protocole, une évaluation des capacités de traitement temporel auditif compte tenu des liens que ces capacités entretiennent avec les troubles de la lecture comme le soulignent notamment les travaux de Tallal (1980). Cette théorie repose sur l'idée que les troubles phonologiques des enfants dyslexiques proviennent d'un déficit initial dans le traitement des sons brefs à transition rapide.

Ces capacités sont mesurées par l'épreuve de la TMTf (*Temporal Modulation Transfert*), épreuve très proche du TOJ (*Temporal Order Judgment*) de Tallal.

Une autre hypothèse concernant les capacités auditives est discutée actuellement dans la littérature. Il s'agit d'un déficit spécifique de la perception catégorielle, c'est-à-dire la discrimination entre deux sons (Brandt et al., 1980). L'épreuve qui tente de mesurer ces capacités est appelée VOT (*Voice Onset Time*). Il s'agit de faire varier l'intervalle de temps entre l'occlusion orale et le début de la vibration des cordes vocales, cette variation étant manipulée synthétiquement.

Du protocole au logiciel

a) Statistiques descriptives des épreuves auditives

Aucune variable ne montre une différence significative entre le groupe des normo-lecteurs et des dyslexiques. Toutefois, le VOT pente, qui correspond à la pente construite par l'ensemble des résultats obtenus par l'enfant, s'approche de seuil de significativité. La pente, moins prononcée chez les dyslexiques, indique alors une moins bonne catégorisation des deux sons.

On remarque, par ailleurs, que les performances obtenues à l'épreuve de TMTf, ne diffèrent pas significativement entre les dyslexiques et les normo-lecteurs, ces résultats ne corroborent pas les observations faites par Tallal.

	Groupe	N	Moyenne		U	p
VOT Pente	NL	78	0,112	-0,18	1069	0,066
	DYS	35	0,108	-0,18		
TMTF 4	NL	76	14,761	-6,43	1289	0,985
	DYS	34	14,629	-6,2		
TMTF 16	NL	76	18,929	-5,98	1206,5	0,58
	DYS	34	19,876	-6,36		
TMTF 128	NL	76	12,921	-4,06	1285,5	0,966
	DYS	34	12,847	-4,06		

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 31 : Statistiques descriptives des épreuves auditives (NL, DYS ; n= 113)

b) Interactions entre les capacités de traitement auditif, phonologiques et de lecture

Le VOT est corrélé faiblement (.20) avec l'épreuve de TMTf 128. Les trois épreuves de TMTf sont également corrélées entre elles (entre .41 et .54).

	VOT pente	TMT4	TMT16	TMT128
VOT pente	1	0,13	0,14	,20(*)
TMT4		1	,54(**)	,41(**)
TMT16			1	,52(**)
TMT128				1

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 32 : Corrélations entre les épreuves auditives (NL, DYS ; n= 113)

Du protocole au logiciel

Toutefois, aucune corrélation n'est mise en évidence entre les performances en lecture et les variables auditives.

	VOT pente	TMT4	TMT16	TMT128
Nivo lect	0,10	0,05	0,01	0,03
vitesse MRF+	0,035	-0,04	-0,068	-0,045
vitesse MIF+	0,067	-0,038	-0,136	-0,073
vitesse MRR	0,063	0,044	0,005	-0,007
vitesse MIR	0,094	-0,001	0,035	0,089
vitesse PW	0,091	0,005	-0,047	-0,038
vitesse PWVP	0,035	-0,015	-0,075	-0,015

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 33 : Corrélations entre les épreuves auditives et les vitesses de lecture (NL, DYS ; n= 113)

Il est intéressant aussi d'analyser les corrélations entre les variables auditives et les variables phonologiques puisqu'un trouble du traitement temporel aurait des répercussions sur la mise en place des processus phonologiques (Bogliotti et al., 2008 ; Serniclaes et al. 2004). Il apparaît des corrélations modestes entre segmentation et le TMTf 4 et TMTf 16 (.34 et .25) ainsi qu'avec le VOT pente (.18). Les contrepèteries sont également corrélées avec le VOT pente (-.24)

	VOT pente	TMT4	TMT16	TMT128
segmentation	,18(*)	,34(**)	,25(**)	0,16
omission	-0,09	-0,14	-0,08	-0,16
Contrepèterie	-,24(**)	-0,178	-,19(*)	-0,09
VIT oapds	0,10	-0,03	-0,01	-0,03
VIT coul	0,04	0,01	0,02	-0,05

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 34 : Corrélations entre les épreuves auditives et les épreuves phonologiques (NL, DYS ; n= 113)

L'hypothèse théorique des troubles du traitement temporel repose sur l'idée qu'un dysfonctionnement de perception catégorielle et de distinction de sons, retrouvé dans la population de dyslexiques, altère la mise en place de processus phonologique et par voie de conséquence l'acquisition de la lecture. De ce fait, une analyse de régression permet de connaître le poids explicatif des variables auditives sur la variance des épreuves phonologiques.

Du protocole au logiciel

Les résultats de l'analyse montrent une absence totale de lien entre les variables auditives et les variables phonologiques. Les compétences auditives n'expliquent aucunement les performances obtenues dans les épreuves phonologiques. En ce sens, nous ne retrouvons pas les fondements de l'hypothèse explicative de la dyslexie avancée par Tallal (1980).

	segmentation	Omission	contrepétries	vit OAPDS	vit couleur
VOT pente	.114	-.059	-.217	.123	0,034
TMT4	.276(***)	-.073	-.070	-.114	-0,015
TMT16	.073	-.007	-.158	.080	0,059
TMT128	-.033	-.082	.088	-.027	-0,110
r²	.113	.023	.080	.024	.010
r² ajusté	.078	-.016	.043	-.015	-.029

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Tableau 35 : Résultats de l'analyse de régression (B, r² et r² ajusté) des variables auditives sur les variables phonologiques (NL, DYS ; n= 113)

10. Description de l'échantillonnage

L'échantillon des enfants dyslexiques offre des informations précieuses qu'il faut analyser précisément. Il s'agit d'observer chaque dyslexique, un à un, quant à leurs capacités phonologiques, visuo-attentionnelles, motrices et auditives et de caractériser les enfants en fonction des difficultés rencontrées. Les analyses ont été réalisées sur les 35 enfants dyslexiques de l'échantillon.

Pour obtenir cette représentation (figure 27), nous avons déterminé une valeur seuil, qui correspond au dixième centile de l'échantillon de normo-lecteurs pour chaque variable. Lorsqu'un enfant dyslexique obtient une performance inférieure à cette valeur seuil, alors il est considéré comme rencontrant des difficultés dans cette capacité.

Avec cette approche, 32 enfants sur les 35 rencontrent des troubles phonologiques. Sur les trois dyslexiques sans trouble phonologique, deux rencontrent uniquement des troubles visuo-attentionnels et le dernier possède un déficit au niveau visuo-attentionnel et moteur. Il est donc important d'observer que les troubles visuo-attentionnels peuvent exister en l'absence des troubles phonologiques, ce qui corrobore les observations de Valdois et al. (2004). Ces résultats fournissent un argument supplémentaire en faveur d'une indépendance entre les capacités phonologiques et visuo-attentionnelles dans la dyslexie.

Du protocole au logiciel

Parmi les 32 enfants rencontrant un trouble phonologique, onze sont déficitaires uniquement sur les variables phonologiques, ce qui représente 31 % de l'échantillon. En plus du déficit phonologique, deux rencontrent des difficultés au niveau moteur, deux au niveau auditif, six au niveau visuo-attentionnel. Dix enfants dyslexiques de l'échantillon ont un triple déficit, quatre ont des difficultés au niveau des capacités phonologiques, motrices et auditives et six sont déficitaires dans les capacités phonologiques, visuo-attentionnelles et auditives. Enfin, un enfant présente une altération dans quatre domaines : phonologie, visuo-attentionnel, moteur et auditif.

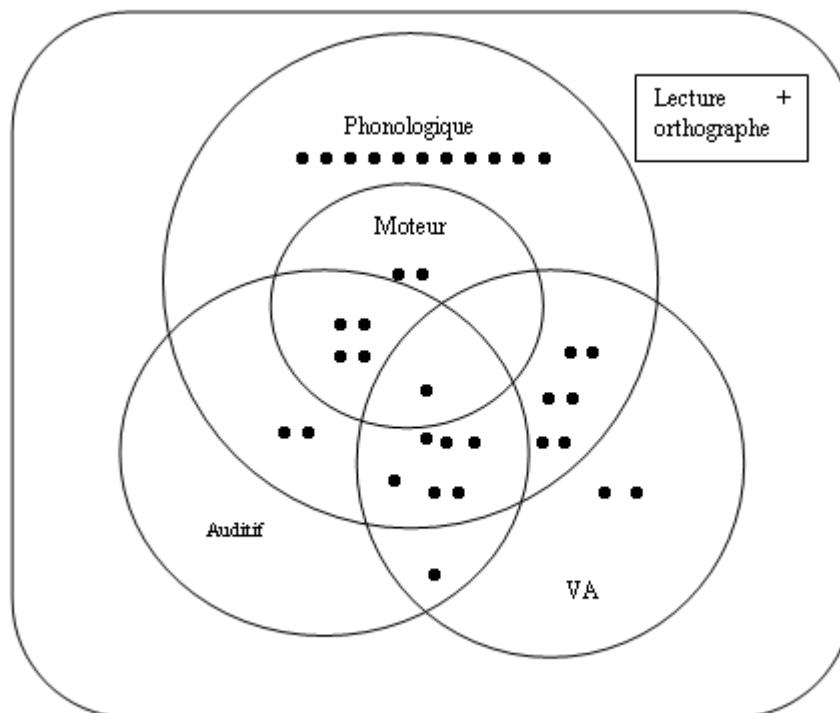


Figure 27 : Représentation de l'échantillon en fonction des déficits rencontrés au niveau phonologique, visuo-attentionnel, moteur et auditif

11. Elaboration du logiciel

a) Choix du modèle prédictif

Il était essentiel de créer un modèle prédictif afin de réduire le nombre d'épreuves et par voie de conséquence le temps de passation pour cet outil d'aide au diagnostic. Le modèle est basé sur une analyse de régression logistique, qui vise à mettre en évidence les variables les plus discriminantes. Les variables ainsi sélectionnées sont implantées dans le logiciel

Du protocole au logiciel

final : Alex. Plusieurs modèles étaient en compétition, il a fallu choisir le modèle le plus performant en terme de spécificité, de sensibilité mais aussi un modèle cohérent par rapport aux hypothèses théoriques.

Cette recherche du modèle prédictif a notamment été réalisée au cours du travail de thèse de Le Jan (2009), qui a été effectué en interaction avec nos propres recherches. La réflexion commune portait sur le meilleur modèle à choisir en fonction des critères précédemment décrits (Le Jan, Le Bouquin, Costet, Trolès, Scalart, Pichancourt, Faucon et Gombert, 2010).

Le modèle prédictif cherche à déterminer la probabilité pour un enfant testé d'appartenir au groupe des normo-lecteurs ou au groupe des dyslexiques, en fonction des caractéristiques de ses performances.

Les analyses statistiques du modèle prédictif ont été effectuées par Le Jan (2009). Les détails nécessaires à cette démarche sont présentés dans sa thèse. Cependant, nous allons présenter la démarche ayant conduit à la sélection des variables, ce travail ayant demandé une collaboration étroite entre les deux types d'analyse (statistique et théorique).

Un impératif : la réduction du nombre de variables

Au regard des effectifs de la population étudiée, qui restent modérés, 35 enfants dyslexiques, 78 enfants normo-lecteurs, il a été nécessaire de réduire le nombre de variables au départ trop nombreuses pour les tests statistiques.

Tout d'abord, il s'agit de déterminer quelles étaient les variables où les dyslexiques et les normo-lecteurs obtenaient des performances significativement différentes. Pour ce faire, un test non paramétrique a été utilisé: le test U de Mann-Whitney, toutes les variables ne suivant pas toujours la loi normale, le test T de Student n'était pas réalisable. Le test U de Mann-Whitney permet de comparer les distributions de chaque variable des deux groupes indépendants. Les résultats indiquent que trente variables ont des médianes significativement différentes. Les variables possèdent donc des caractéristiques qui permettent de discriminer les deux groupes.

Du protocole au logiciel

variables	Moy et Ec-T NL (N=78)		Moy DYS et Ec-T (N=35)		p
<u>mémoire :</u>					
emp end verb **	5,282	(1,02)	4,657	(0,94)	0,005
MDT	1,423	(0,99)	1,429	(0,95)	0,943
emp visuel	5,013	(0,76)	5,143	(0,77)	0,476
<u>attention</u>					
barr 3 (20")	10,896	(3,02)	9,657	(2,76)	0,059
barr 3 (1')	24,234	(3,67)	24,097	(4,47)	0,172
<u>vitesse de lecture</u>					
vitesse MRF+ ***	1,662	(0,32)	0,973	(0,42)	0,000
vitesse MIF+ ***	1,179	(0,42)	0,400	(0,27)	0,000
vitesse MRF- ***	0,940	(0,33)	0,363	(0,20)	0,000
vitesse MIF- ***	0,550	(0,34)	0,119	(0,09)	0,000
vitesse PWPP ***	0,722	(0,22)	0,341	(0,16)	0,000
vitesse PW ***	0,699	(0,24)	0,309	(0,18)	0,000
<u>capacités métaphonologiques</u>					
segmentation **	11,192	(3,03)	9,029	(3,95)	0,003
omission ***	10,808	(1,44)	8,343	(2,72)	0,000
jugement rimes	7,115	(1,06)	6,657	(1,28)	0,054
contrepièteries ***	7,756	(1,89)	3,371	(1,97)	0,000
<u>automatismes phonologiques</u>					
discrimi lex	18,615	(1,58)	18,971	(1,25)	0,315
VIT oapds ***	1,699	(0,40)	1,409	(0,33)	0,000
VIT coul ***	1,078	(0,19)	0,933	(0,20)	0,001
<u>capacités morphologiques</u>					
Morphologie	4,833	(1,18)	4,829	(1,15)	0,933
<u>capacités visuo-attentionnelles</u>					
RP ***	38,910	(6,53)	33,057	(8,28)	0,000
RP Pos1 ***	8,359	(1,99)	7,286	(2,15)	0,004
RP Pos2	7,167	(2,17)	6,171	(2,77)	0,097
RP Pos3 ***	8,295	(1,47)	6,600	(2,38)	0,000
RP Pos4 *	7,346	(2,03)	6,114	(2,77)	0,026
RP Pos5*	7,769	(2,44)	6,914	(2,50)	0,042
POSNER (NV-V) ***	6,449	(51,65)	-54,405	(78,13)	0,000
<u>motricité</u>					
seq mot man ***	51,923	(5,55)	48,229	(4,02)	0,000
tapping	93,359	(29,83)	86,738	(10,18)	0,783
<u>orthographe</u>					
GCA ***	27,865	(1,80)	25,706	(2,76)	0,000
GCC rare ***	4,270	(1,71)	1,294	(1,38)	0,000
GCC freq ***	5,041	(1,40)	2,000	(1,54)	0,000
GICD rare	7,014	(1,39)	7,353	(1,25)	0,215
GICD freq	8,676	(0,60)	8,324	(0,91)	0,052
GICM rare ***	4,027	(2,01)	1,382	(1,26)	0,000

Du protocole au logiciel

GICM freq ***	7,622	(1,50)	4,912	(2,56)	0,000
GDM rare ***	1,986	(1,52)	0,088	(0,29)	0,000
GDM freq ***	4,284	(1,48)	1,758	(1,37)	0,000
GIM rare ***	1,730	(1,34)	0,471	(0,56)	0,000
GIM freq ***	4,351	(1,16)	2,412	(1,40)	0,000
DICTEE TOT ***	76,865	(10,65)	55,647	(8,18)	0,000
<u>capacités auditives</u>					
VOT Pente	0,112	(0,18)	0,108	(0,18)	0,066
difm30 *	0,051	(0,05)	0,075	(0,06)	0,030
difm20	0,071	(0,07)	0,088	(0,09)	0,516
difm10	0,114	(0,10)	0,082	(0,08)	0,078
dif0	0,153	(0,14)	0,130	(0,09)	0,855
dif10	0,113	(0,10)	0,110	(0,08)	0,835
dif20	0,062	(0,06)	0,066	(0,05)	0,681
dif30	0,063	(0,06)	0,065	(0,05)	0,835
TMTF 4	14,761	(6,43)	14,629	(6,20)	0,985
TMTF 16	18,929	(5,98)	19,876	(6,36)	0,580
TMTF 128	12,921	(4,06)	12,847	(4,06)	0,966

*** p<.001, ** p<.01, *p<.05

Tableau 36 : Descriptif et comparaison des normo-lecteurs et des dyslexiques à l'aide du test de Mann-Whitney (n=113)

Le choix des variables s'est aussi effectué selon les contraintes de la pratique clinique. Les variables de lecture et d'orthographe ne sont pas prises en compte dans le modèle prédictif. Seules les variables évaluant les fonctions cognitives impliquées dans la lecture le sont, en partant effectivement du postulat que les variables de lecture sont obligatoirement déficitaires puisque le test porte sur des enfants rencontrant des troubles de la lecture. Quant à l'orthographe, il s'agit d'un trouble qui accompagne systématiquement la dyslexie (Lussier et al., 2001). Les épreuves lexiques seront cependant, bien évidemment, intégrées dans le logiciel final en raison de leur importance pour caractériser les difficultés de chaque enfant dans le traitement de l'écrit.

Malgré le caractère discriminant de l'épreuve de Posner, des aspects techniques (la gestion des anticipations lors de l'appui sur les contacteurs) ont posé problème. Il a donc été décidé d'éliminer cette épreuve. De plus, l'épreuve du report partiel mesure les mêmes habilités et cette épreuve est la plus utilisée lors des protocoles récents de recherche sur la dyslexie. En abandonnant le paradigme de Posner, l'évaluation des capacités visuo-attentionnelles n'est donc pas pour autant mise de côté.

Du protocole au logiciel

Concernant les épreuves motrices, le *tapping* n'est pas du tout discriminant. D'ailleurs, aucun dyslexique de l'échantillon ne rencontre de difficultés sur cette épreuve. Il allait de soi de ne pas l'intégrer. Au sujet des séquences motrices, il est vrai qu'elles semblent intéressantes, certains dyslexiques ayant de faibles performances sur cette tâche particulière. Toutefois, cette épreuve est issue de la Nepsy et il n'était pas possible de gérer tout ce qui concernait les droits auteurs avec les ECPA (Editions du Centre de Psychologie Appliquée). Nous avons opté pour un abandon de cette épreuve, mais il est possible de faire renvoyer à ce test dans le livret accompagnant le logiciel ou de l'intégrer plus tard dans une version ultime.

Les apports de la régression logistique

Plusieurs modèles de régression étaient possibles. C'est celui qui offrait les meilleures performances et qui correspondait à nos hypothèses théoriques, qui a été sélectionné au final. C'est l'alliance de ces approches qui a été déterminante sur ce modèle spécifique (tableau 37). Ce modèle inclut, au final, des épreuves métaphonologiques (omission et contrepèteries), morphologiques, visuo-attentionnelles et auditives.

Variable	Estimate	Odds Ratio (OR)	Std. Error	p-value
Métaphonologie				
Omission	-0.19	0.829	0.18	0.3
Contrepèteries	-1.45	0.233	0.36	<0.0001
Connaissances morphologiques				
Morphologie	0.65	1.922	0.4	0.1
Capacités visuo-attentionnelles				
Report partiel (position 4)	-0.3	0.743	0.16	0.065
Audition				
Pente d'identification*	0.0073	1.007	0.37	0.98
VOT (-40 ms ; -20 ms)*	0.0640	1.066	0.39	0.87
VOT (10 ms ; 30 ms)*	-1.1	0.332	0.45	0.01
VOT (20 ms ; 40 ms)*	0.18	1.197	0.34	0.6
<i>Intercept</i>	9.6	1.5E04	3.49	0.0059

* : $p < .01$

Tableau 37 : Variables sélectionnées et paramètres du modèle de régression logistique (Le Jan et al., 2010)

Du protocole au logiciel

Les performances du modèle (Ecale, 2010) sont très hautes (tableau 38) avec la sensibilité est de 91% , la spécificité est de 95 %, une valeur prédictive positive de 88 % et une valeur prédictive négative de 96 %.

		Difficultés en lecture		
		présence	absence	
Difficultés au test	présence	32 (vrais positifs)	4 (faux positifs)	valeur prédictive positive : 88 %
	absence	3 (faux négatifs)	74 (vrais négatifs)	valeur prédictive négative : 96 %
		Sensibilité : 91 %	Spécificité : 95 %	

Tableau 38: Valeur diagnostique du logiciel Alex

Ces épreuves seront donc les épreuves nommées « essentielles » dans le logiciel Alex. Les performances obtenues par les futurs enfants testés, seront utilisées dans la formule de régression. Un seuil de probabilité est obtenu, plaçant le sujet dans l'un des deux groupes indépendants : dyslexiques ou normo-lecteurs.

b) Analyse des profils cognitifs

Principe

Le modèle prédictif offre des perspectives intéressantes, mais la démarche a été poursuivie afin d'offrir un outil complet aux professionnels qui utiliseront le logiciel Alex. Dans une approche neuropsychologique, où il s'agit de prendre en compte le patient dans sa globalité, nous voulions intégrer des profils cognitifs avec l'idée qu'un déficit dans un domaine peut entraîner des performances médiocres dans un autre et inversement des facultés intéressantes peuvent expliquer une certaine forme de compensation dans les autres domaines cognitifs.

Les théories explicatives de la dyslexie présentent séparément différents arguments pour expliquer le trouble de la lecture, l'originalité du dispositif repose justement sur l'idée

Du protocole au logiciel

que les caractéristiques du trouble de la lecture, et des troubles qui lui sont co-morbides, sont multiples. En intégrant les expérimentations associées aux différentes théories, ce protocole vise à cerner au plus près les troubles cognitifs des dyslexiques, et non pas à isoler ceux qui seraient spécifiques à la dyslexie. Le protocole expérimental est composé de différentes épreuves qui mesurent les différentes capacités cognitives impliquées dans la lecture : mnésiques, attentionnelles, phonologiques (métaphonologie et automatismes phonologiques), morphologiques, auditives motrices et orthographiques.

Il a semblé particulièrement intéressant de travailler sur les profils des enfants dyslexiques testés. Ces profils cognitifs ont pour objectif de représenter graphiquement les performances des enfants sur les différentes habiletés cognitives mesurées. En ce sens, cela permet de connaître rapidement, les capacités préservées et les capacités atteintes chez chaque enfant.

L'analyse dans le détail de l'échantillon de dyslexiques montre la nécessité de ces profils puisque chaque enfant possède des caractéristiques singulières. Il est également nécessaire de les identifier, afin que les rééducateurs puissent mettre en place une prise en charge adaptée pour chaque enfant en difficulté de lecture, c'est-à-dire travailler les capacités atteintes tout en s'appuyant sur les capacités préservées.

Méthode

Nous avons représenté sur un même graphique, les performances obtenues par les sujets de l'échantillon pour l'ensemble des épreuves du protocole. Nous avons converti les scores obtenus par chaque enfant en Z score.

$$\text{Z score} = (\text{moyenne de tous les sujets} - \text{score du sujet}) / \text{écart-type.}$$

On considère comme pathologiques les scores se trouvant à moins de 1,5 écarts-types de la moyenne des scores obtenus par des enfants normo-lecteurs.

Exemples

Nous avons choisi de présenter trois sujets qui rencontrent des profils tout à fait spécifiques et intéressants.

L'enfant, illustré sur la figure 28, rencontre des difficultés majeures en vitesse de lecture et dans les habiletés métaphonologiques (tous les scores sont situés à moins d'un écart-type sauf pour le jugement de rimes). Ce profil met également en évidence des faiblesses en

Du protocole au logiciel

mémoire à court terme, dans les automatismes phonologiques, capacités auditives, capacités motrices, capacités visuo-attentionnelles et en orthographe. Il s'agit du sujet 507 qui a été diagnostiqué comme dyslexique sévère par l'équipe du CRRF de Trestel.

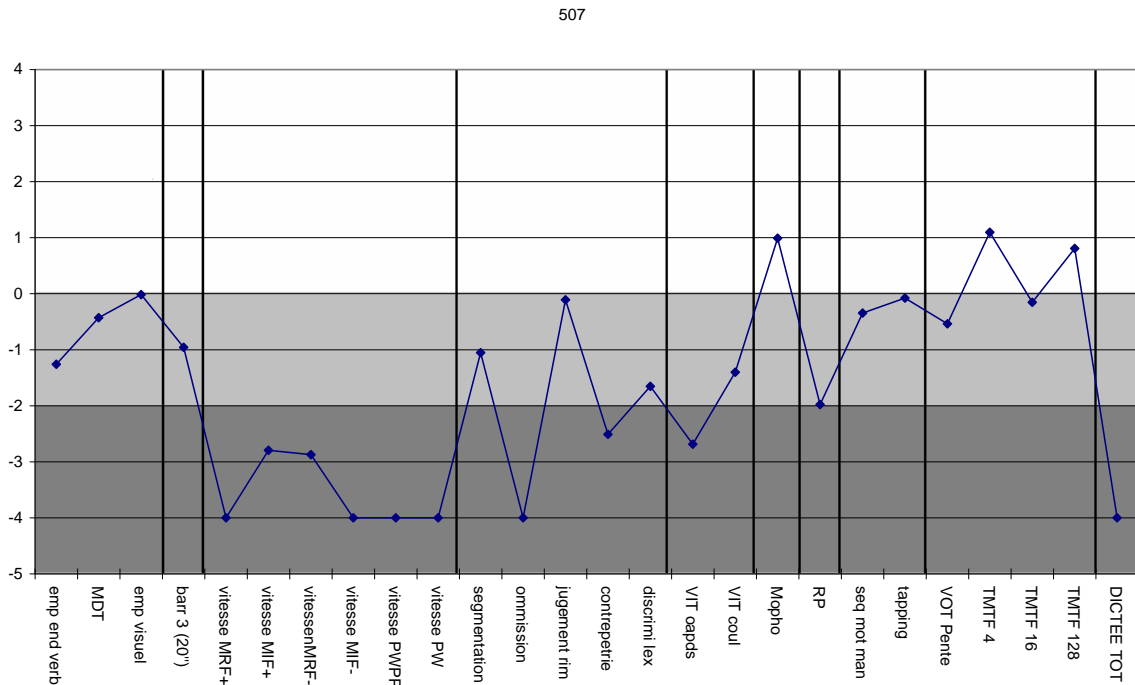


Figure 28 : Profil cognitif 507, dyslexie mixte sévère

Dans l'exemple de la figure 29, le profil montre que l'enfant rencontre des difficultés uniquement dans les habilités visuo-attentionnelles et motrices, sans présenter de trouble phonologique. Il s'agit du sujet 515, retrouvé sur la figure 14 comme ayant un déficit sur le facteur visuo-attentionnel sans trouble phonologique. Toutefois, le diagnostic posé au CRRF de Trestel indique une dyslexie compensée sur les deux voies. Il est vrai les performances obtenues en vitesse de lecture le situe dans les normes des normo-lecteurs sauf dans les mots réguliers fréquents où il est plus lent. Le graphique peut donc à lui seul, résumer les observations faites au cours du diagnostic : c'est un enfant probablement compensé au niveau de ses compétences en lecture avec un trouble persistant dans les capacités visuo-attentionnelles qui peuvent expliquer son retard en vitesse de lecture de mots fréquents réguliers.

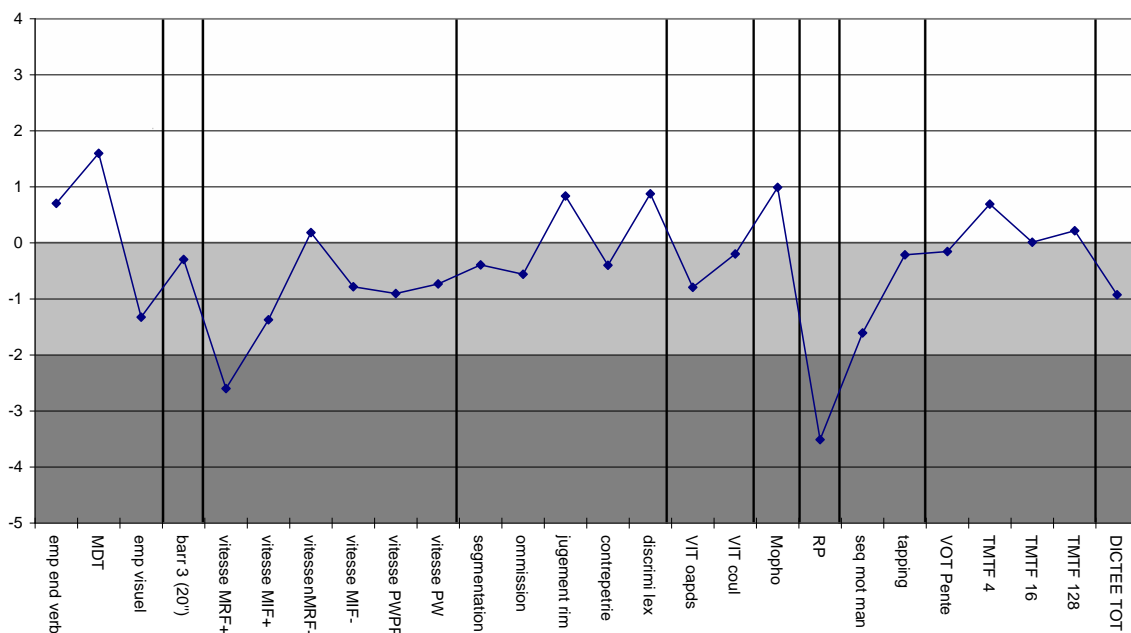


Figure 29 : Profil cognitif 515, dyslexie compensée

Le profil du sujet 524 est particulièrement intéressant, puisque c'est un enfant qui rencontre spécifiquement des difficultés au niveau des compétences visuo-attentionnelles sans trouble phonologique majeur. En ce qui concerne la lecture, il semble que ce soit sur les mots irréguliers fréquents qu'il rencontre le plus de difficultés. Ce profil tend vers une dyslexie de surface. En étudiant les diagnostics établis, cet enfant a effectivement été diagnostiqué dyslexique d'allure visuo-attentionnelle.

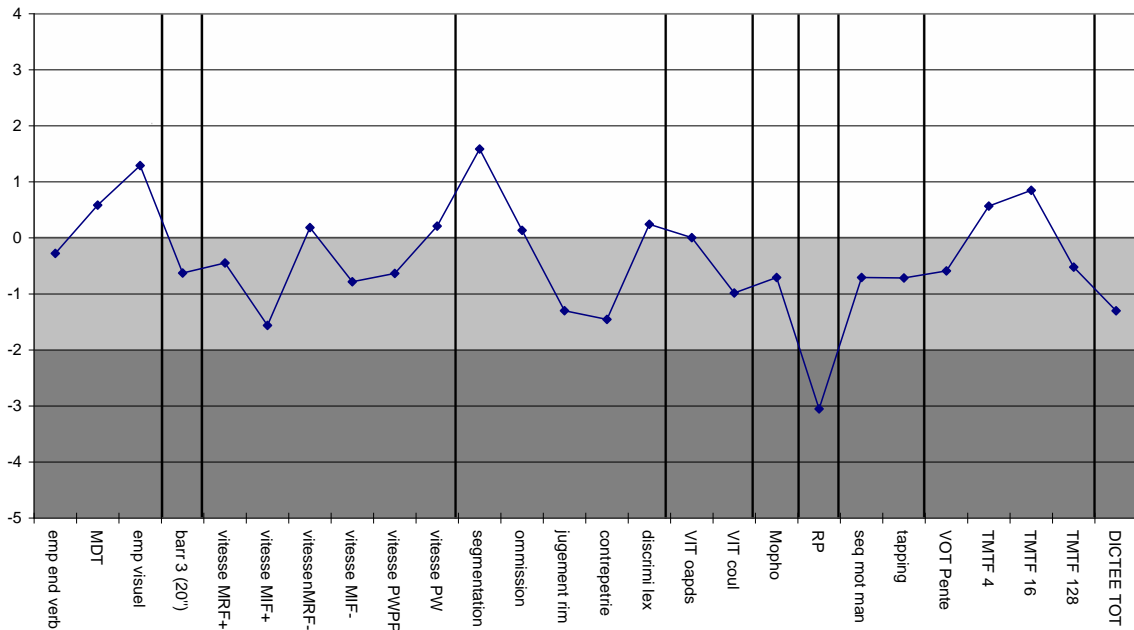


Figure 30 : Profil cognitif 524, dyslexie d'allure visuo-attentionnelle

Il est très important de connaître le profil de chaque enfant puisque cette méthode permet de mettre en évidence des profils tout à fait particuliers et spécifiques à chaque enfant. Grâce à ce profil, il sera possible pour les professionnels de mettre en place une rééducation adaptée, de façon à rééduquer les capacités cognitives déficitaires tout en s'appuyant sur les capacités qui restent préservées.

Ces profils ont une configuration différente dans le logiciel (cf. partie présentation du logiciel) pendant le principe reste identique.

c) Sélection des épreuves finales

Au total, dans le logiciel final Alex, trois types d'épreuves ont été implantées : les épreuves des compétences lexiques (lecture de mots isolés et dictée), les épreuves appelées épreuves fondamentales qui découlent du modèle prédictif (contrepeteries, omission du phonème initial, morphologie, report partiel, VOT) et enfin les épreuves dites complémentaires (le barrage de 3 transformé en barrage de 4 pour des questions de droits d'auteurs, le RAN test de lettres, la segmentation, les empan endroit et envers verbaux).

Du protocole au logiciel

De ce fait, il est possible de connaître le profil lexique de chaque enfant testé, de connaître la probabilité qu'il soit dans le groupe des dyslexiques et enfin la possibilité de créer des profils cognitifs nécessaire à une exploration plus spécifique ou à une prise en charge adaptée.

Epreuves préparatoires/lexiques lecture de listes de mots dictée
Epreuves prédictives/retenues par le modèle prédictif capacités phonologiques : omission et contrepèteries capacités morphologiques : morphologie capacités visuo-attentionnelles : report partiel capacités segmentation auditives : VOT identification/discrimination
Epreuves complémentaires/profils cognitifs mémoire : empan mémoire verbaux attention : barrage capacités phonologiques : dénomination rapide de lettres et de couleurs

Tableau 39 : Epreuves sélectionnées pour le logiciel

12. Le groupe des mauvais lecteurs : analyses spécifiques

Dans l'ensemble des résultats précédents, seuls les enfants dyslexiques et les enfants normo-lecteurs (qui n'ont pas de retard de lecture supérieur à 18 mois) sont pris en compte. Il a été décidé d'écarter treize sujets, les mauvais lecteurs, de l'échantillon en raison de leur profil particulier. En effet, ils ont un retard de lecture supérieur à 18 mois et aucun diagnostic d'un retard de lecture ou d'une dyslexie n'était accessible. C'est pourquoi par précaution, il était préférable ne pas mêler des enfants potentiellement dyslexiques dans le groupe des normo-lecteurs.

Cependant, une analyse particulière peut être réalisée sur ces 3 groupes, afin de connaître comment ils évoluent sur les différentes capacités cognitives impliquées dans la lecture.

En réalisant une analyse discriminante pas à pas, puis une analyse canonique, nous avons pu mettre en évidence les variables qui permettent de distinguer les groupes.

Du protocole au logiciel

Le modèle le plus performant inclut les variables présentées dans le tableau récapitulatif (tableau 40).

Pas		Lambda de Wilks	de Signification
1	DICTEE TOT	0,467256466	0,000
2	contrepèteries	0,365412958	0,000
3	VOT Pente	0,291106963	0,000
4	RP Pos3	0,268793166	0,000
5	barr 3 (1')	0,239311025	0,000

Tableau 40 : Variables discriminantes issues de l'analyse discriminante (NL, DYS, ML ; n=126)

L'analyse discriminante, met en évidence deux fonctions canoniques. La première explique 84 % de la variance et regroupe les variables des compétences lexiques et phonologiques. La deuxième explique 16 % de la variance et regroupe au contraire les variables mesurant des compétences associées. Il s'agit des variables qui mesurent les capacités auditives, visuo-attentionnelles, morphologiques, mémoire, attention.

La première fonction semble discriminer clairement les normo-lecteurs et les mauvais lecteurs, dont les dyslexiques font évidemment partie. La seconde fonction canonique distingue nettement le groupe des mauvais lecteurs, du groupe des dyslexiques et de celui des normo-lecteurs, comme le montre la représentation graphique (figure 31).

Dans cette perspective, même sans connaître précisément le statut des enfants mauvais lecteurs qui font partie de l'échantillon des tout-venant, cette analyse est un nouvel argument en faveur de notre démarche, puisque ce sont les épreuves complémentaires du protocole qui semblent distinguer au sein du groupe des mauvais lecteurs, le groupe des dyslexiques.

Du protocole au logiciel

	Fonction compétences lexiques phonologiques	et	Fonction compétences associées	
DICTEE TOT	0,57	*	0,08	
contrepèteries	0,56	*	0,13	
vitesse MIF+	0,51	*	0,20	
vitesse MRF+	0,50	*	0,07	
vitesse MRF-	0,48	*	0,21	
vitesse PWPP	0,47	*	0,17	
vitesse PW	0,45	*	0,18	
omission	0,38	*	-0,08	
vitesse MIF-	0,37	*	0,14	
VIT coul	0,25	*	-0,21	
VIT oapds	0,21	*	-0,06	
emp env verb	0,20	*	-0,04	
seq mot man	0,18		-0,03	
RP Pos2	0,13		0,03	
jugement rim	0,09		-0,08	
RP Pos5	0,08		0,00	
VOT Pente	-0,14		0,55	*
RP Pos3	0,20		0,24	*
RP Pos1	0,18		-0,24	*
segmentation	0,19		-0,23	*
emp visuel	-0,05		-0,20	*
emp end verb	0,12		0,15	
RP Pos4	0,10		0,13	
barr 3 (1')	-0,03		0,05	
Morpho	0,00		0,01	

Tableau 41 : Poids factoriels des variables incluses dans les facteurs issus de l'analyse canonique (NL, DYS, ML ; n=126)

Fonctions discriminantes canoniques

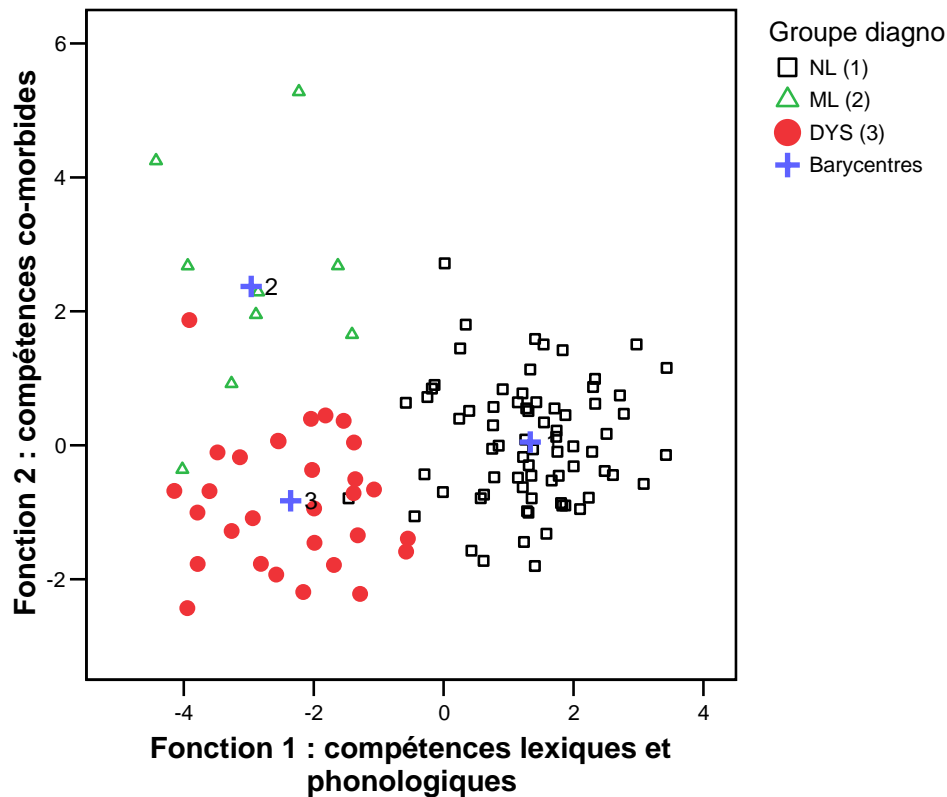


Figure 31 : Répartition graphique des dyslexiques (ronds rouges), des normo-lecteurs (carrés blancs) et des mauvais lecteurs (triangles verts) selon leurs coefficients factoriels des compétences lexiques, phonologiques et les compétences co-morbides obtenus lors de l'analyse canonique (n=126)

	Groupe diagno	Classe(s) d'affectation prévue(s)			Total
		NL	ML	DYS	
%	NL	97,260274	0	2,73972603	100
	ML	0	88,8888889	11,1111111	100
	DYS	0	3,33333333	96,6666667	100

96,4% des observations originales classées correctement.

Tableau 42 : Performances de classification de l'analyse discrimination (NL, DYS, ML ; n=126)

Très intéressante, l'analyse discriminante est performante et classe 94,6 % de l'échantillon (regroupant les trois groupes) correctement. On remarque également que le groupe des mauvais lecteurs est le plus ambigu comme évoqué au départ, puisque 11 % de ce groupe (faible en effectif) seraient, d'après cette analyse, dyslexiques.

Du protocole au logiciel

Aucune conclusion avérée ne peut être évoquée, puisque ce groupe de mauvais lecteurs est à la base mal défini et faible en effectif. Cependant, les résultats guident une nouvelle fois vers une approche intégrative des hypothèses explicatives de la dyslexie, apportant des informations nécessaires au diagnostic et notamment en le spécifiant en dehors des compétences lexiques et phonologiques qui sont très fortement liées.

Afin de tester par un autre biais l'intérêt des épreuves choisies et d'observer plus spécifiquement le groupe des mauvais lecteurs, nous avons tenté de construire des profils de lecteurs sur l'échantillon dans son ensemble, par le biais des nuées dynamiques. Cette méthode permet de regrouper, sans a priori, des données statistiques selon leur degré de ressemblance et d'organiser les données de manière à maximiser la dispersion inter-classe tout en minimisant la dispersion intra-classe.

Sur les bases des variables en lecture, la méthode des nuées dynamiques réalisée sur l'ensemble de l'échantillon (n=126) met en évidence six classes (graphique 32) :

- les classes 1 et 2 sont essentiellement constituées de normo-lecteurs (73), on peut supposer que le mauvais lecteur et les trois dyslexiques sont bien compensés au niveau des compétences lexiques.
- la classe 3 est la plus difficile à définir (six normo-lecteurs, sept mauvais lecteurs et quinze dyslexiques). Il semble que ce groupe rencontre tout de même des difficultés en lecture puisque seule la lecture des mots réguliers fréquents se situe dans la norme, les normo-lecteurs doivent se situer dans les limites sub-normales. Cette classe doit être la zone du *continuum* où les enfants en retard de lecture et dyslexiques se côtoient.
- en ce qui concerne les classes 4, 5, 6, il apparaît assez clairement qu'il s'agit des sujets ayant des difficultés importantes en lecture, en ce sens, les mauvais lecteurs situés dans ces classes, sont alors très probablement des dyslexiques.

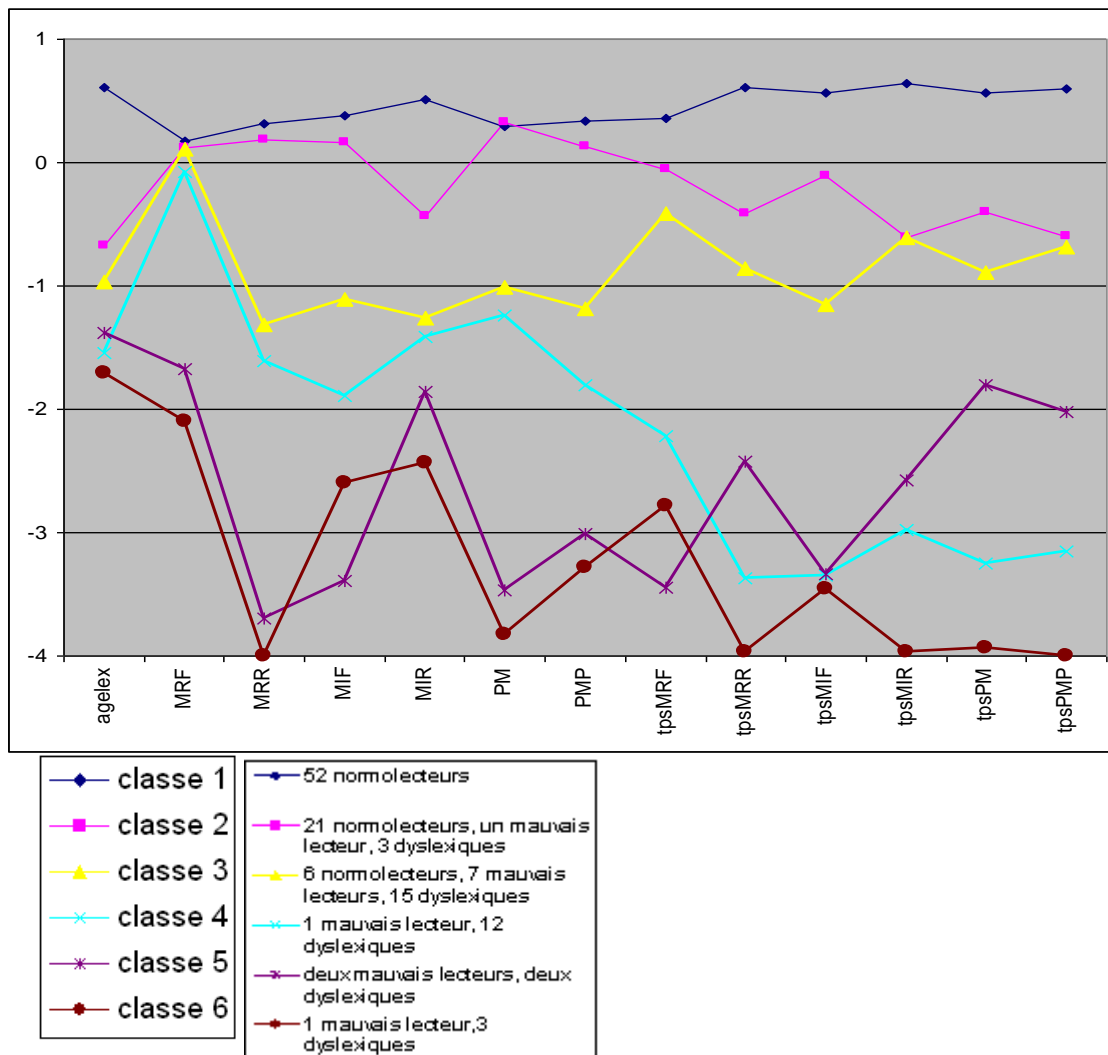


Figure 32 : Classes obtenues par les nuées dynamiques (NL, DYS, ML ; n=126)

Nous avons ensuite cherché à comparer les profils des performances obtenues dans les capacités en lien avec la lecture en regroupant les sujets dans les classes qui leur ont été attribuées et en faisant les moyennes (ces variables n'ont pas été prises en compte dans la nuées dynamiques pour faire le classement). Il s'agit bien d'une analyse sans *a priori*.

On remarque ainsi que le groupe composé de douze dyslexiques et d'un mauvais lecteur, représenté en bleu turquoise sur le graphique et dont les performances en lecture se caractérisent par une forte lenteur, est aussi celui qui montre les moins bonnes performances en report partiel. Les sujets en classe 5 et 6 sont en difficulté spécifiquement sur les compétences de phonologie. Pour les classes 1 et 2, aucune difficulté n'apparaît dans les capacités en lien avec la lecture

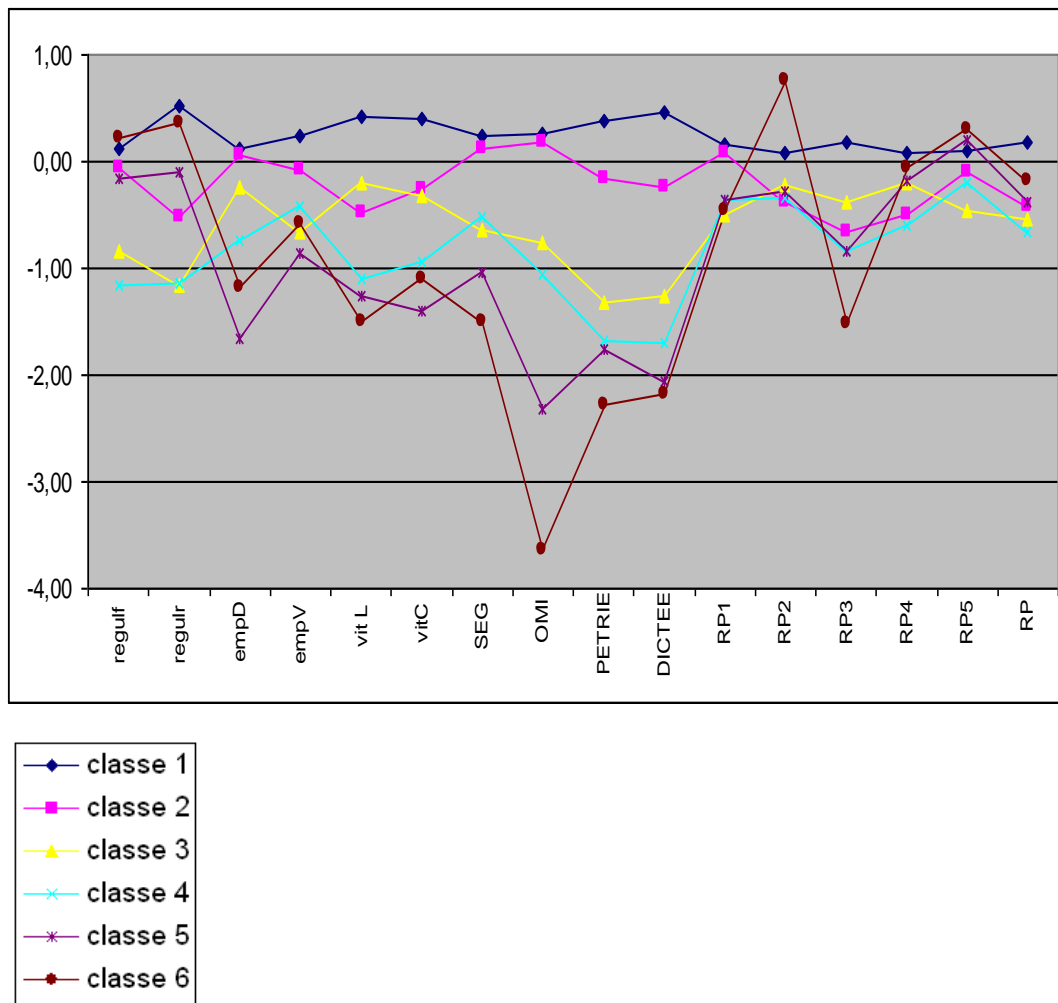


Figure 33 : Mise en perspective des capacités en lien avec la lecture en fonction des classes retrouvées par la méthode des nuées dynamiques (NL, DYS, ML ; n=126)

Cette dernière analyse permet de voir que le protocole dans son ensemble met en évidence des profils de lecture et que ces profils de lecture correspondent aux capacités cognitives en lien avec la lecture. En ce sens, l'analyse de l'échantillon est cohérente. Un enfant sans trouble de lecture ne rencontre pas de troubles cognitifs associés. Au contraire, un enfant en difficulté de lecture rencontre des difficultés dans les compétences en lien avec la lecture qui correspondent à son profil.

IV. Discussion

L'objectif de cette recherche est de fabriquer un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie. Pour ce faire, il a été choisi de considérer un grand ensemble d'hypothèses explicatives de la dyslexie, sans chercher nécessairement à valider l'une ou l'autre explication des troubles de la lecture. Au contraire, l'idée repose sur la complémentarité des différentes théories chacune ayant, selon nous, un intérêt diagnostique.

Toutefois, nous avons tenté d'observer le fonctionnement de chaque domaine cognitif individuellement, afin de mieux comprendre le fonctionnement des enfants dyslexiques. Dans cette optique, il s'agit notamment de considérer aussi les variables dans des analyses multivariées, afin de connaître l'implication des variables associées entre elles dans les troubles de la lecture.

Le protocole établi repose sur un vaste ensemble d'évaluations, les compétences lexiques (lecture et dictée) et les compétences connexes (mémoire et attention) ont été prises en compte. Les habiletés en lien avec la lecture (phonologie, dénomination rapide, morphologie, capacités visuo-attentionnelles, auditives et motrices) rapportées dans la littérature scientifique sur les origines de la dyslexie, ont également été incluses dans le protocole, de façon à obtenir une vision élargie des fonctions déficitaires chez les dyslexiques.

Les constatations apportées par nos analyses sont nombreuses et apportent des renseignements précieux.

Les compétences lexiques sont évidemment très déficitaires chez les dyslexiques que ce soit en lecture et en orthographe. De plus, les troubles phonologiques se situent au premier plan comme il a souvent été mis en évidence dans les recherches (Castles et Coltheart, 2004 ; Ramus et al., 2003). Quelles que soient les analyses statistiques, les variables phonologiques expliquent le plus souvent une grande part des troubles rencontrés par les dyslexiques. Les différences de performances entre le groupe des normo-lecteurs et celui des dyslexiques sont flagrantes dans ce domaine. Toutefois, ces variables ne rendent pas compte de la grande hétérogénéité rencontrée chez les dyslexiques. Ces résultats confortent nos choix, puisqu'il semble évident que la dyslexie a plusieurs facettes, et qu'il est donc nécessaire d'évaluer le plus grand nombre d'habiletés impliquées dans la lecture pour pouvoir ensuite proposer une prise en charge rééducative au plus près des difficultés.

Du protocole au logiciel

Les variables que nous avons nommées « contrôles » dont font partie la mémoire à court terme et les capacités attentionnelles offrent également des informations. Il semble que les dyslexiques soient pénalisés par la faiblesse des empan verbaux endroit et envers, tout en présentant des performances de mémoire à court terme visuel dans la norme. Ces résultats corroborent les approches signifiant un trouble particulier de la mémoire à court terme notamment avec un déficit de la boucle phonologique (Benevetti et al., 2009 ; Jeffries et al., 2004 ; Kibby et al., 2009). Au niveau attentionnel, les résultats sont plus nuancés, même si le barrage en un temps court (20 secondes) indique des performances qui tendent à être déficitaires chez les dyslexiques. On peut penser que c'est la stratégie d'exploration visuelle qui est déficitaire chez les dyslexiques, réalité à mettre en lien avec les théories visuo-attentionnelles ou magnocellulaire puisqu'elle évoque une défaillance dans l'orientation du regard (Facoetti et al., 2006).

Contrairement aux hypothèses évoquées qui découlent des observations faites dans les recherches récentes sur la dyslexie (Casalis et al., 2004 ; Joanisse, Manis, Keating et Seidenberg, 2000), les dyslexiques ont des performances identiques à celles des normo-lecteurs dans les compétences morphologiques. Les exercices étaient probablement trop faciles et donc pas assez sensibles. Toutefois, les compétences morphologiques sont intégrées dans le modèle prédictif pour participer à l'évaluation des compétences linguistiques des enfants dépistés.

Les capacités motrices n'ont été mesurées que par des exercices de motricité manuelle. Bien qu'elles ne mesurent pas l'ensemble des capacités motrices, nous avons repéré que certains dyslexiques étaient nettement moins performants dans les compétences de séquentialité gestuelle que les normo-lecteurs, alors même que les performances de dextérité digitales sont équivalentes dans les deux groupes. Dans notre population, les dyslexiques qui rencontrent des troubles moteurs, présentent également un déficit phonologique. Dans cette perspective, l'évaluation des capacités motrices offre seulement comme intérêt de préciser le diagnostic en apportant des éléments complémentaires mais non décisionnels. Toutefois, les compétences de séquences gestuelles n'ont pas été intégrées dans le logiciel final pour des problèmes liés aux droits d'auteurs. Il est possible, toutefois d'y faire référence ou de l'intégrer plus tard en fonction de l'évolution, de ce logiciel.

Du protocole au logiciel

Concernant, plus spécifiquement, les analyses tentant d'éprouver les hypothèses explicatives des origines de la dyslexie : l'existence d'un double déficit entre la dénomination rapide et les capacités métaphonologiques, l'existence d'un trouble visuo-attentionnel comme origine de la dyslexie indépendamment d'un trouble phonologique et l'implication des troubles du traitement temporel sur les difficultés de mise en place des compétences phonologiques, les observations nous renseignent tout particulièrement.

L'indépendance entre les capacités métaphonologiques et la dénomination rapide n'est pas confirmée par nos résultats. En effet, les analyses mettent en évidence des corrélations fortes entre ces épreuves, qui sont elles même fortement reliées aux compétences en lecture. L'analyse factorielle dégage, comme attendu, deux facteurs : un facteur incluant les variables métaphonologiques et un facteur regroupant les variables de dénomination rapide. En étudiant ces deux types de variables uniquement, qui explique une part importante de la variance en lecture (60 %), seuls 9 % des dyslexiques rencontrent un trouble de dénomination rapide sans trouble phonologique, et 6 % un double déficit. Les proportions retrouvées sont loin de celles évoquées par Wolf et al. (1999). Au regard de ces résultats, il ne semble pas que l'analyse de la dénomination rapide seule, indépendamment des capacités métaphonologiques apporte des indications fondamentales. En revanche, considérer les troubles de la dénomination rapide comme des variables phonologiques semble tout à fait approprié et ne retire rien au pouvoir particulièrement explicatif de ces variables sur les compétences en lecture.

Concernant les capacités visuo-attentionnelles, les données expérimentales sont de plus en plus nombreuses, et aujourd'hui des rééducations spécifiques commencent à être mises en place (Valdois, 2010). Les analyses statistiques ont montré une indépendance entre les capacités visuo-attentionnelles et les compétences phonologiques. Toutefois, le lien entre les capacités visuo-attentionnelles et les compétences en lecture reste modeste. L'analyse factorielle réalisée met en évidence deux facteurs orthogonaux, celui des capacités phonologiques (incluant les variables de segmentation, contrepèteries, omission et les vitesses de dénomination rapide) et celui des capacités visuo-attentionnelles. La dispersion des dyslexiques indique qu'environ 30 % d'entre eux rencontrent un trouble visuo-attentionnel. Lors de l'analyse spécifique de l'échantillon de dyslexiques qui repose sur une description détaillée de l'échantillon, on observe trois cas de dyslexiques qui rencontrent uniquement des troubles visuo-attentionnels sans trouble phonologique. Dans l'ensemble, les résultats

Du protocole au logiciel

conduisent à considérer les capacités visuo-attentionnelles comme essentielles au cours du diagnostic de la dyslexie. L'inclusion de l'évaluation de ces capacités dans le modèle prédictif le plus performant offre un argument appuyant cette constatation.

Enfin, l'analyse des performances obtenues dans les épreuves auditives n'indique pas clairement de différence entre les groupes de normo-lecteurs et de dyslexiques. Plus particulièrement, au sujet de la TMTf, qui se réfère aux hypothèses de Tallal, les résultats obtenus sont loin de ceux évoqués par Tallal. En effet, les épreuves recréées avec un format différent qui tente néanmoins de les reproduire, n'ont aucun pouvoir pour discriminer un enfant dyslexique d'un enfant normo-lecteur.

Nous n'avons pas, non plus, établi de lien entre les compétences auditives et les compétences phonologiques. Cependant, malgré des résultats peu discriminants, le VOT est intégré dans le logiciel final Alex via le modèle prédictif. Il existe en effet un réel intérêt à l'évaluation de ces capacités dans le diagnostic de la dyslexie. La voie d'un trouble de segmentation auditive chez les dyslexiques reste à explorer et pourra apporter de nouveaux éléments concernant la dyslexie, alors que le trouble du traitement temporel n'offre, à la lumière de nos résultats, que peu de pertinence.

L'analyse des données recueillies auprès de l'échantillon a permis d'élaborer le logiciel Alex. En partant d'un grand ensemble d'épreuves, essayant de recouvrir tous les domaines cognitifs impliqués dans la lecture, nous avons eu recours à un modèle prédictif (via une analyse de régression logistique) destiné à adapter cet outil d'aide au diagnostic aux préoccupations des professionnels de la santé, en étant à la fois d'utilisation rapide (le moins chronophage possible), sensible et spécifique au diagnostic.

Mais dans un souci de complémentarité et pour rendre compte de la diversité des troubles associés à la dyslexie, nous avons souhaité offrir avec cet outil la possibilité (avec cependant un temps de passation rallongé) de créer des profils cognitifs représentant les capacités de l'enfant dans les domaines cognitifs associés dans la lecture.

Au final, trois types d'épreuves ont été implantés dans le logiciel Alex :

- les épreuves lexiques (lecture de mots et dictée)
- les épreuves fondamentales (issues du modèle de régression), les performances à ces épreuves entrant dans la formule de régression et donnant alors un seuil de probabilité d'appartenir au groupe des enfants dyslexiques

Du protocole au logiciel

- les épreuves complémentaires (permettant de créer les profils cognitifs et d'orienter par la suite la prise en charge).

L'analyse plus spécifique sur l'échantillon des dyslexiques, reposant sur les observations sur le diagnostic de ces enfants, a permis de faire correspondre les profils de dyslexie diagnostiquée avec les profils de lecture et d'habiletés en lien avec la lecture. En effet, les dyslexiques sévères sont ceux chez qui les déficits dans les habiletés cognitives sont les plus altérés. Les dyslexiques rencontrant des difficultés spécifiquement sur la lecture de mots irréguliers (dyslexie de surface ou dyslexie mixte compensée sur la voie phonologique) ont tendance à se montrer déficitaires sur les compétences visuo-attentionnelles.

Enfin, l'étude de l'échantillon avec les nuées dynamiques met en lumière toutes les difficultés qui existent dans la distinction entre un retard de lecture (mauvais lecteurs) et une dyslexie. Cette difficulté diagnostique est bien liée à l'existence d'un *continuum* de performances en lecture mais aussi dans les compétences dans les habiletés en lien avec la lecture.

En revanche, l'analyse discriminante met en évidence trois groupes distincts : normo-lecteurs, mauvais lecteurs et dyslexiques avec 94,6 % de classement correct à partir des performances obtenues dans les variables dictée, contrepèteries, VOT pente, report partiel (3) et barrage de 3. On peut alors penser que les variables retenues dans le logiciel offrent suffisamment de précisions pour le diagnostic de dyslexie.

PRÉSENTATION DU LOGICIEL ALEX

-essai sur 3 enfants dyslexiques-

Introduction

A l'issue de la sélection des épreuves, l'entreprise Dixid, partenaire du projet Ready, s'est chargée d'implanter sous forme informatique le logiciel Alex. Sans rentrer dans les détails techniques, l'objectif est de retracer sommairement les étapes et discussions qui ont conduit à l'élaboration du logiciel. Dans cette ultime partie, il s'agit de définir les objectifs du logiciel, puis de s'appuyer sur des études de cas pour présenter ses fonctionnalités concrètes.

La passation complète du logiciel Alex a été reproduite à partir des résultats obtenus aux épreuves papier/crayon par trois enfants de notre échantillon diagnostiqués comme dyslexiques : un enfant rencontrant une dyslexie de surface (ancien mixte, compensé sur la voie phonologique avec maintien des troubles visuo-attentionnels selon le bilan établi au CRRF de Trestel), un enfant rencontrant une dyslexie phonologique et un enfant rencontrant une dyslexie mixte sévère. Ainsi, il est possible de mieux apprécier, par un aperçu clinique, la forme finale du logiciel en s'appuyant sur les performances « typiques » qui peuvent être observées. Si la singularité des profils conformes à ces formes de dyslexie apparaît, toutefois, il ne faut en dégager aucune conclusion générale et définitive, une étude sur un plus grand nombre de sujets s'avérant nécessaire dans ce type de démonstration.

Le but est de combiner l'observation des résultats en fonction de la typicité de la dyslexie et une présentation détaillée et concrète de l'outil tel qu'il existe aujourd'hui.

L'outil Alex possède trois catégories d'épreuves. Les résultats des épreuves dites obligatoires sont nécessaires au calcul de probabilité, via la formule de régression. En effet, avec les performances obtenues par l'enfant à ces épreuves, on peut connaître la probabilité de posséder ou non un trouble du langage écrit. Les résultats des épreuves complémentaires établissent un profil cognitif qui servent mettre en place une prise en charge rééducative de la part des professionnels. Le dernier type d'épreuves est indispensable pour mesurer les compétences lexiques.

I. Entrée dans le logiciel

L'entrée du logiciel se fait par le biais d'un identifiant et d'un mot de passe, afin de respecter les règles du secret professionnel auquel les professionnels de la santé sont soumis.



Figure 34 : Page écran d'identification

Dans un second temps, la liste des dossiers complets ou en cours s'affiche une fois l'identification faite. Les informations disponibles concernent les dates de passation, les noms et prénoms des enfants, leurs numéros d'identification et une pastille de couleur indiquant si toutes les épreuves ont été réalisées (pastille verte) ou non (pastille orange). Un moteur de recherche par nom, date ou numéro d'identification est également à disposition.

Présentation du logiciel

Alex - [Liste des dossiers]

Alex Utilisateur Dossier Matériel ?

Liste des dossiers

Date Nom Prénom Numéro Recherche

5 dossiers trouvés Tous les dossiers

Date	Nom	Prénom	Numéro	Etat
05/11/2006	507	dys sévère	VR000107	●
09/01/2007	512	dys phono	DYS 0108	●
06/02/2007	515	dys compensé (VA)	515D0109	●
03/11/2009	B	E	Ebon0106	●
26/08/2009	P	François	Fran0105	●

Nombre de dossiers total : 5

- Dossiers complets : 4
- Dossiers incomplets : 1 (au moins une épreuve non terminée)
- Dossiers 0 épreuves : 0 (aucune épreuve commencée)

Afficher tous les résultats par page

<< < 1 > >>

Supprimer Ouvrir

Figure 35 : Page écran de la liste des dossiers

Parmi les dossiers présents sur la page, nous nous intéresserons tout particulièrement au dossier « dys sévère », « dys phono » et « dys compensé », à savoir les trois sujets sélectionnés dans l'échantillon en raison de la spécificité de leurs types de dyslexie. En effet, le « dys sévère » rencontre des difficultés très importantes, le « dys phono » comme son nom l'indique est un dyslexique qui rencontre des difficultés au niveau des compétences phonologiques, enfin le « dys compensé » déficitaire sur certaines compétences notamment dans le domaine visuo-attentionnel est relativement performant en lecture et dans les capacités phonologiques. Les intitulés correspondent aux diagnostics posés par l'équipe du CRRF de Trestel.

Voici par exemple, la page d'information de l'enfant « dys sévère », sur laquelle on retrouve la date de passation, le nom, la date de naissance, le genre, la latéralité, la classe, les classes de doublements éventuels et enfin des informations relatives à d'hypothétiques

Présentation du logiciel

diagnostics déjà posés, voire des évaluations déjà réalisées pour assurer la continuité entre les différents bilans déjà effectués.

The screenshot shows the 'Alex - [Dossier]' software interface. The main window is titled 'Alex - [Dossier]' and contains a navigation menu with 'Utilisateur', 'Dossier', and 'Matériel'. The main content area is divided into two panes. The left pane, titled 'Dossier de dys sévère 507 n° VR000107', contains links for 'Fiche d'informations sur l'enfant', 'Liste des épreuves', 'Résultats des épreuves', and 'Fermer le dossier'. The right pane, titled 'Fiche d'informations de l'enfant Dossier VR000107', contains the following fields and sections:

- Date de passation ***: 05/11/2006
- Nom de l'examineur ***: troles.nolwenn
- L'enfant**:
 - Nom ***: 507
 - Prénom ***: dys sévère
 - Date de naissance ***: 23/07/1997
 - Genre**: fille garçon
 - Latéralité**: droitier gaucher ambidextre
 - Classe actuelle**: CM1
 - 1er redoublement**: [dropdown]
 - 2ème redoublement**: [dropdown]
- Les tests et diagnostics antérieurs**:

	Date	Nom du spécialiste	Lieu
<input type="checkbox"/> Diagnostiqué dyslexique	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan neuropsychologique	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan intellectuel	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan acuité visuelle	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan orthophonique	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan acuité auditive	__/__/__		
<input type="checkbox"/> Bilan ergothérapique	__/__/__		
- Observations**: ex : troubles associés, résultats des bilans ...

At the bottom of the form are buttons for 'Imprimer', 'Annuler', 'Enregistrer', and 'Continuer'.

Figure 36 : Page écran de renseignement de l'enfant "dys sévère"

II. Le déroulement

La saisie des données du patient donne accès à une page où s'affiche la liste des épreuves du logiciel.

Présentation du logiciel

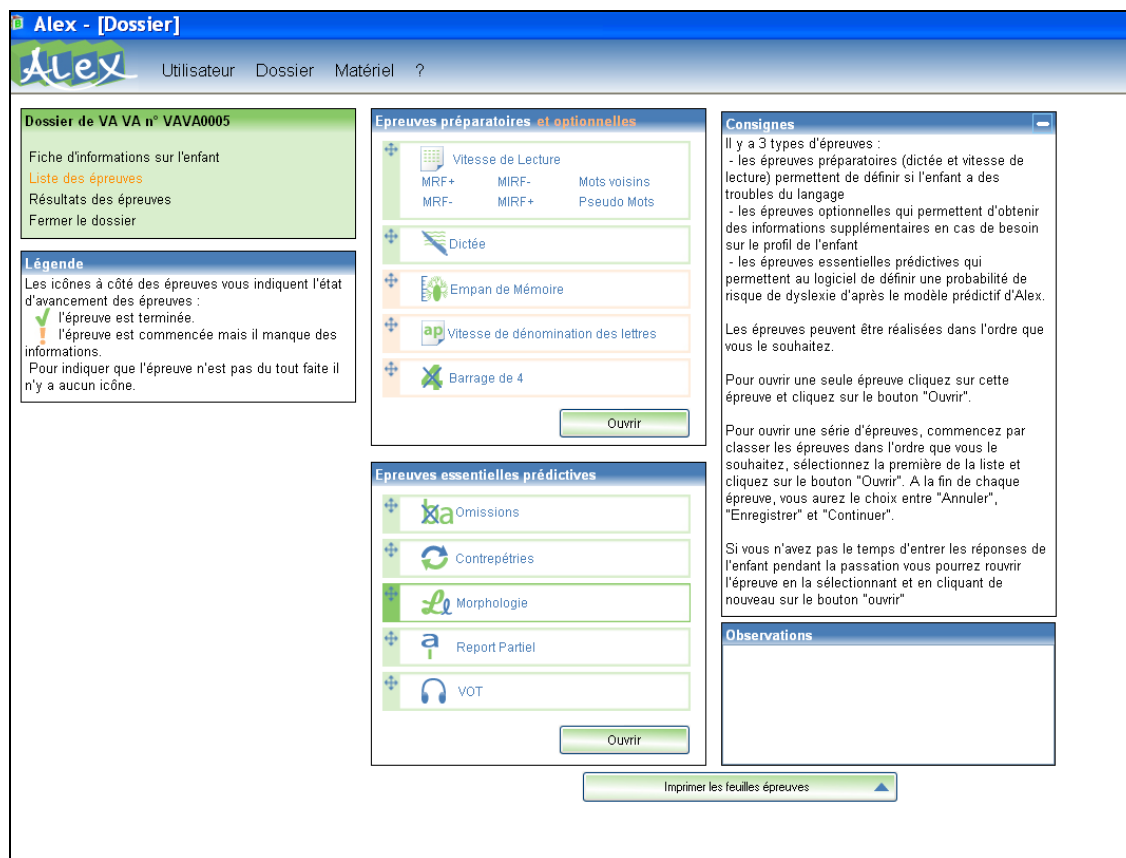


Figure 37 : Page écran de la liste des épreuves

La répartition des épreuves, évoquée dans la partie précédente, distingue les épreuves dites « préparatoires » (lecture de listes de mots, dictée), les épreuves « optionnelles » (empans de mémoire, attention, dénomination de lettres) et les épreuves « prédictives » issues du modèle prédictif (omission, contrepétories, morphologie, report partiel, épreuves auditives).

Les épreuves peuvent être réalisées dans n'importe quel ordre, en fonction du temps disponible, du choix du professionnel et de la fatigue de l'enfant, en cliquant tout simplement sur l'onglet correspondant.

1. Les épreuves préparatoires :

a) Lecture de mots isolés :

Comme dans le protocole Ready, l'enfant est confronté à la lecture de six listes de mots isolés: vingt mots réguliers fréquents, vingt mots irréguliers fréquents, vingt mots réguliers non fréquents, vingt mots irréguliers non fréquents, vingt pseudo-mots proches phonologiquement de mots existants, vingt pseudo-mots.

La feuille de passation (figure 39) est imprimable de façon isolée ou avec l'ensemble des feuilles nécessaires à la passation de toutes les épreuves.

Grâce au chronomètre intégré, la vitesse de lecture est calculée automatiquement en fonction du temps et du nombre de mots correctement lus par l'enfant.

Dans chaque exercice, les consignes à donner à l'enfant, ainsi que les conseils de passation pour l'examineur sont systématiquement accessibles visuellement sur la droite de l'écran.

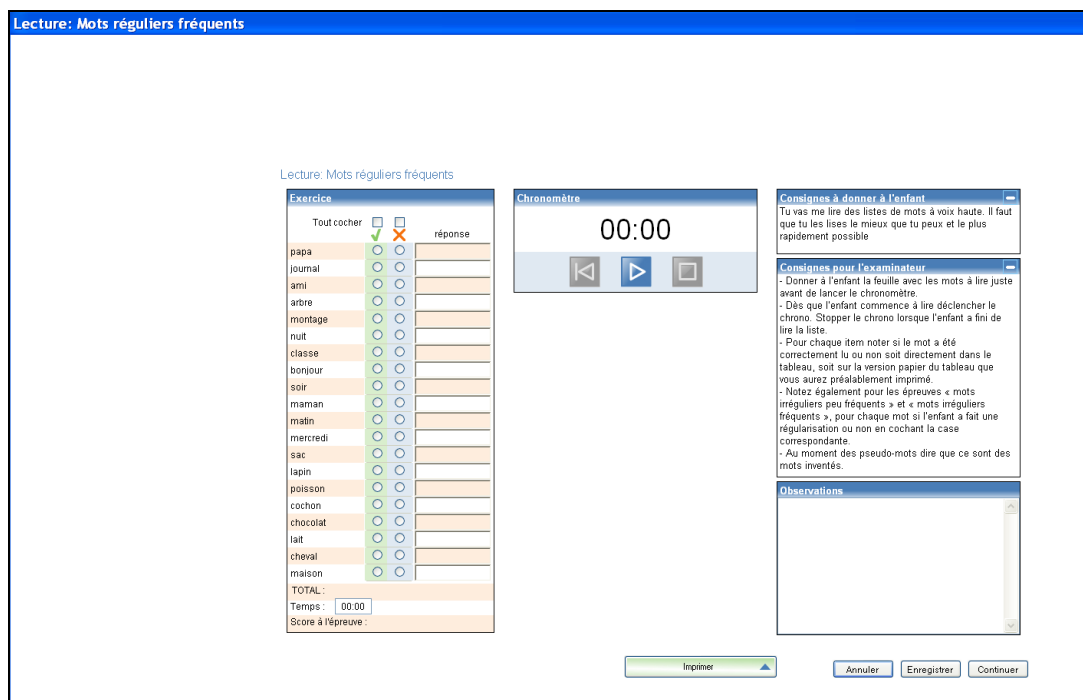
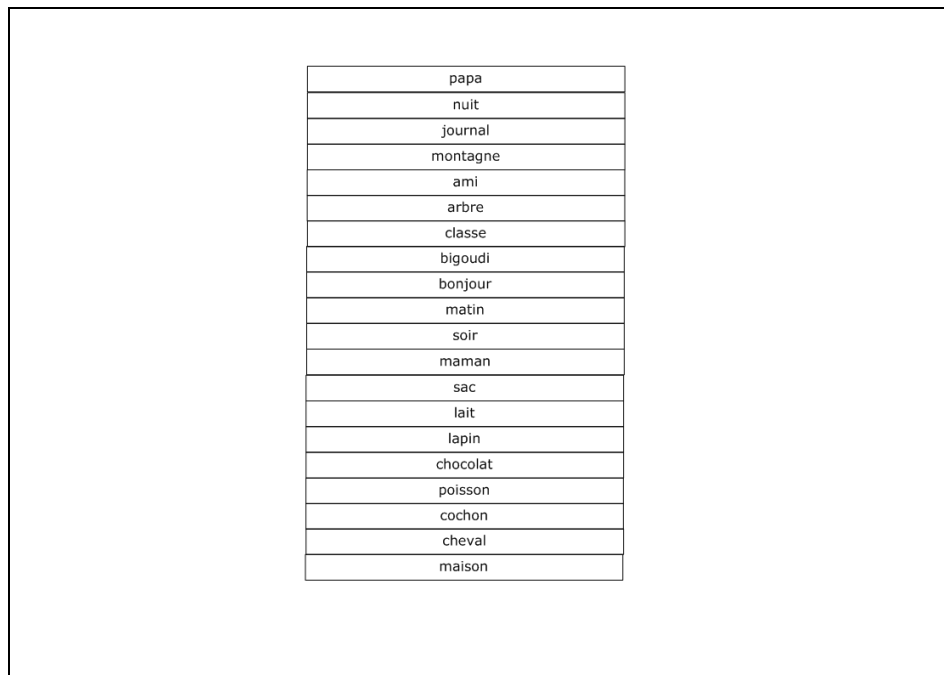


Figure 38 : Page écran de l'épreuve de lecture de liste de mots



papa
nuit
journal
montagne
ami
arbre
classe
bigoudi
bonjour
matin
soir
maman
sac
lait
lapin
chocolat
poisson
cochon
cheval
maison

Figure 39 : Rendu graphique de la page qui sera imprimée pour l'enfant

b) Dictée :

Sur une feuille préalablement imprimée (figure 41), l'enfant doit compléter une dictée à trous, en suivant les phrases dictées par l'ordinateur. En appuyant sur l'icône représentant un mégaphone, le mot à écrire est entendu par l'enfant. Le professionnel de la santé peut faire répéter les phrases autant de fois que l'enfant le souhaite.

Les règles à appliquer sont strictes pour garantir la validité des résultats. Seul un type d'erreur qui est coté, les autres erreurs d'orthographe se sont pas prises en compte. En effet, ce qui est noté comme étant correct correspond à la capacité de l'enfant à intégrer les règles orthographiques élémentaires de la langue française : devant les lettres « p » ou « b », il faut mettre un « m » ; il faut indiquer « gu » devant les voyelles « e » et « i ». Toutes les autres erreurs ne sont pas comptabilisées.

Présentation du logiciel

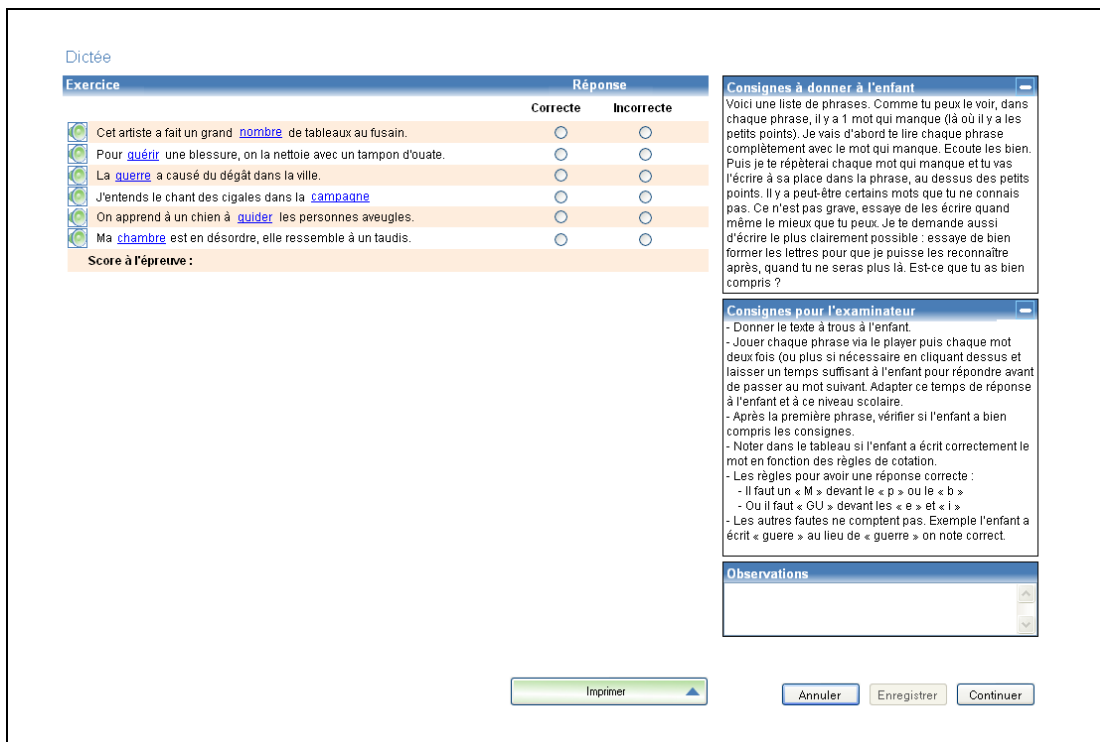


Figure 40 : Page écran de l'épreuve de dictée

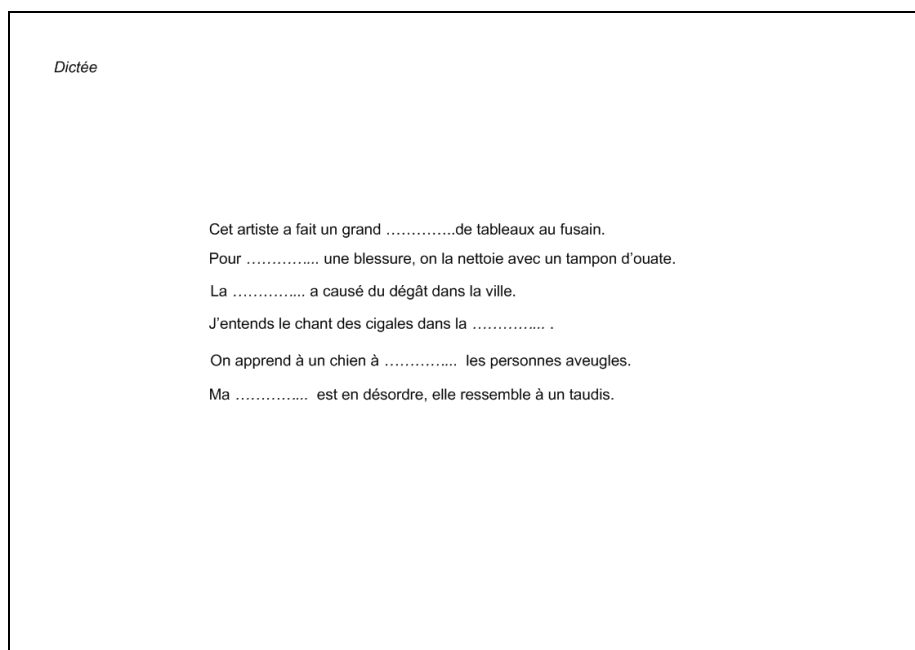


Figure 41 : Rendu graphique imprimé pour l'enfant

Présentation du logiciel

2. Les épreuves optionnelles :

a) Empans de mémoire verbale

Le test se présente sous deux formes : empan droit et empan envers. L'examineur donne des chiffres à l'enfant et lui demande de les répéter dans l'ordre (empan droit) puis à l'envers (empan envers).

L'examineur commence par l'empan droit, il commence par trois chiffres puis augmente la difficulté jusqu'à ce que l'enfant échoue deux fois de suite sur des items contenant le même nombre de chiffres : score de l'empan droit.

Par la suite, l'examineur donne l'autre série de chiffres à l'enfant, en lui demandant de les répéter en commençant par le dernier (empan envers). L'exercice débute par des séries de deux chiffres et augmente le nombre de chiffres avec le même procédé. On mesure alors l'empan envers.

Empans de mémoire

Exercice droit	Réponse	
	Correcte	Incorrecte
9 - 4 - 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1 - 8 - 5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - 3 - 5 - 6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - 4 - 1 - 9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - 2 - 5 - 7 - 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - 3 - 6 - 2 - 8	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - 2 - 4 - 1 - 8 - 5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - 3 - 8 - 2 - 1 - 6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - 6 - 7 - 4 - 3 - 8 - 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - 4 - 2 - 5 - 8 - 6 - 1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Score à l'exercice droit :

Score à l'épreuve :

Exercice envers	Réponse	
	Correcte	Incorrecte
4 - 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - 7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - 3 - 5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - 1 - 6	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - 4 - 2 - 5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1 - 5 - 2 - 9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - 4 - 2 - 1 - 7	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - 2 - 9 - 6 - 5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - 9 - 6 - 8 - 1 - 3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - 3 - 1 - 9 - 6 - 4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Score à l'exercice envers :

Consignes à donner à l'enfant

Empans droit :
« Je vais te dire plusieurs chiffres l'un après l'autre. Tu dois répéter les chiffres que j'ai dit dans le même ordre que moi. Comme c'est difficile tu n'arriveras peut-être pas à te rappeler de tous les chiffres, mais tu essayeras de me rappeler le plus de chiffres que tu peux dans l'ordre. Par exemple si je te dis 2-9-6. »

Empans envers :
« Maintenant tu dois répéter les chiffres que j'ai dit mais à l'envers, en partant du dernier que j'ai dit. Par exemple si je dis 4-2, tu dois répondre... »

Consignes pour l'examineur

Donner les chiffres les uns après les autres assez lentement.
Cochez juste ou faux en fonction de la réponse de l'enfant

Observations

Imprimer Annuler Enregistrer Continuer

Figure 42 : Page écran de l'épreuve d'empans de l'enfant "dys sévère"

Présentation du logiciel

b) Dénomination rapide

On présente une feuille (imprimée) au format A 4 avec une liste de 5 lignes de 10 lettres parmi O – A – P – D – S (50 lettres au total) : l'enfant doit lire les lettres le plus rapidement possible, sans faire d'erreur. On mesure le temps mis et le nombre d'item réussis.

On peut noter les erreurs directement sur l'écran en cochant sur la lettre mal dénommée. Le score « vitesse » apparaît directement une fois le chronomètre arrêté.

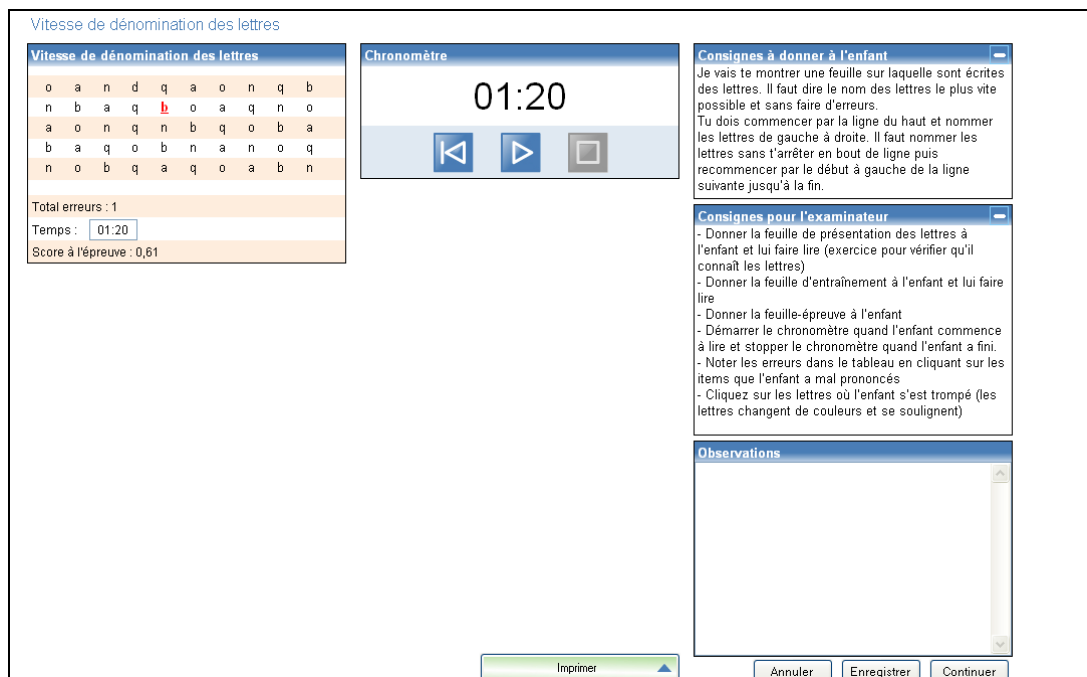


Figure 43 : Page écran de l'épreuve de dénomination rapide

c) Barrage de 4

L'enfant doit barrer un certain type de figure parmi d'autres. Il doit aller le plus vite possible, de gauche à droite, en évitant de revenir en arrière. Dans ce test, l'enfant doit barrer des 4 parmi d'autres chiffres. Ce test se passe en version papier/crayon mais la correction se fait sur l'ordinateur, on note le score obtenu, ce résultat sera alors intégré dans les profils.

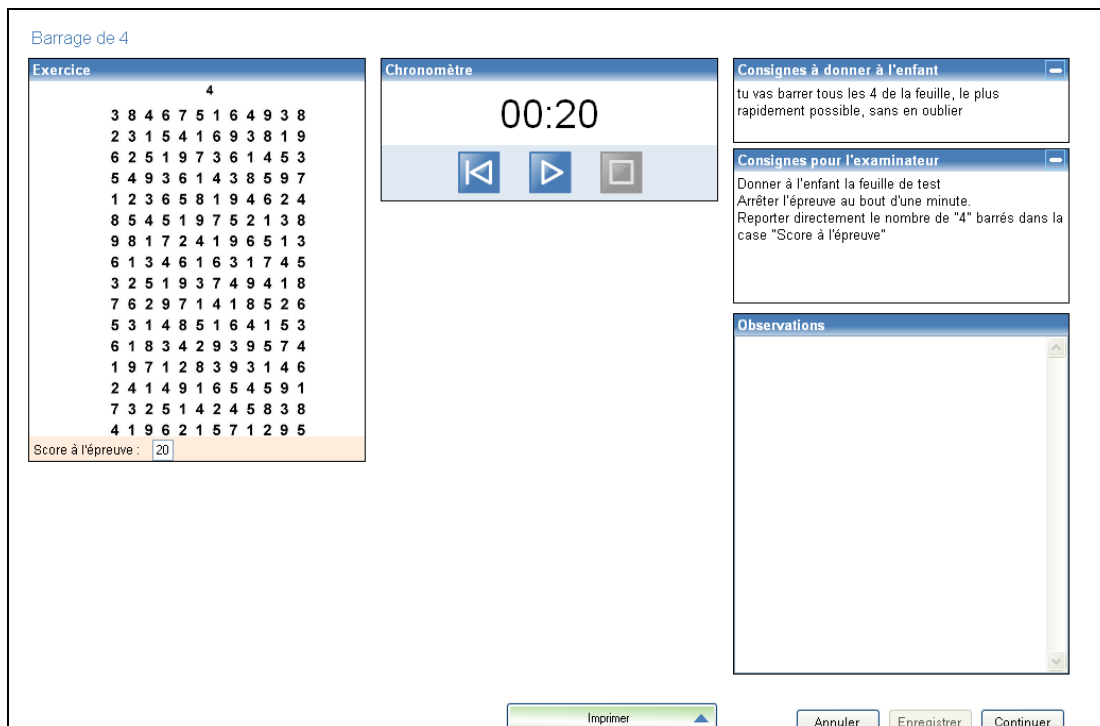


Figure 44 : Page écran de l'épreuve de barrage de 4

3. Les épreuves prédictives :

a) Omission

Ce test consiste à donner oralement à l'enfant des mots dont il doit enlever le premier son (exemple : orange = range ; caverne = averne). L'exercice commence par un entraînement, qui comporte quatre items, on cherche à habituer l'enfant puis on s'assure que la consigne est bien comprise. Ensuite, l'examineur appuie sur l'icône « mégaphone », l'enfant entend, alors, les mots à transformer. Les bonnes et les mauvaises réponses sont notées au fur et à mesure.

Il existe, dans chaque exercice, un cadre où le professionnel peut noter des diverses observations.

Présentation du logiciel

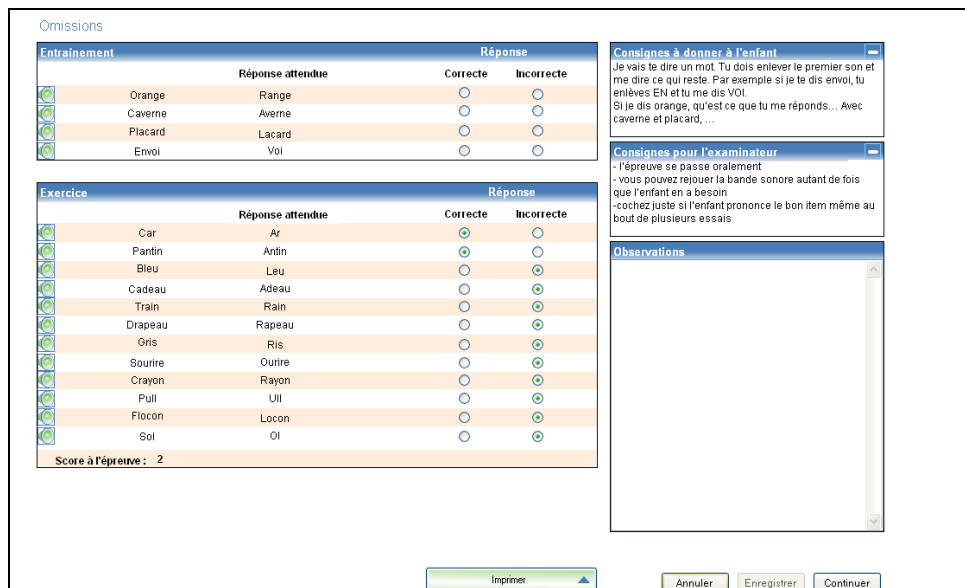


Figure 45 : Page écran de l'épreuve omission de l'enfant "dys sévère"

b) Contrepèteries

Ce test consiste à donner oralement à l'enfant dix paires de mots dont il doit inverser les premiers phonèmes (exemple : banane et journal = janane et bournal). L'exercice commence par un entraînement de trois exemples pour vérifier que les consignes ont été correctement comprises.

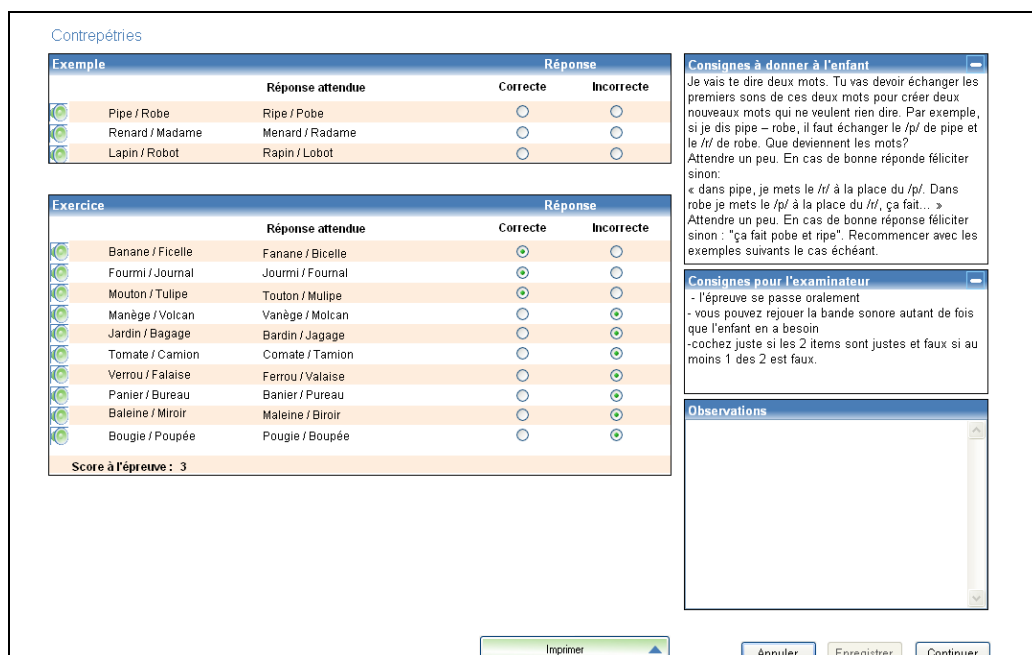


Figure 46 : Page écran de l'épreuve de contrepèteries de l'enfant "dys sévère"

Présentation du logiciel

c) Morphologie

La première partie de ce test consiste à donner oralement à l'enfant des phrases par groupe de trois dont il doit déterminer si elles sont vraies ou fausses en disant oui ou non (exemple : un chaton est un bébé chat = oui ; un ânon est un bébé âne = oui ; un canon est un bébé cane = non). Les phrases sont données par l'ordinateur via l'onglet « mégaphone ».

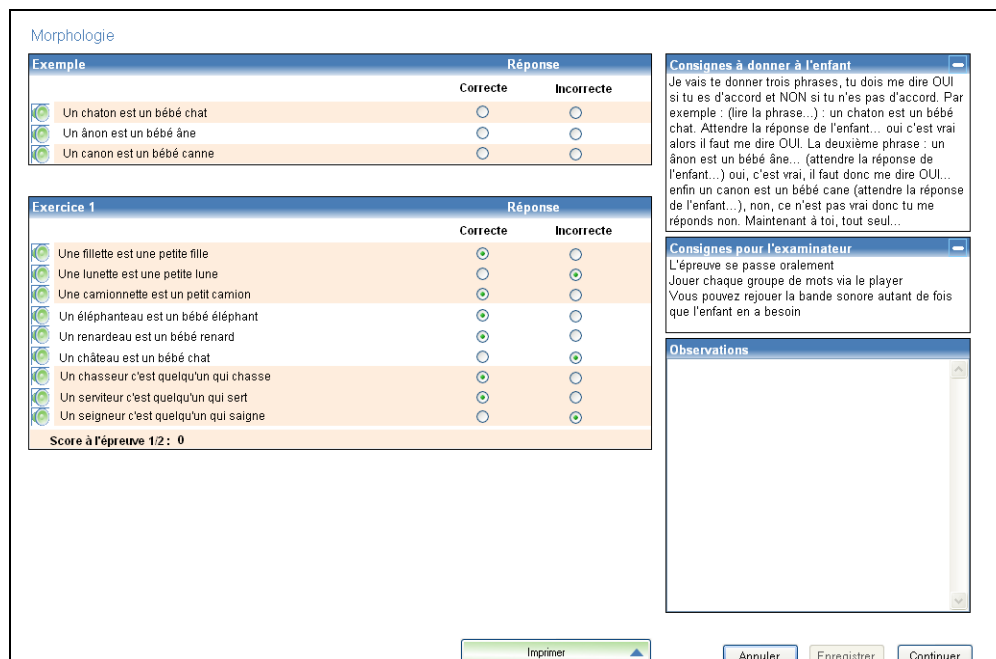


Figure 47 : Page écran de l'épreuve de morphologie (partie 1)

La seconde partie consiste à donner oralement à l'enfant des mots par groupes de quatre au sein desquels il doit repérer le mot intrus dans lequel la syllabe « re » ne signifie pas faire deux fois la même chose (exemple : recoller, regretter, reparler, repartir ; seul le verbe regretter correspond à cette catégorie).

Présentation du logiciel

Morphologie

Exemple				Réponse	
				Correcte	Incorrecte
<input type="checkbox"/> Recoller	<input checked="" type="checkbox"/> Regretter	<input type="checkbox"/> Reparler	<input type="checkbox"/> Repartir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Exercice 2				Réponse	
				Correcte	Incorrecte
<input checked="" type="checkbox"/> Refermer	<input type="checkbox"/> Rejouer	<input checked="" type="checkbox"/> Remercier	<input type="checkbox"/> Relancer	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Remonter	<input checked="" type="checkbox"/> Remuer	<input type="checkbox"/> Retrouver	<input type="checkbox"/> Relire	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Recevoir	<input type="checkbox"/> Refaire	<input type="checkbox"/> Revoir	<input type="checkbox"/> Reprendre	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Score à l'épreuve 2/2 : 3
Score Total : 3

Consignes à donner à l'enfant
Je vais te donner quatre mots, tu devras me dire dans quel mot la syllabe « re » ne veut pas dire faire la même chose deux fois... on va faire un exemple. Recoller, regretter, reparler, repartir. Recoller veut dire recoller deux fois, reparler signifie parler deux fois, repartir veut dire partir deux fois, mais regretter ne veut pas dire « gretter » deux fois car gretter c'est un mot qui n'existe pas... essaye tout seul avec les mots suivants...

Consignes pour l'examineur
Régler le volume sonore de votre ordinateur
L'épreuve se passe oralement
Vous pouvez rejouer la bande sonore autant de fois que l'enfant en a besoin

Observations

Imprimer Annuler Enregistrer Continuer

Figure 48 : Page écran de l'épreuve de morphologie (partie 2)

d) Report partiel

Le test commence par un pré-test, qui contient entre quinze et vingt séries de lettres, on cherche à habituer l'enfant à la rapidité d'apparition des lettres. Le test est informatisé et comporte cinquante séries de cinq lettres. Un point apparaît sur l'écran pour fixer l'attention de l'enfant. Il est demandé à l'enfant de fixer le point qui apparaît au centre de l'écran. Cinq consonnes apparaissent pendant 350 ms, avec un tiret sous l'une des lettres. Une fois que les lettres ont disparu de l'écran, l'enfant doit déterminer sous quelle lettre se situait le tiret. On tape la lettre indiquée par l'enfant sur le clavier et on passe à la série suivante. Le score obtenu apparaît alors directement sur l'écran.

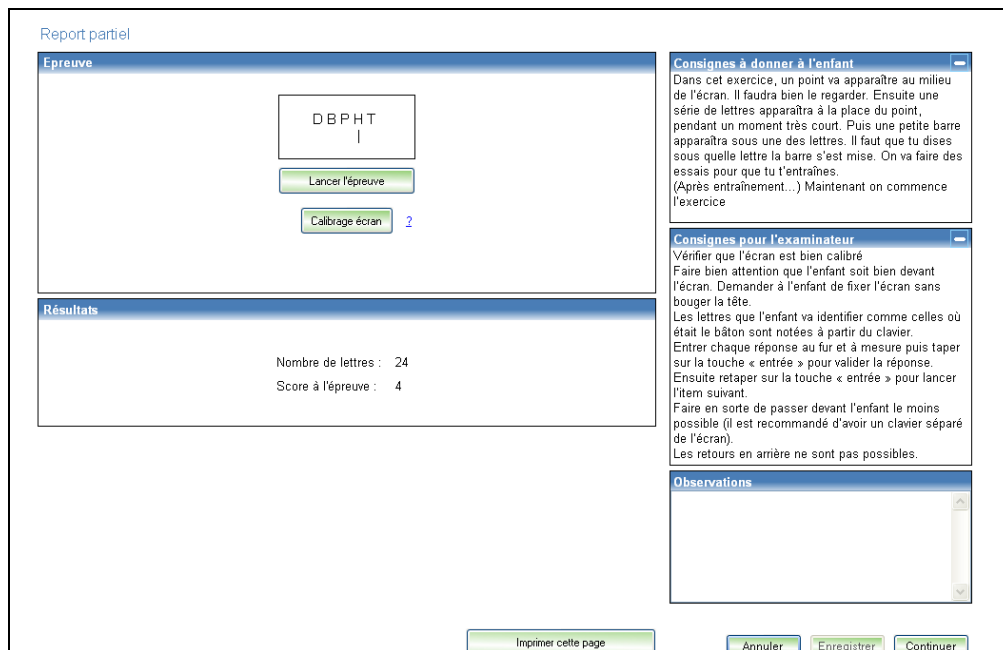


Figure 49 : Page écran de l'épreuve de report partiel

e) Audition (le VOT)

Pour l'épreuve d'identification, chaque *stimulus* est entendu dix fois par l'enfant dans un ordre aléatoire. L'enfant doit indiquer s'il a entendu le son « ba » ou le son « pa ».

Pour l'épreuve de discrimination, chacune des seize paires de *stimuli* est présentée à l'enfant aléatoirement huit fois. L'enfant doit dire s'il a entendu deux fois le même son (« pareil ») ou si les deux sons étaient différents (« pas pareil »).

Présentation du logiciel

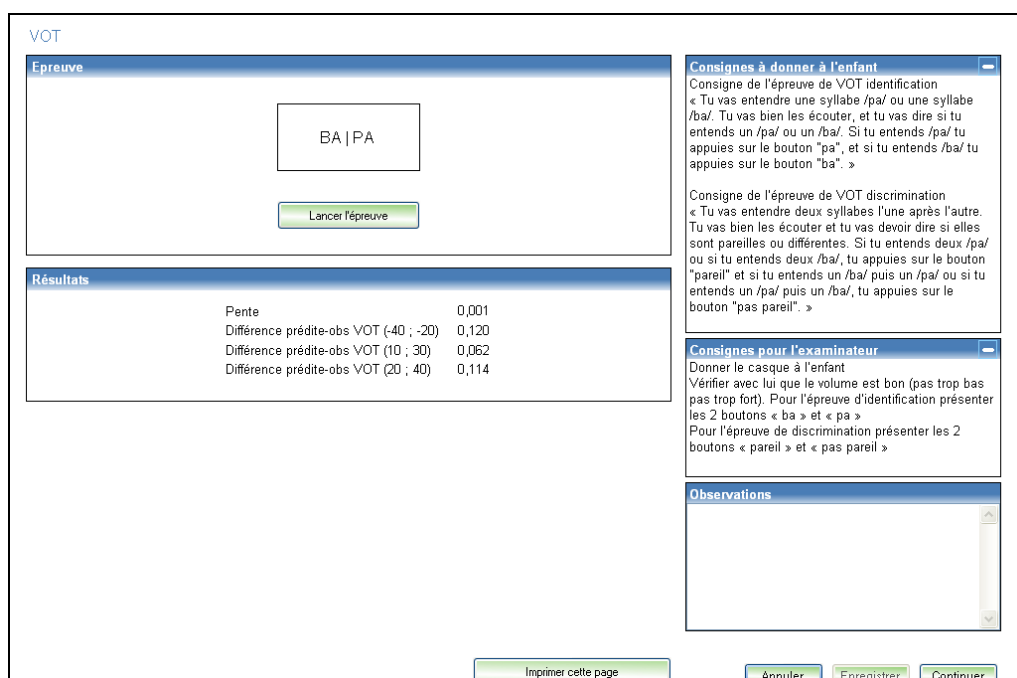


Figure 50 : Page écran de l'épreuve auditive

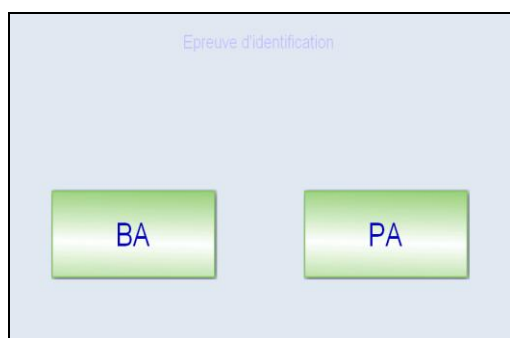


Figure 51 : Page écran de l'épreuve d'identification

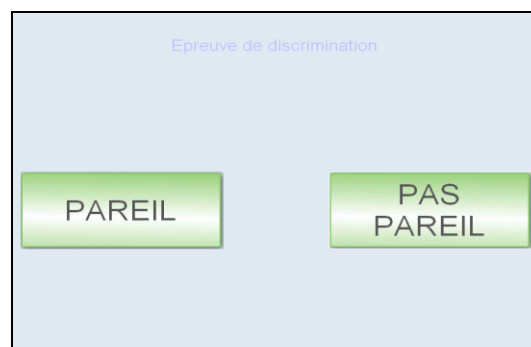


Figure 52 : Page écran de l'épreuve de discrimination

III. Les résultats

Tout au long de l'évaluation, le professionnel a accès à la page « résultats » où la courbe des profils cognitifs se dessine progressivement, la forme la plus complète apparaissant une fois toutes les épreuves passées. On observe sur ce graphique une zone verte indiquant des performances dans les normes, une zone orange (entre -1 et -2 écart-types) pour les scores se situant dans les limites de la normale et enfin une zone rouge où apparaissent les résultats pathologiques.

Présentation du logiciel

Une fois les épreuves essentielles réalisées (temps de passation réduit au minimum), dans un encart à droite apparaît la probabilité, calculée via le modèle de régression sur la base des épreuves incluses dans ce modèle, de l'enfant à rencontrer un trouble du langage écrit (score sur 10).

Il nous a apparu intéressant d'analyser les pages résultats de trois enfants dyslexiques typiques : « dys sévère », « dys phono », « dys compensé ».

Concernant le dys sévère (figure 53), la probabilité de souffrir d'un trouble du langage écrit est évaluée à 9,6/10. Les épreuves de mémoire à court terme et d'attention et de VOT sont dans les normes. La vitesse de lecture des mots irréguliers peu fréquents et la morphologie se trouvent dans la zone subnormale. Toutes les autres épreuves (les vitesses de lecture, la dictée, la dénomination rapide de lettre, l'épreuve d'omission, de contrepèteries et le report partiel) se situent au-delà de - 2 écart-types de la normale. Un seul regard sur le graphique suffit à se rendre compte de la sévérité des troubles de lecture de cet enfant.

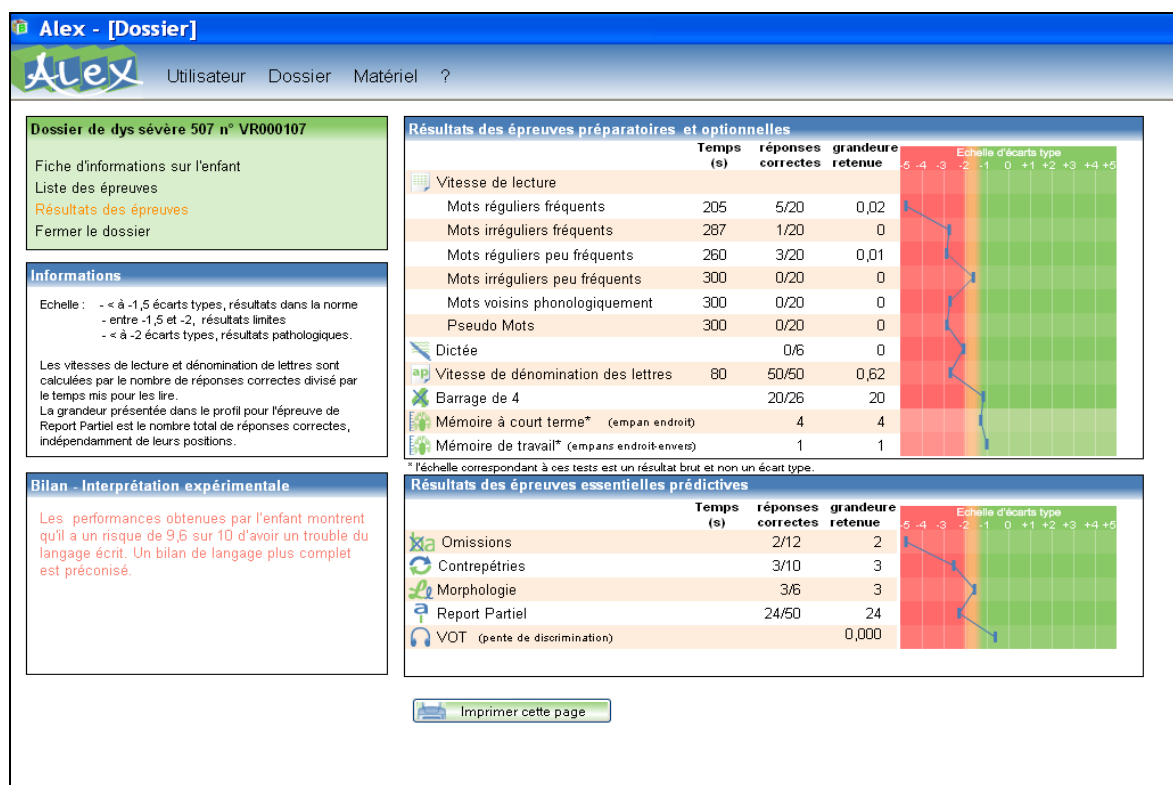


Figure 53 : Page écran résultat de l'enfant "dys sévère"

Présentation du logiciel

L'enfant « dys phono » (figure 54) se trouve particulièrement en difficulté dans la lecture de mots réguliers fréquents/peu fréquents et des pseudo-mots (les deux listes), ce qui correspond à un trouble spécifique de la voie phonologique. Le barrage de 4, omission et contrepèteries sont également largement en dessous de la moyenne. Les performances sont limitées en lecture de mots irréguliers fréquents/peu fréquents, en vitesse de dénomination rapide de lettres. En revanche, il ne rencontre pas de difficultés en dictée ni en mémoire à court terme, ce qui est particulier chez un dyslexique. Enfin la morphologie, le report partiel et le VOT sont dans les normes.

Cet enfant, malgré un profil différent du précédent, a un risque de 9,6/10 d'avoir un trouble du langage écrit.

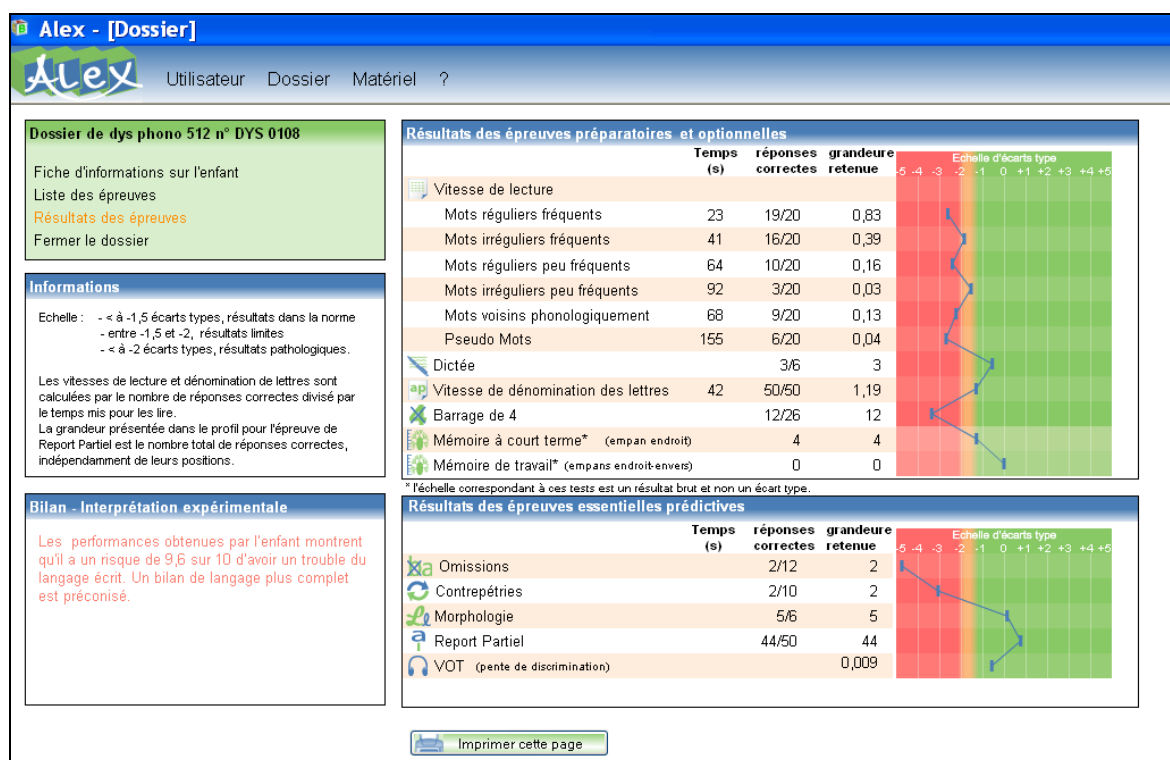


Figure 54 : Page écran résultat de l'enfant "dys phono"

Enfin, l'enfant diagnostiqué comme dyslexique compensé par l'équipe de Trestel (figure 54), a un profil effectivement particulier. En effet, le score prédictif indique un risque faible (0,9/10) d'avoir un trouble du langage écrit. Les vitesses de lecture sont toutes dans les normes à l'exception de la vitesse de lecture des mots réguliers fréquents.

Présentation du logiciel

Concernant les autres épreuves, elles se situent au dessus des normes, sauf le barrage de chiffres et le report partiel. Ainsi, des difficultés sont clairement mises en évidence au niveau des capacités visuo-attentionnelles.

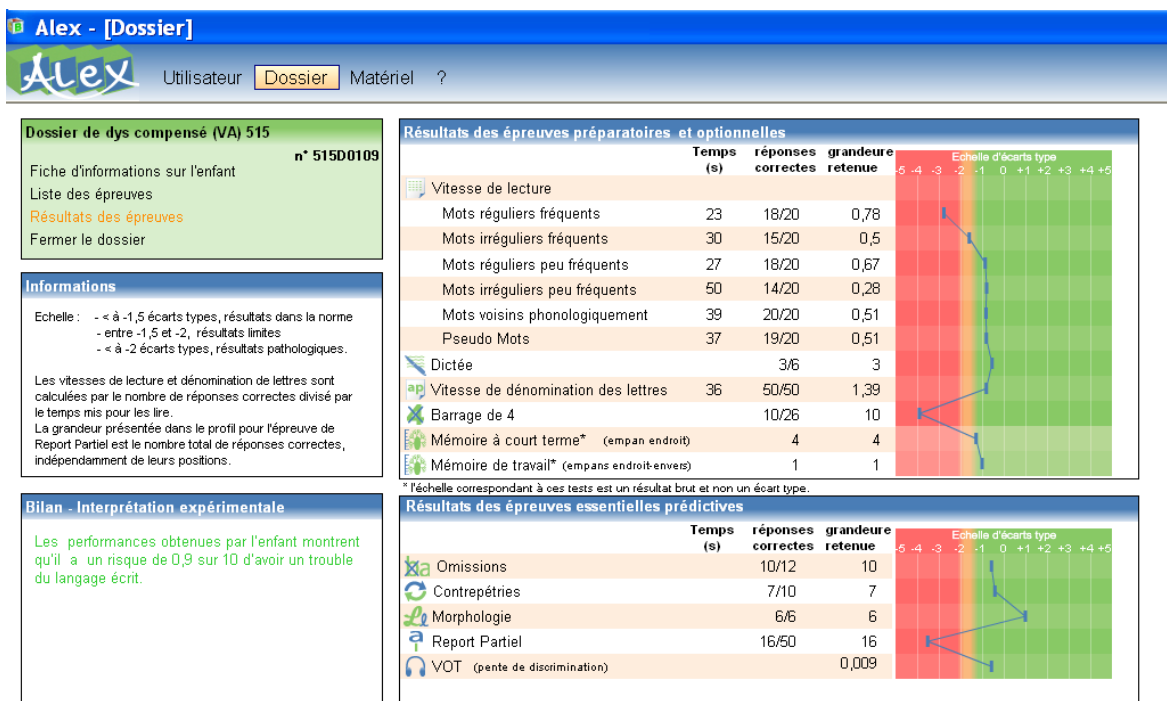


Figure 55 : Page écran résultat de l'enfant "dys compensé"

Les réflexions menées avec l'équipe d'informaticiens (et leur créativité) a abouti à cet outil final, à la fois fonctionnel, ergonomique et esthétique.

Des améliorations sont encore prévues et possibles, qui feront suite à la phase de validation de l'outil, en cours. Les remarques des différents utilisateurs seront rassemblées et prises en compte.

CONCLUSION

Conclusion

La dyslexie est un trouble spécifique de l'apprentissage, qui concerne spécifiquement la mise en place de la lecture. Ce trouble d'acquisition de la lecture qui fait obstacle à la réussite scolaire est le trouble des apprentissages ayant fait l'objet du plus grand nombre de recherches. Aujourd'hui, les définitions évoquent l'implication des troubles cognitifs dans la dyslexie. Les données de la prévalence estiment la présence de ce trouble à hauteur d'environ 5 % de la population.

Il est essentiel de diagnostiquer ce trouble très précocement afin de pouvoir mettre en place les aides nécessaires : rééducation orthophonique, adaptations scolaires, en vue de réduire le handicap qui peut en découler (échec scolaire...).

C'est dans cette perspective que ce projet de thèse a vu le jour. Le programme de recherche, Ready, vise à mettre au point un outil informatisé Alex, pour faciliter le repérage et le diagnostic de la dyslexie. Cet outil est destiné aux professionnels de la santé (les orthophonistes et les personnels de médecine scolaire) qui rencontrent des enfants ayant des troubles des apprentissages. Dans ce but, le logiciel se veut accessible et ergonomique. Surtout, il cherche à répondre aux attentes des professionnels qui prennent en charge les dyslexiques, en offrant un grand nombre de renseignements sur le fonctionnement cognitif de l'enfant, tout en prenant en compte le manque de temps inhérent à l'exercice de ce type de profession.

Les multiples recherches menées sur la dyslexie ont conduit à la formulation d'hypothèses explicatives (Expertise INSERM, 2007), mettant en relief un certain nombre de capacités cognitives qui, déficitaires, sont susceptibles d'engendrer des troubles de lecture : hypothèses phonologique (Ramus et al., 2003) , visuo-attentionnelle (Valdois et al., 2004) , cérébelleuse (Nicolson et Fawcett, 1999), magnocellulaire (Stein, 2001) et du déficit du traitement du signal auditif temporel (Tallal, 1980).

Construit dans la perspective de l'élaboration d'un outil de pré-diagnostic, le protocole s'est appuyé sur le constat de l'existence de multiples facettes de la dyslexie. La clé d'un diagnostic valide repose sur une idée centrale : il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des hypothèses théoriques scientifiquement étayées ayant trait aux origines de la dyslexie.

Nous n'avons pas, dans l'objectif de la création de l'outil, cherché à éprouver chacune des hypothèses explicatives des origines de la dyslexie. Au contraire, nous avons choisi de les intégrer une à une, chacune apportant des informations essentielles au diagnostic.

Conclusion

En ce sens, le protocole regroupe dix catégories d'épreuves : lecture de listes de mots, dictée, attention, mémoire, phonologique, dénomination rapide, morphologique, visuo-attentionnelle, motrice et auditive.

L'expérimentation du protocole s'est réalisée sur un échantillon de 38 enfants dyslexiques diagnostiqués par une équipe pluridisciplinaire au CRRF de Trestel et sur 91 enfants tout-venant recrutés dans différentes écoles dans les classes de CE2/CM1.

La sélection des épreuves s'est faite selon différents critères. Tout d'abord, il était primordial d'étudier la pertinence des épreuves lexiques, puis des épreuves considérées comme co-morbides aux troubles de la lecture sans en être spécifiquement responsables (mémoire à court terme et attention). Un modèle prédictif a ensuite été choisi parmi les plus performants afin de réduire le protocole aux épreuves les plus pertinentes. En ce sens, avec un nombre considérablement réduit d'épreuves (phonologiques, morphologiques, visuo-attentionnelles et auditives) et, de ce fait, un temps de passation court, il est possible d'obtenir, avec un indice de confiance élevé, un taux de probabilité de l'existence d'un trouble spécifique du langage écrit chez un enfant testé. Afin d'être repérables par les futurs utilisateurs du logiciel, ces épreuves ainsi sélectionnées ont été nommées « épreuves prédictives » dans le logiciel.

Cependant, l'objectif était également d'obtenir un panel de performances sur les capacités en lien avec l'activité de lecture, et ainsi de créer des profils cognitifs ouvrant des perspectives intéressantes en termes d'orientation dans l'affinage du diagnostic et dans la future prise en charge rééducative. Dans ce but, les épreuves, repérées par les analyses statistiques comme étant les plus pertinentes, ont été intégrées comme épreuves complémentaires (mémoire à court terme, attention et dénomination rapide).

Lors de la passation de l'ensemble des épreuves, un profil cognitif est établi dans la partie « résultats » du logiciel. En un seul coup d'œil, il est alors possible de repérer les forces et les faiblesses d'un enfant dans les compétences en lien avec la lecture.

Le postulat de départ, qui repose sur l'hétérogénéité des dyslexiques et qui nous a orienté à élaborer le logiciel en ce sens, s'est montré particulièrement pertinent au regard des analyses statistiques spécifiques. En effet, si les troubles phonologiques se trouvent au premier plan comme l'indique la plupart des travaux, et si les variables phonologiques expliquent la plus grande part de variance en lecture dans nos analyses, il n'en reste pas

Conclusion

moins que les troubles phonologiques n'expliquent qu'en partie l'ensemble des difficultés rencontrées par les dyslexiques. Ainsi, les analyses de groupe mettent en évidence une indépendance entre les capacités phonologiques et visuo-attentionnelles avec une partie de l'échantillon (à hauteur de 30 %) rencontrant un trouble visuo-attentionnel isolé. De plus, la description de l'échantillon au niveau individuel situe trois enfants dyslexiques avec un trouble visuo-attentionnel sans trouble phonologique. L'intégration de ce type d'épreuves dans l'outil d'évaluation s'est ainsi révélée essentielle. Allant aussi en ce sens, les épreuves morphologiques et les épreuves auditives, sélectionnées par le modèle prédictif le plus performant, enrichissent également la démarche diagnostique.

Afin de valider au plus près le choix des épreuves, la comparaison des profils cognitifs avec les diagnostics établis par l'équipe du CRRF de Trestel des enfants dyslexiques, indique, dans une grande majorité des cas, une adéquation remarquable. En effet, les dyslexiques mixtes sévères ont tendance par exemple à obtenir des performances particulièrement altérées dans un grand nombre d'épreuves. Au contraire, les dyslexiques de surface ou les dyslexiques mixtes compensés sur la voie phonologique grâce à la rééducation échouent notamment dans les épreuves visuo-attentionnelles.

L'étude de l'échantillon dans son ensemble, via les analyses de nuées dynamiques, a permis de construire *a priori* des profils de lecteurs (normo-lecteurs, mauvais lecteurs et dyslexiques). Ces profils de lecteurs permettent de repérer un *continuum* dans les performances en lecture avec une frontière floue entre les mauvais lecteurs et les dyslexiques. En revanche, la mise en perspective de ces profils de lecteurs avec les performances obtenues dans les épreuves évaluant les fonctions cognitives en lien avec la lecture offre un éclairage intéressant. En effet, les profils de lecture sont en adéquation avec les profils cognitifs, ces derniers étant construits sans *a priori* à partir des moyennes des performances obtenues des groupes de lecteurs élaborées par l'analyse.

Une fois la sélection des variables effectuées, l'entreprise Dixid a créé le logiciel Alex en implémentant les épreuves. Au cours de cette étape, notre fonction a consisté à conseiller les techniciens (ergonomes, informaticiens...) afin que le logiciel soit le plus en équilibre possible entre les contraintes informatiques et les contraintes cliniques.

Conclusion

La société Ezooty (qui a pris le relais du point de vue informatique), le laboratoire du CRPCC avec Emmanuelle Bonjour et Nathalie Marec-Breton ainsi que le LTSI poursuivent la validation du logiciel Alex. Cette phase, en cours, a pour objectif d'étalonner à plus grande échelle les épreuves, d'adapter les épreuves aux plus jeunes, de valider ou de modifier le modèle prédictif et enfin d'observer dans le détail le fonctionnement du logiciel afin d'optimiser, par la suite, ses fonctionnalités.

L'étalonnage s'est effectué sur plus de 500 enfants en classe de CP jusqu'au CM2 (100 élèves par niveau). Certaines épreuves ont été adaptées aux plus jeunes, (les CP), la dictée de mots a été réduite à quelques mots, la lecture de listes de mots a également été limitée dans le temps (1 min). Les passations ont été réalisées en partenariat une nouvelle fois avec l'Education Nationale et avec l'aide précieuse d'étudiants en psychologie. Les résultats sont en cours de traitement. Le logiciel est également testé sur des enfants dyslexiques, afin de valider les choix effectués (sélection des épreuves). Les différents utilisateurs ont aussi fait part de leurs remarques quant aux fonctionnalités du logiciel qui seront améliorées jusqu'à la version définitive.

Cette version a pour ultime objectif d'être mise à disposition par le biais d'un diffuseur, à des orthophonistes, des praticiens des centres référents et aux membres de la médecine scolaire.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Ackerman, P., T., & Dykman, R., A. (1993). Phonological processes, confrontation naming, and immediate memory in dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 26, 597-609.

- Ackerman P., T., Holloway C., & Youngdahl P. (2001). The double-deficit theory of reading disabilities does not fit all. *Learning Disabilities Research and Practice*, 16 (3), 152-160.

- Amitay S., Ben-Yehudah, G., Banai, K., & Ahissar, M. (2002). Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain*, 125, 2272-2285.

- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multi-trace memory model of polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105, 678-723.

- Anthony, J., L., Williams, J., M., Mc Donald, R., & Francis, D., J. (2007). *Annals of Dyslexia*, 57, 113-137.

- Arnbak, E., & Elbro, C. (2000). The effects of morphological awareness training on the reading and spelling skills of young dyslexics. *Scandinavian Journal of Psychology*, 44, (3), 229-251.

- Avons, S., E., & Hanna, C. (1995). The memory-span deficit in children with specific reading disability: Is speech rate responsible? *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 303-311.

- Baddeley, A., D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.

- Badian, N. (1996). Dyslexia : a validation of the concept at tow age levels. *Journal of Learning Disabilities*, 29 (1), 102-112.

- Badian, N. (1998). A validation of the role of preschool phonological and orthographic skills in the prediction of reading. *Journal of Learning Disabilities*, 31, 472-481.

Bibliographie

- Billard, C., Gillet, P., Galloux, A., Piller, A., G., Livet, M., O., Motte, J., Vallée, L., & Vol, S. (2000). BREV : une batterie clinique de dépistage des déficits cognitifs chez l'enfant de 4 à 9 ans. Résultats de l'étude normative chez 500 enfants. *Archives Françaises de Pédiatrie*, 7, 128-130.

- Ben-Dror, I., Bentin, S., & Frost, R. (1995). Semantic, phonologic, and morphologic skills in reading disabled and normal children : Evidence from perception and production of spoken Hebrew. *Reading Research Quarterly*, 30, (4), 876-893.

- Benevetti, H., Tonnessen, F., E., & Erslund, L. (2009) Dyslexic Children Show Short-Term Memory Deficits in Phonological Storage and Serial Rehearsal : An fMRI Study. *International Journal of Neuroscience*, 119 (11), 2017-2043.

- Blachman, B. (1984). Relationship of rapid naming ability and language analysis skills to kindergarten and first-grade reading achievement. *Journal of Educational Psychology*, 76, 610-622.

- Bogliotti, C., Serniclaes, W., Messaoud-Galusi, S., & 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*, 48, 1378-1396.

- Bonjour, E. (2004). *Performances en lecture et profils de lecteurs à l'entrée au collège*. Thèse, Université de Rennes 2.

- Bosse, M.-L. (2004). *L'acquisition et la mobilisation des connaissances lexicales orthographiques : tests des hypothèses développementales issues du modèle de lecture de Ans, Carbonnel et Valdois (1998)*. Thèse, Université de Grenoble.

- Bosse, M.-L., Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S., et Zorman, M. (2005). *BALE : Bilan Analytique du Langage Ecrit*. Grenoble: Laboratoire cogni-sciences, IUFM de Grenoble.

Bibliographie

- Bosse, M.-L., Tainturier, M.-J., & Valdois, S. (2003). Analogy without priming in early spelling development. *Reading and Writing, 16*, 693-716.

- Bosse, M.-L., Tainturier, M.-J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia. The visual attention span deficits hypothesis. *Cognition, 104*, 198-230.

- Bosse, M.-L., & Valdois S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performances : a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading, 32* (2), 230-253.

- Bowers, P., G., Steffy, R., & Tate, E. (1988). Comparison of the effects of I.Q. control methods on memory and naming speed predictors of reading disabilities. *Reading Research Quarterly, 13* (3), 304-319.

- Bowers, P., G., & Swanson, L., B. (1991). Naming speed deficits in reading disability : multiple measures of a singular process. *Journal of Experimental Child Psychology, 51*, 195-219.

- Bowers, P., & Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 5*, 69-95.

- Bradley, L., & Bryant, P., E. (1983). Categorizing sounds in learning to read: A causal connection. *Nature, 301*, 419-421.

- Brandt, J., & Rosen, J., J. (1980). Auditory phonemic perception in dyslexia: Categorical identification and discrimination of stop consonants. *Brain and Language, 9*, 324-333.

- Brannan, J., R., & Williams, M., C. (1987). Allocation of visual attention in good and poor readers. *Perception and Psychophysics, 41*(1), 23-28.

- Bretherton, L., & Holmes, V., M. (2003). The relationship between auditory temporal processing, phonemic awareness, and reading disability. *Journal of Experimental Child Psychology, 84*, 218-243.

Bibliographie

- Broom, Y., M., & Doctor, E., A. (1995). Developmental surface dyslexia: A case study of the efficacy of a remediation program. *Cognitive Neuropsychology*, 12 (b), 69-110.

- Bruck M. (1992). Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology*, 28 (5), 874-886.

- Bryant, P., E., & Impey, L. (1986). The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexic children. *Cognition*, 24, 121-137.

- Bryant, P., E., Mc Lean, M., Bradley, L., L., & Crosland, J. (1990). Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental Psychology*, 26, 429-438.

- Buchholz, J., & Mc Kone, E. (2004). Adults with dyslexia show deficits on spatial frequency doubling and visual attention tasks. *Dyslexia*, 10 (1), 24-43.

- Caramazza, A., Laudanna, A., & Romani, C. (1988). Lexical access and inflectional morphology. *Cognition*, 28, 297-332.

- Carlisle, J., F. (2000). Awareness of the structure and meaning of morphologically complex words : Impact on reading. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 12, 169-190.

- Carlisle, J., F., & Fleming, J. (2003). Lexical processing of morphologically complex words in elementary years. *Scientific Studies of Reading*, 7(3), 239-253.

- Carrol, J., M., & Snowling, M., J. (2004). Language and phonological skills in children at high risk of reading difficulties. *Journal of Child Psychology and Child Psychiatry*, 45 (3), 631-640.

- Casalis, S. (2006). *La reconnaissance des mots écrits chez l'apprenti lecteur et l'enfant dyslexique : implication des traitements orthographiques et morphologiques*. Note de synthèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Manuscrit non publié.

Bibliographie

- Casalis, S., & Louis Alexandre, M., F. (2000). Morphological analysis, phonological analysis and learning to read French. *Reading and Writing*, 12, 303-335.

- Casalis, S., Mattiot, E., Becavin, A., S., & Colé, P. (2003). Conscience morphologique chez des lecteurs tout venant en difficultés, *Silexicales*, 3, 57-66.

- Casalis, S., Colé, P., & Sopo, D. (2004). Morphological awareness in developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 54 (1), 115-137.

- Casalis, S., & Colé, P. (2010). On the relationship between morphological and phonological awareness : effects of training in kindergarten and in first-grade reading. *First Language*, 29 (1), 113-142.

- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149-180.

- Castles, A. & Coltheart, M. (1996). Cognitive correlates of developmental surface dyslexia : a single case study. *Cognitive Neuropsychology*, 13 (1), 25-50.

- Castles, A. & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read ? *Cognition*, 91, 77-111.

- Cestnick, L. (2001). Cross-modality temporal processing deficits in developmental phonological dyslexics, *Brain and Cognition*, 46, 319-325.

- Cestnick, L., & Coltheart, M. (1999). The relationship between language-processing and visual-processing deficits in developmental dyslexia. *Cognition*, 71, 231-255.

- Chevrie-Muller C., Simon, A., M., & Fournier S. (1997). *Batterie L2MA*. Paris : ECPA.

- Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001). *Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage (N-EEL)*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Bibliographie

- Chiappe, P., Stringer, N., Siegel, L., S., & Stanovich, K. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15, 73-107.

- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Dehaene-Lambertz, G., Henaff, M., A., & Michel, F. (2000). The visual word form area : spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123, 291-307.

- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex ? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125, 1054-1069.

- Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehericy, S., Samson, Y., Obadia, M., Slachevsky, A., & Dehaene, S. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres : anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex*, 13, 1313-1333.

- Colé, P., Marec-Breton, N., Royer, C., & Gombert, J.-E. (2003). Morphologie des mots et apprentissage de la lecture. *Reeducation Orthophonique*, 213, 57-60.

- Coltheart, M., (1978). Lexical access in simple reading tasks. In Underwood, G. (Eds), *Strategies of information processing*, 151-216. London : Academic Press, 151-216.

- Coltheart, M. (2006). Acquired dyslexias and the computational modelling of reading. *Cognitive Neuropsychology*, 23 (1), 96-109.

- Coltheart, M., Masterson, J., Byng, S., Prior, M., & Riddoch, J. (1983). Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35, 469-595.

- Coltheart, M., Curtis, B., Akins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud : dual-route and parallel-distributed processing approaches. *Psychological Review*, 100, 589-608.

Bibliographie

- Coltheart, M., & Raste K. (1994). Serial processing in reading aloud : evidence for dual-route models of reading. *Journal of experimental psychology : human perception and performance*, 20 (6), 1197-1211.

- Coltheart, M., Rastle, H., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC : A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204-256.

- Coltheart V., & Leahy J. (1992). Children's and adults' reading of nonwords: effects of regularity and consistency. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition* , 18 (4), 718-729.

- Cornwall, A. (1992). The relationship of phonological awareness, rapid naming, and verbal memory to severe reading and spelling disability. *Journal of Learning Disability*, 25, 532-538.

- Daffaure, V., De Martino, S., Chauvin, C., Cay-Maubuisson, M., & Camps, R. (2001). Dyslexie de développement et trouble temporel : de la perception auditive à la perception du temps conventionnel. *Revue Neuropsychologie*, 11(1), 115-116.

- Dehaene, S. (2006). L'apprentissage de la lecture et ses perturbations. *Actes du collège de France*. <http://www.college-de-france.fr>.

- De Jong, P., F. & Van der Leij, A. (1999). Specific contributions of phonological abilities to early reading acquisition: Results from a dutch latent variable longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 91, 450–476.

- Denckla, M., B., & Rudel, R. (1974). Rapid “automatized” naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex*, 10, 186-202.

- Denckla, M., B., & Rudel, R. (1976). Rapid “automatized” naming (RAN) : dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, 14, 471-479.

Bibliographie

- Demont, E., & Gombert, J.-E. (2004). L'apprentissage de la lecture : évolution des procédures et apprentissage implicite. *Enfance*, 3, 245-257.

- Démonet, J.,F., Taylor, M., J. & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 363, 1451-1460.

- Dubois, M. (2008). Pre-orthographical constraints in reading and multi-element processing in dyslexia, Thèse, Université Catholique de Louvain.

- Dubois, M., Lafaye de Micheaux, P., Noël, M-P., & Valdois, S. (2007). Preorthographical constraints on visual word recognition. Evidence from a case study of developmental surface dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 24 (6), 623-660.

- Dubois, M., Kyllingsbaek, S., Prado, C., Peiffer, E., Lassus-Sangosse, D. & Valdois, S. (2010). Fractionating the multi-element processing deficit in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Cortex*, 46 (6), 717-738.

- Ducrot, S., Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte, J., & Billard, C. (2003). The Optimal Viewing Position Effect in Beginning and Dyslexic Readers. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain & Cognition*, 10(1).

- Dykman, R., A., & Ackerman, P., T. (1991). ADD and Specific Reading Disability: Separate but often overlapping disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 24, 96-103.

- Ecalle, J. (2006). *Timé3. Test d'Identification de Mots Ecrits pour enfants de 7 à 15 ans*. Paris : Editions Mot-à-Mot.

- Ecalle, J. (2010). L'évaluation de la lecture et des compétences associées. *Revue française de linguistique appliquée*, 15 (1), 105-120.

- Ecalle, J., & Magnan, A. (2002). *L'apprentissage de la lecture. Fonctionnement et développement cognitifs*. Paris : A. Colin.

Bibliographie

- Ecalte, J., & Magnan, A. (2010). *L'apprentissage de la lecture et ses difficultés*. Paris : Dunod.
- Eckert, M., A. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: a review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist*, 10, 362-371.
- Eckert, M., A., Leonard, C., M., Richards, T., L., Aylward, E., H., Thomson, J., & Berninger, V., W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain*, 126, 482-494.
- Eden, G., F., Vanmeter, J., W., Rumsey, J., W., Maisog, J., & Zeffiro, T., A. (1996). Functional MRI reveals differences in visual motion processing in individuals with dyslexia. *Nature*, 382, 66-69.
- Elbro, C., & Arnbak, E. (1996). The role of morpheme recognition and morphological awareness in dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 46, 209-240.
- Elbro, C., & Petersen, D. (2004). Long effects of phoneme awareness and letter sound training intervention study with children at risk for dyslexia. *Journal of Educational Psychology*, 96 (4), 660-670.
- Expertise collective de l'INSERM, Barrouillet, P., Billard, C., De Agostoni, M., Démonet, J., F., Gombert, J.-E., Habib, M., Le Normand, M., T., Ramus, F., Sprenger-Charolles, L., & Valdois, S. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : bilan des données scientifiques*. Paris : les éditions de l'Inserm.
- Facoetti, A., & Molteni, M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39 (4), 352-357.
- Facoetti A., Lorusso, M.-L., Paganoni, P., Cattaneo, C., Galli, R., & Mascetti, G., G. (2003). The time course of attentional focusing in dyslexic and normally reading children. *Brain and Cognition*, 53, 181-184.

Bibliographie

- Facoetti A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M-L., Molteni, M., Paganoni, P., Ulmita, C., & Mascetti, G., G. (2006). The relationship between visuo-spatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23 (6), 841-855.

- Fawcett, A., J., & Nicolson, R., I. (1999). Performance of dyslexic children on cerebellar and cognitive tests. *Journal of Motor Behavior*, 31(1), 68-78.

- Felton, R., H., Wood, F., B., Brown, I., S., Campbell, S., K., & Harter, M., R. (1987). Separate verbal memory and naming deficits in attention deficit disorder and reading disability. *Brain and Language*, 31, 171-184.

- Felton, R., H., & Brown, I., S. (1990). Phonological processes as predictors of specific reading skills in children at risk of reading failure. *Reading and Writing : an Interdisciplinary Journal*, 2, 39-59.

- Felton, R., H., Wood F., B. (1992). Cognitive deficit in reading deficits in reading disability and attention deficit disorder and reading disability, *Brain and Language*, 31, 171-184.

- Frith. A, (1986). Developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 36, 69-81.

- Gaab, N., Gabrieli, J., D., E., Deutsch, G., K., Tallal P., & 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 (34), 295-310.

- Galaburda, A., M., & Kemper, T., L. (1979). Cytoarchitectonic abnormalities in developmental dyslexia: a case study. *Annals of Neurology*, 6, 94-100.

- Galaburda, A., M., Sherman, G., F., Rosen, G., D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233.

Bibliographie

- Geiger, G., Lettvin, Y., Jerome, & Zegarra-Moran, O. (1992). Task determined strategies of visual process. *Cognitive Brain Research*, 1 (1), 39-52.

 - Gombert, J.-E. (1990). *Le développement métalinguistique*, Paris : PUF.

 - Gombert, J.-E., Bryant, P., & Warrick, N. (1997). Les analogies dans l'apprentissage de la lecture et de l'orthographe. In Rieben, L., Fayol, M., & Perfetti, C., A. (Eds.), *Des orthographes et leur acquisition*, 319-334, Lausanne : Delachaux et Niestlé.

 - Gombert, J.E. (2003). Implicit and Explicit Learning to Read: Implication as for Subtypes of Dyslexia. *Current Psychology Letters*, 10, (1), Special Issue on Language Disorders and Reading Acquisition. <http://cpl.revues.org/document202.html>

 - Gombert, J., E., Bonjour, E., Marec-Breton, N. (2004). Poccusus implicites et traitements intentionnels dans l'apprentissage de la lecture. In Metz-Lutz, M., N., Demont, E., Seegmuller, C., De Agostini, M., & Bruneau, N. (Eds). *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal.

 - Goswami, U. (1988). Children's use of analogy in learning to spell. *British Journal of Developmental Psychology*, 6, 21-33.

 - Goswami, U., Gombert, J.-E., & Barrera, L., F. (1998). Children's orthographic representations and linguistic transparency : nonsense word reading in english, french and spanish. *Applied psycholinguistics*, 19, 19-52.

 - Grant, A., C., Zangaladze, A., Thiagarajah, M., C., & Sathian, K. (1999). Tactile perception in developmental dyslexia: a psychophysical study using gratings. *Neuropsychologia*, 37, 1201-1211.

 - Griffiths, S., & Frith, U. (2002). Evidence for an articulatory awareness deficit in adult dyslexics. *Dyslexia*, 8, 14-21.

 - Habib M. (1997). *Dyslexie : le cerveau singulier*, Marseille : Solal, 19-209.
-

Bibliographie

- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain*, 123, 2373-2399.

- Habib, M. (2002). Dyslexie et dysphasie. *Revue Réadaptation*, 486, 16-28.

- Habib, M. (2004). Bases neurobiologiques de la dyslexie. In Metz-Lutz, M., N., Demont, E., Seegmuller, C., De Agostini, M., & Bruneau, N. (Eds). *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal.

- Hacher, P., Hulme, C., & Ellis, A., W. (1994). Ameliorating early failure by intergrating the teaching of reading and phonological skills : the phonological linkage hypothesis. *Child Development*, 65, 41-57.

- Hairston, W., D., Burdette, J., H., Flowers, D., L., Wood, F., B., & Wallace, M., T. (2005). Altered temporal profile of visual-auditory multisensory interactions in dyslexia. *Experimental Brain Research*, 166, 474-480.

- Hari, R., Renvall, H., & Tanskanen, T. (2001). Left minineglect in dyslexic adults. *Brain*, 124 (7), 1373-80.

- Ho, C., S.-H. (1997). The importance of phonological awareness and verbal short-term memory to children's success in learning to read chinese. *Psychologia*, 40, 211-219.

- Ho, C., S.-H., & Bryant, P. (1997). Development of phonological awarness of chinese children in Hong Kong. *Journal of Psycholinguistic Research*, 26, 109-126.

- Ho, C., S.-H., & Bryant, P. (1997). Phonological skills are important in learning to read chinese. *Developmental Psychology*, 33, 946-951.

- Ho, C., S.-H., Chan, D., W., O., Tsang, S., M., & Lee, S., H. (2002). The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in chinese developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 38, 543-553.

Bibliographie

- Howell, D. (2008). Méthodes statistiques en sciences humaines. Bruxelles : De Boeck.

- Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in memory span. *British Journal of Psychology*, 86 (4), 527-536.

- Iles, J., Walsh, V., & Richardson, A. (2000). Visual search performance in dyslexia. *Dyslexia*, 6, 163-177.

- Ivry, R., B., & Justus, T., C. (2001). A neural instantiation of the motor theory of speech perception. *T.I.N.S.*, 24, 513-515.

- Jacquier, C. (2008). Etudes d'indices acoustiques dans le traitement temporel de la parole chez des adultes normo-lecteur et des adultes dyslexiques. Thèse, Université Lyon.

- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Zorman, M., Lequette, C. & Pouget, G. (2005). *ODEDYS : un outil de dépistage des dyslexies, Version 2*. Grenoble: Laboratoire cogni-sciences, IUFM de Grenoble.

- Jeffries, S., & Everatt, J. (2004). Working memory: its role in dyslexia and other specific learning difficulties. *Dyslexia*, 10, 196-214.

- Joanisse, M., F., Manis, F., R., Keating, P., Seidenberg, M., S. (2000). Language deficits in dyslexic children : speech perception, phonology, and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 30-60.

- Katz, W., Curtiss, S., & Tallal, P. (1992). Rapid automatized naming and gesture by normal and language impaired children. *Brain and Language*, 43, 623-641.

- Kay, J., & Marcel, A. (1981). One process, not two, in reading aloud : lexical analogies do the work of non-lexical rules. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 33 (4), 397-413.

Bibliographie

- Kemp, N., Parrila, R., & Kirby, J. (2009). Phonological and orthographic spelling in high-functioning adult dyslexics. *Dyslexia*, 15, 105-128.
- Kherif, F., Josse, G., & Price, C. (2010). Automatic top-down processing explains common left occipito-temporal responses to visual words and objects. *Cerebral cortex*. <http://cercor.oxfordjournals.org>
- Khomsi, A. (1999). *LMC-R : épreuve d'évaluation de la compétence en lecture*. Paris : Editions du Centre de psychologie Appliquée.
- Khomsi, A. (2001). *Evaluation du Langage Oral*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Kibby, M., & Cohen, M. (2009). Memory functioning in children with reading disabilities and/or attention deficit/hyperactivity disorder: a clinical investigation of their working memory and long term memory functioning. *Child Neuropsychology*, 14, 525-546. <http://www.psypress.com/childneuropsych>
- Kipp, K., H. & Mohr, G. (2008). Remediation of developmental dyslexia. Tackling a basic memory deficit. *Cognitive Neuropsychology*, 25 (1), 38-55.
- Kirby, J., R., Parrila, R., K., & Pfeiffer, S., L. (2003). Naming speed and phonological awareness as predictor of reading development. *Journal of Educational Psychology*, 95, 453-464.
- Klinberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., & Gabrieli, J., D. (2000). Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron*, 25, 493–500.
- Knivsberg, A.-M., & Andreassen A.,-B. (2008). Behaviour, attention and cognition in severe dyslexia. *Nord Journal Psychiatry*, 62 (1), 59-65.

Bibliographie

- Korkman, M., Kirk, U., Kemp, S. (2003). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Kramer, J., H., Knee, K., & Delis, D., C. (2000). Verbal memory impairments in dyslexia. *Archives of Clinical Neurology*, 15 (1), 83-93.

- Kremin, H., & Dellatolas, G. (1996). Phonological and semantic fluency in children aged 5 to 8. *ANAE*, 36, 23-28.

- Ku, Y., M., & Anderson, R., C. (2003). Development of morphological awareness in Chinese and English. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 16, 399-422.

- Laasonen, M., Tomma-Halme, J., Lahti-Nuutila, P., Service, E., & Virsu, V. (2000). Rate of information segregation in developmentally dyslexic children. *Brain and Language*, 75, 66-81.

- Lalain, M., Joly-Pottuz, B., Nguyen, N., & Habib, M. (2003). Dyslexia: the articulatory hypothesis revisited. *Brain and Cognition*, 53, 253-256.

- Lallier, M., Donnadiou, S., Berger, C., & Valdois S. (2010). A case study of developmental phonological dyslexia : Is the attentional deficit in the perception of rapide stimuli sequences amodal ? *Cortex*, 46 (2), 231-241.

- Lassus-Sangosse, D., N'Guyen-Morel, M.,A., & Valdois, S. (2008). Sequential or simultaneous visual processing deficit in developmental dyslexia ? *Visual Research*, 48, 979-988.

- Lecocq P., Casalis S., Leuwers C., Watteau N. (1996). *Apprentissage de la lecture et compréhension d'énoncés*, Villeneuve d'Asq : Presses Universitaires du Septentrion.

Bibliographie

- Lefavrais, P. (1965). *Description, définition et mesure de la dyslexie*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

- Le Jan, G. (2008). *Modèle d'aide au diagnostic de la dyslexie*. Thèse, Université Rennes 1.

- Le Jan, G., Trolès, N., Le Bouquin-Jeannès R., Faucon, G., Gombert, J., E., Scalart, P., & Pichancourt, D. (2007). Développement d'une plate-forme logicielle en vue de l'élaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie. *ANAE, 91*, 18-22.

- Le Jan, G., Le Bouquin-Jeannès R., Costet, N., Trolès, N., Scalart, P., Pichancourt, D., Faucon, G., & Gombert, J., E. (2010). Multivariate predictive model for dyslexia diagnosis. *Annals of Dyslexia*. (sous presse).

- Leonard, C. M., Eckert, M. A., Lombardino, L. J., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C. M., King W. M., & Freeman, A. (2001). Anatomical risk factor for phonological dyslexia. *Cereb Cortex, 11* (2), 148-157.

- Lété, B., Sprenger-Charolles, L. & Colé, P. (2004). [MANULEX](#) : A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 36*(1), 156-166.

- Lété, B. & Ducrot, S. (2008). Visuo-attentional processing by dyslexics readers on the Reicher-Wheeler Task. *Current psychology letters, 24* (1), 25-39.

- Leybaert, J., & Content, A. (1995). Reading and spelling acquisition in two different teaching methods: A test of the independence hypothesis. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 7*, 65-88.

- Liberman, I., Y., Shankweiler, D., Fisher, W., F., & Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology, 18*, 201-212.

Bibliographie

- Livingstone, M., S., Rosen, G., D., Drislane, F., W., & Galaburda, A., M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Neurobiology*, 88, 7943-7947.

- Lorenzi C., Dumont A., & Füllgrabe C. (2000). Use of temporal cues by children with developmental dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 1367-1379.

- Lovegrove, W., J., Bowling, A., Badcock, B. & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science* 1980, 210, 439-440

- Lovett, M., W. (1987). A developmental approach to reading disability: Accuracy and speed criteria of normal and deficient reading skill. *Child Development*, 58, 234-260.

- Lovett, M., W., & Steinbach, K. (2000). Remediating the core deficits of developmental reading disability: A double-deficit perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 33 (4), 334-358.

- Lundberg, I., & Høien, T. (1989). Phonemic deficits : A core symptom of developmental dyslexia. *The Irish Journal of Psychology*, 10 (4), 579-592.

- Lussier, F., & Flessas, J. (2001). *Neuropsychologie de l'enfant, troubles développementaux et de l'apprentissage*, Paris : Dunod.

- Lyon, G., R., Shaywitz, S., E., & Shaywitz, B., A. (2003). Defining dyslexia, comorbidity, teachers' knowledge of language and reading. A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53, 1-14.

- Lyster, S., A., H. (2002). The effects of morphological versus phonological awareness training in kindergarten on reading development. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15, 261-294.

Bibliographie

- Majeres, R., L. (2005). Phonological and orthographic coding skills in adult readers. *The Journal of Genetic Psychology*, 132, 267-280.

- Manis, F., R., McBride-Chang C., Seidenberg, M., S., Keating, P., & Doi, L., M. (1997). Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia? *Journal of Experimental Child Psychology*, 66, 211-235.

- Mann, V. (1984). Review : reading skill and language skill. *Developmental Review*, 4, 1-15.

- Marec-Breton, N. (2003). *Les traitements morphologiques dans l'apprentissage de la lecture*. Thèse, Université Rennes 2.

- Marendaz, C., Valdois, S., & Walch, J., P. (1996). Dyslexie développementale et attention visuo-spatiale. *L'Année Psychologique*, 96, 193-224.

- Martinet, C., & Valdois S., (1999). L'apprentissage de l'orthographe et ses troubles dans la dylexie développementale de surface. *L'année psychologique*, 99, 577-622.

- Mazeau, M. (2005). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages*. Paris : Masson, pp 230-280.

- Mc Bride-Chang, C., & Ho, C., S.-H. (2000). Developmental issues in chinese children's character acquisition. *Journal of Educational Psychology*, 92, 50-55.

- McCardle, P., Scarborough, H., S., & Catts, H., W. (2001). Predicting, explaining, and preventing reading difficulties. *Learning Disabilities Research and Practice*, 16, 230-239.

- McDougall, S., J., P., & Donohoe, R. (2002). Reading ability and memory span: Long-term memory contributions to span for good and poor readers. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15, 359-387.

Bibliographie

- McPherson, W., B., Ackerman, P., Oglesby, M., & Dykman, R. (1996). Event-related brain potentials elicited by rhyming and non-rhyming pictures differentiate subgroups of reading disabled adolescents. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 31, 3-17.

- McSweeney, M., Brammer, M., Waters, D. & Goswami, U. (2009). Enhanced activation of the left inferior frontal gyrus in deaf and dyslexic adults during rhyming. *Brain*, 132, 1928-1940.

- Miller, C., J., Miller, S., R., Bloom, J., S., Jones, L., Lindstrom, W., Craggs, J., Garcia-Barrera, M., Semrud-Clikeman, M., Gilger, J., W., & Hynd, G., W. (2006). Testing the double-deficit hypothesis in an adult sample, *Annals of Dyslexia*, 56 (1), 83-102.

- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers : auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 199-231.

- Moores, E., Nicolson, R., & Fawcett, A. (2003). Attention deficits in dyslexia : evidence for an automatisisation deficit ? *European Journal of Cognitive Psychology*, 15 (3), 321-348.

- Mousty, P., Leybaert, J., Alegria, J., Content, A., & Morais, J. (1994). BELEC: une batterie d'évaluation du langage écrit et ses implications diagnostiques. In, Grégoire, J., & Piérat, B. (Eds), *Evaluer les troubles de la lecture: les nouveaux modèles théoriques et leurs implications diagnostiques*, 127-145.

- Murat, F. (2005). Les compétences des adultes à l'écrit, en calcul et en compréhension orale. *Insee Première*, 1044, 1-4.

- Nicolson, R., I., & Fawcett, A., J. (1990). Automaticity : a new framework for dyslexia research. *Cognition*, 35, 159-182.

- Nicolson, R., I., Fawcett, A., J., & Dean, P. (1995). Time estimation deficits in developmental dyslexia : evidence of cerebellar involvement. *Proceedings of the Royal Society*, 259, 43-47.

Bibliographie

- Nicolson, R., I., & Fawcett, A., J. (2000). Long term learning in dyslexic children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12 (3), 357-393.

- Nicolson, R., I., Fawcett, A., J., & Dean, P. (2001). Dyslexia, development and the cerebellum. *Trends Neurosciences*, 24 (9), 515-516.

- Nicolson, R., I., & Fawcett, A., J. (2006). Do cerebellar deficits underlie phonological problems in dyslexia ? Commentary on White et al. (2006). *Developmental Science*, 9 (3), 259-262.

- Nithart, C. (2008). Etudes des déficits phonologiques à l'origine des troubles d'apprentissage de la lecture dans la dyslexie et la dysphasie : approches développementale, neuropsychologique et anatomo-fonctionnelle. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

- Nithart, C., Demont, E., Majerus, S., Leybaert, J., Poncelet, M. & Metz-Lutz, M., N. (2009). Reading disabilities in SLI and dyslexia result from distinct phonological impairments. *Developmental neuropsychology*, 34 (3), 296-311.

- Observatoire national de la lecture (ONL). (1998). Apprendre à lire au cycle des apprentissages fondamentaux (GS,CP,CE1). Odile Jacob- CNDP, 224 p.

- Pacton S., Fayol, M., & Perrucher, P. (2005). Children's implicit learning of graphotactic and morphological regularities. *Child development*, 76, 324-339.

- Pammer, K., Lavis, R., Cooper, C., Hansen, P., & Cornelissen, P. (2005). Symbol-string sensitivity and adult performance in lexical decision. *Brain and Language*, 94 (3), 278-296.

- Parrila, R., Kirby, J., R., & McQuarrie, L. (2004). Articulation rate, naming speed, verbal shortterm memory and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Study of Reading*, 8, 3-26.

Bibliographie

- Paulesu, E., Demonet, J.-F., Fazio, F., Mc Crory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S., F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C., D., & Frith U. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*, 291, 2165-2167.

- Perfetti, C., A., Goldman, S., R., & Hogaboam, T., W. (1979). Reading skill and the identification of words in discourse context. *Memory and Cognition*, 7, 273-282.

- Peyrin, C., Démonet, J., F., N’Guyen-Morel, M.,A., Le Bas, J., F., & Valdois, S. (2010). Superior parietal lobule dysfunction in a homogeneous group of dyslexic children with a visual attention span disorder. *Brain and language*, DOI : 10.1016/i.bandl.2010.06.005

- Plaza, M., Chauvin, D., Lanthier, O., Rigoard, M., T., Roustit, J., Thibault, M., P., & Touzin, M. (2002). Validation longitudinale d’un outil de dépistage des troubles du langage écrit. Étude d’une cohorte d’enfants dépistés en fin de CP et réévalués en fin de CE1. *Glossa*, 81, 22-33.

- Posner, M., I., & Petersen, S., E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25–42.

- Posner, M., I., & Raichle, M. (1994). *Images of minds*. New-York : Scientific American Library.

- Prado, C., Dubois, M., & 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.

- Pringle Morgan, W. (1896). A case of congenital word blindness. *British Medical Journal*, 2, 1378.

- Ramus, F. (2001). Outstanding questions about phonological processing in dyslexia, *Dyslexia*, 7, 197-216.

Bibliographie

- Ramus, F. (2003). Dyslexie développementale : déficit phonologique spécifique ou trouble sensorimoteur global ? *Médecine & Enfance*, 6-9.

- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S., C., Day, B., L., Castellote, J., M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia : Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865.

- Ramus, F. & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit ? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61 (1), 129-141.

- Reynolds, M., & Besner, D. (2004). Neighbourhood Density, Word Frequency, and Spelling-Sound Regularity Effects in Naming: Similarities and Differences Between Skilled Readers and the Dual Route Cascaded Computational Model. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58 (1), 13-31.

- Riddell, P., Fowler, M., S., & Stein, J., F. (1990). Spatial discrimination in children with poor vergence control. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 707-718.

- Ringard, J.-C. (2000). A propos de l'enfant dysphasique et de l'enfant dyslexique. *Rapport au Ministre Délégué à l'Enseignement Scolaire*.

- Rutter, M. (1978). Dyslexia. In Benton, A., L., & Pearl, D. (Eds), *Dyslexia : An appraisal of current knowledge*. Oxford : Oxford University Press.

- Savage, R., Lavers, N., Pillay, V. (2007). Working memory and reading difficulties: what we know and what we don't know about the relationship. *Educational Psychology Review*, 19, 185-221.

- Savage, R., Pillay, V., & Melidona, S. (2008). Rapid serial naming is a unique predictor of spelling children. *Journal of Learning Disabilities*, 41 (3), 235-250.

- Scarborough, H., S. (1998). Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid serial naming, and IQ. *Annals of Dyslexia*, 48, 115-136.

Bibliographie

- Schatschneider, C., Carlson, C., D., Francis, D., J., Foorman, B., R. & Fletcher, J., M. (2002), *Journal of Learning Disabilities*, 35, 245-256.

- Schatschneider, C., Fletcher, J., M., Francis, D., J., Carlson, C., D., & Foorman, B., R. (2004). Kindergarten prediction of reading skills: a longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology*, 96, 265-282.

- Schneider, W., & Shiffrin, R. (1977). Controlled and automatic human information processing : detection search and attention. *Psychology Review*, 84, 1-66.

- Seidenberg, M., S., Mc Clelland, J., L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition. *Psychological Review*, 96, 523-568.

- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carre, R., & Demonet, J.-F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *Journal of Speec, Language and Hearing Research*, 44, 384-399.

- Serniclaes, W., & Sprenger-Charolles, L. (2003). Categorical perception of speech sounds and dyslexia. *Current Psychology Letters : Behaviour, Brain & Cognition*, 10.

- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., H., Carré, R., & Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 336-361.

- Seymour, P., H., K. (1997). Les fondations du développement orthographique et morphographique. In Rieben, L., Fayol, M. & Perfetti, C., A. (Eds.), *Des orthographes et leur acquisition* (pp. 385-403). Lausanne : Delachaux et Niestlé.

- Shankweiler, D., Crain, S., Katz, L., Fowler, A., E., Liberman, A., M., Brady, S., A., Thornton, R., Lundquist, E., Dreyer, L., Fletcher, J., M., Stuebing, K., K., Shaywitz, S., E., Shaywitz, B. A. (1995). Cognitive profiles of reading-disabled children : comparison of language skills in phonology, morphology, and syntax. *Psychological Science*, 6, 149-156.

Bibliographie

- Share, D., L., Jorm, A., F., Mc Lean, R., & Matthews, R. (2002). Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing. An Interdisciplinary Journal*, 15, 151–178

- Shaywitz, S.,E., Fletcher, J., M., Holahan, J., Schneider, A., Marchione, K., Steubing, K., Francis, D., Pugh, K., & Shaywitz, B.,A. (1999). Persistence of dyslexia : The Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics*, 104, 1-9.

- Skottun, B., C., (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, 40, 111-127.

- Skoyles, J., & Skottun, C. (2004). On the prevalence of magnocellular deficit in the visual system of non dyslexics individuals. *Brain and Language*, 88, 79-83.

- Smith-Park, J., & Fisk, J. (2007). Working memory functioning in developmental dyslexia. *Memory*, 15 (1), 34-56.

- Snowling, M., J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia*, 7, 37-46.

- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L., S., & Bonnet, P. (1998). Reading and spelling acquisition in French : The role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology*, 68, 134-165.

- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54, 88-104.

- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003). *Lecture et dyslexie, approche cognitive*, Paris : Dunod.

Bibliographie

- Sprenger-Charolles, L., Siegler, L., S., Béchenec, D., & Serniclaes, W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading and in spelling : a four-years longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84, 167-263.

- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Piquart-Kipfer, A. et Leloup, G. (2010). *EVALEC*. Paris : Orthoedition.

- Stanovitch, K., E., Siegel, L., S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 89, 114-127.

- Sternberg, R., J., & Wagner, R., K. (1982). Automatization failure in learning disabilities. *Topics in Learning and Learning Disabilities*, 28, 409-417.

- Stein, J., F. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36.

- Stein, J., F. (2003). Visual motion sensitivity and reading. *Neuropsychologia*, 41, 1785-1793.

- Stein, J., F., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosciences*, 20, 147-152.

- Stein, J., F., Richardson, A., J., & Fowler, M., S. (2000). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain*, 123, 164-170.

- Swan, D., & Goswami, U. (1997). Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 66 (b), 8-41.

Bibliographie

- Talcott, J., Hansen, P., Assoku, E., L., & Stein, J. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38, 935-943.

- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9 (2), 182-198.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Developmental aphasia: Impaired rate of nonverbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11, 389-398.

- Tallal, P., Stark, R., & Mellits, E. D. (1985). Identification of language impaired children on the basis of rapid preception and production skills. *Brain and Language*, 25, 314-322.

- Tallal, P., Miller, S., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S., Schreiner, C., Jenkins, W. M., & Merzenich, M., M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271, 81-84.

- Temple, E., Poldrack, R., A., Protopapas, A., Nagarajan, S., S., Salz, T., Tallal, P. (2000). Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 13907-13912.

- Tiffin-Richards, M., C., Hasselhorn, M., Richards, M., L., Banachewski, T., & Rothenberger, A. (2004). Time reproduction in finger tapping tasks by children with attention-deficit hyperactivity disorder and/or dyslexia. *Dyslexia*, 10, 299-315.

- Tijms, J. (2004). Verbal memory and phonological processing in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 27 (3), 300-310.

- Trolès, N. (2005). Les troubles visuo-attentionnels dans la dyslexie. Unpublished, Mémoire Master 2 de Recherche. Université Rennes 2.

- Trolès, N., Pichancourt, D., Gombert, J.,E. (2010). Approche multidisciplinaire dans l'élaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie. *Bilan neuropsychologique et démarches pédagogiques, Actes du 5^{ème} colloque de Lyon, 17-18 mars 2008 – INS HEA*.

Bibliographie

- Trolès, N., Pichancourt, D., & Gombert, J., E. (2010). L'importance de l'évaluation des capacités visuo-attentionnelles dans le diagnostic de la dyslexie. *ANAE, 107-108*, 143-149.
- Tunmer, W., E., Bowey, J., A., & Grieve, R. (1983). The development of young children's awareness of the word as a unit of spoken language. *Journal of Psycholinguistic Research, 12*, 567-594.
- Valdois, S. (2010). Trouble de l'empan visuo-attentionnel dans les dyslexie développementale : de la théorie à la pratique clinique. In Chokron, S. & Démonet, J., F. (Eds), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* pp 91-116. Marseille : Solal,
- Valdois, S. (2010). Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture. *Revue Française de Linguistique Appliquée, 15 (1)*, 89-103.
- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia : Evidence from two case studies. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal, 16*, 541-572.
- Valdois, S., Bosse, M.-L. & Tainturier, M., J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder, *Dyslexia, 10*, 1-25.
- Vellutino, F. (1979). The validity of perceptual deficit explanations of reading disability : a reply to Fletcher and Satz. *Journal of learning disabilities, 12 (3)*, 160-171.
- Vellutino, F., Smith, H., Stager, J., & Kaman, M. (1975). Reading disability : age differences and perceptual-deficit hypothesis. *Child development, 46*, 487-493.
- Vellutino, F., Fletcher, J., Snowling, M. & Scanlon D. (2004). Specific reading disability (dyslexia) : what have learned in the past four decades. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45 (1)*, 2-40.
-

Bibliographie

- Vidyasagar, T.,R.(1999). A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research Reviews*, 30 , 66-76.

- Vigneau, M., Jobard, G., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer N. (2007). Spécialisation hémisphérique fonctionnelle de la VWFA pour la lecture de mots. *Revue de neuropsychologie*, 17(2), 99-148.

- Von Karolyi, C., Winne, E., Gray, W., & Sherman, F. (2003). Dyslexia linked to talent : global visual spatial ability. *Brain and Language*, 85, 427-432.

- Wagner, R., K., Torgesen, J., K., & Rashotte, C., A. (1994). The development of reading-related phonological processing abilities : new evidence of bi-directional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 30, 73-87.

- Wagner, R., K., Torgesen, J., K., Rashotte, C., A., Hecht, S., A., & Barker, T., A. (1997). Changing causal relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to fluent readers : a five year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 33, 468-479.

- White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Wettenham, J., Frith, U., & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia. A multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science*, 9 (3), 237-269.

- Willcutt, E., G., Pennington, B., F., Boada, R., Ogline, J., S., Tunick, R., A., & Chabildas, N., A. (2001). A comparison of the cognitive deficits in reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 110, 157-172.

- Witton, C., Talcott, J., B, Hansen, P., C., Richardson, A., J., Griffiths, T., D., Rees, A., Stein, J., F., Green, G., G., R. (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology*, 14 (8), 791-797.

Bibliographie

- Witton, C., Stein, J., F., Stoodley, C., J., Rosner, B., S. & Talcott, J., B. (2002). Separate influences of acoustic AM and FM sensitivity on the phonological decoding skills of impaired and normal readers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14 (6), 866-874.

- Wolf, M. (1986). Rapid alternating stimulus naming in the developmental dyslexia. *Brain and Language*, 27, 360-379.

- Wolf, M., & Bowers, P., G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexia. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 415-438.

- Wolf, M., Goldberg O'Rourke, A., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P., & Morris, R. (2002). The second deficit : An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15, 43-72.

- Wood, F., B., & Felton, R., H. (1994). Separate linguistic and developmental factors in the development reading. *Topics in Language Disorders*, 14, 42-57.

- Wood, F., B., Hill, D., F., Meyer, M., S., & Flowers, D., L. (2005). Predictive assessment of reading. *Annals of Dyslexia*, 55 (2), 193-216.

- Wolff, P., H. (2002). Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15, 179–206.

- Wolff, U., & Lundberg I. (2003). A technique for group screening of dyslexia among adults. *Annals of dyslexia*, 53, 324-339.

ANNEXES

I. Distribution des variables

1. Variables lexiques :

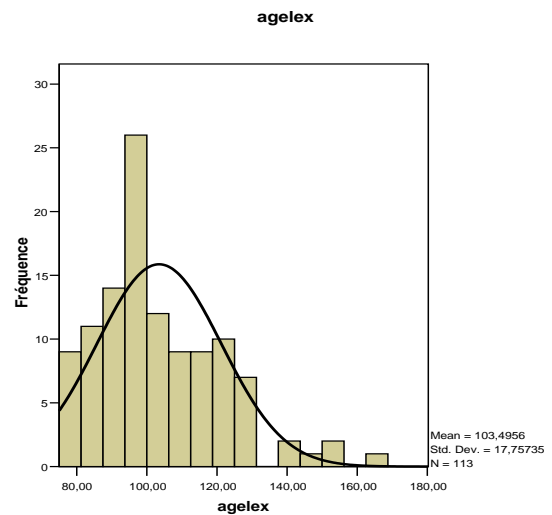
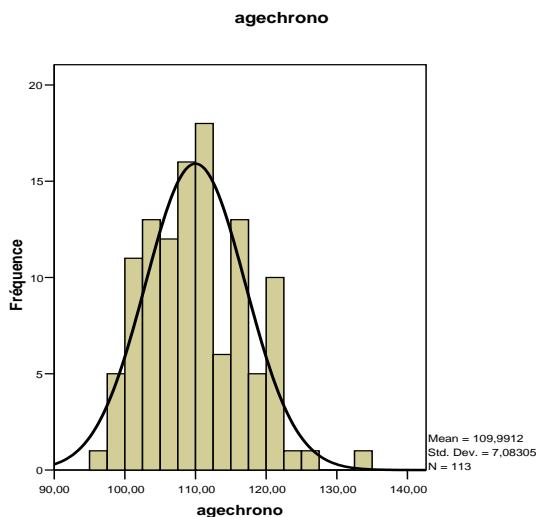
a) Niveau de lecture :

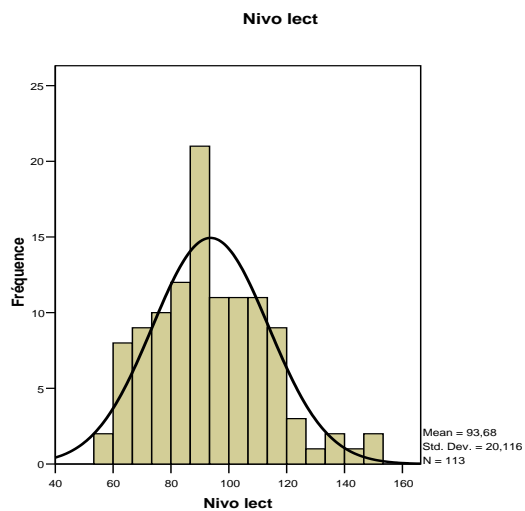
Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
agechrono	0,07	0,037	0,151	0,074	0,139
agelex	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Nivo lect	0,14	0,030	0,140	0,116	0,071

Asymétrie, aplatissement

	agechrono	agelex	Nivo lect
N	113	113	113
Asymétrie	0,457298927	1,0099981	0,5331764
Aplatissement	0,212667347	1,061766089	0,1999371





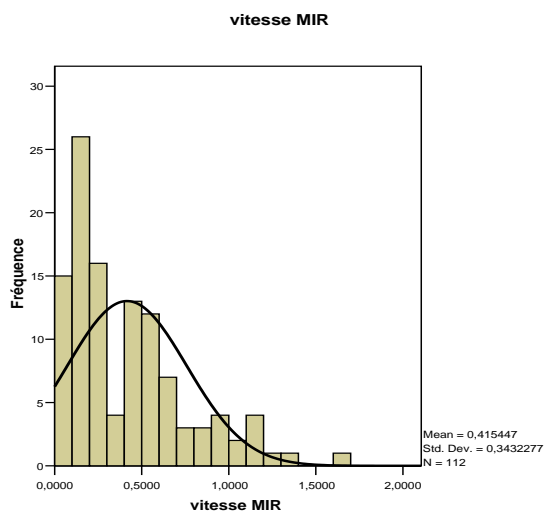
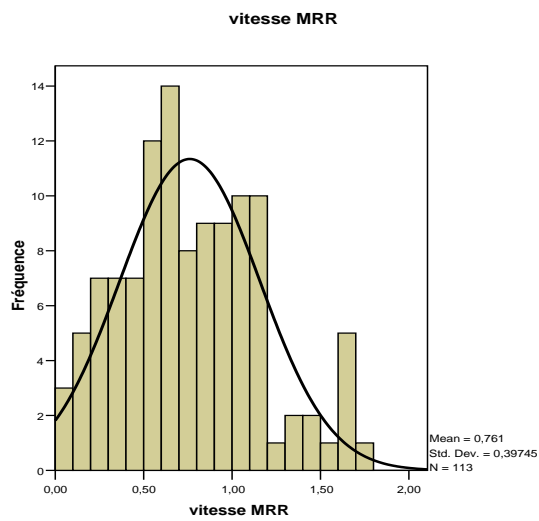
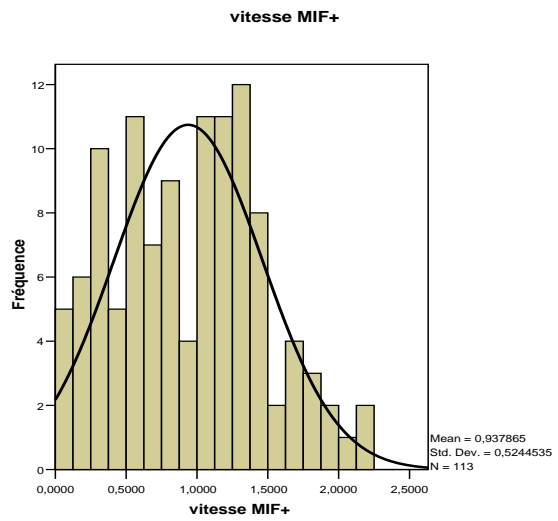
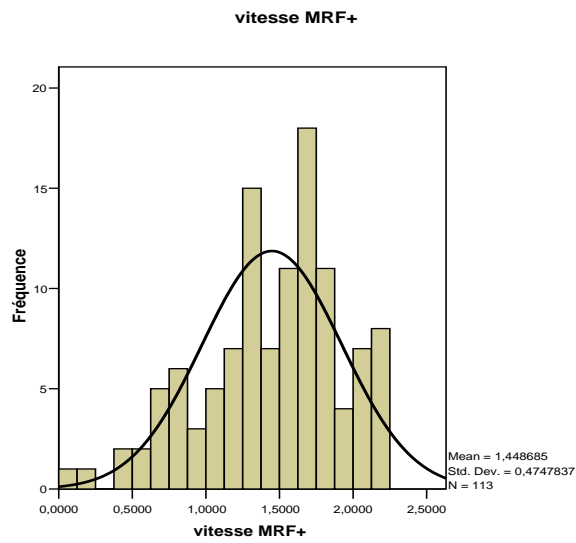
b) Vitesse de Lecture :

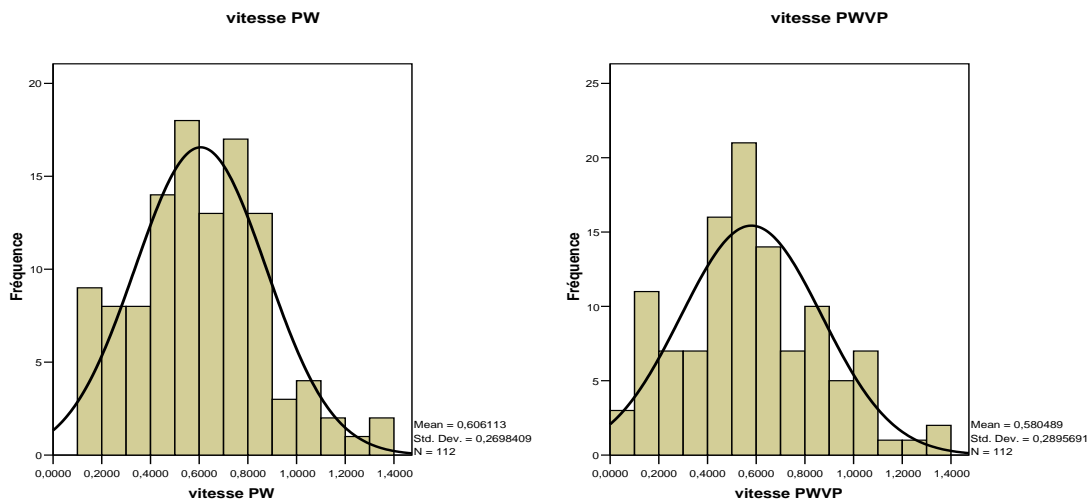
Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
vitesse MRF+	0,037	0,016	0,029	0,037	0,147
vitesse MIF+	,200(*)	0,026	0,069	0,25	0,222
vitesse MRR	,200(*)	0,013	0,087	0,308	0,12
vitesse MIR	0	0	0	0	0
vitesse PW	,200(*)	0,105	0,43	0,597	0,358
vitesse PWVP	0,15	0,107	0,277	0,121	0,289

Asymétrie, aplatissement

	vitesse MRF+	vitesse MIF+	vitesse MRR	vitesse MIR	vitesse PW	vitesse PWVP
N	113,00	113,00	113,00	112,00	112,00	112,00
Asymétrie	-0,54	0,22	0,44	1,14	0,33	0,35
Aplatissement	-0,02	-0,64	-0,14	1,02	-0,03	-0,19



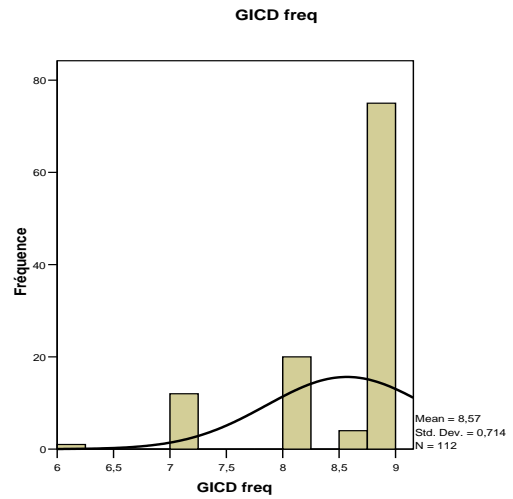
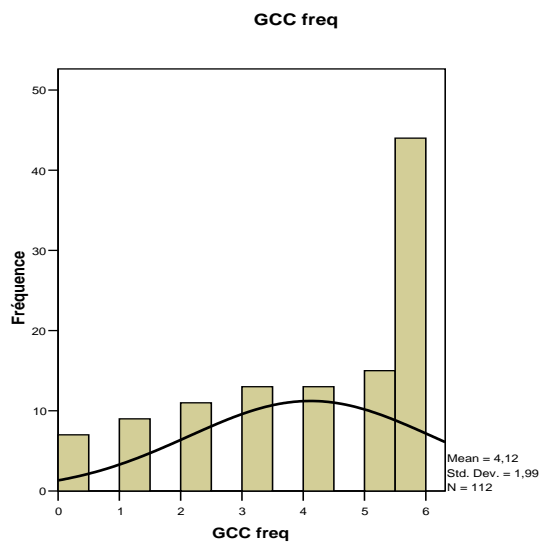
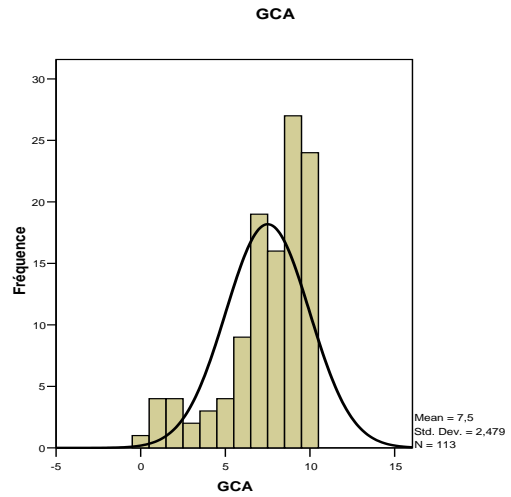
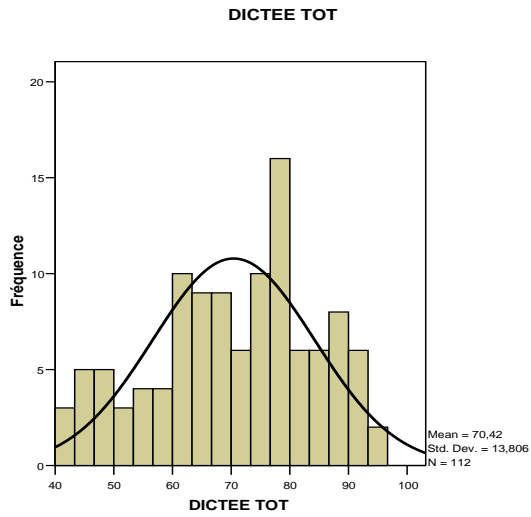


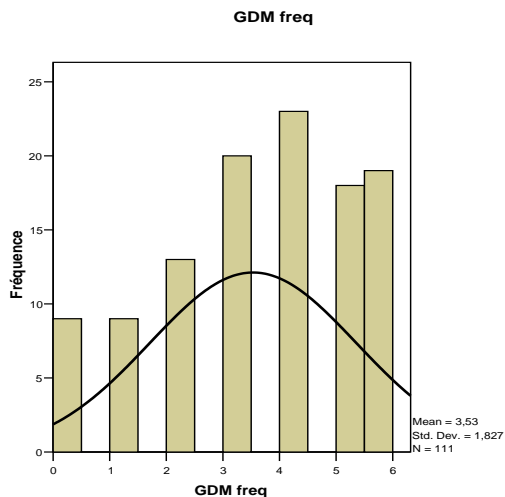
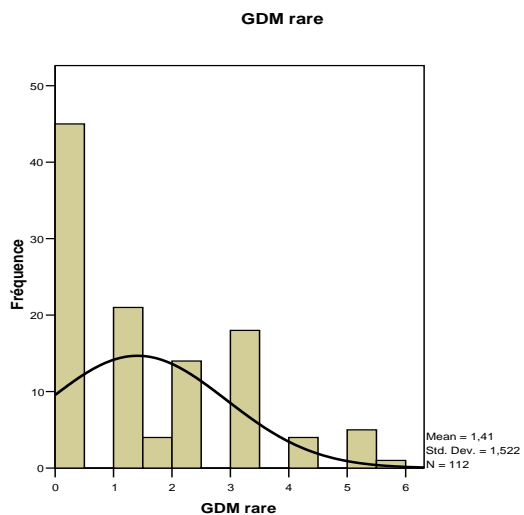
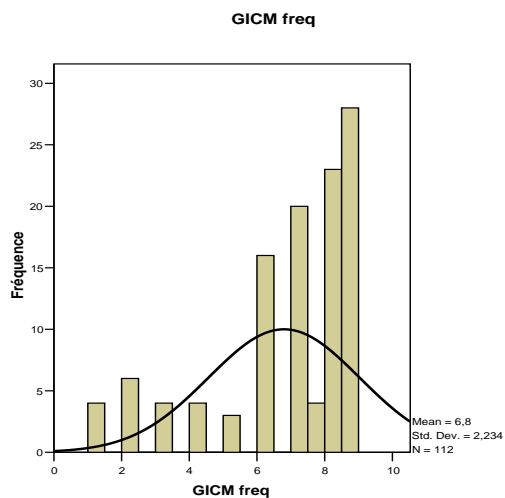
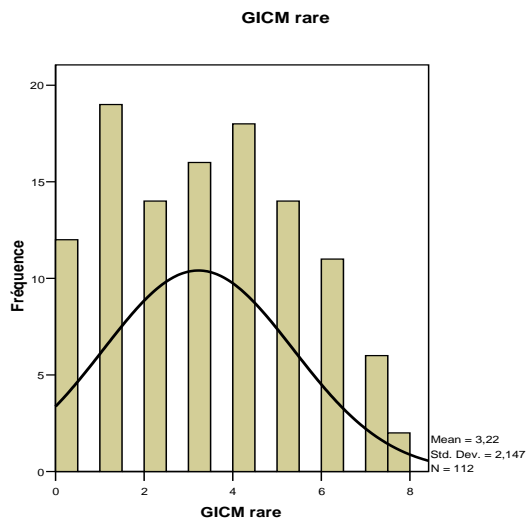
c) Dictée :

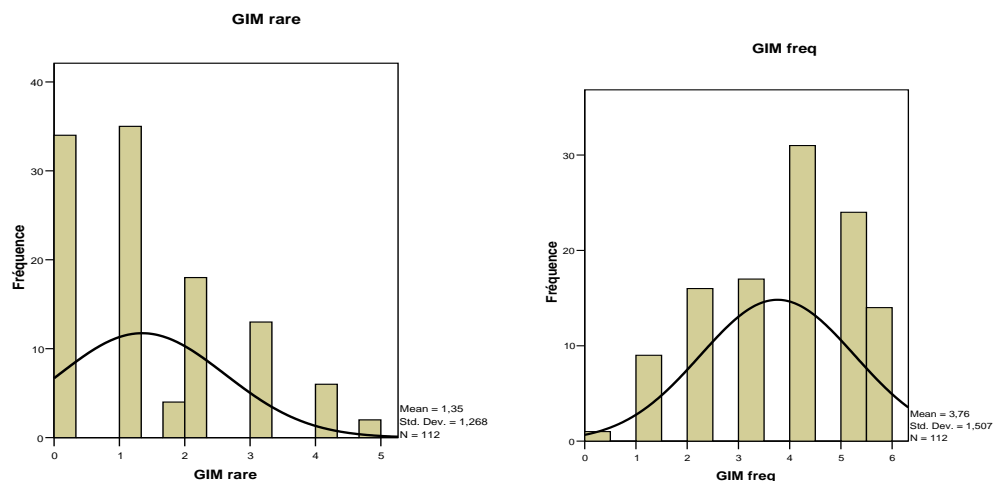
Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
GCA	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
GCC rare	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,007
GCC freq	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,003
GICD rare	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,062
GICD freq	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
GICM rare	< 0,0001	0,000	0,000	0,000	0,092
GICM freq	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
GDM rare	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001
GDM freq	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,058
GIM rare	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,002
GIM freq	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,106
DICTEE TOT	0,015	0,004	0,016	0,016	0,088

	GCA	GCC rare	GCC freq	GICD rare	GICD freq	GICM rare	GICM freq	GDM rare	GDM freq	GIM rare	GIM freq	DICTE E TOT
N	113	113	112	112	112	112	112	112	111	112	112	112
Asymétrie	-1,27	0,01	-0,67	-0,55	-1,54	0,21	-1,18	0,90	-0,38	0,85	-0,36	-0,30
Aplatissement	1,05	0,66	-0,86	-0,12	1,34	-0,91	0,55	0,02	-0,81	0,10	-0,70	-0,81







2. Variables contrôles :

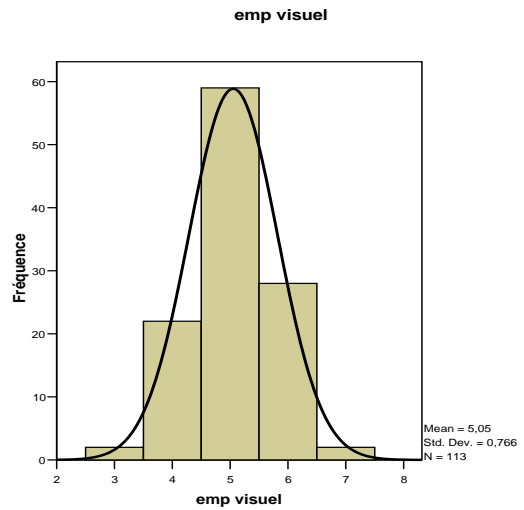
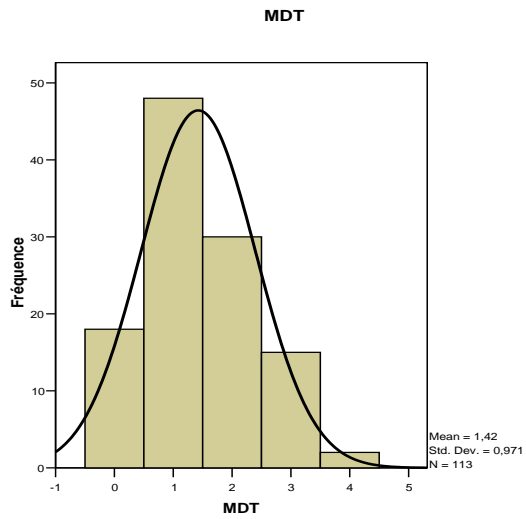
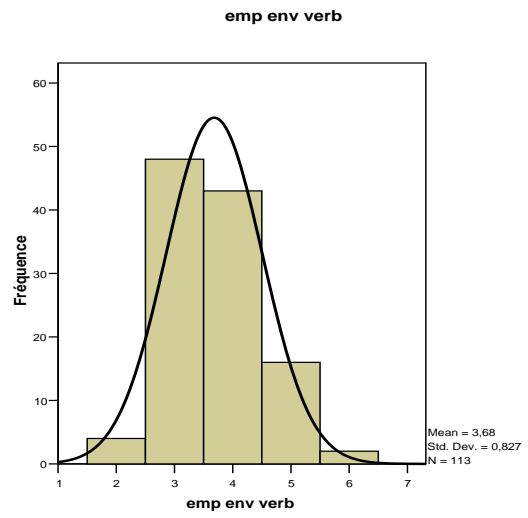
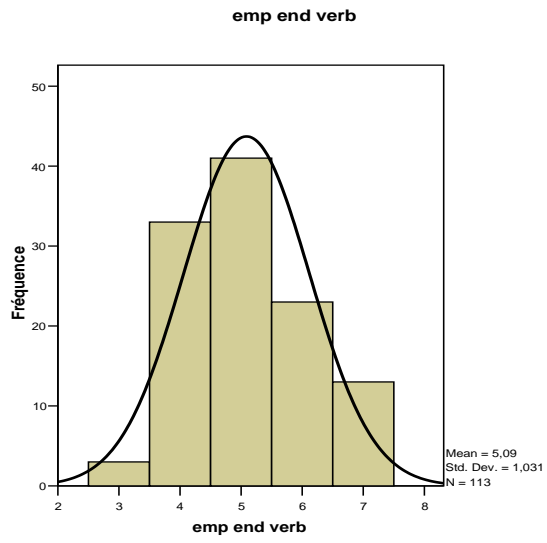
a) Mémoire :

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
emp end verb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,139
emp env verb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,134
MDT	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,138
emp visuel	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,927

Asymétrie, aplatissement

	emp end verb	emp env verb	MDT	emp visuel
N	113,00	113,00	113,00	113,00
Asymétrie	0,32	0,46	0,42	-0,09
Aplatissement	-0,64	-0,08	-0,33	0,04



Annexes

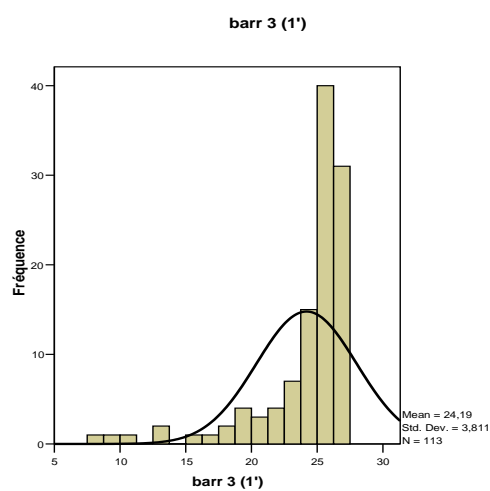
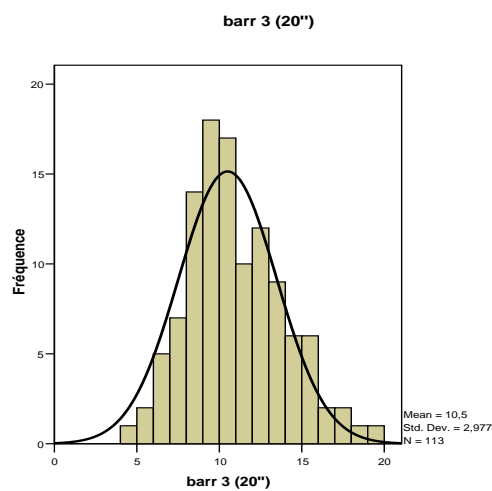
b) Attention :

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
barr 3 (20")	< 0,0001	0,026	0,006	< 0,0001	0,081
barr 3 (1')	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Asymétrie, aplatissement

	barr 3 (20")	barr 3 (1')
N	113,00	113,00
Asymétrie	0,52	-2,32
Aplatissement	0,25	5,82



3. Capacités cognitives

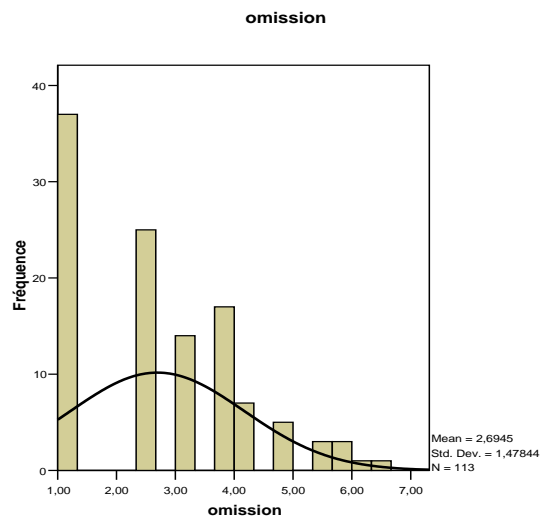
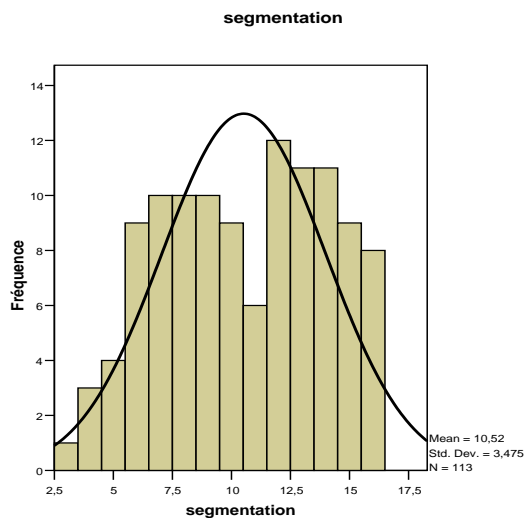
a) Phonologie :

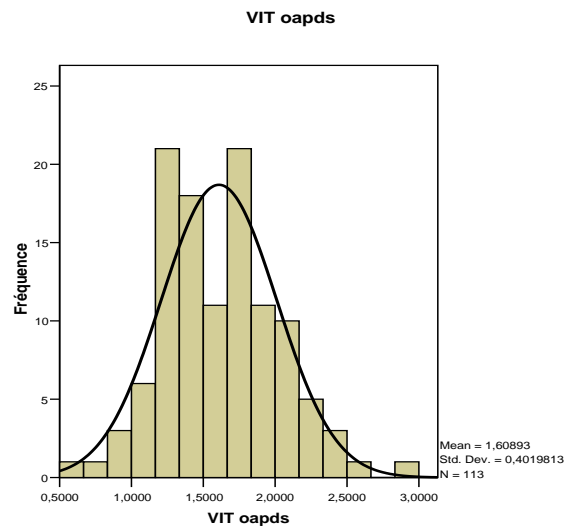
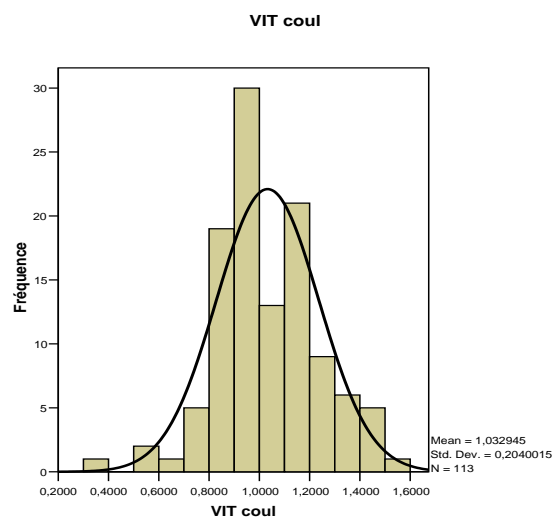
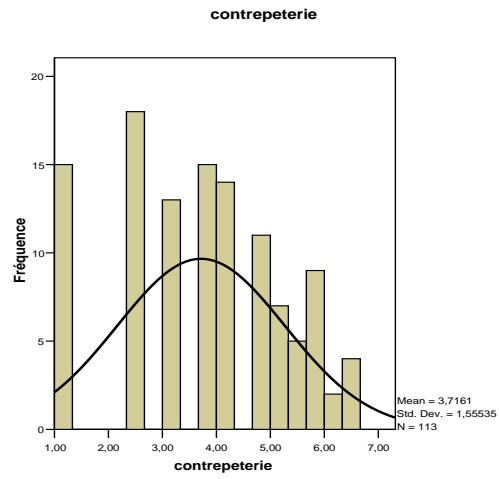
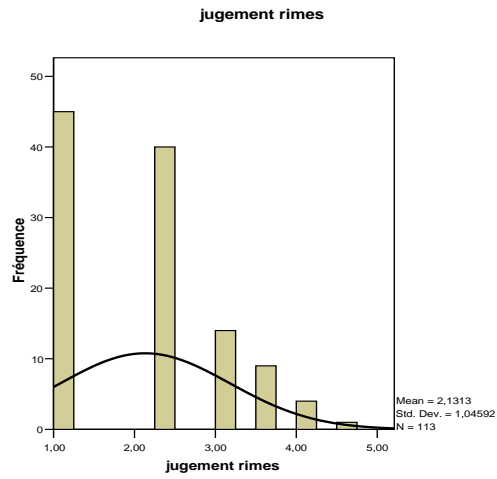
Tests de normalité

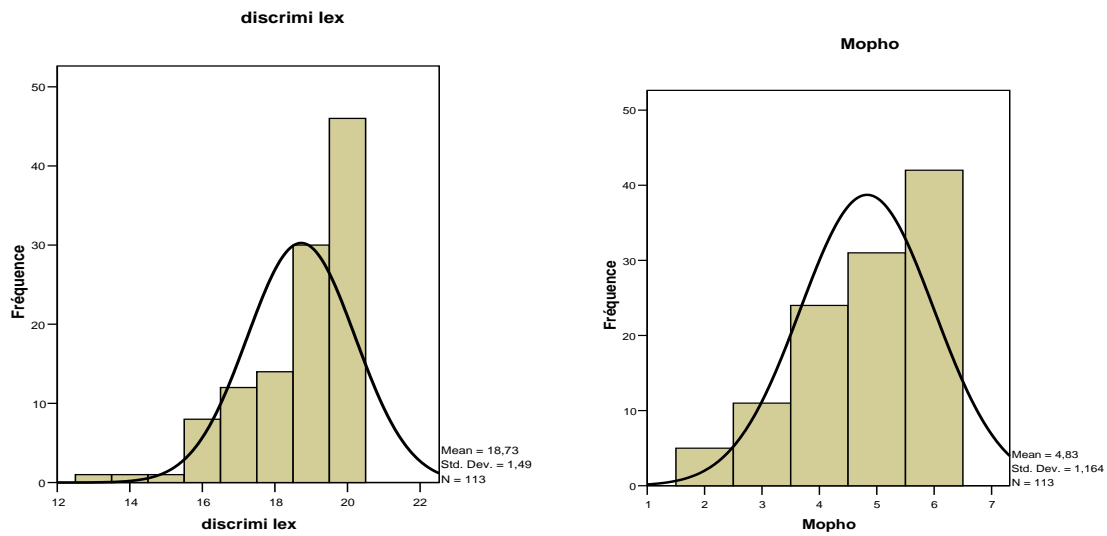
	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
segmentation	< 0,0001	0,001	0,001	0,001	0,054
omission transf	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,067
jugement rim transf	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,040
contrepètrie transf	< 0,0001	0,000	0,001	0,011	0,155
discrimi lex	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
VIT oapds	0,20	0,583	0,538	0,220	0,338
VIT coul	< 0,0001	0,126	0,034	0,003	0,670
Mopho	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,005

Asymétrie, aplatissement

	segmentation	omission	jugement rimes	contrepèterie	discrimi lex	VIT oapds	VIT coul	Morpho
N	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00
Asymétrie	-0,13	0,44	0,33	-0,21	-1,32	0,31	0,07	-0,74
Aplatissement	-1,08	-0,59	-0,96	-0,77	1,59	0,36	0,46	-0,34







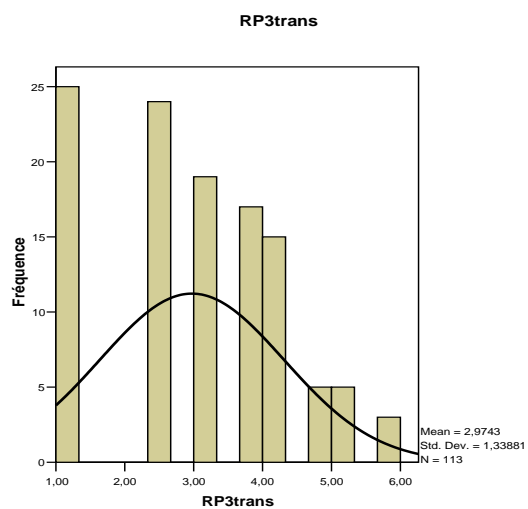
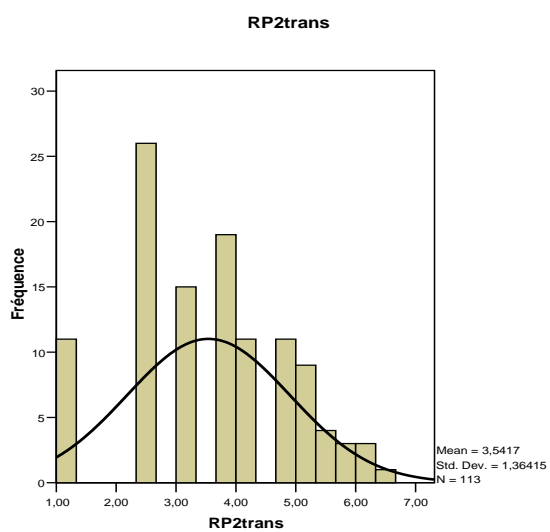
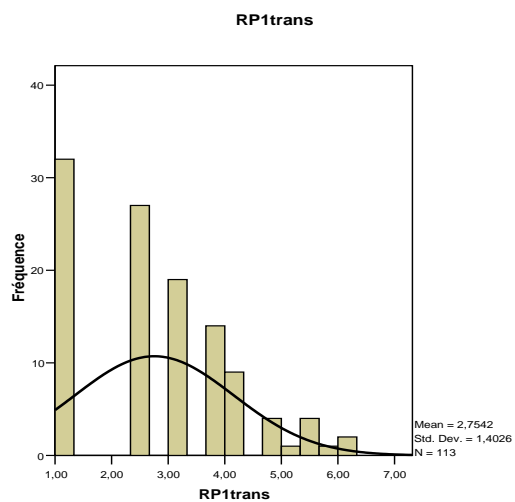
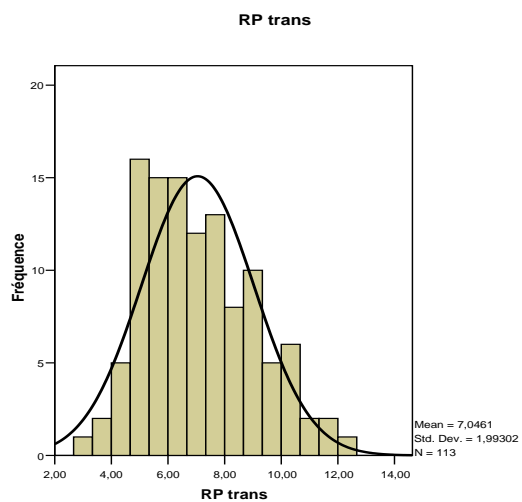
b) Visuo-attentionnel

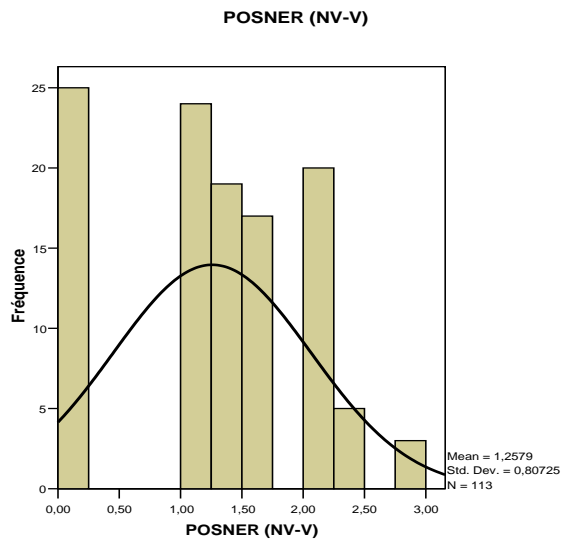
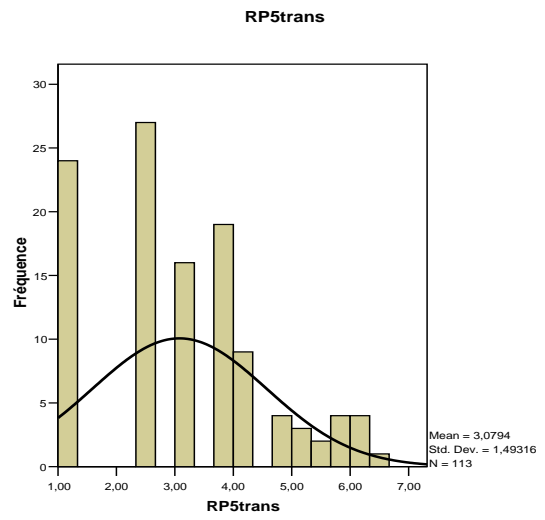
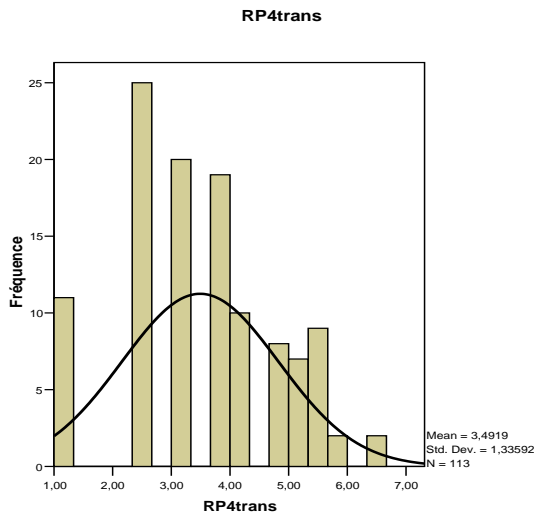
Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
RP trans	0,03	0,018	0,011	0,025	0,082
RP1trans	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,151
RP2trans	0,00	0,001	0,001	0,000	0,427
RP3trans	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,180
RP4trans	0,00	0,001	0,000	0,001	0,543
RP5trans	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,221
Posner	0,00	0,018	0,001	0,001	0,150

Asymétrie, aplatissement

	RP trans	RP1trans	RP2trans	RP3trans	RP4trans	RP5trans	POSNER
N	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00	113,00
Asymétrie	0,48	0,33	-0,07	-0,06	-0,03	0,28	-0,30
Aplatissement	-0,35	-0,59	-0,55	-0,83	-0,47	-0,54	-0,84





Annexes

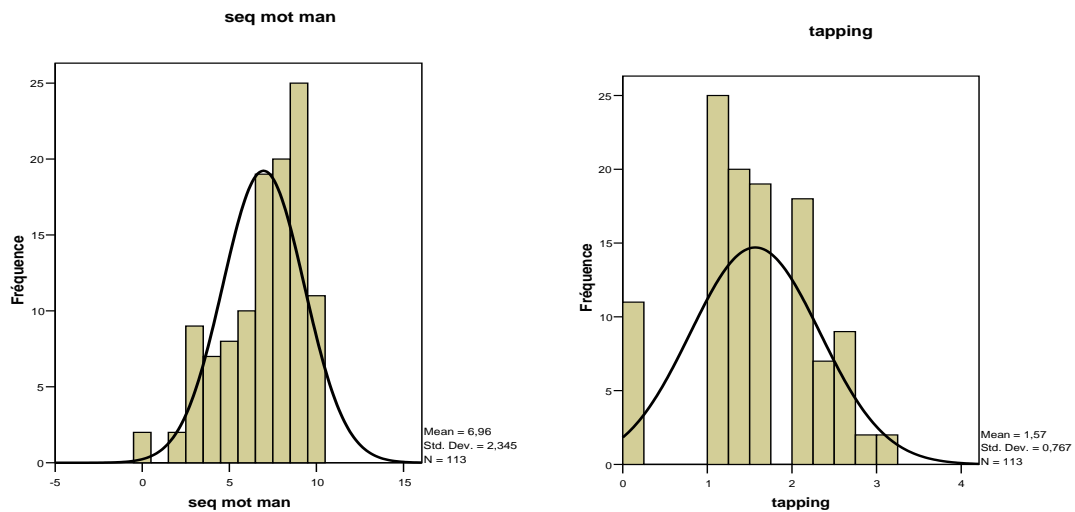
c) Variabes motrices

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
seq mot man	< 0,0001	< 0,0001	0,062	0,128	< 0,0001
tapping	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Asymétrie, aplatissement

	seq mot man	tapping
Asymétrie	-0,84	-0,30
Aplatissement	0,10	-0,21



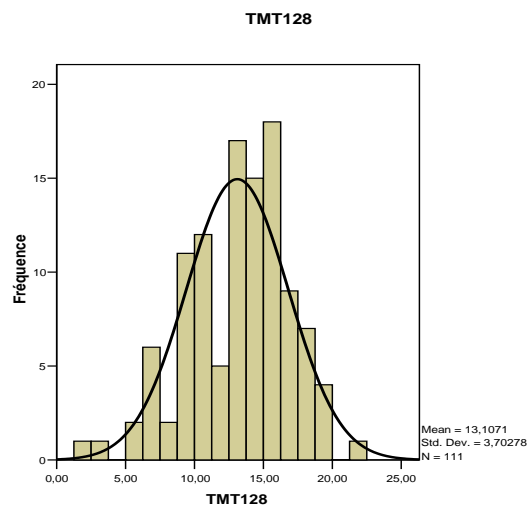
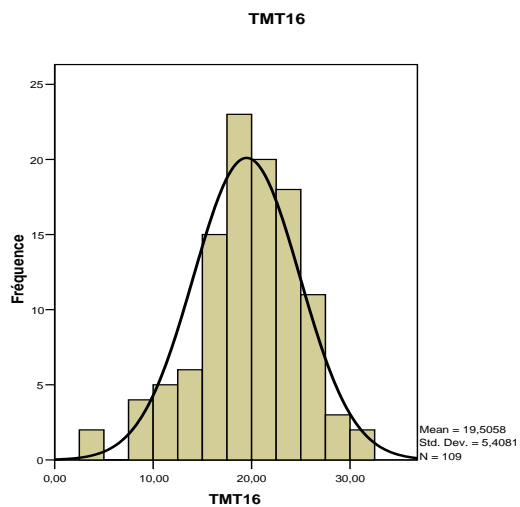
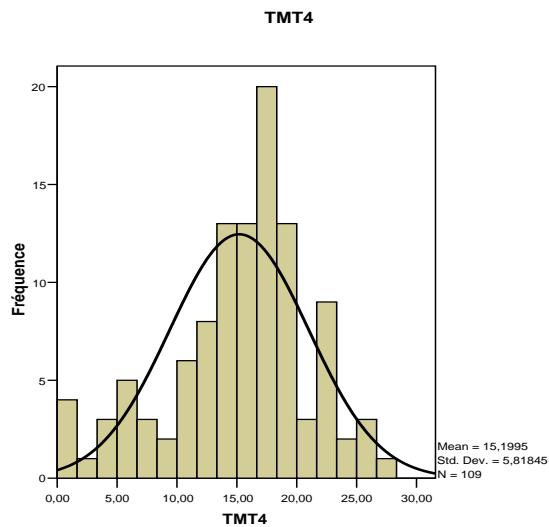
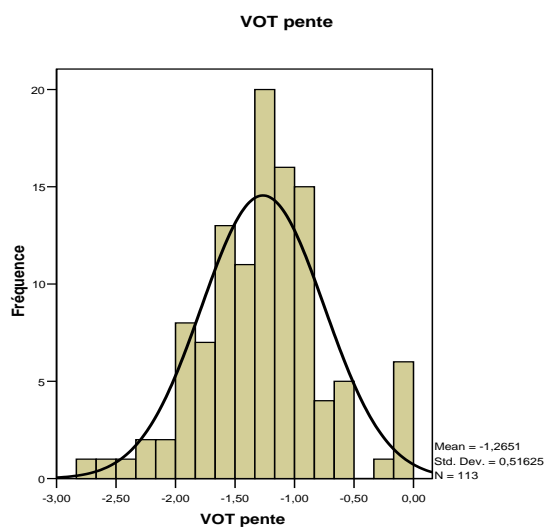
d) Variabes auditives :

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
VOT Pente	0,03	0,069	0,068	0,024	0,278
TMTF 4	0,04	0,014	0,005	0,040	0,114
TMTF 16	0,08	0,031	0,033	0,077	0,027
TMTF 128	0,20	0,478	0,170	0,225	0,455

Asymétrie, aplatissement

	VOT pente	TMTF 4	TMTF 16	TMTF 128
Asymétrie	-,050	-,543	-,666	-,463
Aplatissement	,738	,104	,848	,172



II. Consignes et matériel de passation

On estime le temps de protocole à une heure environ.

ALOUETTE

Matériel : la feuille de lecture
la feuille de correction

Consigne :

« Tu vas lire un texte à haute voix pendant 3 minutes c'est un texte qui est un peu étrange, il ne faut pas chercher à le comprendre. Il faut faire attention car il y a des mots difficiles. Tu vas le lire le plus vite possible et du mieux que tu peux. »

Si l'enfant bute sur un mot compter 5 secondes puis lui dire de passer au mot suivant...
Si enfant termine avant les 3 minutes, noter le temps, sinon noter le nombre de mots lus.

EMPAN DE CHIFFRES

Matériel : feuille de cotation

- Empan endroit

Consigne :

« Je vais te dire plusieurs chiffres l'un après l'autre. Tu dois répéter les chiffres que j'ai dit dans le même ordre que moi. Comme c'est difficile tu n'arriveras peut-être pas à te rappeler de tous les chiffres, mais tu essayeras de me rappeler le plus de chiffres que tu peux dans l'ordre.

Par exemple si je dis 2-9-6... »

- Empan envers

Consigne :

« Maintenant tu dois répéter les chiffres que j'ai dit, mais à l'envers, en partant du dernier que j'ai dit. Par exemple si je dis 4-2, tu dois répondre... »

- blocs de Corsi

Consigne :

« je vais te montrer plusieurs cubes les uns après les autres. Tu vas me montrer les mêmes cubes et dans le même ordre... »

BARRAGE DE CHIFFRES

Matériel : feuille de test
Chronomètre

Consigne : **« tu vas barrer tous les 3 de la feuille, le plus rapidement possible, sans en oublier. »** Arrêter l'enfant au bout de 20 secondes.

Annexes

LECTURE DE MOTS ISOLES

Matériel : Feuille de cotation
Chronomètre

Consigne :

« Tu vas me lire des listes de mots à voix haute. Il faut que tu les lises le mieux que tu peux et le plus rapidement possible. »

Au moment des pseudo-mots dire que ce sont des mots inventés. »

DISCRIMINATION LEXICALE

Matériel : Ordinateur
La feuille de cotation

Consigne :

« Je vais te donner une liste de mots, deux par deux... tu me diras, le plus vite possible, s'ils sont pareils ou pas pareil, c'est-à-dire si tu entends les mêmes sons ou non. Par exemple si je te dis : PANBALON / BANBALON ou BALOUMO / BALOUMO ... »

SEGMENTATION EN PHONEMES

Matériel : La feuille de cotation

Consigne :

« Je vais te dire un mot. Tu dois découper ce mot en sons, et me dire tous les sons séparément. Par exemple si je te dis POUR, tu dois me dire /p/-/u/-/r/.

Si je te dis CHASSE qu'est ce que tu me réponds... avec MENTON, PLANCHE... »

OMISSION DE PHONEME INITIAL

Matériel : la feuille de cotation

Consignes :

« Je vais te dire un mot. Tu dois enlever le premier son et me dire ce qui reste. Par exemple si je te dis ENVOI, tu enlèves EN et tu me dis VOI.

Si je dis ORANGE, qu'est ce que tu réponds... avec CAVERNE, PLACARD... »

CONTREPETERIES

Matériel la feuille de cotation :

Consignes :

« je vais te dire deux mots. tu vas devoir échanger les premiers sons de ces deux mots pour créer deux nouveaux mots qui ne veulent rien dire. Par exemple, si je dis pipe – robe, il faut échanger le /p/ de pipe avec le /r/ de robe. Que deviennent les mots ? »

Attendre un peu. En cas de bonne réponse féliciter sinon :

« dans pipe, je met le /r/ à la place du /p/. Dans robe je met le /p/ à la place du /r/, ça fait... ». Attendre un peu. En cas de bonne réponse féliciter sinon : « ça fait pobe et ripe »

Annexes

JUGEMENT DE RIMES

Matériel : la feuille de cotation

Consigne :

« Je vais de dire une série de 3 mots, 2 d'entres eux ont le même son à la fin et le troisième ne se termine pas avec le même son : c'est l'intrus. Tu devras me donner l'intrus de chaque série.

Par exemple, si je te dis, LAPIN, PRINTEMPS, ARGENT... donnes moi l'intrus. »

MORPHOLOGIE

Consigne 1 :

« je vais te donner trois phrases, tu dois me dire OUI si tu es d'accord et NON si tu n'es pas d'accord. Par exemple : (lire la phrase...) : Un chaton est un bébé chat entendre la réponse de l'enfant...) oui c'est vrai, alors il faut me dire OUI. La deuxième phrase : un ânon est un bébé âne... (attendre réponse enfant...) oui, c'est vrai, il faut donc me dire OUI... enfin, un canon est un bébé cane (attendre la réponse de l'enfant...), non, ce n'est pas vrai donc tu me réponds non. Maintenant à toi, tout seul... »

Lire les différents items à l'enfant sans lui donner d'aide.

Consigne 2 :

« Je vais te donner 4 mots, tu devras me dire dans quel mot la syllabe « re » ne veut pas dire faire la même chose deux fois... on va faire un exemple. Recoller, regretter, reparler, repartir. Recoller veut dire coller deux fois, reparler signifie parler deux fois, repartir, veut dire partir deux fois, mais le regretter ne veut pas dire « gretter » deux fois car gretter c'est un mot qui n'existe pas... essaye tout seul avec les mots suivants... »

Lire les 3 items à l'enfant, un à un, lui répéter autant de fois nécessaire les différents mots...

DENOMINATION RAPIDE

Matériel : Feuille de test

Feuille de cotation

Chronomètre

consigne : *« je vais te montrer une feuille sur laquelle sont écrites des lettres (sont dessinés des ronds de couleur). Il faut dire le nom des lettres (des couleurs) le plus vite possible et sans faire d'erreurs.*

Tu dois commencer par ligne du haut et nommer les lettres (couleurs) de gauche à droite. Il faut nommer les lettres sans t'arrêter en bout de ligne puis recommencer par le début à gauche de la ligne suivante jusqu'à la fin. »

Annexes

REPORT PARTIEL (LETTRES)

Matériel : ordinateur

Consigne :

« Dans cet exercice, un point vas apparaître au milieu de l'écran. Il faudra bien le regarder. Ensuite une série de lettres apparaît à la place du point, pendant un moment très court. Puis une petite barre apparaît sous une des lettres. Il faut que tu me dises sous quelle lettre la barre s'est mise. On va faire des essais pour que tu t'entraînes... Maintenant on commence l'exercice. »

POSNER

Matériel : ordinateur

EPREUVES DE MOTRICITE

Matériel : les feuilles de passation (séquences motrices manuelles et tapping).

La feuille de cotation

DICTEE

Matériel : feuille de cotation

Consigne :

« voici une liste de phrases. Comme tu peux le voir, dans chaque phrase, il y a 1, 2 ou parfois 3 mots qui manquent (là où il y a les petits points). Je vais d'abord te lire chaque phrase complètement avec les mots qui manquent. Ecoute les bien. Puis je répèterai chaque mot qui manque et tu vas l'écrire à sa place dans la phrase, au dessus des petits points. Il y a peut être certains mots que tu ne connais pas. Ce n'est pas grave, essaye de les écrire quand même le mieux que tu peux. Je te demande aussi d'écrire le plus clairement possible : essaye de bien former les lettres pour que je puisse les reconnaître après, quand tu ne seras plus là. Est ce que tu as bien compris ? »

Pour l'examineur : lire les phrases lentement, répéter ensuite chaque mot à écrire, deux fois (ou plus si nécessaire) et laisser un temps suffisant à l'enfant pour répondre avant de passer au mot suivant. Adapter ce temps de réponse à l'enfant et à ce niveau scolaire. Après la première phrase vérifier si l'enfant a bien compris les consignes.

Annexes

Mémoire court terme

Endroit :

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

Envers :

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

Visuel (bloc de Corsi)

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

papa
nuit
journal
montagne
ami
arbre
classe
mercredi
bonjour
matin
soir
maman
sac
lait
lapin
chocolat
poisson
cochon
cheval
maison

femme
hier
travail
monsieur
wagon
aiguille
clown
dix
automne
ped
orchestre
moyen
hiver
gentil
parasol
compter
ville
oignon
fusil
sept

congé
dorade
rigueur
asile
lama
corne
cru
hausse
cirer
rance
courroie
baril
esquif
chaux
criminel
doper
caler
rural
tordu
ovale

dolmen
bourg
examen
aquarelle
orchidée
agenda
net
toast
escroc
choeur
paon
cacahuète
équateur
hall
million
écho
porc
tabac
ail
square

chon
givor
bondin
sul
oir
tauba
mardion
fudin
esan
tran
splindron
tandir
taparelle
abindeur
gental
fumal
pho
tonil
sepal
palin

toule
panteau
mull
peuf
var
fouge
louce
faison
pundi
mapin
vaman
bapa
irange
tardi
ardinateur
faton
tourmi
mocola
moiture
trayon

Annexes

MOTS REGULIERS FREQUENTS

	Réponse	
papa		
nuit		
journal		
montagne		
ami		
arbre		
classe		
mercredi		
bonjour		
matin		
soir		
maman		
sac		
lait		
lapin		
Chocolat		
Poisson		
cochon		
cheval		
maison		
SCORE :		Temps :

Annexes

MOTS IRREGULIERS FREQUENTS

	Réponse	
femme		
hier		
travail		
monsieur		
wagon		
aiguille		
clown		
dix		
automne		
pied		
orchestre		
moyen		
hiver		
gentil		
parasol		
compter		
ville		
oignon		
fusil		
sept		
SCORE :		Temps :

Annexes

MOTS REGULIERS NON FREQUENTS

	réponse	
congé		
dorade		
rigueur		
asile		
lama		
corne		
cru		
hausse		
cirer		
rance		
courroie		
baril		
esquif		
chaux		
criminel		
doper		
caler		
rural		
tordu		
ovale		
SCORE :		Temps :

Annexes

MOTS IRREGULIERS NON FREQUENTS

	Réponse	
dolmen		
bourg		
examen		
aquarelle		
orchidée		
agenda		
net		
toast		
escroc		
choeur		
paon		
cacahuète		
équateur		
hall		
million		
écho		
porc		
tabac		
ail		
square		
SCORE :		Temps :

Annexes

PSEUDO MOTS NON VOISINS PHONOLOGIQUEMENT

	Réponse	
Chon		
givor		
bondin		
sul		
oir		
tauba		
mardion		
fudin		
esan		
tran		
splindron		
tandir		
taparelle		
abindeur		
gental		
fumal		
pho		
tonil		
sepal		
palin		
SCORE :		Temps :

Annexes

PSEUDO MOTS VOISINS PHONOLOGIQUEMENT

	réponse	
toule		
panteau		
full		
peuf		
vars		
fouge		
louce		
faison		
pundi		
mapin		
vaman		
bapa		
irange		
tardi		
ardinateur		
fatou		
tourmi		
mocola		
moiture		
trayon		
SCORE :		Temps :

Annexes

Discrimination lexicale

	Réponse attendue	Réponse donnée	Temps
Abosoir / abosoir	Pareil	+	
Tarnaval / parnaval	Pas pareil	+	
Cracodile / cratodile	Pas pareil	+	
fevalier / fevalier	Pareil	+	
Zardonage / Jardonage	Pas pareil	+	
omipal / omipaz	Pas pareil	+	
Cotéma / cotéma	Pareil	+	
étiquan / étiquan	Pareil	+	
Araigno / acaigno	Pas pareil	+	
Caditeur / raditeur	Pas pareil	+	
Lavibo / zavibo	Pas pareil	+	
Parapon / parapon	Pareil	+	
Bizanler / bipanler	Pas pareil	+	
épastit / epastique	Pas pareil	+	
Cafito / cafito	Pareil	+	
Converture / convertuk	Pas pareil	+	
Comillage / comillaze	Pas pareil	+	
Caravon / caravon	Pareil	+	
galipan / galipan	Pareil	+	
Pozama /pojama	Pas pareil	+	
SCORE TOTAL :			

Annexes

Segmentation en phonème			
-------------------------	--	--	--

	Réponse attendue	Réponse juste	Erreur
Fa	f-a	+	
Vol	v-o-l	+	
Papa	p-a-p-a	+	
Loup	l-ou	+	
Café	c-a-f-é	+	
Mardi	m-a-r-d-i	+	
Pli	p-l-i	+	
Mon	m-on	+	
Parole	p-a-r-o-l	+	
Blond	b-l-on	+	
Balcon	b-a-l-c-on	+	
Légo	l-é-g-o	+	
Lac	l-a-c	+	
Copain	c-o-p-ain	+	
Do	d-o	+	
Prénom	p-r-é-n-om	+	
SCORE TOTAL			

Annexes

Omission du phonème initial

	Réponse attendue	Réponse juste	erreur
Car	Ar	+	
Pantin	Antin	+	
Bleu	Leu	+	
Cadeau	Adeau	+	
Train	Rain	+	
Drapeau	Rapeau	+	
Gris	Ris	+	
Sourire	Ourire	+	
Crayon	Rayon	+	
Pull	Ull	+	
flocon	Locon	+	
Sol	Ol	+	
SCORE TOTAL			

Annexes

Contrepèteries

	Réponse attendue	Réponse juste	
Banane / ficelle	Fanane Bicelle	+	
Fourmi / journal	Jourmi Fournal	+	
Mouton / tulipe	Touton Mulipe	+	
Manège / volcan	Vanège Molcan	+	
Jardin / bagage	Bardin Jagage	+	
Tomate / camion	Comate Tamion	+	
Verrou / falaise	Ferrou Valaise	+	
Panier / bureau	Banier Pureau	+	
Baleine / miroir	maleine biroir	+	
Bougie / poupée	Pougie Boupée	+	
Score total			

Annexes

Jugement de rimes

	Réponse attendue	Réponse juste
Bec-port-sec	Port	+
Four-bol-col	Four	+
Balle-salle-corps	Corps	+
Sourd-lourd-poule	poule	+
Lune-sel-pelle	Lune	+
Mur-dur-luc	Luc	+
Car-sac-bac	Car	+
Pouce-foule-douce	Foule	+
SCORE TOTAL		

Annexes

Morphologie

EXEMPLE :

Un chaton est un bébé chat	OUI	NON
Un ânon est un bébé âne	OUI	NON
Un canon est un bébé cane	OUI	NON

Une fillette est une petite fille	OUI	NON
Une lunette est une petite lune	OUI	NON
Une camionnette est un petit camion	OUI	NON

Un renardeau est un bébé renard	OUI	NON
Un chevreau est un bébé chèvre	OUI	NON
Un château est un bébé chat	OUI	NON

Un chasseur c'est quelqu'un qui chasse	OUI	NON
Un serviteur c'est quelqu'un qui sert	OUI	NON
Un seigneur c'est quelqu'un qui saigne	OUI	NON

SOUS SCORE : / 3

EXEMPLE :

Recoller	Regretter	Reparler	repartir
----------	-----------	----------	----------

Refermer	Rejouer	Remercier	Relancer
Remonter	Remuer	Retrouver	Relire
Recevoir	Refaire	Revoir	reprendre

SOUS SCORE : / 3

SCORE TOTAL : /6

Annexes

Dénomination rapide

OAPDS :

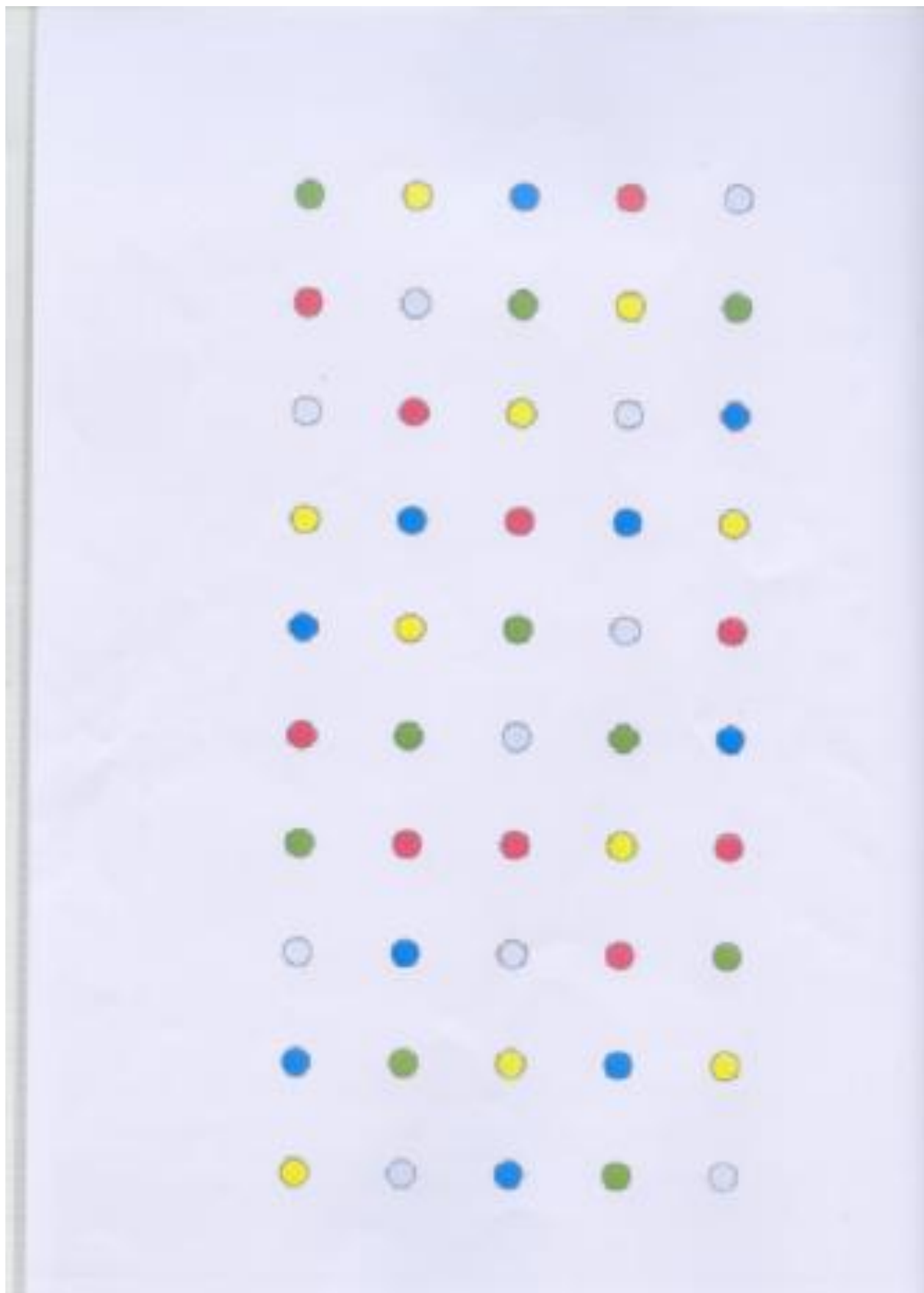
- o a s d p a o s p d s d a p d o a p s o a o s p s d p o d a d a p o d
s a s o p s o d p a p o a d s

COULEURS :

- jaune bleu gris vert rouge bleu jaune gris rouge vert
- gris vert bleu rouge vert jaune bleu rouge gris jaune
- bleu jaune gris rouge gris vert rouge jaune vert bleu
- vert bleu rouge jaune vert gris bleu gris jaune rouge
- gris jaune vert rouge bleu rouge jaune bleu vert gris

Annexes

d o a p s
p s d o d
s p o s a
o a p a o
a o d s p
p d s d a
d p p o p
s a s p d
a d o a o
o s a d s



Annexes

EPREUVES DE MOTRICITE

	Score :
Item 1	
Item 2	
Item 3	
Item 4	
Item 5	
Item 6	
Item 7	
Item 8	
Item 9	
Item 10	
Item 11	
Item 12	
Total :	

Séquences motrices manuelles :

Tapping :

	Temps	Nbre de mouvements
Item 1		
Item 2		
Item 3		
Item 4		
	Temps global :	

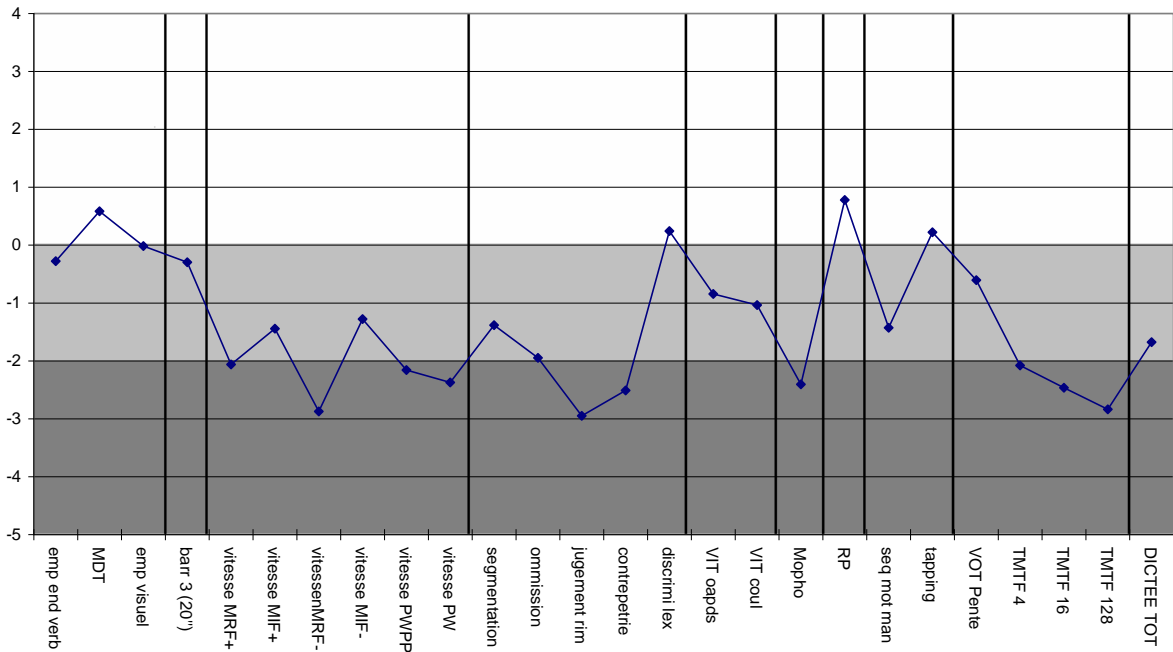
Annexes

III. Caractéristiques des enfants dyslexiques de l'échantillon

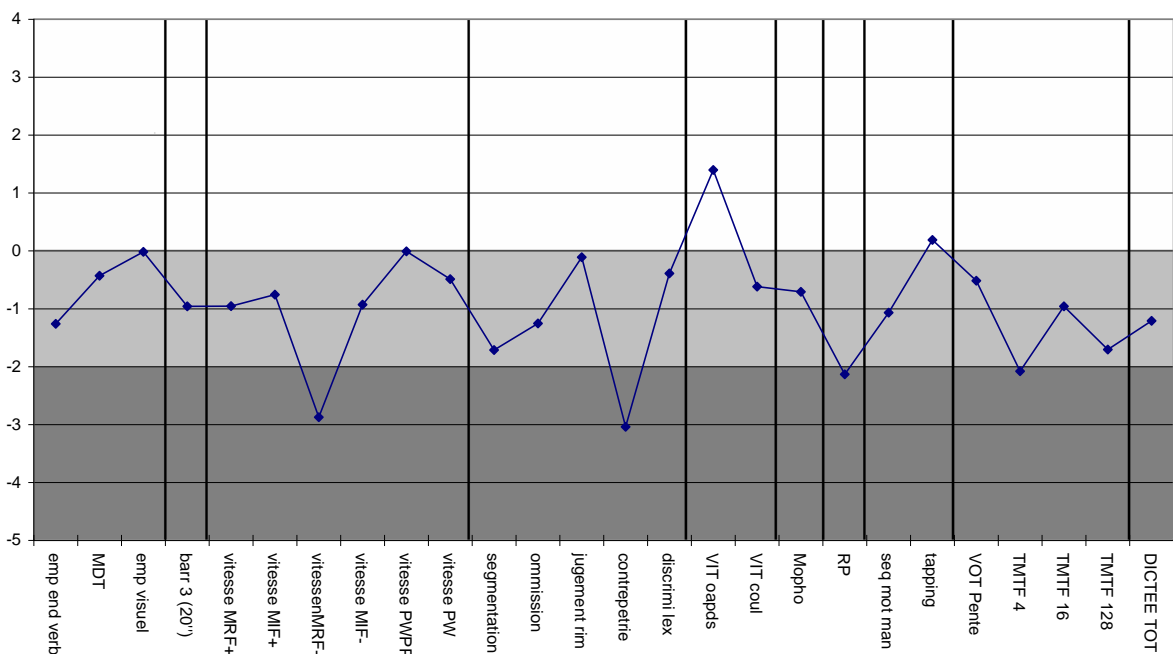
N° Sujet	Date Naissance	age chrono	age lexical	Diagnostic	QIT	QIP	QIV
501	18/12/1997	106	88	Dyslexie PHONO, partiellt compensée+dysortho	100	98	102
502	04/11/1997	108	79	ELIMINEE DU PROTOCOLE	90	90	92
503	08/11/1996	120	95	Dyslexie PHONO, en partie compensée+dysortho	73	69	84
504	11/09/1997	110	84	Dyslexie MIXTE, en partie compensée stt versant phono+ dysortho sév	110	110	109
505	26/05/1998	101	95	Dyslexie mixte partiell compensée sur les deux voies	108	116	101
506	27/08/1996	123	80	Dyslexie MIXTE, compensée phono+dysortho	89	98	83
507	23/07/1997	112	78	Dyslexie MIXTE SEVERE	99	101	97
508	21/03/1997	116	87	Dyslexie MIXTE	110	105	112
509	17/11/1996	120	81	Dyslexie mixte avec atteinte préfér. voie d'adres/assem	81	83	84
510	11/12/1997	107	92	Dyslexie PHONO, partiellement compensé+ dysortho	110	110	107
511	03/11/1998	98	83	Dyslexie mixte, à prédominance phonologique	99	108	91
512	04/06/1997	114	82	dyslexie mixte+dysortho	85	88	85
513	23/01/1997	119	95	Dyslexie mixte compensé versant phono	100	99	101
514	12/12/1996	121	84	Dyslexie mixte+dysgraphie	89	93	92
515	17/11/1996	122	95	Dyslexie compensée sur les deux voies	86	93	83
516	15/05/1997	116	80	Dyslexie mixte sévère	104	108	100
517	09/02/1997	120	90	Dyslexie mixte avec atteinte préférentielle voie assemblage/adressage	85	87	86
518	02/01/1998	109	85	Dyslexie mixte compensée, sur le plan phono	104	99	107
519	02/05/1997	117	95	Dyslexie mixte	102	110	95
520	16/07/1997	115	87	dyslexie de surface + dysortho	109	120	98
521	14/07/1997	116	81	Dyslexie mixte, à prédominance phonologique	100	98	102
522	09/05/1997	118	89	dyslexie de surface ou compensé sur le plan phono?	90	83	98
523	24/08/1997	115	89	Dyslexie mixte	87	83	93
524	29/11/1997	112	95	Dyslexie compensée d'allure visuo-att	105	108	102
525	12/03/1997	121	99	ELIMINEE du protocole car niveau intellectuel trop faible	78	78	83
526	05/08/1998	104	81	dyslexie mixte, d'allure visuo-att	94	97	92
527	19/02/1997	122	90	dyslexie mixte	88	104	77
528	01/03/1997	122	82	dyslexie mixte sévère	106	105	106
529	09/10/1996	127	118	dyslexie mixte compensée ELIMINEE	116		
530	10/02/1996	135	99	dyslexie mixte	92	98	88
531	27/09/1998	104	80	Dyslexie mixte sévère	99	102	96
532	25/09/1997	121	96	Dyslexie mixte prédominance voie lexicale /dysorthographe	97	87	107
533	15/06/1998	113	97	Dyslexie mixte compensée	NC	NC	NC
534	12/09/1997	116	79	NC	NC	NC	NC
535	12/03/1998	120	81	NC	NC	NC	NC
536	12/10/1997	125	96	NC	NC	NC	NC
537	20/11/1998	112	83	NC	NC	NC	NC
538	13/04/1999	108	84	NC	NC	NC	NC

IV. Profils des enfants dyslexiques

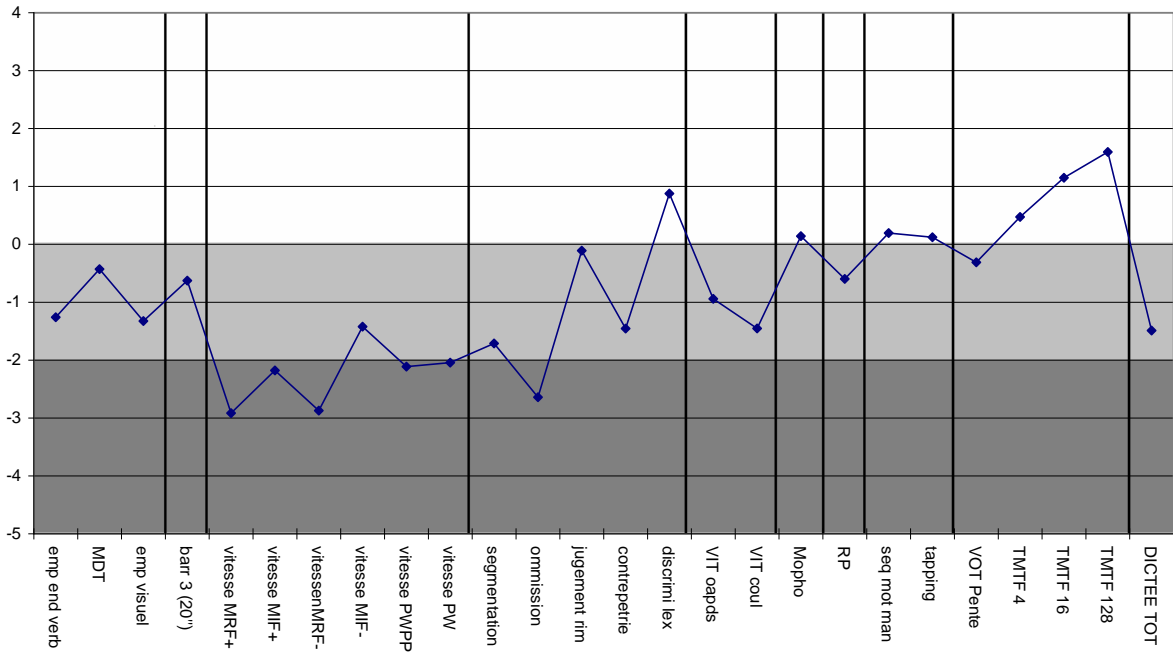
501



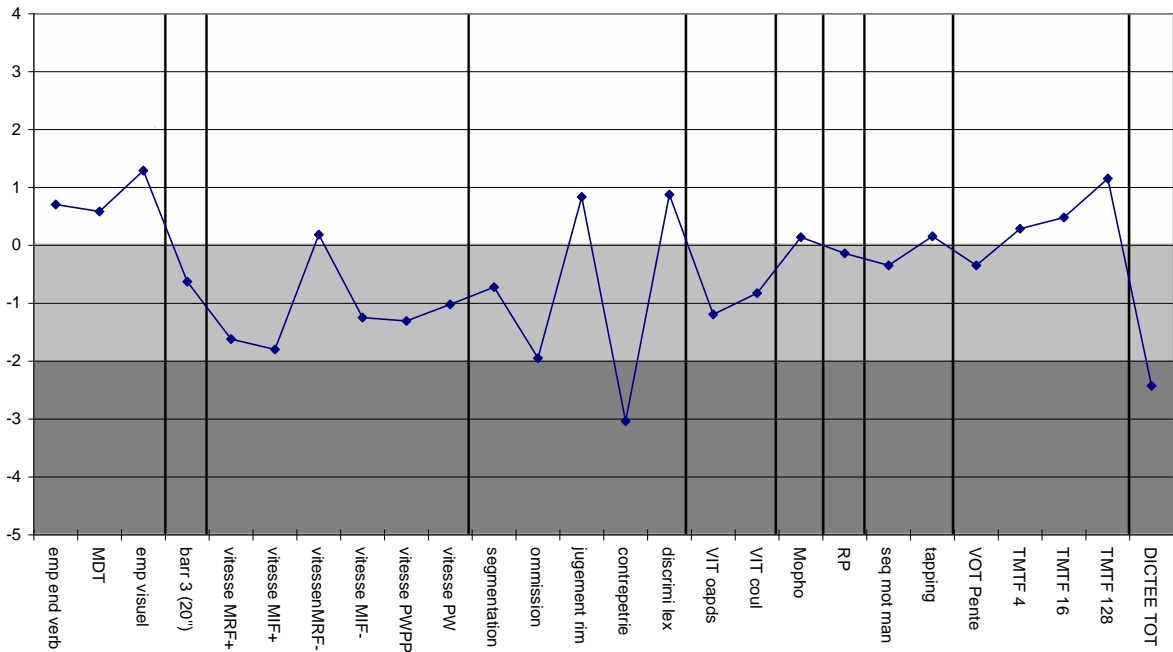
503



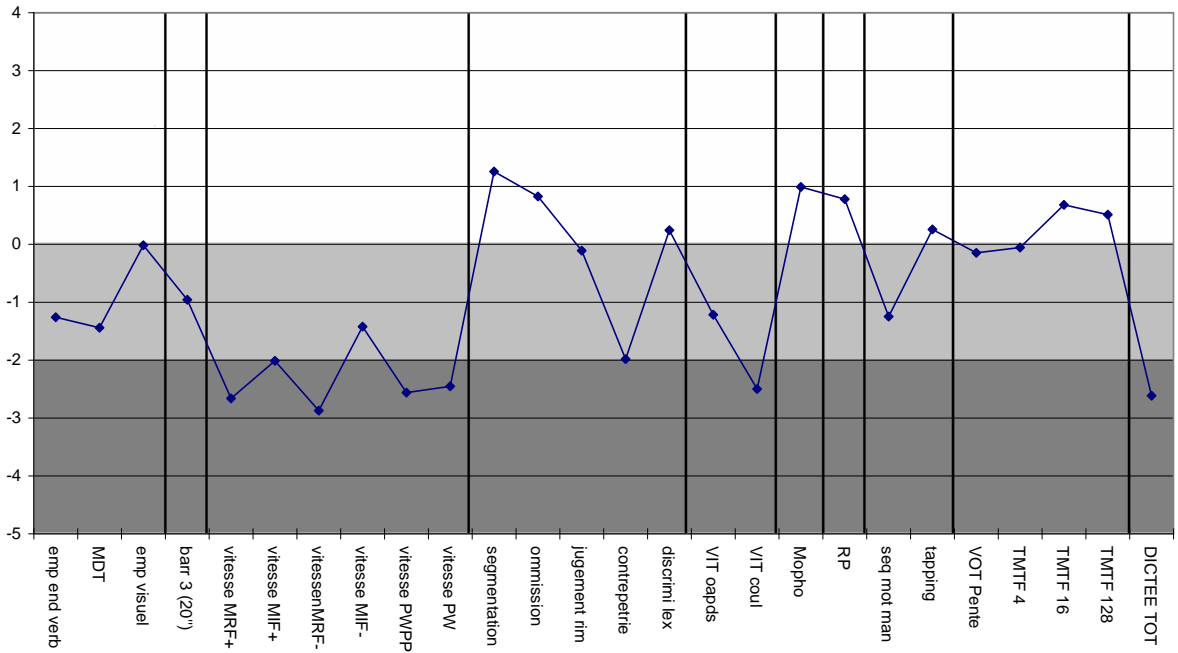
504



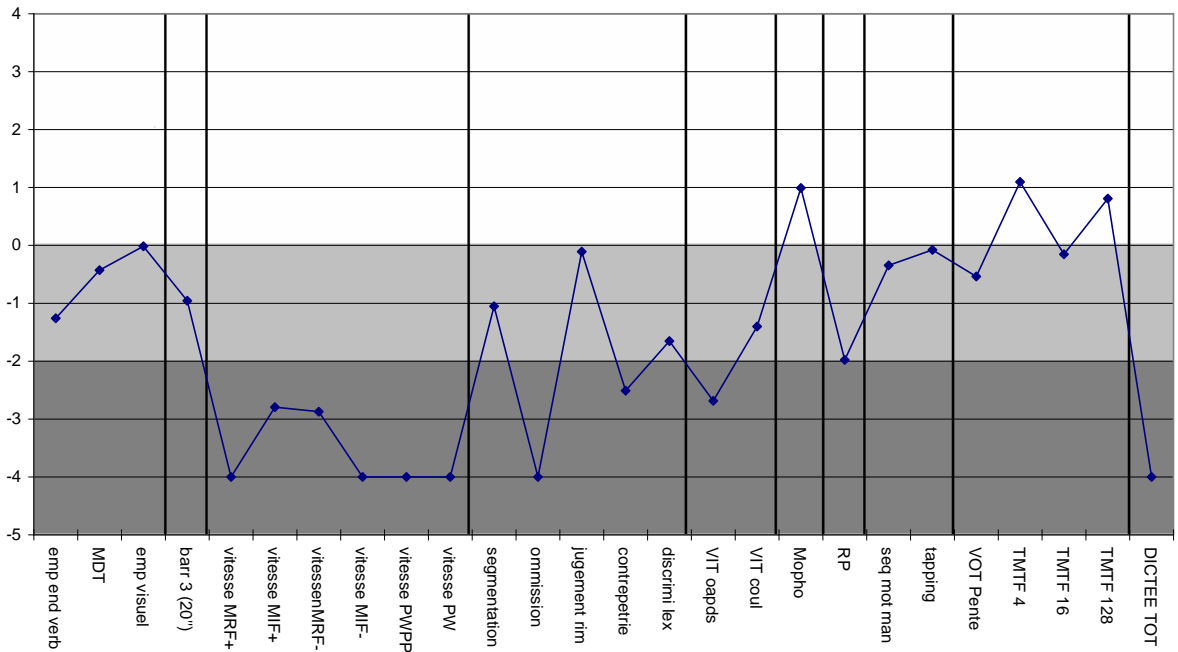
505



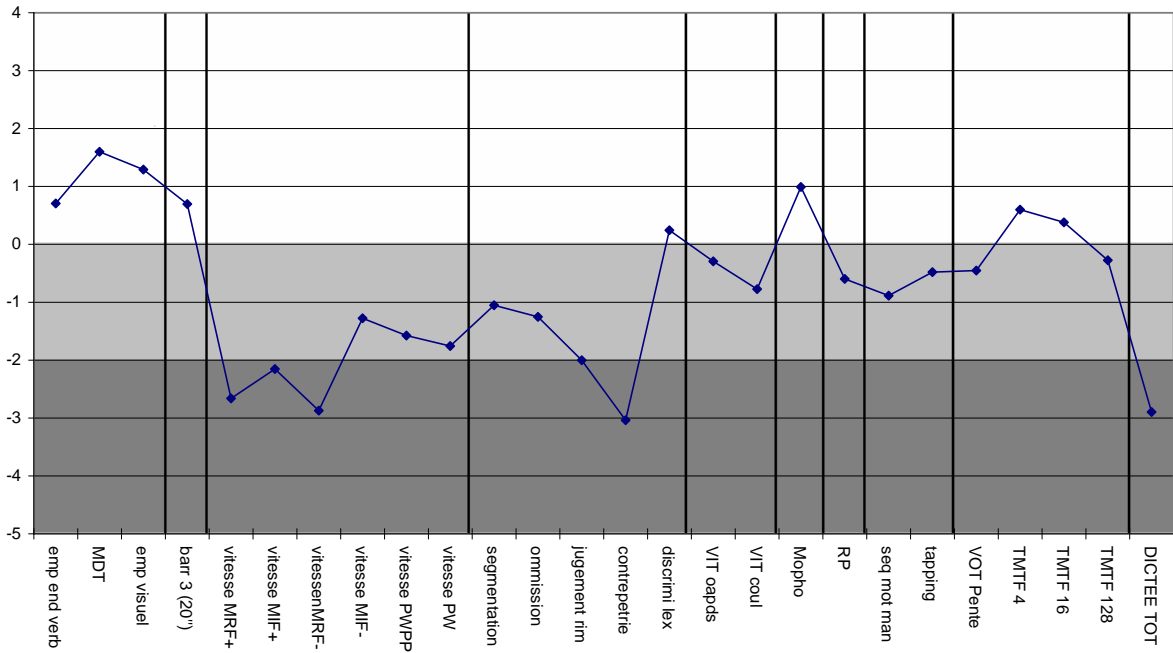
506



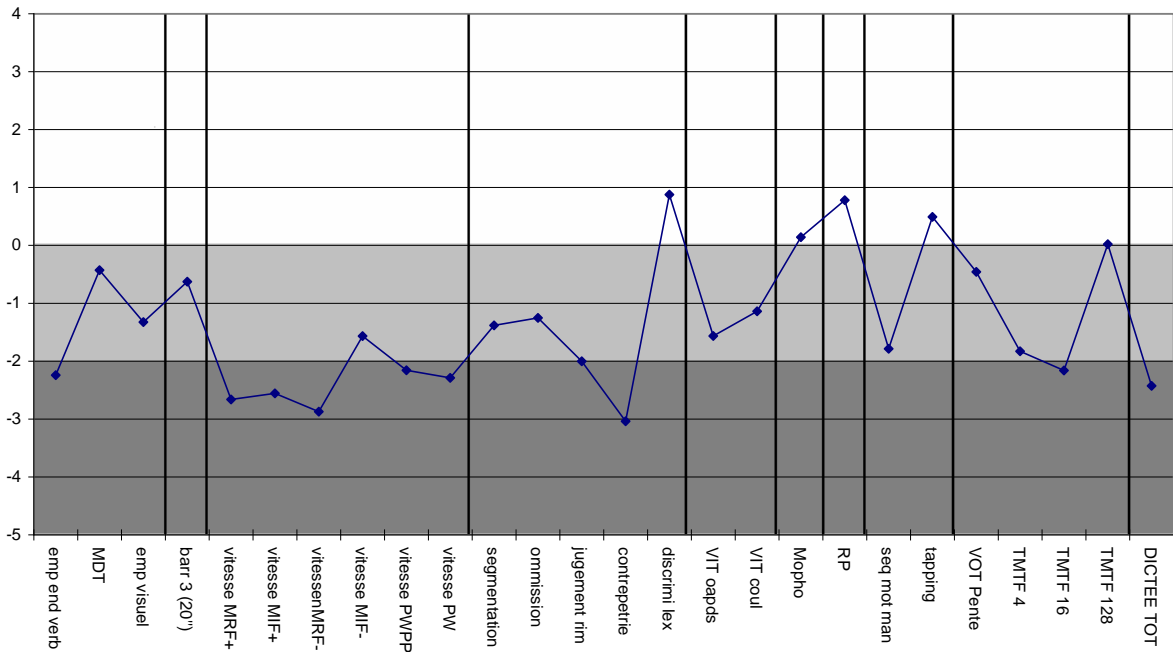
507



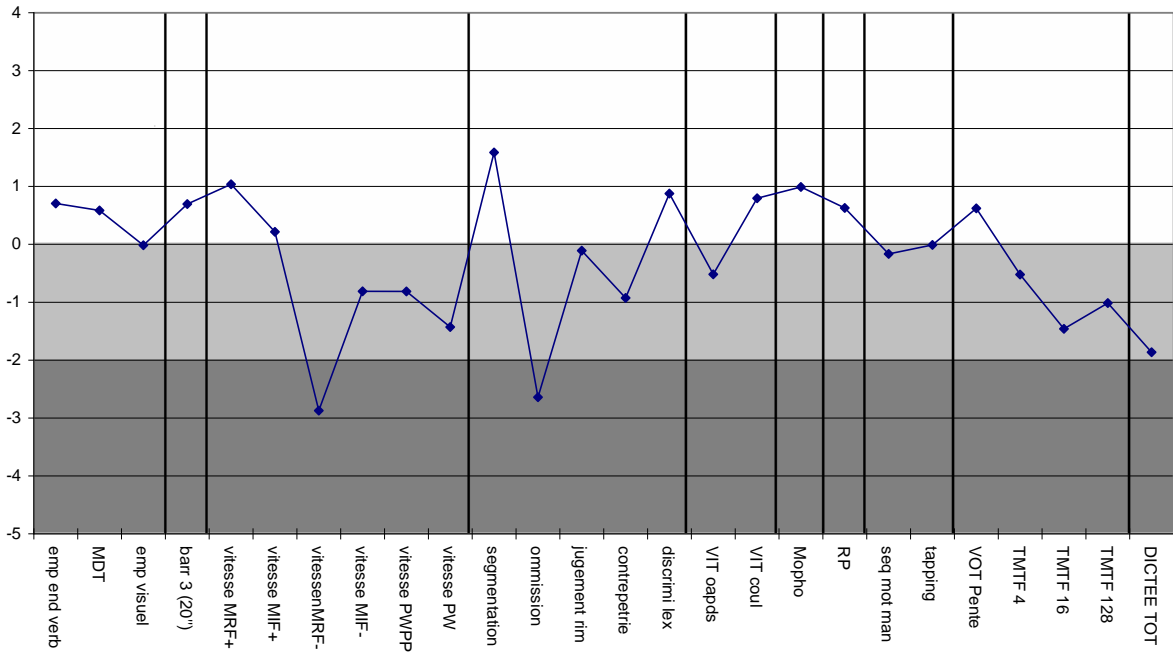
508



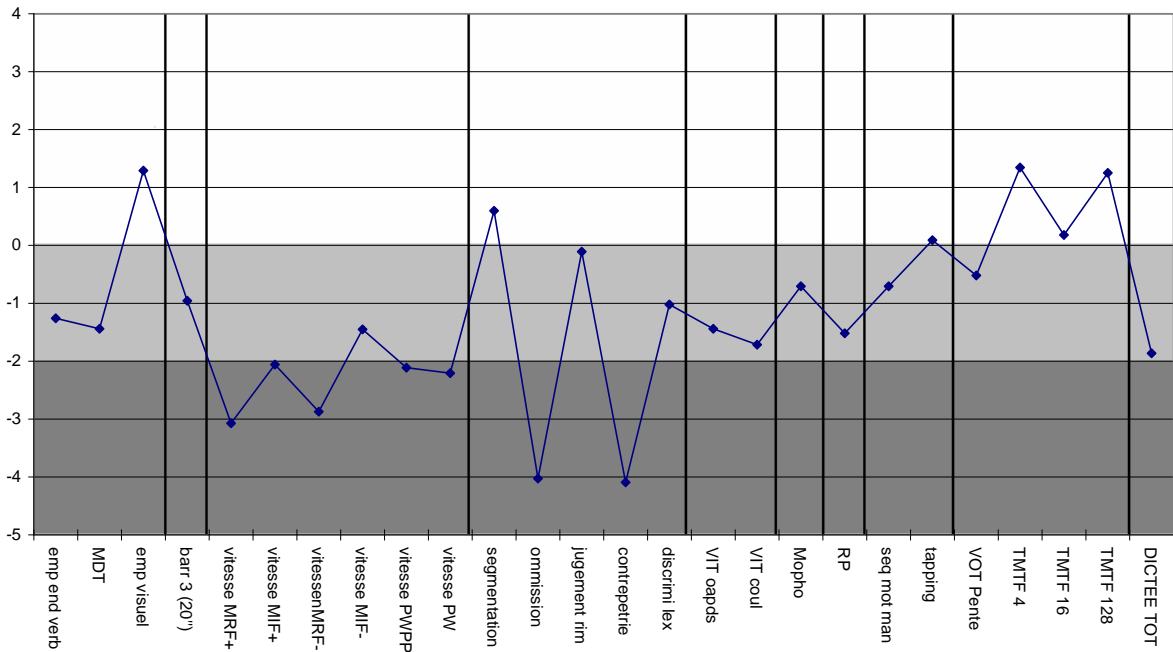
509



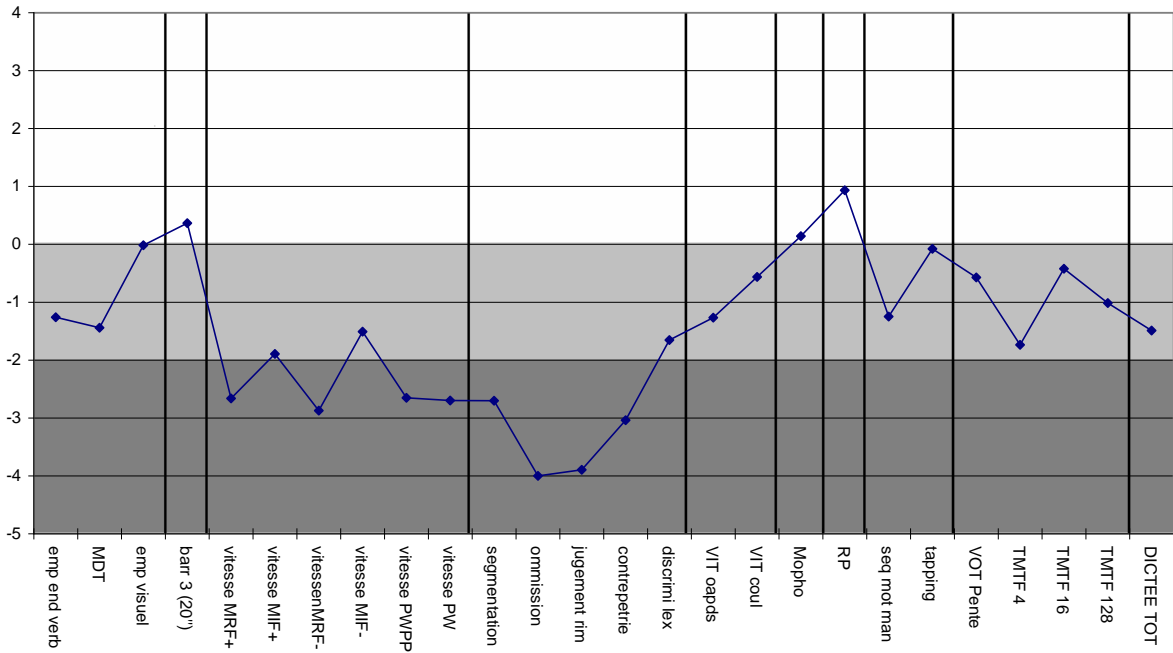
510



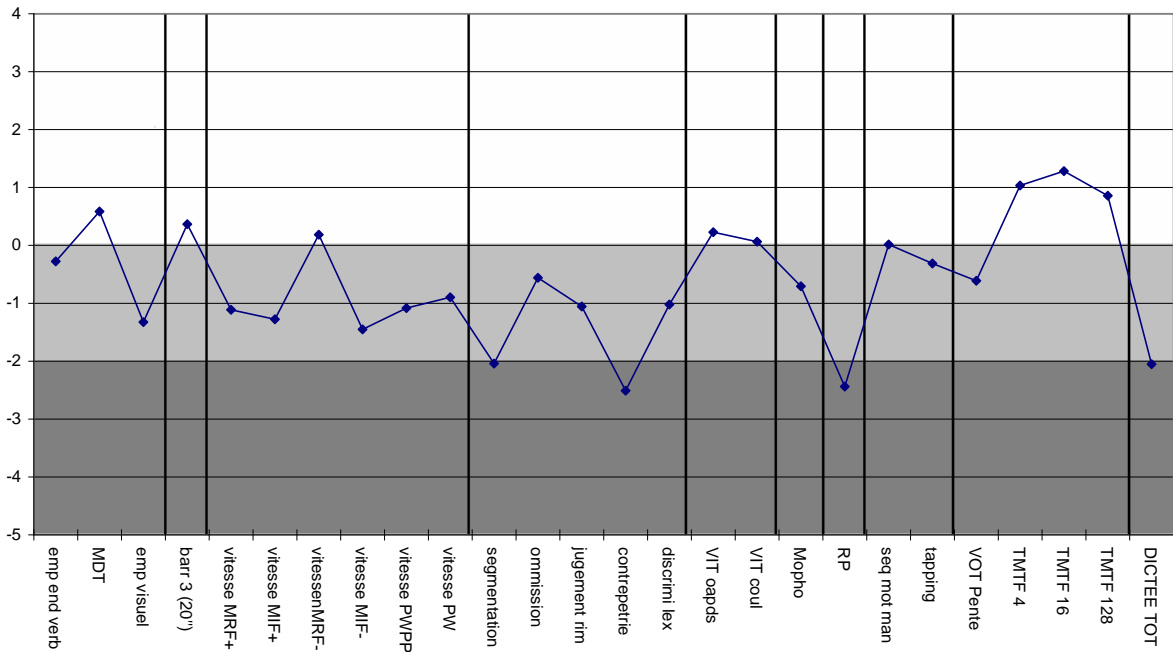
511



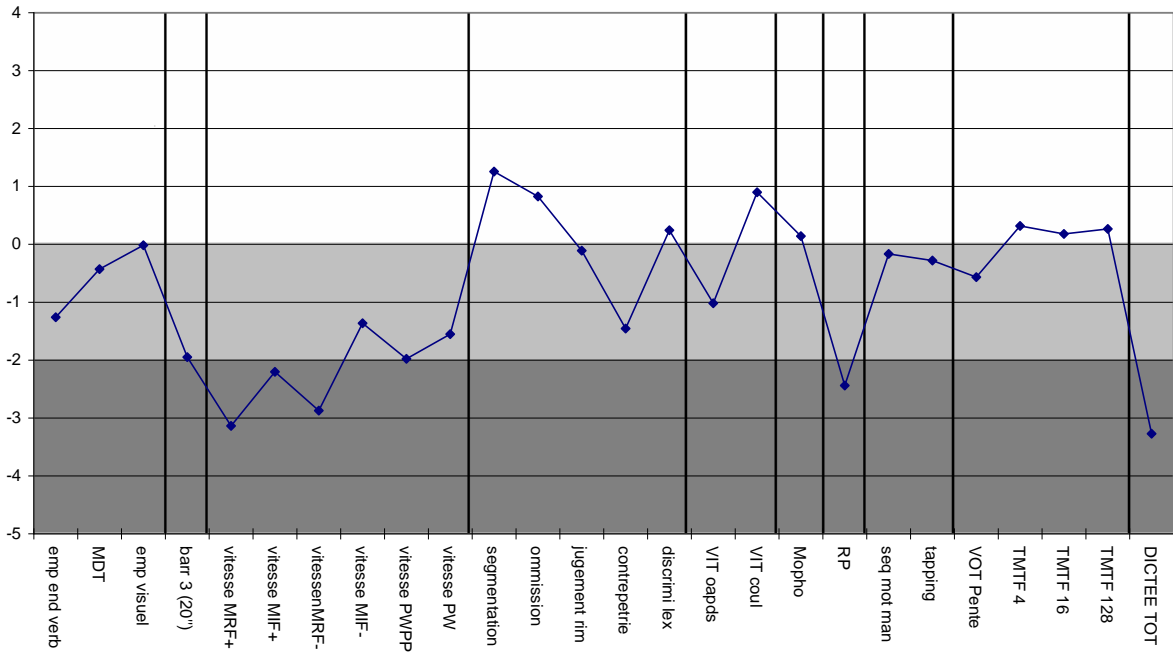
512



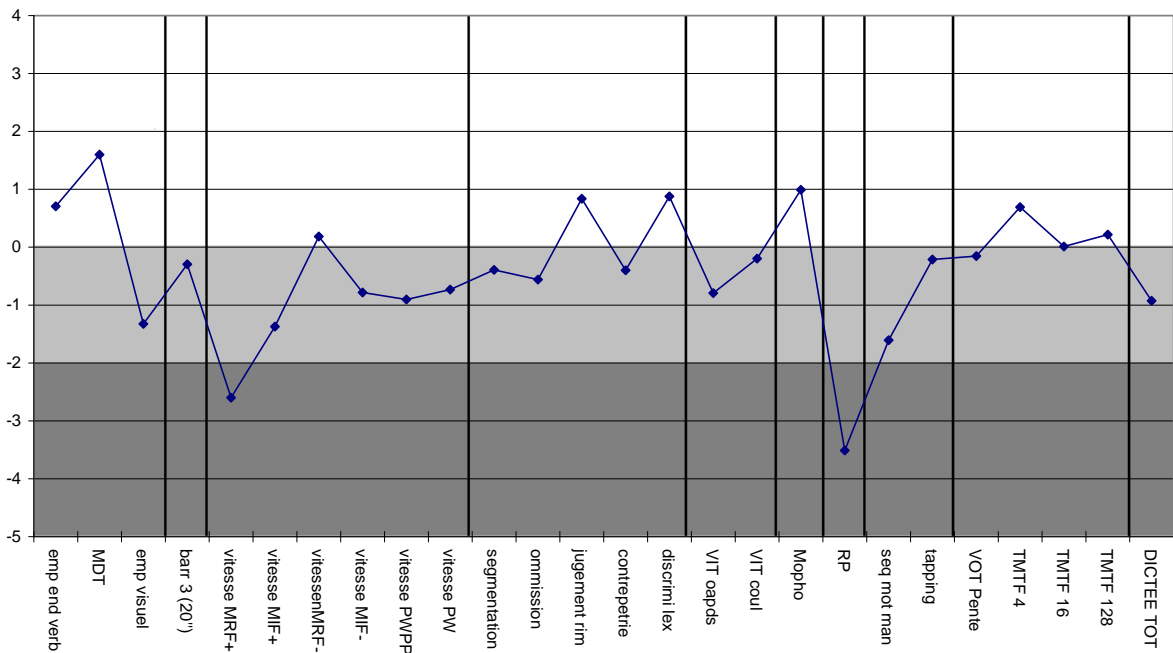
513



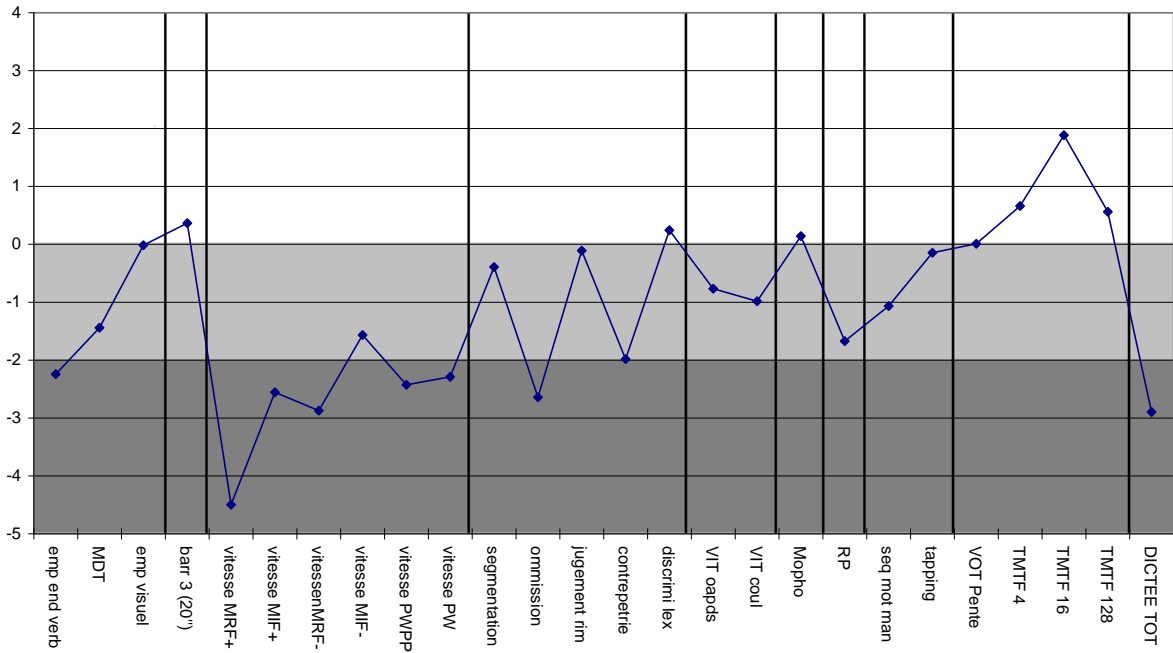
514



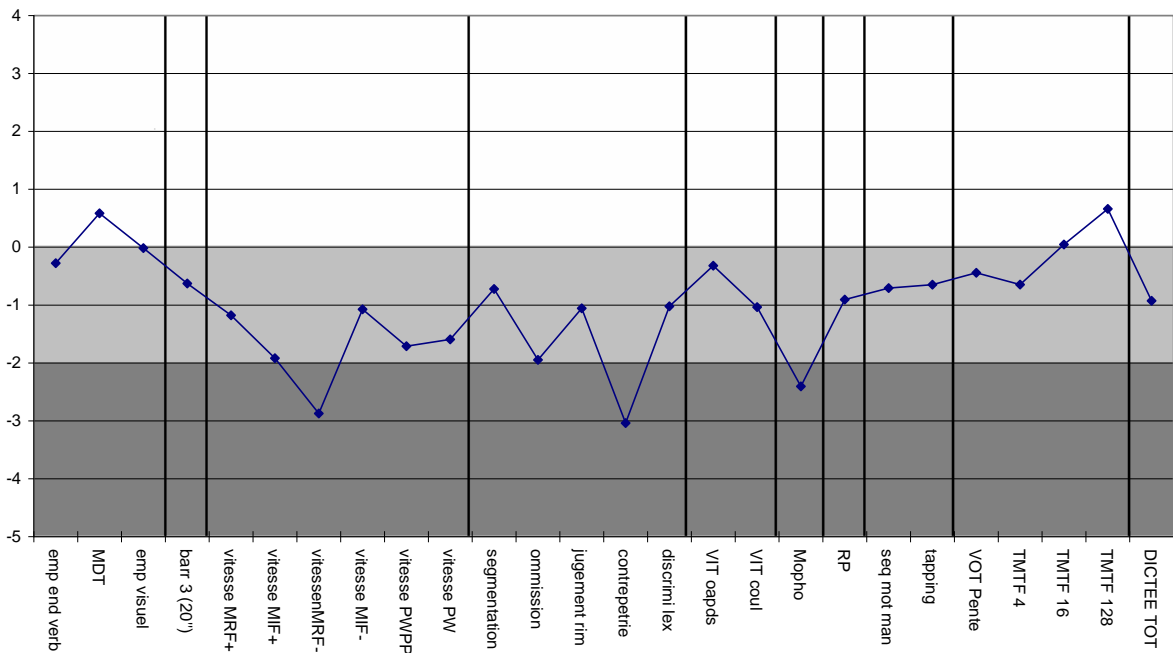
515



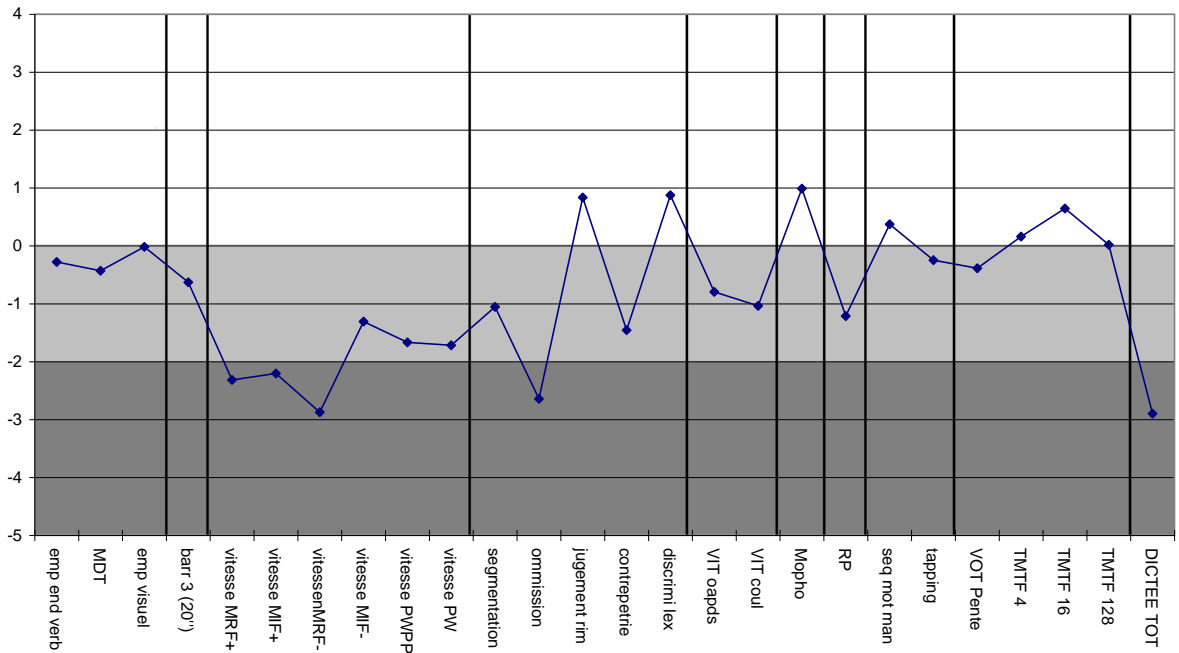
516



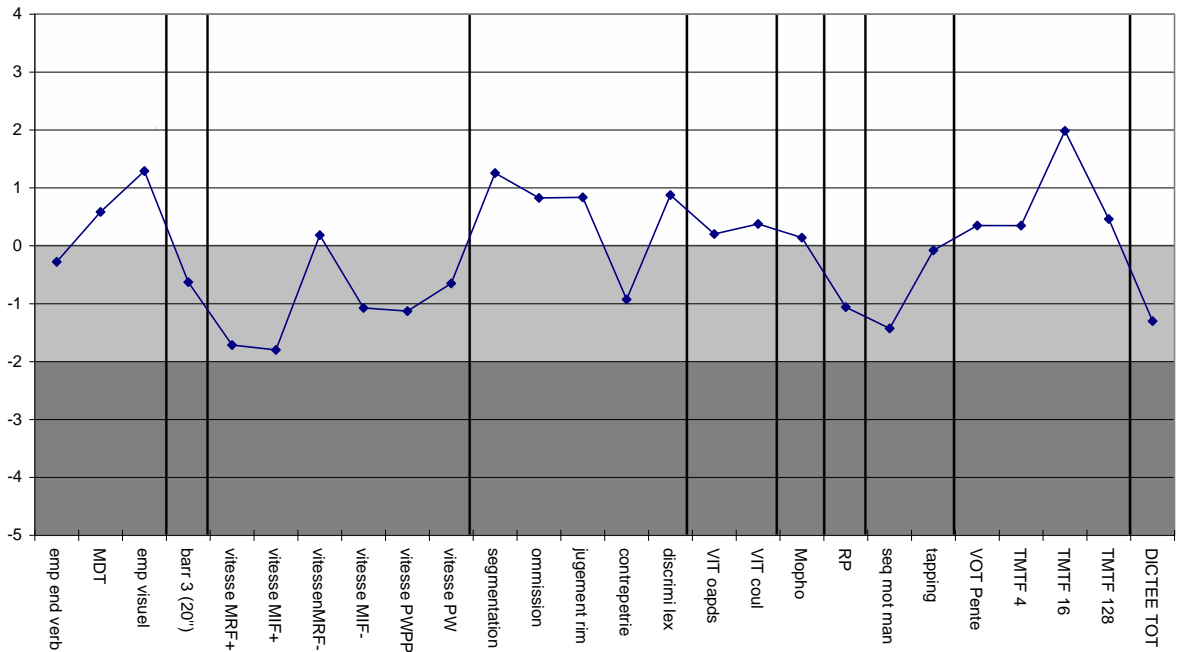
517



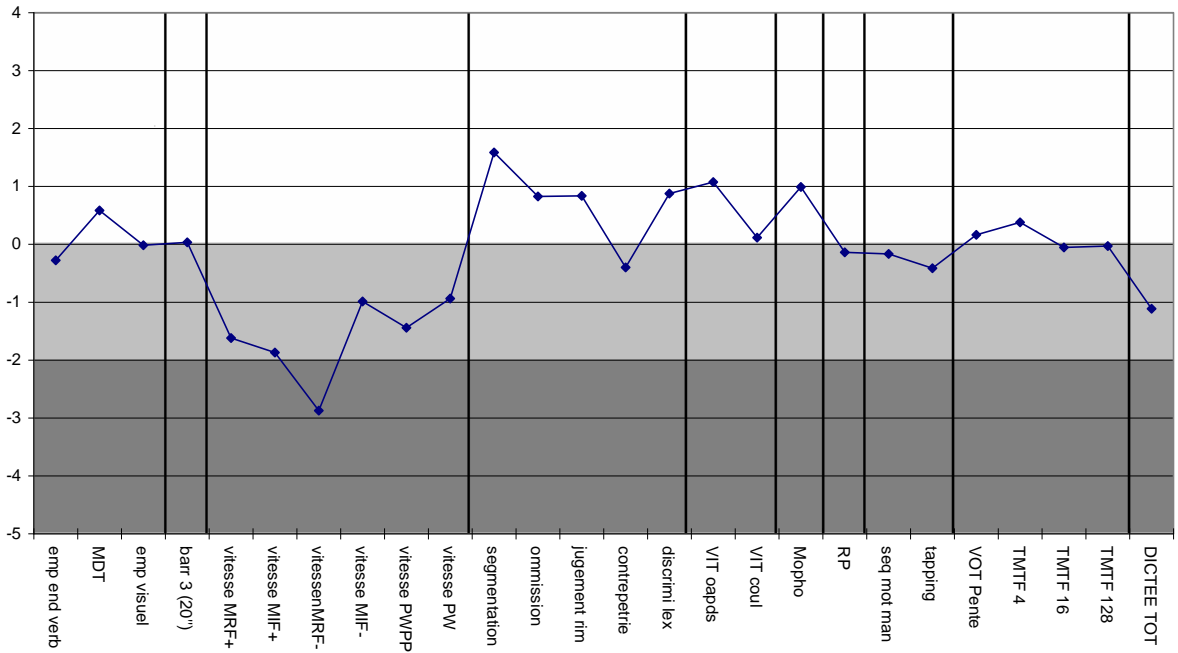
518



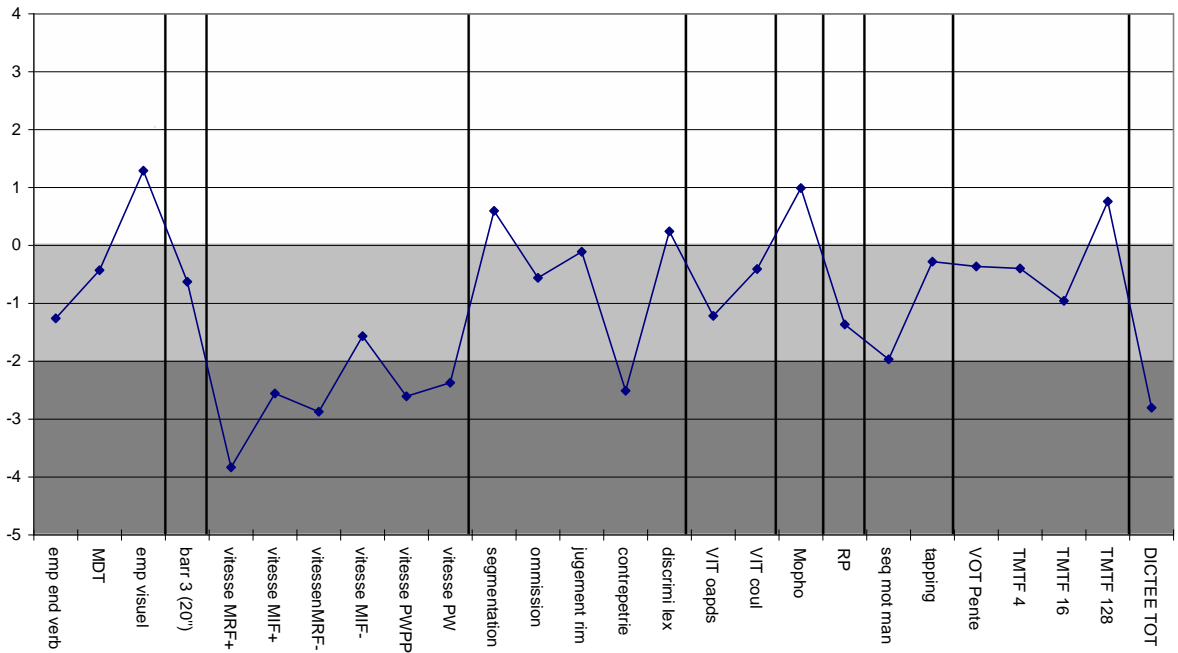
519



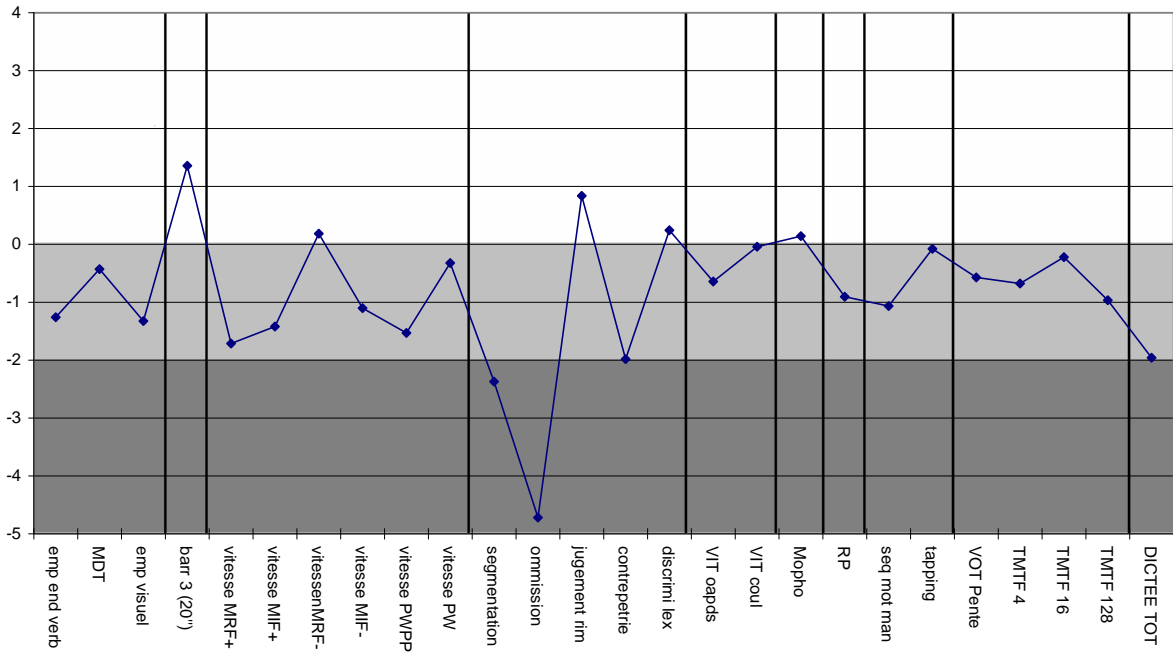
520



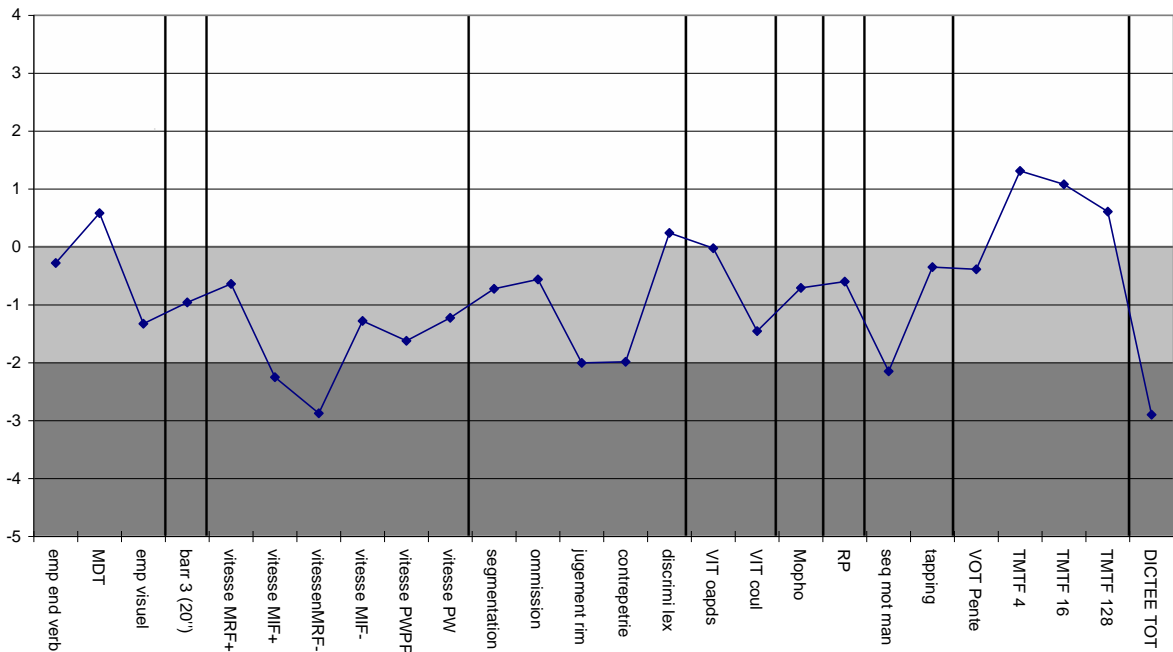
521



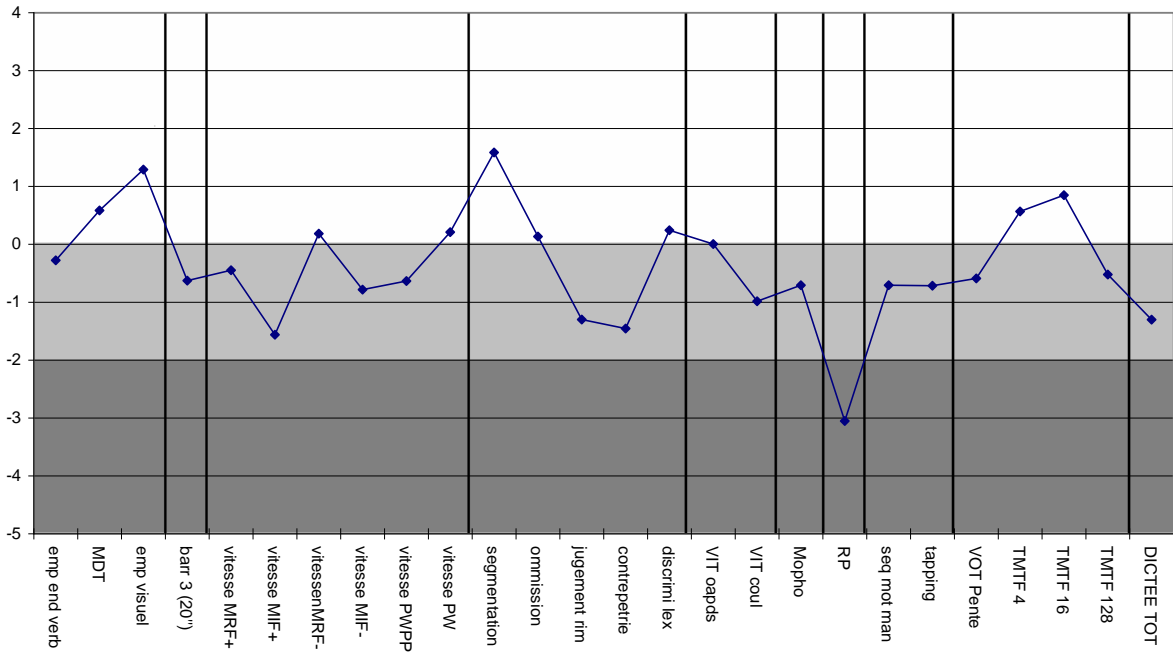
522



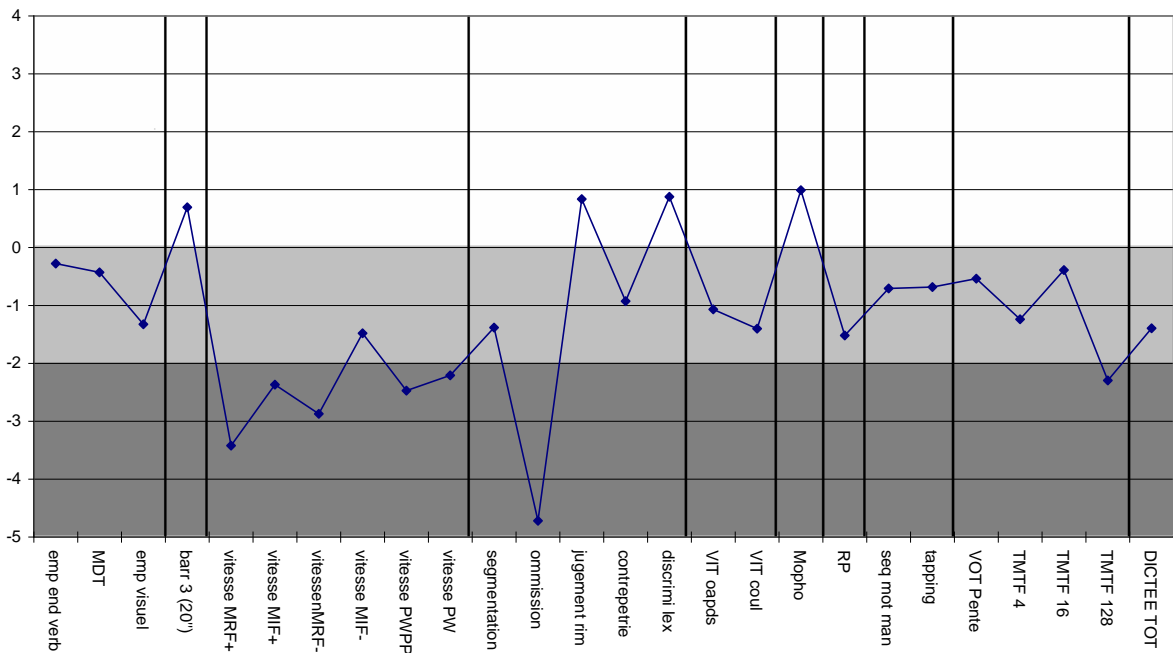
523



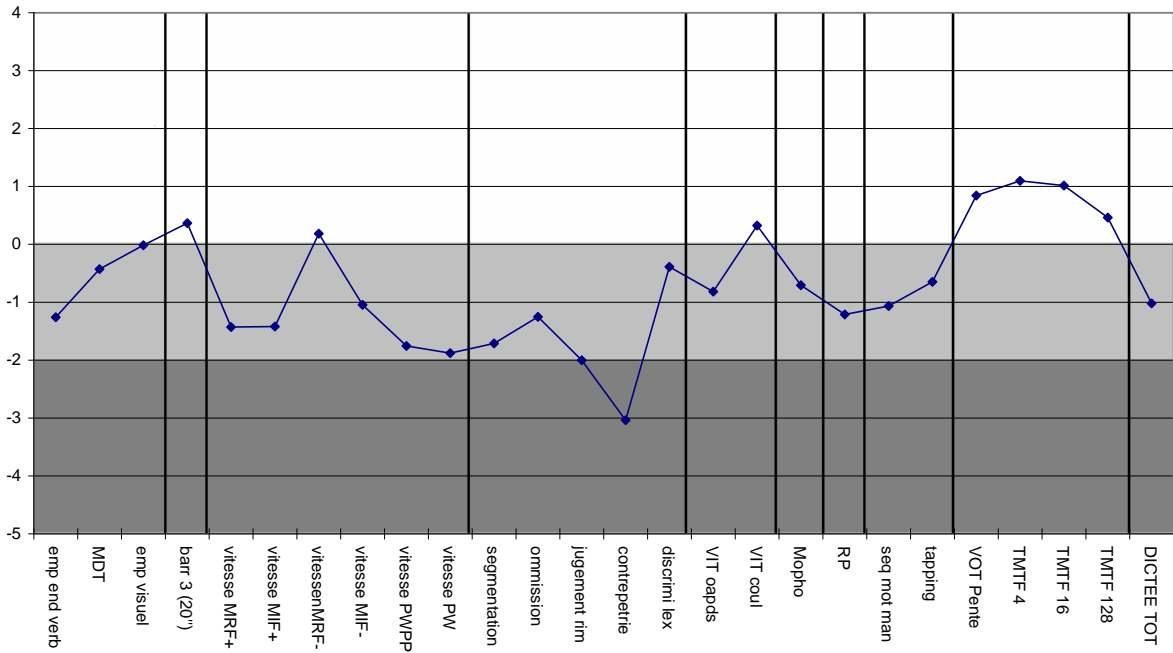
524



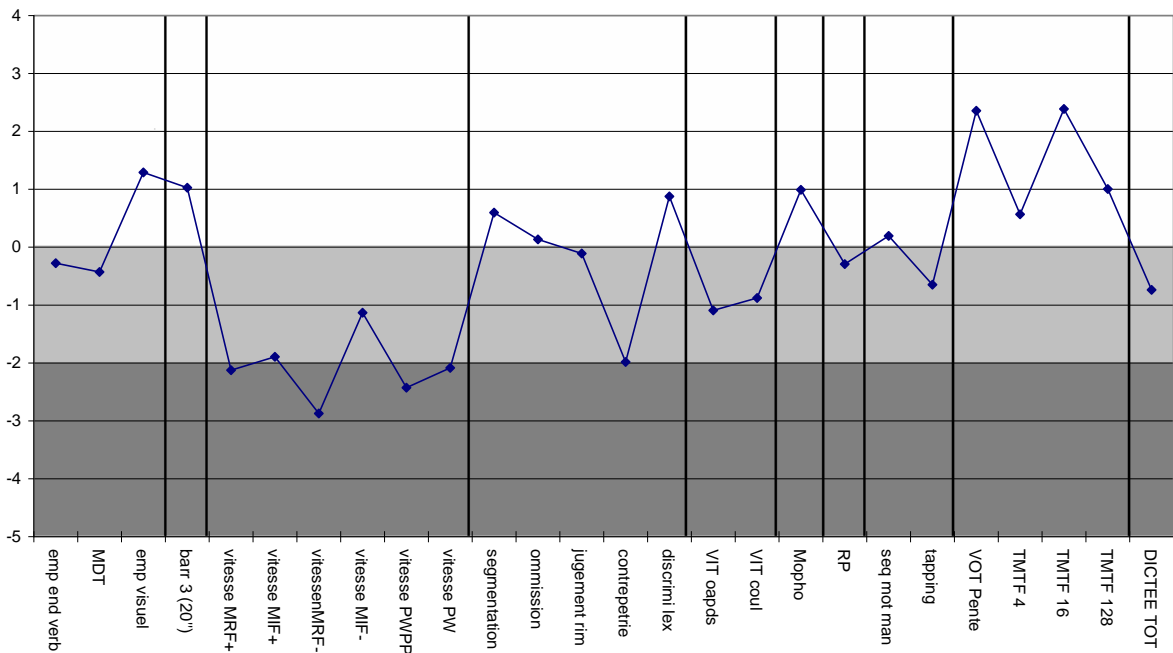
526



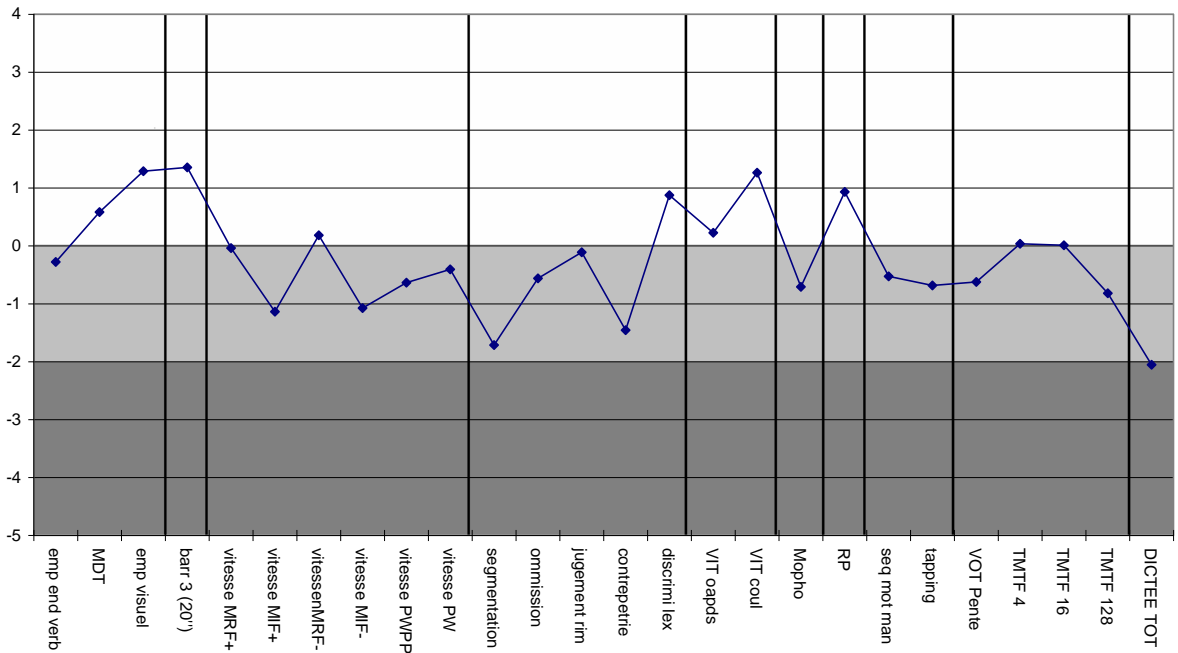
527



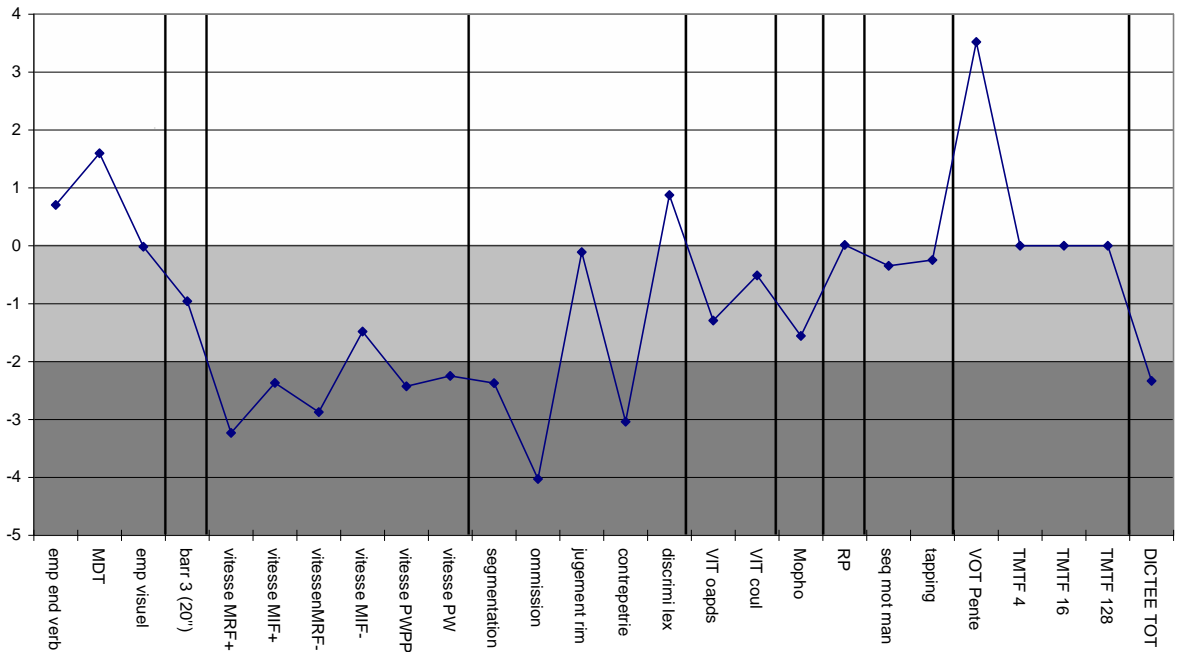
528



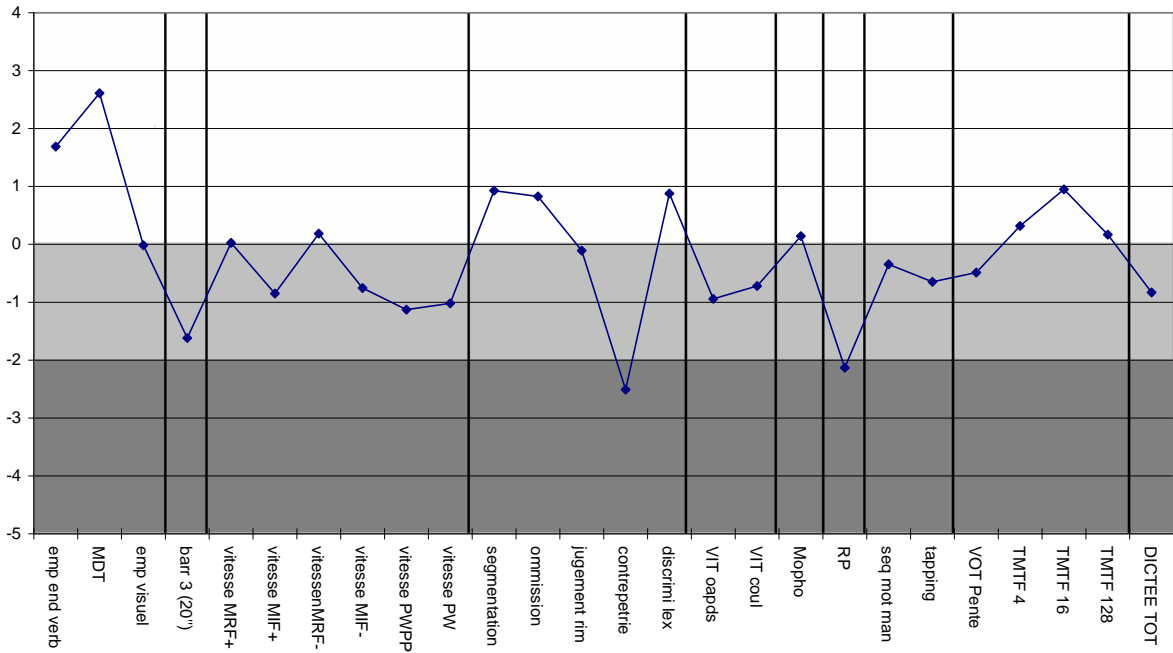
530



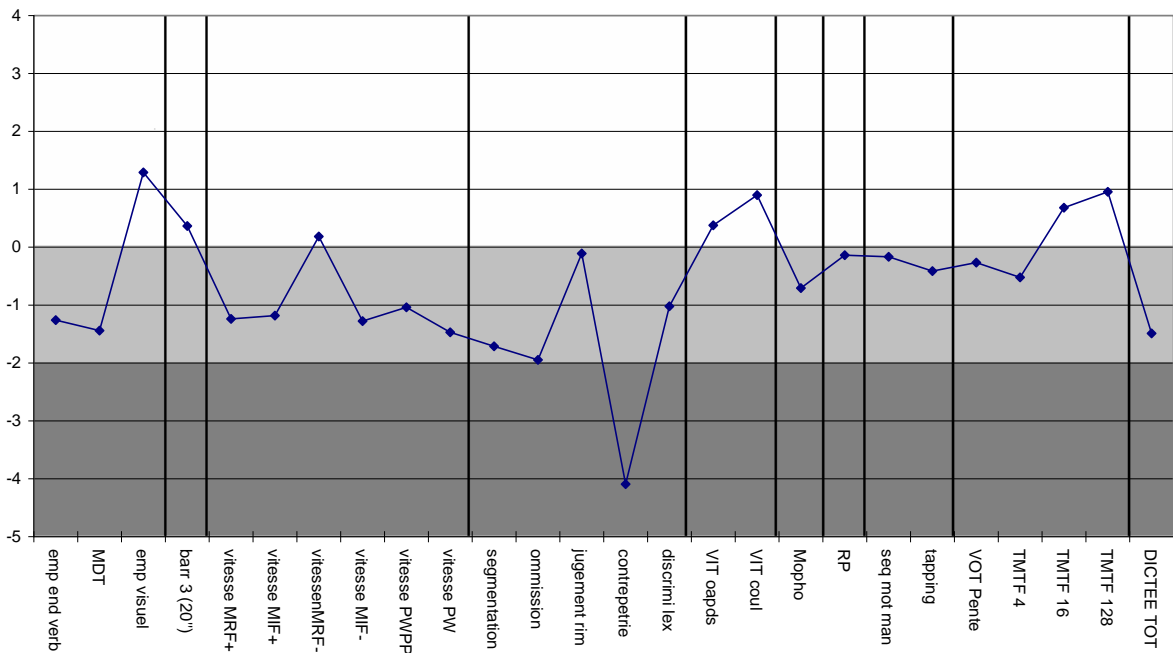
531



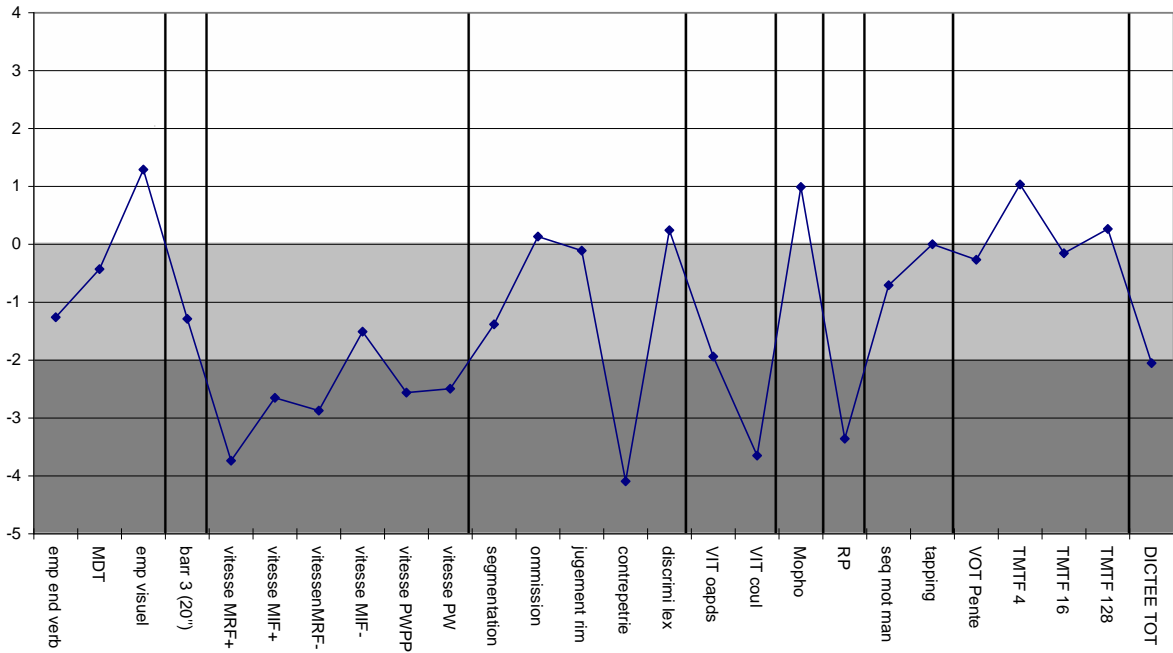
532



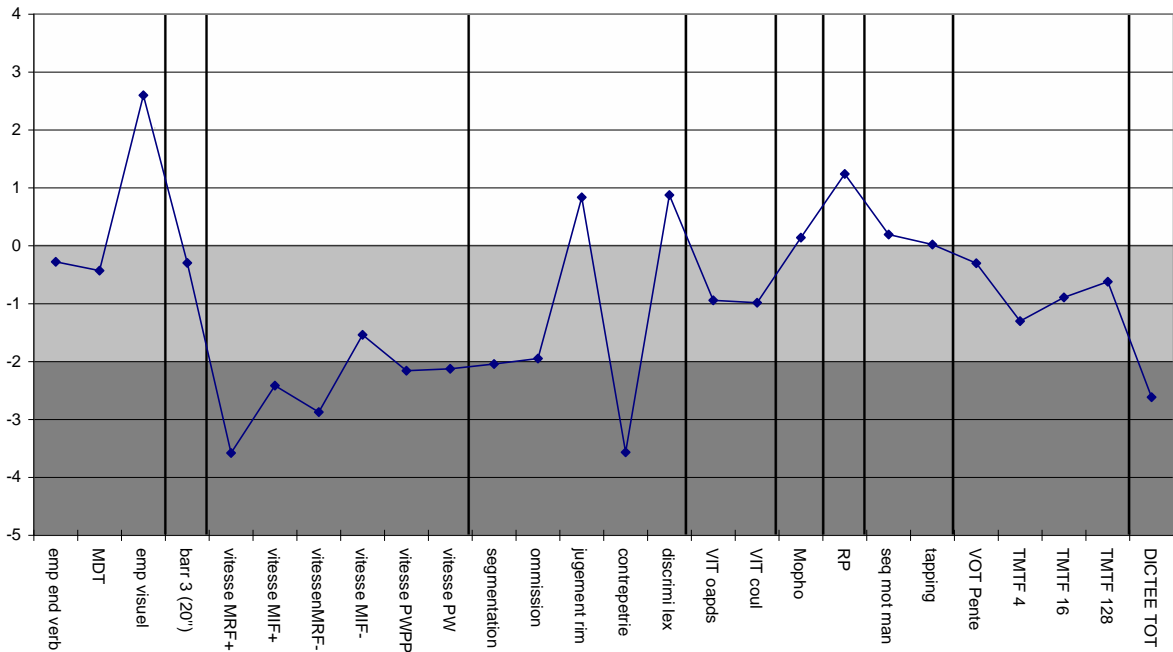
533



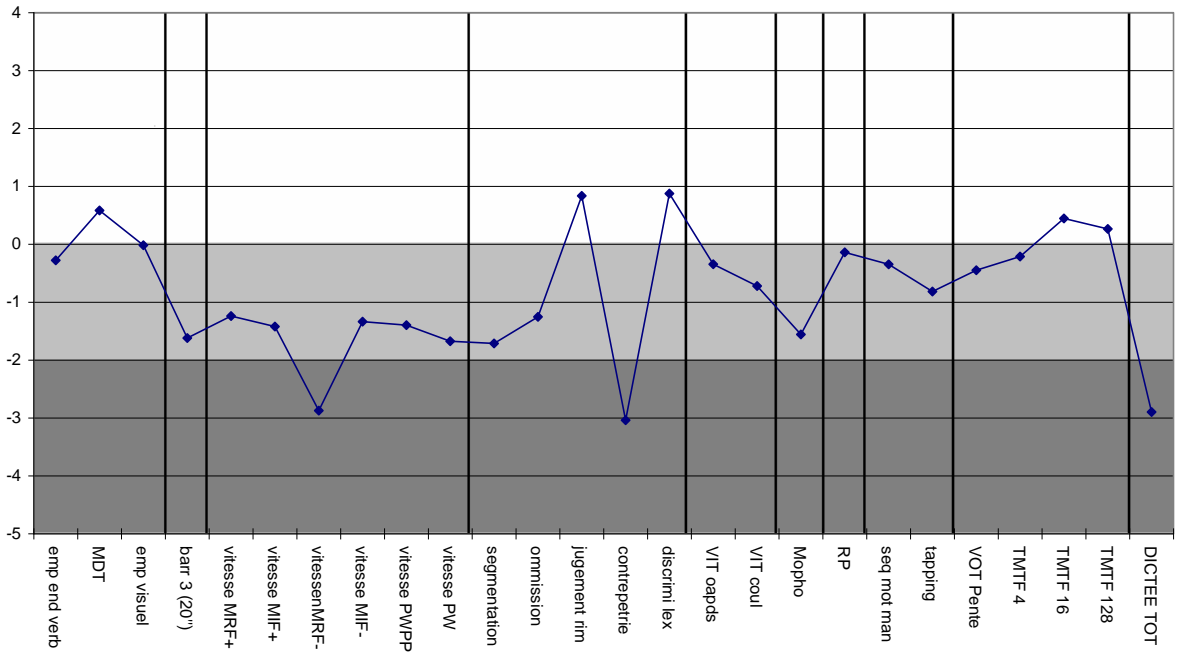
534



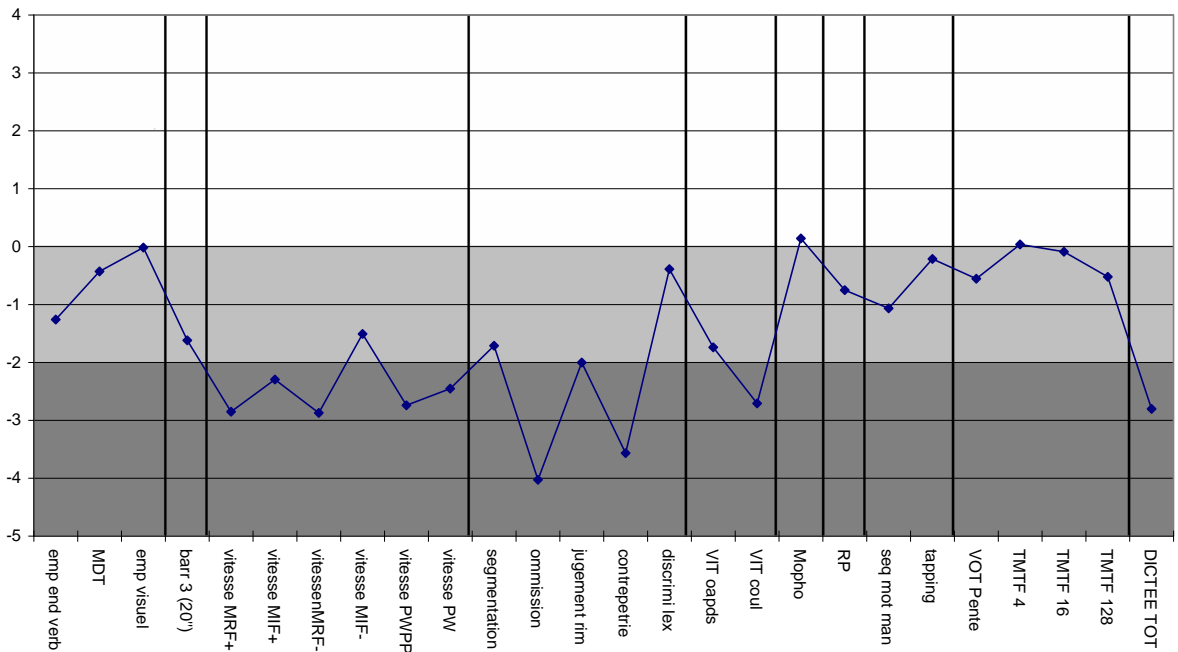
535

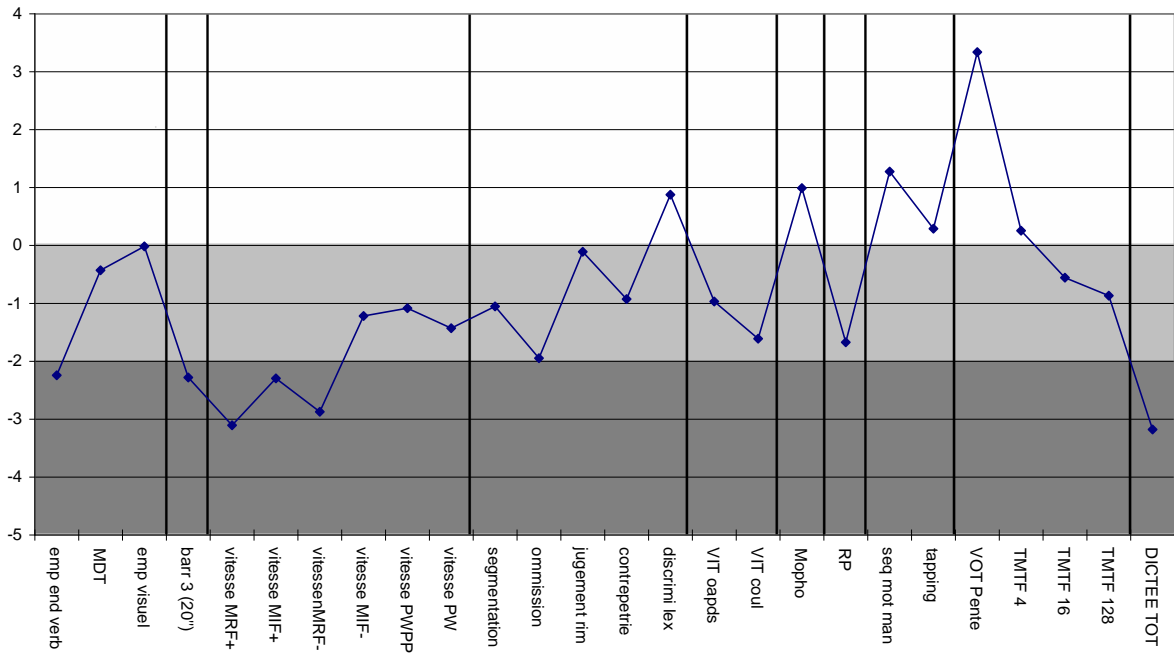


536



537





TITRE : Elaboration d'un outil d'aide au diagnostic de la dyslexie développementale

RÉSUMÉ :

Cette recherche consiste à élaborer un outil informatisé d'aide au diagnostic de la dyslexie en intégrant les hypothèses théoriques les plus représentatives. Les nombreuses recherches menées sur la dyslexie ont conduit à la formulation d'hypothèses explicatives (Expertise INSERM, 2007) susceptibles d'en être à l'origine : phonologique (Ramus *et al.*, 2003), visuo-attentionnelle (Valdois *et al.*, 2004), cérébelleuse (Nicolson et Fawcett, 1999), déficit dans le traitement du signal auditif temporel (Tallal, 1980), magnocellulaire (Stein, 2001). En ce sens, nous avons rassemblé dans un protocole expérimental des épreuves mesurant différentes capacités cognitives (mémoire, attention, habilités phonologiques, habilités motrices, capacités visuo-attentionnelles, habilités auditives).

Ce protocole a été soumis à 91 enfants tout-venant et 35 enfants dyslexiques diagnostiqués lors d'un bilan pluridisciplinaire. De ces expérimentations, nous avons extrait un modèle statistique prédictif, regroupant les exercices les plus discriminants qui permet, en un temps limité (environ 30 min), de connaître de manière précise si l'enfant rencontre ou non des troubles de la lecture. Nous avons, par ailleurs, constitué des profils cognitifs à partir des performances obtenues par chaque enfant. Ainsi, ces profils pourront servir de guide pour des bilans approfondis qui permettront par la suite de proposer une prise en charge rééducative adaptée aux difficultés particulières de l'enfant.

Le logiciel Alex, ainsi élaboré, poursuit aujourd'hui l'ultime phase de validation, il sera alors, destiné aux professionnels de la santé exerçant avec les enfants qui rencontrent des troubles dans les apprentissages.

MOTS CLÉS : Dyslexie développementale, outil diagnostic, profils cognitifs

TITLE : Elaboration a tool in order to help diagnosis of developmental dyslexia

ABSTRACT :

This research aims to elaborate a tool for diagnosis of dyslexia taking into account the most representative theoretical hypotheses concerning etiology of dyslexia. Research on causes of dyslexia has led to multiple theories (Expertise INSERM, 2007) : phonological theory (Ramus *et al.*, 2003), visuo-attentional hypothesis (Valdois *et al.*, 2004), cerebellar theory (Nicolson et Fawcett, 1999), theory of auditory deficit (Tallal, 1980), theory of magnocellular deficit (Stein, 2001). This way, we have included in the same experimental protocol a set of tasks measuring various cognitive capacities (memory, attention, phonological, morphological, motor, visuo-attentional, auditory).

This protocol was used with 91 typical children and 35 dyslexic children attending a specialized consultation for dyslexia. From this experimentation, we have extracted a predictive model, based on a limited number of tasks in order to discriminate in 30 minutes as well as possible between dyslexic and non-dyslexic. Moreover, we made cognitive profiles for each child, that corresponds to the performance in every task. This cognitive profile will be helpful to give indications for a deeper assessment aimed to provide an individualized and adapted remedial program and rehabilitation treatments.

Following of our research, a software called Alex is actually in a validation period. It will constitute a tool for the health professionals in charge of children who experienced learning disabilities.

KEYWORDS : developmental dyslexia, tool for diagnosis, cognitive profiles.

DISCIPLINE : Psychologie

Université Rennes 2
Centre de Recherche en Psychologie, Cognition, Communication EA 1285
Laboratoire de Psychologie du développement
Place du Recteur Henri Le Moal
35043 RENNES CEDEX