



HAL
open science

Étude du langage oral et écrit d'une population d'enfants nés grands prématurés : aspects cliniques et électrophysiologiques

Aude Charollais

► **To cite this version:**

Aude Charollais. Étude du langage oral et écrit d'une population d'enfants nés grands prématurés : aspects cliniques et électrophysiologiques. Psychologie. Normandie Université, 2019. Français. NNT : 2019NORMR124 . tel-02864963

HAL Id: tel-02864963

<https://theses.hal.science/tel-02864963v1>

Submitted on 11 Jun 2020

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.

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité Psychologie Neurosciences de la Cognition

Préparée au sein de l'Université ROUEN Normandie

ETUDE du langage oral et écrit d'une population d'enfants nés grands prématurés : aspects cliniques et électrophysiologiques

**Présentée et soutenue par
Aude CHAROLLAIS**

Thèse soutenue publiquement le 19 Décembre 2019
devant le jury composé de

Mme BEDNAREK WEIRAUCH Nathalie	Professeure-PH CHU de Reims	Rapporteuse de thèse
Mr BERQUIN Patrick	PU-PH Université de Picardie Jules Verne	Co-directeur de thèse
Mme BOURDIN Béatrice	Professeure Université de Picardie Jules Verne	Rapporteuse de thèse
Mme CAHAREL PALMERO SOLER Stéphanie	MCF-HDR Université de Lorraine, Nancy	Examinatrice de thèse
Mr MARRET Stéphane	PU-PH Université de Rouen Normandie	Examinateur de thèse
Mr MELLIER Daniel	Professeur Émérite Université de Rouen Normandie	Examinateur de thèse
Mr REBAI Mohamed	Professeur Émérite Université de Rouen Normandie	Directeur de thèse
Mme VALDOIS Sylviane	Professeure Université de Grenoble	Examinatrice de thèse

Thèse dirigée par Mohamed REBAI, Centre de Recherche sur les Fonctionnements et les Dysfonctionnements Psychologiques (CRFDP, EA 7475), Université de Rouen Normandie **et Patrick BERQUIN**, Groupe de recherches sur l'Analyse Multimodale de la Fonction cérébrale (GRAMFC Inserm UMR S 1105) CHU Amiens



Remerciements

Je remercie tout d'abord Mr Le Professeur REBAI qui a dirigé cette thèse. Il m'a fait confiance pour mener ce travail de recherche fondamentale et clinique. Il m'a permis de maîtriser les potentiels évoqués cognitifs et approfondir et compléter mes connaissances et observations cliniques. Ce travail passionnant de recherche et d'échange au sein de son laboratoire fut très enrichissant. Il a permis une très grande collaboration entre tous les membres de son laboratoire, ses étudiants et l'équipe hospitalière du CHU de Rouen où j'ai la chance de travailler. Au-delà des réflexions et raisonnements sur nos travaux, je remercie la personne rigoureuse et humaine que j'ai découverte tout au long de ces années.

Je remercie Mr Le Professeur BERQUIN qui a accepté de co-diriger cette thèse. Sa compétence clinique de neuro-pédiatre, expert dans les domaines neurocognitifs et attentionnels, m'a orientée sur la compréhension des premiers résultats de nos PEVc qui ont guidé notre compréhension à l'interface clinique et électroencéphalographie.

Je remercie Mr le Professeur MARRET, qui a accepté de présider le jury de ma soutenance. Qu'il soit aussi remercié pour nous avoir permis de conduire deux parties cliniques essentielles que sont nos deux PHRC au sein de son service. L'intérêt commun vers la compréhension du neuro développement est une collaboration de tous les jours, au service des enfants et des familles dont nous nous occupons.

Je remercie Mme la Pr BEDNAREK pour avoir accepté de juger ce travail. Sa compétence de neuro-pédiatre au service du neuro développement permet de critiquer l'intérêt fondamental et clinique de cette recherche. Je la remercie pour sa disponibilité.

Je remercie Mme La Pr BOURDIN, pour avoir accepté de juger ce travail. Son expertise sur les mécanismes et les troubles de la lecture permettront d'évaluer l'intérêt et la valeur scientifique de ce travail.

Je remercie Mme la Pr CARHALO, spécialiste des PEV, qui a accepté d'examiner ce travail de recherche sur les potentiels évoqués et la lecture.

Je remercie Mr le Pr MELLIER, professeur émérite, qui a contribué, il y a des années, à mon appétence à la recherche clinique dans l'observation et la compréhension des états et comportements des enfants nés prématurés.

Je remercie Mme la Pr VALDOIS d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie très sincèrement l'ensemble des membres de mon jury et en particulier mes rapporteuses pour leur compréhension et leur disponibilité pour me permettre de soutenir et présenter ce travail.

Je remercie tous les parents et leurs enfants pour avoir participé à cette étude. Toutes ces familles collaboratives et soucieuses de comprendre et aider leurs enfants nous ont accordé beaucoup de temps. Tous les participants adultes et enfants normo lecteurs étaient très intéressés par la compréhension de la lecture. Toutes ces personnes montrent l'intérêt universel qu'est la compréhension de cette compétence humaine.

Je remercie les étudiants et leur travail collaboratif tout au long de ces années qui nous ont permis d'échanger et de réfléchir.

Je remercie tout le personnel bienveillant de la consultation qui accueille les familles et participe aux études et recherches avec toujours beaucoup d'enthousiasme.

Je remercie tous les membres de toutes les équipes du PHRC LAMOPRESCO 1 et 2 qui nous ont permis de conduire cette recherche clinique jusqu'au bout.

Je remercie infiniment Marie Lemarchand pour ses qualités professionnelles et humaines sans qui ce travail n'aurait jamais pu exister, et auprès de laquelle j'ai beaucoup appris pendant toutes ces années de collaboration enrichissante.

Marie Helene Stumpf a co-construit ce travail neurolinguistique en théorie, avec ses connaissances professionnelles et, en pratique, par sa détermination rigoureuse à évaluer chaque enfant même au bout de la France. Je la remercie d'être toujours aussi passionnée et investie pour chaque projet et aussi pour chaque enfant. Au-delà de ce travail collaboratif très enrichissant, ses qualités humaines de justice, d'équité ainsi que de cohérence m'ont beaucoup appris. Qu'elle soit ici remerciée de son soutien indéfectible, de sa confiance et de toutes ses qualités mises au service des enfants.

Je remercie tous mes collègues, mes proches, mes ami-e-s, ma famille, mes grands enfants chéris pour leur soutien et leur compréhension de tout ce temps de travail en plus.

SOMMAIRE

I. Problématique Générale.....	8
I.1 Introduction Générale.....	8

PREMIERE PARTIE

II. Etude du langage chez l'enfant né grand Prématuro	25
II.1 Introduction : trajectoire neurodéveloppementale des enfants nés prématurés...	25
II.2 Apport théorique du développement du langage oral.....	28
II.3 Particularités du développement du langage oral de l'enfant né prématuré.....	34
II.4 Hypothèses de la recherche LAMOPRESCO.....	42
II.4.1 Objectif principal.....	43
II.5 Protocole	43
II.5.1 Population	43
II.5.2 Critères inclusion / non inclusion.....	44
II.5.3 Critères d'exclusions.....	44
II.6 Méthodologie	44
II.6.1 Recueil de données :	45
II.7 Résultats	45
II.7.1 Nombre de sujets- Critère de jugement principal.....	45
II.7.2 Critères de Jugements secondaires.....	47
II.8 Discussion.....	48

DEUXIEME PARTIE

III Lecture et Potentiels Evoques Visuels : Théorie et Méthodologie.....	50
III.1 Introduction PEV lecture	50
III.2 Apports des modèles théoriques psycholinguistiques.....	51
III.2.1 Modèle de Frith.....	52
III.2.2 Modèle de Seymour	53
III.2.3 Modèle de Coltheart.....	54
III.2.4 Modèle de Gombert	55
III.3 Hypothèses psycholinguistiques de la recherche.....	57
III.4 Potentiels Evoqués Visuels.....	60
III.4.1 PEV avantages et contraintes	61
III.4.2 PEV : pattern en lecture.....	65

III.4.2.1 P100	69
III.4.2.2 N170.....	72
III.4.2.3 P200 et N230.....	73
III.4.2.4 Les ondes tardives P300 N320 P400.....	74
III.5 Hypothèses électrophysiologiques de l'acquisition de la lecture.....	76
III.6 Les deux paradigmes en PEV.....	79
III.6.1 le paradigme de Décision Lexicale.....	79
III.6.2 le paradigme d'OddBall.....	80
III.7 Hypothèses en PEV provoqués chez des populations vulnérables en lecture.....	81
III.7.1 Analyse des PEV lecture chez les dyslexiques.....	82
III.8 Méthodologie matériels et méthodes.....	83
III.8.1 Première expérimentation.....	84
III.8.2 Matériels.....	85
III.8.3 PEV Lecture.....	87
III.8.3.1 Décision Lexicale.....	88
III.8.3.2 OddBall.....	89
III.8.6 Analyses Statistiques.....	90
IV Résultats 1ère expérimentation.....	90
IV 1 Population Normo lectrice.....	91
IV.1.1 Analyses descriptives.....	91
IV.1.2 Résultats statistiques pattern en PEV lecture.....	94
IV.1.2.1 Analyses statistiques en Décision Lexicale.....	94
IV.1.2.1.a Analyse de la P100.....	94
IV.1.2.1.b Analyse de la N170.....	94
IV.1.2.1.c Analyse de la N230.....	95
IV.1.2.2 Analyses statistiques en OddBall.....	95
IV.1.2.2.a analyse de la P100.....	95
IV.1.2.2.b analyse de la N170.....	96
IV.1.2.2.c analyse de la N230.....	97
IV.1.2.3 Analyses Statistiques des résultats comportementaux.....	98
IV.1.2.3.a Analyses du taux de bonnes réponses.....	98
IV.1.2.4 Analyses des tests psycholinguistiques... ..	99

IV.1.2.4.a tests de lecture	99
IV.1.2.4.b. Tests de raisonnement	99
IV.1.3 Synthèse des résultats populations Témoins Adulte et Adolescente.	100
IV.1.4 Discussion.....	101
IV.1.4.1 P100 et Attention au cours de l'expertise de lecture	101
IV.1.4.2 N170 et traitement Sub orthographique.....	103
IV.1.4.3 N230 et traitement Sub lexical.....	105
IV.2 Population Adolescents Dyslexiques.....	108
IV.2.1 Hypothèses.....	108
IV.2.2 Effectifs.....	110
IV.2.3 psycholinguistiques.....	110
IV.2.4 Hétérogénéité du pattern en Décision Lexicale.....	113
IV.2.4.1 Analyse P1N1.....	117
IV.2.4.2 Résultats.....	118
IV.2.4.3 Discussion Variabilité P1N1.....	120
IV.2.5.Résultats et discussion OddBall.....	121
IV.2.5.1 Synthèse et conclusion l'effet OddBall	123
IV. 3 Population Adolescents prématurés	125
IV.3.2 Hypothèses.....	125
IV.3.3 Effectifs.....	126
IV.3.4 Psycholinguistiques.....	127
IV.3.5 Analyse des Patterns des PEV en Décision Lexicale.....	130
IV.3.5.1 La décision Lexicale chez les prématurés.....	130
IV.3.5.2 Résultats statistiques de la Décision Lexicale	133
IV.3.5.3 Discussion N170.....	135
IV.3.5.4. Continuum Lecture.....	140
IV.3.5.5 Conclusions Décision Lexicale chez les Prématurés.....	141
IV.3.6 Analyse de l'effet OddBall.....	141
IV.3.7 Discussion de l'effet OB chez les prématurés.....	148
IV.4 Conclusions 1 ^{ère} Expérimentation : 3 populations adolescentes.....	150

TROISIEME PARTIE

V. Deuxième expérimentation : 3 populations enfants de 8 ans	152
---	------------

V.1 Prématurés LMOPRESCO et PEV lecture	152
V.2 Hypothèses.....	152
V.3 Matériels et Méthodes.....	155
V.4 Résultats.....	157
V.4.1 Effectifs des quatre populations.....	157
V.4.2.Psycholinguistiques... ..	159
V.4.3. Comportementaux.....	162
V.4.3.1 Temps de réaction et Taux de bonne réponse en DL.....	162
V.4.3.2 Temps de réaction et taux de bonne réponse en OB.....	163
V.4.4.PEV Décision Lexicale.....	164
V.4.4.1 Résultats PEV Décision Lexicale.....	165
V.4.4.2. Discussion : la DL dans le développement	165
V.4.4.2.a Psychométrie et comportement Discussion	166
V.4.4.2.b DL et neurodéveloppement	169
V.4.5. PEV OddBall.....	172
V.4.6 Etude des deux groupes d'enfants NGP.....	175
V.4.6.1 Décision Lexicale des enfants NGP.....	175
V.4.6.2 OddBall des enfants NGP.....	176
V.5 Discussion 2 ^{ème} expérimentation	177
VI DISCUSSION générale / Objectifs initiaux / population prématurée.....	180
V.1 PEV prématurés.....	180
V.2 Perspectives et Limites	185
VII CONCLUSION.....	187
VIII BIBLIOGRAPHIE.....	189
IX ANNEXES	205
X ABREVIATIONS	238
XI RESUME.....	239
XII PUBLICATIONS	240

I. Problématique générale :

Les enfants nés grands prématurés ont une surreprésentation de retards de langage oral et de langage écrit. La question de l'intérêt d'une prise en charge rééducative précoce en langage oral n'est pas démontrée ni le lien avec l'acquisition du langage écrit. Notre objectif est de caractériser le développement du langage oral et l'apprentissage du langage écrit des enfants nés grands prématurés et de chercher des marqueurs cliniques et neurophysiologiques comparativement aux enfants nés à terme et dyslexiques.

I.1. Introduction Générale.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, dans un communiqué de Novembre 2017, 15 millions de bébés prématurés naissent chaque année, ce qui représente plus d'un bébé sur 10. Près d'un million d'enfants décèdent chaque année en raison de complications liées à cette prématurité. Le pourcentage d'enfants survivants qui présentent une incapacité à vie, notamment en matière d'apprentissage, est méconnu sur le plan mondial. Ce taux de handicap développemental est l'objet d'études épidémiologiques dans les pays riches. En France, la prématurité a une fréquence élevée de 7,4% des naissances, et 40% des enfants nés grands prématurés ont des troubles neurodéveloppementaux selon l'enquête nationale EPIPAGE 1 (Inserm, 2019).

Une naissance prématurée est définie par une naissance avant le terme de la grossesse qui correspond à 41 semaines d'aménorrhée, soit 9 mois et demi à compter de la date des dernières règles. Un enfant est considéré comme prématuré s'il naît avant 37 semaines d'aménorrhée (SA), soit à 8 mois et demi de grossesse. On distingue trois niveaux de prématurité, la prématurité moyenne qui correspond à une naissance entre la 32ème et la 36ème semaine d'aménorrhée révolue (7 mois à 8 mois de grossesse), la grande prématurité entre la 28ème et la 32ème SA (6 mois à 7 mois de grossesse), et la très

grande prématurité pour les naissances intervenant avant 28 semaines, soit en deçà de 6 mois de grossesse. Aucune survie n'a été obtenue en deçà de 23 semaines, soit en deçà de cinq mois de grossesse.(Inserm). Le taux de naissances prématurées est en hausse ces 20 dernières années, en France et dans de nombreux pays développés, selon les communications récentes de l'INSERM et de l'OMS. La prématurité est passée de 5,9% des naissances en 1995 à 7,4% en 2010. Il est estimé entre 50 000 et 60 000 naissances prématurées chaque année en France. Parmi eux, 85% sont des prématurés moyens (32-37 SA), 10% sont des grands prématurés (28-32 SA) et 5% sont des très grands prématurés, nés à moins de 28 SA. Les séquelles neurologiques sont fréquentes, en particulier chez les grands prématurés et les très grands prématurés. Les séquelles peuvent se manifester par des troubles moteurs avec un retard à la marche ou des difficultés à marcher, des troubles cognitifs avec des difficultés de langage oral ou écrit, ou encore des troubles de l'attention et des troubles sensoriels, visuels ou auditifs. L'étude épidémiologique française Epipage 1 menée au cours de l'année 1997 auprès de grands prématurés a montré que 40% d'entre eux présentaient une déficience motrice, sensorielle ou cognitive à l'âge de cinq ans, contre 11% des enfants du même âge nés à terme (Larroque B. et al., 2008). Le risque de déficience est donc environ quatre fois plus élevé chez les grands prématurés, toujours par rapport aux enfants nés à terme. Toutefois, les formes sévères de déficiences ne concernaient que 5% des enfants. Après 32 semaines de grossesse, le risque de complications immédiates et à long terme est nettement réduit mais n'est pas nul : 4% des enfants nés à 32 SA présentent une paralysie cérébrale à 5 ans. Le taux d'hospitalisations des enfants nés à 36 SA est encore supérieur à celui observé chez les enfants nés à terme (8,8% contre 6,4%). La prématurité modérée ne devrait donc pas être banalisée comme le rapporte une étude très récente sur les difficultés majeures d'apprentissage de cette population (Twillhaar et al., 2018). Selon une communication INSERM de 2015, il existe une diminution significative du taux de paralysie

cérébrale chez les enfants nés prématurés entre 1997 et 2011 en France comme dans les pays anglo saxons. Les troubles neurodéveloppementaux des enfants nés prématurés dépendent fortement de la « richesse » ou non du pays. Les données épidémiologiques étudiant le devenir des prématurissimes ou enfants nés grands prématurés en Angleterre rapportent des améliorations développementales (Santhakumaran et al., 2017). Ainsi, les « données générales » de la prématurité ont changé depuis 1997, avec une augmentation des naissances prématurées et des évolutions dans les pratiques médicales en obstétrique et en néonatalogie. Une nouvelle étude épidémiologique française (EPIPAGE 2) a été mise en place depuis 2011 pour actualiser les données en suivant plus de 7000 naissances. Les premiers résultats de cette étude montrent que la mortalité diminue ainsi que la morbidité sévère précoce (Pierrat et al., 2017). Les évaluations neuro développementales sont en cours avec des mesures plus précises et détaillées sur le développement neurosensoriel, psychique et cognitif, à des étapes clés jusqu'à 12 ans. Si l'objectif est de mieux connaître le devenir neurodéveloppemental et médical de ces enfants, au regard des évolutions des pratiques médicales et de l'organisation des soins, la nécessité est également d'évaluer les pratiques hospitalières et les soins extra hospitaliers associés aux meilleurs résultats pour les diffuser plus largement, ainsi que de proposer des outils de surveillances développementales plus précis. Les nombreuses publications sur les difficultés comportementales et d'acquisitions scolaires des enfants nés grands prématurés et l'accès au soin justifient notre travail sur l'étude du langage oral et écrit de cette population (Frances et al., 2017). Si l'incidence sévère de la grande prématurité, telle que la paralysie cérébrale, diminue, les troubles neurodéveloppementaux persistent au sein d'une population de plus en plus importante (Joseph et al., 2016). Il semble important de rechercher et analyser, au-delà des tests de dépistages, des caractères cliniques du langage oral et du langage écrit de cette population vulnérable, afin de proposer précocement des interventions précises dont les effets seraient mesurables. Si la

population des prématurés augmente, leur suivi et prise en charge est un problème de santé public et l'objectif final de notre travail est de proposer des prises en charge précoces en langage en fonction de critères précis.

Au début de notre travail en 2013, très peu de travaux existaient sur le langage oral et écrit de l'enfant né grand prématuré. Aujourd'hui, encore, peu d'études évaluent les prises en charge précoces prolongées en langage et motricité, et leur incidence sur le développement de ces enfants, et notamment sur l'acquisition de la lecture. Les publications sur les déficits neuropsychiques des enfants prématurés sont déjà pour certaines, anciennes, mais de plus en plus abondantes et précises, comme les troubles des processus attentionnels plus ou moins précoces (Mellier et al., 2011) (Serati et al., 2017) associés à des dysrégulations émotionnelles (Evrard et al., 2011), des dys-habilités motrices, spatiales (Mazeau, 2010), (Barry et al., 2008) (Deforge et al., 2009) ou encore mnésiques (Schiller et al., 2018). Plus récemment, un trouble de maturation des fonctions exécutives est décrit (Taylor et al., 2016) (Costa et al., 2017), et serait associé à des variations de structure de la substance blanche persistantes chez des adultes nés grands prématurés (Vollmer et al., 2017). L'exploration des fonctions exécutives et la compréhension de leurs multiples atteintes restent à préciser (Tirapu-Ustarroz et al., 2018). Dans la population générale, les facteurs de réussites scolaires, dont essentiellement la lecture, sont majoritairement liés aux fonctions exécutives avant la métacognition, la régulation émotionnelle et les connaissances (Blankson et al., 2016). L'ensemble des difficultés d'apprentissage des enfants nés grands prématurés sans paralysie motrice est rarement rapporté à une déficience cognitive globale homogène sur les échelles de développement utilisées (KABC ou échelle de Weschler), mais il existe néanmoins une surreprésentation de cette population dans la norme faible du quotient de développement (Aviles et al., 2018). Trente à 50% des enfants nés grands prématurés ont des troubles des apprentissages scolaires et nécessitent des soins et rééducations (Marret et al., 2009),

(Aarnoudse-Moens et al. 2009). Peu d'études ont analysé les dysfonctionnements langagiers des enfants nés prématurément. Or, les apprentissages scolaires, et en particulier l'entrée dans l'écrit, sont favorisés par des « savoir-faire langagiers » précoces (Sprenger-Charolles et al., 2003). Le langage écrit nécessite entre autres un bon niveau de langage oral et notamment la phonologie. (Halimi et al., 1981 ; Ramus 2001). Le développement de la phonologie est constitutif et interdépendant du développement du langage oral (Kehoé et al., 2018) et son atteinte peut se situer à différents moments de la maturation et de la spécialisation des réseaux neuronaux dédiés au langage (Dehaene et al., 2007). La phonologie et ses différents aspects ont été beaucoup étudiés dans la pathologie spécifique au langage écrit qu'est la dyslexie (Plazza et al., 2007). Pour cette raison, nous comparerons nos résultats à une population d'enfants dyslexiques, et comme dans cette pathologie nous nous interrogerons sur les marqueurs neurodéveloppementaux et sensorimoteurs troublant l'acquisition de la lecture. Par ailleurs, les données concernant les différences dans le développement du langage entre les enfants nés grands prématurés et les enfants nés à terme sont peu nombreuses et discutées. Si le niveau de langage oral de l'enfant prématuré à 3 ans ½ prédit son niveau de lecture à 7 ans ½ (Crunelle et al., 2003), il est également très lié au niveau socio culturel. Ainsi les difficultés de développement du langage sont le plus souvent mis en lien avec des défauts de stimulations et, ou un retard plus global de développement, notamment chez les très grands prématurés (Johnson et al., 2016). Une méta analyse récente sur les troubles du langage de l'enfant né prématuré rapporte deux facteurs prépondérants que sont le terme de naissance (prématurité moyenne, grande ou très grande) et le facteur socioéconomique (Allotey et al., 2017). Plus l'enfant a des parents peu « qualifiés » sur le plan socio professionnel, plus les atteintes du langage sont importantes, et ce d'autant plus que sa prématurité est grande. Ainsi, on propose de caractériser le langage oral dans une population d'enfants nés grands prématurés, afin de répondre de l'intérêt d'une prise en

charge spécifique versus une guidance et, ou une stimulation non spécifique. L'étude épidémiologique Epipage (Larroque et al., 2008) révélait, pour la très grande majorité de cette population, la normalité des évaluations cognitives notamment en langage oral au test KABC. Ces mêmes enfants présentaient néanmoins 35% à 60% de besoins éducatifs spécifiques révélés par des difficultés scolaires (Marret et al., 2009). Cependant, les prises en charge du langage par les orthophonistes restaient très faibles et souvent la rééducation n'était initiée qu'après l'âge de 7 ans. Par conséquent, on se demandera si les difficultés grandissantes de compréhension du langage oral et écrit rapportées dans une méta-analyse (van Noort-Van der Speck, 2012), et persistantes dans les études plus récentes (Nguyen et al., 2018) sont-elles liées à la non-intervention précoce et spécifique sur cette compétence langagière (Guarini et al., 2010), ou sont inhérentes et conséquentes de l'immaturation cérébrale initiale pondérée par le Niveau Socio-économique comme dans la population générale ? Est-ce que le facteur environnemental intervient sur le niveau de langage oral en modifiant les contraintes sensorimotrices liées à la prématurité ? Existence de marqueurs neurophysiologiques des difficultés de langage écrit chez les enfants nés grand prématurés en lien avec leurs difficultés initiales en langage oral ?

Le langage oral se construit sur des étapes sensori-motrices (Beilin et al., 1999). Selon la théorie de Piaget, l'enfant apprend jusqu'à deux ans par l'utilisation de ses cinq sens (stade sensori moteur), et il ne peut acquérir ou passer au stade pré opératoire supporté par le langage que si le stade précédent est réalisé complètement. Ainsi, Piaget classait les compétences attendues en stade par tranche d'âge. Entre 2 et 7 ans, le langage permet le stade pré opératoire et prépare au stade opératoire concret servant à la classification, la sériation et l'acquisition de la lecture. Piaget ne décrivait les compétences en calcul de l'enfant qu'à partir du stade opératoire concret (après 7 ans), alors que le nourrisson de 4 mois montre précocement des compétences en arithmétiques (Christodoulou et al., 2017). Il existe donc, très certainement plus de chevauchements entre les stades

développementaux que ceux décrits par Piaget, et surtout des compétences plus précoces de l'enfant que l'on ne peut observer qu'en venant les tester spécifiquement. Piaget mesurait les réussites majoritaires à des problèmes standardisés de nombreux groupes d'enfants d'âge différents pour les classer. La reproduction des tests d'arithmétique utilisés par Piaget chez le nourrisson a montré des différences de réussite en remplaçant le jeton utilisé par un bonbon. Ainsi, la prise en compte de l'aspect non purement « instrumental », mais motivationnel doit être intégré dans la mesure de compréhension neurodéveloppementale. De plus certaines acquisitions se font de façon hétérogène, même si le stade précédent n'est pas complètement acquis. L'exemple le plus parlant est le développement du langage oral « jargonnant » qui apparaît comme un trouble du langage oral primaire chez de nombreux enfants, alors que précédemment, au stade sensori moteur, ils ont présenté une baisse d'audition légère passée inaperçue (Pereira et al., 2008). Ainsi, même si les stades de Piaget sont remis en question par la meilleure compréhension du rôle de l'intégration sensorielle et de ses connections intermodales neurodéveloppementales, les prérequis du langage oral restent sensori-moteurs et transmodaux. Par transmodalités, intermodalités sensorielles, nous entendons la capacité ou la compétence du nouveau-né à terme d'avoir une représentation immédiate d'un sens à un autre sens (Streri et al., 2004) et leurs influences sur le développement (Guellaï et al., 2014). Les travaux et publications récents interrogent sur le rôle et les connexions nécessaires de cette compétence transmodale très précoce qui peut être partielle ou absente chez les enfants nés prématurés (Lejeune et al., 2012). Les atteintes de la transmodalité ont été documentées chez des enfants présentant un trouble du spectre autistique, avec un trouble supposé d'intégration sensorimoteur étudié en électrophysiologie (Martineau et al., 1992). Les variations de latence des potentiels auditifs et visuels dans le traitement lexical (écouter et voir des mots en même temps) ont documenté l'hypothèse du trouble neurophysiologique (Cantiani et al., 2016).

L'électrophysiologie a permis d'explorer de nombreux dysfonctionnements chez les enfants dyslexiques. L'ensemble des travaux cliniques, électrophysiologiques et imagerie fonctionnelle, alimentent les discussions sur l'origine spécifique ou non du trouble de l'acquisition de la lecture (Bishop 2004). Ramus a proposé une modélisation des différents niveaux d'atteinte spécifique de la dyslexie génétique en les séparant des autres étiologies. Il distingue les troubles de lecture associant des troubles neurosensoriels auditifs, visuels et exécutifs rapportés fréquemment dans la littérature, pour soutenir la théorie d'une atteinte spécifique et circonscrite génétique de la phonologie (Annexe 1). Une étude a comparé la composante phonologique de la lecture à des épreuves sensori motrices (enfiler des perles, discrimination auditive, attention visuelle...), dans des populations d'enfants dyslexiques, d'enfants autistes et d'enfants témoins appariés en âge (White et al. 2006). Le rôle et la corrélation des troubles sensorimoteurs rapportés à des troubles d'intégration sensorielles et à leur niveau de lecture, a été étudié dans une population d'enfants dyslexiques versus enfants autistes. Une double dissociation, entre des enfants autistes avec des troubles sensorimoteurs sans atteinte de la lecture, et des enfants dyslexiques sans troubles sensorimoteurs, a été rapportée. Ainsi les troubles sensorimoteurs ne seraient pas la cause du trouble du langage écrit des dyslexiques mais un marqueur non spécifique d'un trouble neurodéveloppemental existant parfois chez les dyslexiques. Nous discutons ce point fondamental, de l'atteinte spécifique mais multimodale de la phonologie à différentes étapes et différents degrés. Par ailleurs, tous ces composants pourraient également être potentiellement d'origine génétique. Au plan neurodéveloppemental, certains éléments sensori-moteurs gêneraient la première étape intégrative neurosensorielle nécessaire à la phonologie, contraignant la seconde étape du langage oral dans sa fonction d'utilisation et d'affinage de la phonologie, puis du langage écrit par simple codage initial et complexification. La fonction multi modale, au sens multisensorielle, de la phonologie serait donc un spectre large d'intégration auditive,

visuelle, et proprioceptif mais se spécifiant progressivement par différentes boucles de rétrocontrôle dont la motricité buccale propre aux humains. Les atteintes de la phonologie seraient potentiellement multiples et pourraient apparaître à des temps développementaux différents. On pourrait donc concevoir que les dyslexiques les plus sévères ont une atteinte sensorimotrice avec des séquelles en langage oral, et que les dyslexiques modérés ou légers ont un langage oral normal ou normalisé et une absence de trouble sensorimoteur. Différents troubles d'intégration sensorimoteurs déterminant la spécialisation neuro fonctionnelle précoce sont rapportés dans la littérature comme contrainte spécifique de la dyslexie. La théorie du trouble de la perception posturale (Quercia et al., 2005) évoquant un trouble d'intégration proprioceptif ainsi que le trouble de la discrimination auditive décrite par Tallal (Tallal, 2012) et les travaux sur l'attention visuelle spécifique (Valdois et al., 2006) gênent spécifiquement la lecture et la phonologie. Les explorations par imagerie cérébrale fonctionnelle rapportent des différences de connexion voire de programmation, et de nombreuses publications décrivent les lenteurs des différentes fonctions cognitives et exécutives. Ainsi pour cerner les hypothèses de notre travail clinique sur l'étude du langage oral et écrit des enfants NGP, nous utiliserons la classification clinique du DSM5, qui précise qu'une absence de progrès en lecture de plus de 6 mois est considéré comme un trouble (DSM 5, 2015, Annexe 2). Cette classification clinique est reprise par différents auteurs qui proposent des rééducations différentes (Habib et al., 2002).

Cette approche « constructiviste » de la spécialisation de la phonologie nous semble essentielle pour questionner le paramètre moteur du langage chez les enfants nés grands prématurés (NGP). Cette discussion introductive permet d'argumenter notre recherche sur la construction du langage oral et écrit, en s'appuyant sur l'exploration par les potentiels évoqués, dans une population d'enfants NGP. Les PEV provoqués en lecture silencieuse apportent de nombreuses informations sur l'automatisation de la lecture, dont la phonologie, et ils pourraient mesurer et guider les rééducations.

Les étapes précoces neurodéveloppementales d'intégration sensorielles, multimodales et transmodales sont plus fragiles chez l'enfant né prématuré (avec 40% de troubles neuromoteurs à minima à 5 ans) que chez des enfants nés à terme et sont suspectes d'être des contraintes au développement du langage oral puis du langage écrit. Le langage oral se construit sur des éléments sensorimoteurs, et à 3 ans ½ détermine le niveau de lecture à 7 ans. La maîtrise du langage écrit reste LE facteur de réussite scolaire. Ainsi nous questionnons plus précisément le lien des contraintes motrices (troubles précoces des praxies bucco faciales) et, ou des troubles d'intégration sensorimoteurs à minima, tels qu'une transmodalité (proprioception versus vision), sur des zones de fragilité plus ou moins importantes sur le langage oral puis sur le langage écrit. Cette étude permet d'analyser les différents composants du langage de l'enfant né grand prématuré et les éléments sensorimoteurs le contraignant ainsi que leurs évolutions en fonction de stimulation spécifique précoce. Les fenêtres développementales de l'acquisition du langage oral, ou période critique de stabilisation, sont précises, et à 4 ans l'architecture du langage maternel est mise en place (Johnson et al 1991). Les recommandations actuelles des prises en charge ne recherchent pas les zones de fragilité de cette population de grands prématurés, les laissant rejoindre les recommandations de bilan à 4 ans ½ avec des critères plus graves pour prétendre à une rééducation orthophonique. Les résultats de suivis orthophoniques classiques initiés après 5 voire 6 ans, lorsque les enfants sont en difficultés avérées en lecture, n'améliorent pas significativement leur réussite scolaire. (Marret et al 2008). Ces résultats confortent l'hypothèse qu'une prise en charge plus précoce est nécessaire si les contraintes neurodéveloppementales sont bien identifiées et flexibles. Notre recherche s'est initiée autour de la théorie motrice de la perception de la parole, en supposant son impact sur la construction de la phonologie à un temps précoce du développement du langage oral puis du langage écrit. La lecture nécessite, selon la théorie neuro développementale de Dehaene et Ramus, un « recyclage » de neurones

performants en langage oral et en attention visuelle (Dehaene et al., 2007) (Annexe 3). Selon cette théorie neuro développementale, argumentée par la neuro imagerie fonctionnelle et la très nombreuse littérature depuis 10 ans, il s'agit d'une compétence complexe nous différenciant de toutes les autres espèces vivantes et modifiant l'architecture neuro-fonctionnelle (Cohen et al., 2000). La confirmation d'une zone cérébrale spécialisée circonscrite en pariéto-occipitale gauche (VWFA) dédiée à la lecture est venue confirmer la fonction d'un réseau neuronal prédéterminé et activé par des intégrations multimodales antérieures fonctionnelles, dont le langage oral et l'attention visuelle sélective (Dehaene et al., 2007). La spécialisation à gauche de ce réseau de neurones de lecture est interprétée communément comme une nécessité de proximité avec les zones du langage oral, et distinguerait les faibles lecteurs des dyslexiques (Mohamad et al., 2015). Ainsi, on peut supposer que l'architecture neurologique fonctionnelle de la lecture se modélise, se modifie, se complexifie, en fonction des structures anatomiques organiques préexistantes, des stimulations environnementales au sens large, et de la maturation cérébrale. La résolution spatiale des nouvelles techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle a permis de mieux comprendre le rôle et les fonctions complémentaires inter et intra hémisphérique, notamment dans le domaine de la pathologie développementale spécifique de la lecture qu'est la dyslexie (Elnakib et al 2014). Des anomalies structurelles comme des gyrifications de substance blanche réduites, des tailles anormales du corps calleux ou une asymétrie du cervelet ont été décrites. Sur le plan fonctionnel, des suractivations de l'hémisphère droit et du cervelet ont été rapportés, et en imagerie de tenseur de diffusion des orientations neuronales anormales ont été publiées. Cependant, l'étude en résolution temporelle reste inégalée par l'électrophysiologie qui permet d'enregistrer à la milliseconde près le décours temporel de l'information. S'agissant de notre problématique, qui est l'étude des difficultés d'acquisition et d'automatisation de la lecture chez des enfants nés grands prématurés, les potentiels

évoqués visuels de lecture (PEV) ou Event Related Potentiels (ERP) s'imposent comme technique facile d'utilisation et surtout capable de répondre à notre objectif.

Les PEV permettent d'étudier la lecture depuis 1960 et depuis une vingtaine d'année, les imageries fonctionnelles ont précisé spatialement les réseaux neuronaux de la lecture. Il existe de nombreux travaux d'électrophysiologie sur la lecture, reproduisant des résultats similaires définissant un pattern de lecture (Bentin et al., 1999). Les différents composants de ce pattern neurophysiologique sont encore discutés quant à leur signification et spécificité au cours de la lecture. Il existe néanmoins une unanimité, un consensus de méthodologie, utilisant deux paradigmes de stimulation que sont la décision lexicale (DL) et l'oddball (OB). Ils permettent d'explorer les mécanismes princeps de la lecture (Maurer et al., 2005). La littérature abondante sur l'exploration de la lecture dans de nombreuses langues différentes utilise ces paradigmes et interroge principalement les mécanismes de codage phono alphabétique (Simon et al., 2004). Des études, couplant l'électrophysiologie et l'imagerie fonctionnelle, ont permis d'explorer les réseaux neuronaux mis en jeu lors d'une pathologie neurodéveloppementale spécifique de la lecture telle que la dyslexie (Maurer et al., 2011). Il est fréquemment distingué une dyslexie phonologique d'une dyslexie visuo attentionnelle, en fonction de l'atteinte du langage oral ou de l'attention visuelle spécifique. Les travaux en électrophysiologie discutent l'atteinte des différents composants du pattern en fonction du type de dyslexie (Dujardin et al., 2011). Il n'existe pas à notre connaissance d'étude de la lecture en PEVc chez les enfants nés prématurés qui sont une population avec de nombreuses vulnérabilités notamment en langage oral et, ou en attention visuelle. En électrophysiologie, les études très récentes explorent l'intégration auditive et le rôle des différents composants du langage oral. L'exposition plus précoce de l'enfant né prématuré au langage parlé ainsi qu'aux sonorités environnantes a été analysée récemment (Nazzi et al., 2015) par des mesures de potentiels auditifs et de MMN, ainsi qu'en IRM fonctionnelle (Pena et al., 2012). Les résultats électro

physiologiques suggèrent des différences dans la qualité et la spécialisation d'analyse de la prosodie des enfants nés prématurés par rapport aux enfants nés à terme. Le manque de temps passé in utero aurait une influence sur l'analyse de la prosodie par rapport à la phonotactique du prématuré testé en âge corrigé à terme. La prosodie, ou tonalité, est assurée principalement par l'hémisphère droit, mature plus tôt. La phonotactique, autrement dit l'analyse de la séquentialité des sons articulés ou « le découpage » du flux langagier en syllabe, est très précocement latéralisé à gauche. Les potentiels auditifs couplés à l'IRM fonctionnelle rapportent des compétences identiques de discrimination de langage à gauche chez les enfants nés prématurés et les enfants nés à terme, et ils suggéreraient que la capacité des neurones du langage à discriminer des sons non maternels se fermerait, comme chez l'enfant à terme, à 9 mois d'âge corrigé. En d'autres termes, cette compétence de spécialisation à gauche pour les sons de la langue maternelle est indépendante de la prématurité et semble être une constante neurodéveloppementale jusqu'à 9 mois (Kuhl et al., 2006). Ainsi, les potentiels auditifs et l'imagerie fonctionnelle interrogent déjà la mise en place du langage chez le prématuré, avec des particularités de ses composants qui n'évolueraient pas de façon synchrone entre les deux hémisphères. On peut supposer qu'un temps d'exposition auditif extra utérin plus long sur un cortex immature, avec un temps « neurodéveloppemental » de spécialisation phonologique indépendant du terme (Pena et al., 2012), joue un rôle dans la construction phonologique. L'attention visuelle sélective nécessaire à la lecture est également explorée précocement chez les enfants à terme et prématurés. Une étude récente rapporte les variations d'attention visuelle sélective des enfants nés grands prématurés, explorée par le Eye tracking (Ryu et al., 2017). Cette compétence d'attention visuelle précoce plus faible pourrait jouer un rôle dans l'élaboration des capacités trans-modales nécessaires au langage, si cette transmodalité visuelle versus auditive favorise « la capture visuelle » des mouvements de la bouche (Möttönen et al., 2002). L'enfant prématuré ne montrerait pas la

même facilité à utiliser les sensorialités transmodales (Loi et al., 2017). Cette transmodalité peut être considérée comme un premier codage, dont le mécanisme est le même que le codage phono alphabétique (passer d'un son à un signe visuel), mais dont l'automatisation passera par la fréquence au sein de temps neurodéveloppementaux fixes. La phonologie est plus communément considérée comme la simple capacité à coder un son en un signe visuel et inversement. Les compétences audiovisuelles transmodales des nouveau-nés à terme, vision attentive du mouvement des lèvres et cohérence avec le son entendu, peuvent-elles être considérées comme une première aptitude phonologique ? L'incongruité de ces deux entrées sensorielles est étudiée sous le nom de l'effet Mc Gurk, et elle a été incriminée dans la dyslexie (Bastien et al., 2009). L'effet Mac Gurk est l'étude de notre perception sonore quand la syllabe entendue ne correspond pas aux mouvements de la bouche observée (Tiippana, 2014). Notre perception est alors perturbée et nous percevons alors un son « intermédiaire » entre celui qui est dit et celui qui est vu. Ces mécanismes transmodaux de codages sensoriels, plus ou moins complexes, pourraient être plus vulnérables chez l'enfant né prématuré qui présente une surreprésentation de troubles visuels et auditifs fins, mais également de troubles des praxies et de la proprioception de la sphère orale. L'exploration de l'effet Mc Gurk, soit l'intégration multimodale de la parole chez l'adulte, se situe autour de sillon temporal supérieur (Komeilipoor et al., 2017). Ce mécanisme princeps nous permet d'interroger la cohérence des entrées sensorielles en perception audiovisuelle sur des immaturités corticales, plus ou moins importantes, éventuellement en compétition et, ou en cohérence, selon la loi neuronale (Mitchel et al., 2014). Autrement dit, la stimulation par deux entrées sensorielles concomitantes auditivo verbale serait soumise aux lois neurodéveloppementales de renforcement synaptique selon la loi de Hebb (Renart et al., 1999). On peut penser que les dys stimulations précoces rapportées chez les enfants nés grands prématurés perturbent précocement la spécialisation de l'intégration sensorielle plurimodale même si l'efficacité des programmes

de soins développementaux restent discutés (Ohlsson et al., 2013). Les travaux publiés sur l'effet Mc Gurk permettent d'explorer et de mieux appréhender le rôle de cette fonction transmodale. Son exploration par le Eye tracking sur des nourrissons de 9 mois à risque de trouble du spectre autistique par atteinte de la fratrie mettait en évidence ceux qui présentaient une atteinte de cette cohérence audiovisuelle (Guiraud et al., 2012). Néanmoins, Kuschereneko (Kuschereneko et al., 2013) rapporte l'absence de différence neurophysiologique liée à l'âge. Les auteurs concluent que l'appétence entre 6 et 9 mois, des nourrissons nés à terme, pour l'observation privilégiée des mouvements articulés de la bouche semble un comportement maturatif neurovisuel plus qu'une modification neurologique corticale. D'autres travaux ont rapporté que l'effet Mc Gurck était perturbé par la vitesse d'une des deux entrées sensorielles chez des jeunes autistes. La compétence audiovisuelle (Havy et al., 2017) comme les autres transmodalités sont fondamentales pour que l'enfant de 18 mois apprenne de nouveaux mots. Ainsi, on peut comprendre que l'apprentissage lexical sensori moteur fiable, c'est-à-dire la connaissance d'un objet sous tous les sens peut être rappelé en mémoire par une seule modalité. Cependant l'apprentissage de nouveaux mots chez le nourrisson nécessitent plusieurs entrées sensorielles au cours du développement normal, mais également dans des situations pathologiques. Il existe différentes stratégies sensorimotrices rééducatives des enfants dyslexiques ou à risque, et de nombreuses études en Potentiels Evoqués Visuels cognitifs mesurant les variations des patterns électrophysiologiques de lecture. Les travaux rapportés concernent plus les composants précoces sub lexicaux (N170) et le stock lexical au sein de paradigmes standards (Gonzales-Garrido et al., 2014). Ainsi, pour répondre à nos différents objectifs d'analyse du développement de la lecture chez les enfants nés grands prématurés stimulés dans l'enfance en langage oral, la recherche s'est faite en trois parties.

La première partie est issue de notre étude clinique démarrée en 2010 et qui a fait l'objet d'un PHRC (Programme Hospitalier de Recherche Clinique) national intitulé LAMOPRESCO (Langage et Motricité de l'enfant né PREmaturé en âge pré SCOLAire) a permis d'analyser le langage oral (et ses pré requis) d'une population d'enfants nés grands prématurés (NGP), mais également de caractériser précisément leur développement psychomoteur. Les états de connaissances du développement du langage oral et écrit de l'enfant né prématuré justifiant cette recherche clinique ont été publiés (Charollais et al., 2013). Les analyses de l'effet d'une rééducation courte, précise et protocolisée, sur les composantes du langage à 4 ans sont nécessaires pour diffuser ce type de soins si les résultats sont probants. Par ailleurs, ce travail est original notamment par l'hypothèse théorique qu'elle défend. La théorie motrice de la perception de la parole est basée à la fois sur les compétences trans modales, comme la capacité à refaire les mouvements moteurs de la bouche pour reproduire les sons entendus, mais aussi sur l'incidence supposée des praxies bucco faciales sur la qualité de « l'appareil phonologique » au cœur du problème de la lecture. Ainsi, selon cette théorie et notre hypothèse de recherche clinique, les réseaux neuronaux du langage, oral puis écrit, pourraient être différents selon l'état des compétences cliniques précoces. L'hypothèse que les réseaux neuronaux du langage oral modélisent de façon particulière l'acquisition de la lecture a été étudiée récemment en PEVc, chez des adultes avec des difficultés en langage oral comparés aux enregistrements PEV d'enfants dyslexiques (Mahé et al., 2013). Ces résultats nous confortent dans notre recherche de marqueur électrophysiologique du langage écrit de l'enfant né prématuré en fonction de son langage oral. Pour explorer les mécanismes de l'acquisition de la lecture, l'électrophysiologie est la méthode de choix pour analyser les différents composants temporels de la lecture dont l'étape phonologique.

Notre deuxième partie complémentaire, plus fondamentale, étudie les patterns de lecture au sein de différentes populations pour caractériser notre population cible. Les données

électrophysiologiques qui analysent les marqueurs de la lecture sont nombreux et répliqués (Maurer et al.,2006). La méthodologie électrophysiologique des potentiels évoqués visuels provoqués utilise deux paradigmes en décision lexicale et Odd Ball. Le choix des stimuli de mots proposés pourrait permettre de différencier les deux types de dyslexie généralement décrits. Des résultats montrent une différence nette avec des normaux lecteurs mais distinguent également les personnes dyslexiques entre elles. Les analyses des PEV différencient certains composants des patterns de lecture d'adultes en fonction du type de dyslexie (phonologique ou visuo attentionnelle). Ces résultats nous confortent dans notre recherche de variations particulières ou de marqueurs électrophysiologiques de l'enfant né prématuré, au regard de ses caractéristiques de langage.

Notre troisième partie permettra de tester cette hypothèse chez des enfants NGP randomisés dans notre 1^{ère} partie. Si les vulnérabilités d'intégration sensorimotrices des prématurés gênent la spécialisation du réseau de neurones de la lecture, les enregistrements en PEV pourraient les traduire. Les deux voies de lecture classiquement décrits sont confrontées et discutées régulièrement dans la littérature internationale en fonction des résultats des PEV et de la langue testée. Même si la méthodologie la plus fréquente d'exploration de la lecture utilise les paradigmes de décision lexicale et d'oddball, la variation des stimuli linguistiques (liste de mots) et de leurs contrastes nécessite l'élaboration de patterns « normatifs » pour tester le plus précisément notre hypothèse. La grande majorité de la littérature en PEV étudie un composant précoce, la N170, comme marqueur du trouble ou non de la lecture, mais essentiellement chez des populations dyslexiques (Maurer et al.,2011). Aucune publication, à notre connaissance, n'a étudié en PEV l'acquisition de la lecture chez l'enfant né grand prématuré en testant des hypothèses neuro développementales de fragilités dans les réseaux neuronaux nécessaires à la spécialisation de la lecture. Pour tester nos hypothèses, nous avons

choisi des stimuli particuliers et nous avons enregistré différentes populations et à différents âges afin de préciser les patterns normaux. Ces enregistrements PEV dans différentes populations normo lectrices ont permis de les comparer à des populations dyslexiques, afin de mieux comprendre nos résultats sur la population cible des prématurés. Ainsi ce travail nous permet de décrire l'acquisition de la lecture chez l'enfant né grand prématuré au sein d'une population bien caractérisée notamment en langage oral, et d'analyser les marqueurs neurophysiologiques, neurobiologiques développementaux nécessaires à son automatiser.

II ETUDE DU LANGAGE ORAL DES ENFANTS NES GRANDS PREMATURES.

II.1 Introduction : trajectoire neurodéveloppementales des enfants nés grands prématurés

Les enfants nés grands prématurés ont une surreprésentation de difficultés neuro développementales, appelées entre autres, des difficultés motrices mineures par rapport aux enfants nés à terme. Le terme à la naissance (prématurés moyens, grands prématurés et très grands prématurés) pondère l'incidence de ces troubles neuro développementaux. Les enfants nés très grands prématurés ont un taux de mortalité et morbidité plus important que les grands prématurés (Ancel et al., 2015). Les prématurés moyens (34-37 SA), longtemps considérés comme sans difficulté particulière ont également une surreprésentation de difficultés neurodéveloppementales avec des explorations neurologiques standards dites normales. Les causes de la prématurité sont également probablement des facteurs de pondérations dans le développement de ces enfants. Environ 50% des naissances prématurées sont spontanées, dues à des contractions précoces dont la cause est rarement identifiée, ou à la rupture prématurée des membranes qui peut être d'origine infectieuse. L'autre moitié des naissances

prématurées correspond à des naissances provoquées. Il s'agit alors d'une décision médicale et la naissance a souvent lieu par césarienne. Une naissance prématurée peut être décidée en raison d'un risque de décès du fœtus ou de la mère. Ce risque peut être lié à un retard de croissance grave du fœtus, une hypertension artérielle sévère chez la mère, ou une hémorragie maternelle dont l'origine n'est pas toujours expliquée. L'hypertension artérielle maternelle sévère représente environ 20% des motifs d'accouchements avant 32 semaines de grossesse. Parmi les autres causes possibles identifiées d'accouchement prématuré les infections génito-urinaires ou généralisées, des anomalies de l'utérus et du placenta (comme le placenta prævia qui peut se compliquer d'une hémorragie), le diabète maternel ou encore l'hématome rétro-placentaire (décollement prématuré du placenta accompagné d'un hématome) n'ont **certainement pas la même incidence sur le développement cérébral du fœtus.**

L'étude fondamentale et clinique de ces facteurs épidémiologiques est essentielle pour comprendre et préciser « l'encéphalopathie du prématuré » décrite par Volpe (Volpe, 2009) lors de lésions de type leucomalacie périventriculaire (LMPV). Il existerait des lésions destructrices primaires (LMPV) et des atteintes secondaires plus tardives sur la maturation et la trophicité neuronale. Cependant, il existe une diminution de prématurés présentant des LMPV « classiques » mais une proportion importante d'enfants prématurés avec des troubles neurodéveloppementaux. On pourrait penser légitimement qu'il s'agisse d'un spectre d'atteinte neurologique, de la lésion cérébrale majeure à l'invisibilité de cette première atteinte par nos imageries par résonance magnétique standards (IRM). Il nous faut décrire précisément toutes les fonctions cliniques supportées ou dépendantes de la maturation et la trophicité neuronale afin d'améliorer la compréhension de cette atteinte. Les critères de caractérisation de notre population sont initialement nombreux même si notre hypothèse de recherche est motrice. De façon générale, un tiers des enfants prématurés sont issus de grossesses multiples. D'autres facteurs comme les conditions

socio-économiques défavorables, l'âge plus avancé des mères, le stress ou encore la consommation de tabac sont aussi impliqués. Ainsi, le taux de prématurité est deux fois plus faible chez les femmes cadres que dans la catégorie ouvrières et employées.

Notre cohorte d'enfants (synopsis, Annexe 5) rapportée dans ce travail, sont des enfants nés après la population étudiée par Epipage 1 (enfants nés en 1997) mais avant celle d'Epipage 2 (enfants nés en 2011). Cette précision chronologique est nécessaire pour présenter et discuter les modifications qui s'opéraient dans la prise en charge et suivi des enfants entre les deux études épidémiologiques nationales françaises. De façon précise, le pourcentage de survie s'améliore avec 59% à 25 SA, 75% à 26 SA, 94% entre 27-31 SA et 99% entre 32 et 34 SA. Le taux de sortie de néonatalogie sans pathologie néonatale grave s'améliore également, il est de 30% à 25 SA, 48% à 26 SA, 81% entre 27-31 SA et 97% entre 32-34 SA. Avant 25 semaines de gestation le pronostic des enfants demeure toujours très incertain.

Donc à ce jour, les premières données d'Epipage 2 montrent une amélioration significative de la survie et de la survie sans morbidité néonatale sévère chez les enfants nés entre 25 et 31 semaines depuis 1997. Ces nouvelles données pourraient concerner notre population d'enfants grands prématurés (nés avant 33 SA en 2008, 2009 et 2010) donc incluant les enfants nés grands prématurés et les enfants nés très grands prématurés quand les facteurs d'inclusions étaient satisfaits. Les critères d'inclusions considéraient l'absence de paralysie cérébrale, l'absence de trouble sensoriel avéré, ainsi que l'absence de diagnostic génétique pour malformation ou particularité clinique. Les critères détaillés seront repris ci-après dans la méthodologie mais leur connaissance permet également les considérations sur l'âge corrigé. La croissance staturo-pondérale du prématuré est plus rapide que celle de l'enfant né à terme et il est admis de comparer les acquisitions psychomotrices du prématuré à celles d'un nourrisson né à terme, néanmoins on tient compte de "l'âge

corrigé" et non de l'âge réel. Lorsqu'un prématuré est né après 7 mois de grossesse, on peut dire qu'il a 2 mois d'avance. Lorsqu'il aura civilement 10 mois, il aura 8 mois d'âge corrigé. Ces postulats et critères neuro développementaux en âge corrigé versus âge réel sont essentiels pour surveiller et caractériser les âges clés d'acquisition et déterminer les retards, décalages ou troubles dans une compréhension dynamique maturationnelle. Il est convenu que l'on ne parle plus d'âge corrigé à partir de deux ans. Pour les acquisitions cognitives psychologiques et langagières les données ne sont pas claires entre âge réel et âge corrigé et sont sources d'inquiétudes excessives ou plus souvent de retard de repérage et de prise en charge éventuelle. Pour la clarté de notre travail, nous rappelons les bases théoriques chronologiques du développement normal du langage sur des pré requis sensorimoteurs. Nous présentons ensuite la méthodologie de notre étude clinique ainsi que les dernières publications sur l'évaluation du langage chez les enfants nés prématurés. Les résultats de notre protocole randomisé de stimulation du langage oral d'enfants nés prématurés sont rapportés et discutés au vu de notre critère de jugement principal qu'est la phonologie et sa composante motrice ainsi que les critères de jugements secondaires.

II.2 Apports théorique du développement du langage oral

Le langage oral repose sur des éléments préverbaux sensori moteurs potentiellement contraints par la prématurité. Nous rappelons les bases théoriques sur le développement du langage afin de comprendre les dysfonctionnements éventuels chez l'enfant né prématuré. Le langage se développe à travers quatre étapes bien distinctes : l'étape perceptive, l'étape lexicale, l'étape morphosyntaxique et l'étape méta linguistique tardive liée à l'entrée dans l'écrit. Chacune de ces étapes se construit sur la précédente et tout dysfonctionnement fragilise la construction du langage oral. Par ailleurs, le langage se

développe d'abord en réception c'est-à-dire qu'un enfant entend de façon multimodale et puis comprend avant de produire. L'enfant a deux manières de produire :

- en passant par l'imitation : l'enfant stocke, en mémoire à long terme, des formes figées que l'on appelle « blocs lexicaux » et il les réutilise dans un contexte identique.
- en maîtrisant sur le plan linguistique la structure produite, ceci implique qu'il la comprenne.

Les quatre étapes du développement du langage

L'étape sensori-motrice : de zéro à neuf mois.

L'enfant fait ses premières expériences sensori-motrices, il joue avec ses mains, met les objets à sa bouche, s'oriente vers les autres... Il est attentif à ce qui l'entoure et module ses pleurs en fonction de ses besoins. À cette période, il s'intéresse à son environnement social, aux mouvements, aux bruits, aux sensorialités. Cette étape pré linguistique se construit à partir de son expérience du monde, des représentations organisées autour d'événements importants et répétés. A cette étape, la prosodie est pour l'enfant le signal de la parole. Il n'y a pas encore de syllabes ni de phonèmes mais un bloc acoustique, appelé aussi « paquet acoustique » qui change de sens si l'on modifie la prosodie. L'enfant va repérer, par fréquence, un élément de cette prosodie qui va devenir un « prototype ». Il s'agit en quelque sorte pour lui de casser le flot continu de la parole en morceaux et de reconnaître le mot à travers la prosodie, en s'appuyant sur sa fréquence d'utilisation. (Golinkoff et al.,1995), repris en 2011 (Roseberry et al.,2011). Dans leur modèle de développement de la compréhension ces auteurs appellent ce fonctionnement « l'internalisation ». Cette prosodie a été étudiée plus récemment par différents travaux (Gonzales-Gomez et al. 2012) chez les enfants nés grands prématurés. Il questionne l'impact de la différence environnementale sonore précoce au regard des enfants nés à

terme. En connaissant les filtres sonores de l'environnement utérin, l'étude des variations des sons transmis au fœtus des 4 mois analyse l'impact développemental initial de la sélectivité de ces premières transmissions acoustiques. L'environnement utérin fonctionne comme un filtre pour les sons les plus aigus, ne laissant percevoir que les contrastes bas de la langue environnante et surtout le flux continu ou pas de la prosodie. Cette dernière est étudiée en termes de fréquence, intensité et durée. La qualité de réception de ces premières étapes langagières aurait une incidence sur la qualité de discrimination de certains contrastes de consonnes dites compétences phono tactiques du langage à terme. Cette qualité intégrative du « premier » langage entendu environnant différencie les enfants nés à terme des enfants nés grands prématurés. Ainsi, ces études montrent une compétence inégale dans différents sous-domaines du langage chez les nourrissons prématurés. Cela soulève la possibilité que différentes contraintes s'appliquent à l'acquisition de sous-composants linguistiques différents dans cette population, en partie à cause d'une interaction complexe entre la maturation, l'expérience et les sous-domaines du langage. Il semble bien exister des particularités précoces de discrimination des enfants nés prématurés traitant des sons fréquents comme les non fréquents contrairement aux enfants nés à terme. Pena (Pena et al., 2012) rapporte la non-accélération de la spécialisation neuronale au langage maternel chez les enfants nés prématurés. Autrement dit, l'exposition plus prolongée et plus précoce au langage environnant ne modifie pas l'âge de fermeture et donc de spécialisation des phonèmes de la langue maternel. Il semble s'agir d'un temps neurodéveloppemental invariant. Les conséquences d'une réception et intégration plus prolongées d'un langage « non filtré » durant les semaines ou mois de prématurité ainsi que le décalage avec la production motrice du babillage de l'enfant né grand prématuré pourraient être des facteurs explicatifs des différences avec l'enfant né à terme.

Avant six mois, le nourrisson a l'équipement nécessaire pour percevoir tous les contrastes de toutes les langues et les produire. Vers sept mois, il existe ce que l'on appelle « une surdité phonologique », c'est-à-dire une perte par l'enfant des contrastes qui ne sont pas dans sa langue maternelle (Kuhl et al., 2006). Dans le même temps développemental, avec la même chronologie, les mouvements et praxies bucco faciales se spécialisent pour produire le babillage rudimentaire puis progressivement la syntaxe (Nip et al., 2017) : le nourrisson favorise la sélection de certains mouvements et positions de langue à travers sa langue maternelle. **Ce serait la construction de la base phonologique. La co-occurrence de la fermeture d'intégration phonologique et la production spécialisée de syllabe de la langue maternelle interroge sur leur inter relation développementale.**

Entre trois et huit mois, l'enfant va jouer avec sa voix, il va explorer la palette de fréquences, exp rimer des murmures, hurlements... C'est le babillage rudimentaire.

De cinq à dix mois, il traverse une période appelée « babillage canonique », le point culminant du développement pré linguistique. (Chevrier Muller. 2007)

L'étape lexicale de neuf à 24 mois

Pour accéder à cette étape, l'enfant doit être en mesure de pouvoir imiter. Imiter nécessite des compétences motrices mais aussi des compétences visuelles.

A cette période, la phonologie intervient à titre secondaire ; mais c'est à travers le lexique que l'enfant affine sa structure phonologique. Le vocabulaire s'appuie sur l'expérience sensori-motrice. Au début, les mots ne sont interprétables qu'en fonction du contexte. Ensuite, l'enfant va analyser les représentations d' v nements et pouvoir individualiser les personnes, les objets, les actions et les relations qui les composent. Selon le modèle de Golinkoff et Hirsh Pasek (Golinkoff 1995), l'enfant continue à internaliser mais il interprète aussi en segmentant. Il s'appuie sur la redondance des correspondances entre toutes les informations (prosodiques, sémantiques et syntaxiques) mais aussi sur des indices

contextuels, qui, associés les uns aux autres, lui permettent d'accéder à la compréhension. L'enfant va alors pouvoir isoler des mots décontextualisés. Au début, le vocabulaire s'acquiert très lentement (environ 50 mots en six mois) puis il va progresser rapidement, parallèlement aux capacités phonatoires. Vers 18 mois à 20 mois, on note un brusque accroissement du lexique appelé aussi « explosion lexicale ». À cet âge, l'enfant apprend très rapidement les mots nouveaux (quatre à dix mots nouveaux par jour). Et plus l'enfant a de mots à mémoriser, plus ses connaissances lexicales, en termes de sens, de formes et de fonctions, vont s'organiser et se structurer. Il s'agit de la théorie de la « masse critique » du vocabulaire (Marchman et al., 1994) : l'enfant qui possède une bonne richesse lexicale va pouvoir élaborer et passer à un stade supérieur, c'est-à-dire amener un changement de l'organisation et du fonctionnement lexical (Bates et al., 1994). On retiendra qu'il est nécessaire d'avoir beaucoup de mots pour les opposer de manière phonologique, de nombreux prototypes pour les catégoriser et une fréquence de rencontres avec les items lexicaux pour les retenir. Entre un et deux ans, les enfants s'intéressent aux mots pour rendre compte des événements.

L'étape morpho syntaxique : de 18 à 36 mois

Vers deux ans et demi, on voit apparaître un début de juxtaposition de deux ou trois mots sans morphologie puis l'enfant va commencer à organiser les mots entre eux.

D'après le modèle de Golinkoff et Hirsh-Pasek, l'enfant entre dans « l'interprétation ». Cette étape correspond à l'analyse morphosyntaxique, sans redondance prosodique.

Au cours de la troisième année, le vocabulaire de l'enfant s'intensifie.

Les premières phrases apparaissent entre 20 et 26 mois. D'abord, les enfants construisent des phrases « télégraphiques » puis progressivement des énoncés de type « sujet, verbe, complément, qualificatif et pronom ». L'enfant agence les mots entre eux, leur reconnaît un ordre, on voit l'apparition des déterminants... L'enfant s'appuie sur le contexte phono morphosyntaxique dans lequel le mot est produit. On parle d'accès à la

grammaticalisation. La morphosyntaxe s'appuie sur des vocabulaires (Halimi et al., 1981).

Entre trois et cinq ans, le langage adulte de base, correctement articulé, est acquis. Ce langage poursuivra son évolution mais on considère que le « squelette du langage » est déjà en place. Dans le langage de communication, le fonctionnement de l'enfant correspond aussi au fonctionnement linguistique de l'adulte auprès de l'enfant. De la même manière, les adultes répondent aux signaux donnés par les enfants (zone proximale de développement) : d'abord **le mot** puis **l'organisation des mots entre eux** puis enfin le **pourquoi...**

L'étape métalinguistique et la lecture

Les trois étapes précédentes (phonologie, lexique et morphosyntaxe) composent ce que l'on appelle le langage de communication, qui s'acquiert de manière implicite. L'apprentissage implicite nécessite de l'attention sans intention et de la fréquence, ce qui est « globalement recommandé » par un environnement stimulant adapté comme un « bain de langage » pour solliciter les compétences neurodéveloppementales des nourrissons (Smalle et al., 2018).

Après cinq ans, les enfants accèdent au langage de « verbalisation » appelé aussi étape méta linguistique. Il s'agit d'un apprentissage explicite du langage, dispensé par l'environnement social, culturel et principalement scolaire. Cette étape méta linguistique est nécessaire pour les apprentissages scolaires, elle va permettre à l'enfant d'isoler des variables linguistiques, de verbaliser les opérations qu'il effectue sur le langage, c'est-à-dire de porter un jugement linguistique. Pour ce faire, il est nécessaire qu'il puisse avoir à sa disposition un langage de communication riche et organisé. Cette étape métalinguistique est majeure pour acquérir la lecture et surtout la comprendre. La phonologie et ses habilités en langage oral va permettre à l'enfant d'extraire des règles

fréquentes et cohérentes pour acquérir rapidement un nouveau code alphabétique son / lettre. Notre orthographe comme notre langage étant composé d'exceptions et d'un rapport morphèmes / visèmes plus opaque que certaines langues (italien ou espagnol) mais plus transparent que l'anglais, un apprentissage basé sur l'explicite est nécessaire. Une fois cette étape de codage régulier phonologique et d'adressage visuelle mis en place la lecture ne sera comprise que par la représentation sémantique en lien avec le stock lexical. Ainsi l'exposition à la lecture fréquente et dans la zone proximale de développement permettra à l'enfant de décoder ou deviner le mot pour enrichir son lexique et mémoriser son orthographe. Cet apprentissage explicite à la différence du langage oral nécessite de l'intention et non pas que de l'attention. Les circuits attentionnels sont complexes avec de nombreux relais striato cortico sous cortical et cérébelleux. Les substrats neurofonctionnels des deux apprentissages, implicite et explicite se différencieraient particulièrement dans un noyau striatal activé de façon différentielle lors d'exercice de mémoire de travail chez l'adulte (Loonis et al., 2017). Très récemment le rôle différencié de ces apprentissages a été étudié sur une population d'enfants nés grands prématurés et questionne sur la mémoire de travail pour les apprentissages moteurs (Jongbloed et al., 2017). Par ailleurs, on connaît la surreprésentation des troubles d'attention sous forme de TDAH chez les enfants nés grands prématurés ainsi que son impact sur les apprentissages et la mémoire de travail. Cette atteinte devra être prise en compte dans l'analyse de nos résultats ainsi que les récents travaux en Eye trekking sur l'attention visuelle précoce.

II.3 Particularités du développement du langage des enfants nés grands prématurés

Les études portant sur le langage des enfants nés prématurément étaient peu nombreuses lors de l'initiation de cette recherche en 2009. Nos travaux préliminaires portaient sur le langage de 55 enfants nés avant 33 SA et âgés de 6 ans et ont montré des différences

significatives dans les épreuves de phonologie ($p < 0,01$) et de compréhension orale ($p < 0,02$) comparées à une population d'enfants issue d'une population générale (Charollais et al., 2010). Une analyse des contraintes c'est-à-dire une mesure des dysfonctionnements de développement qui contraignent l'accès au langage, a été réalisée à la suite des résultats précédents. Des contraintes spécifiques, à savoir, des défaillances sensori-motrices particulières sur et à partir desquelles se développe le langage oral ont été mises en évidence par certains sub tests des batteries utilisées, détaillées plus bas. L'identification du mot oral ou la capacité de l'enfant à bien discriminer un mot et le désigner sur une image, la mémoire des mots ou la capacité à désigner plusieurs dessins successifs en fonction de leur énumération, l'attention visuelle ou la capacité d'imaginer le prolongement d'un segment oblique vers une cible et la réalisation des praxies bucco faciales ou la capacité à refaire des grimaces sur imitation puis photos. Ces contraintes touchent à différents degrés les étapes développementales sensori-motrices. Par ailleurs, deux épreuves de graphisme ont été proposées (graphisme et copie de figures) avec une chute des résultats très significative chez les enfants nés à moins de 33 SA. Les tests utilisés sont le Bilan Informatisé de Langage Oral (BILO C2 + Evaluations des Contraintes, Khomsi et al., 2007) (Annexe 6). En parallèle, un mémoire d'orthophonie, qui traitait du développement du langage à l'âge de trois ans des enfants nés grands prématurés avec BILO petit et les contraintes sensori motrices (BILOp, Annexe 7.7a) (Contraintes Annexe 8), a été réalisé dans notre service en 2008. Des différences significatives entre la population générale et celle des grands prématurés ont été retrouvées en phonologie et en lexique de réception. L'échantillon était cependant limité à 50 enfants. De plus, tous les enfants n'étaient pas scolarisés. Néanmoins, une hypothèse portant sur des troubles très précoces dans le développement sensori-moteur a été évoquée. La théorie motrice de la perception de la parole (Liberman et al., 1985 Liberman, 1998) reprise par différents auteurs dans un modèle intégratif (Plaza et al., 2004 ; Galantucci et al., 2006) pourrait en

partie expliquer les résultats des troubles du langage oral chez l'enfant né prématuré. On pourrait faire l'hypothèse que des difficultés motrices à minima comme l'hypotonie bucco-faciale puisse gêner précocement les premières étapes motrices du langage. Si l'atteinte de la programmation motrice du langage ou son exécution sont perturbées on peut suspecter plus avant que les étapes réceptives le soient également. Le rôle de la motricité bucco linguale dans la maturation du faisceau arqué reliant les zones réceptives du langage et la zone motrice frontale postérieure semblent synchronisées comme le rapporte G Dehaene dans la paralysie cérébrale de l'enfant (Dehaene, 2012). Le rôle des premières productions verbales comme le babillage permettrait de mieux les percevoir et les comprendre comme une boucle de rétro contrôle. La théorie motrice de la perception de la parole, d'une description clinique ancienne, semble potentiellement expliquer le spectre des troubles du langage oral de l'enfant né prématuré. Ainsi nous réinterrogeons le rôle de la motricité et des dysfonctionnements mineurs dans le développement du langage. Depuis le début de nos travaux sur le langage des prématurés, de nombreuses études ont étudié la validité d'outils de repérage des difficultés de développement du langage de l'enfant né grand prématuré. Le questionnaire IFDC parental créé par (Mac Arthur et Bates) a l'avantage d'être traduit dans de nombreuses langues et permet de comparer des résultats de développement du langage et des pré requis verbaux dans des langues et cultures avec des phonologies très différentes. Nous avons étudié dans le service la validité de l'Inventaire Français du Développement de la Communication (IFDC) traduit en français par Kern, car celui-ci est réalisé de façon systématique en consultation de suivis d'enfants nés grands prématurés. Ce questionnaire parental permet de repérer les difficultés langagières notamment dans sa version de 12 et 18 mois mais également les éléments pré verbaux indiquant une éventuelle difficulté motrice ou praxique. Les corrélations que nous avons retrouvées entre les difficultés préverbaux de gestes moteurs quottés par l'IFDC étaient inversement proportionnels à la prématurité (Charollais et al.,

2014). Cent pour cent des enfants nés < 28sa présentaient des scores < C25 aux gestes de communication pré verbales. Les enfants présentant des scores pathologiques < C10 à l'IFDC de 24 mois étaient inversement proportionnel à l'âge du terme. Soixante-cinq pour cent des enfants présentaient des scores de fragilités (< C25) en lexique et 50% en longueur moyenne d'énoncé. Benassi rapporte des résultats confortant nos hypothèses de lien entre langage et motricité chez les enfants NGP (Benassi et al.,2016). Une thèse de médecine récente conduite dans le service retrouvait des résultats très similaires pointant la grande proportion d'enfants avec des IFDC pathologiques à 12, 18 mois, se normalisant à 24 avec néanmoins des troubles atteignant la phonologie malgré un stock lexical important mais jargonnant au Bilan orthophonique de 36 mois (De la Villéon 2017). Ainsi, il semble exister une normalisation du test IFDC à 24 mois qui pourrait être considéré comme rassurant. Un PHRC national 2014, EPILANG (Charkaluk, 2014), auquel nous participions, a choisi d'inclure les enfants à partir des résultats aux IFDC de 24 puis 30 mois. Cette étude, au sein de la population EPIPAGE 2, étudie l'effet d'une prise en charge précoce de langage dirigé par éducation des parents. Cette méthode anglo saxone éduque et guide les parents par le biais d'un orthophoniste filmant et analysant les interactions communicatives de l'enfant et de sa mère puis les commente avec cette dernière (Hananen programs). Les travaux épidémiologiques évoquent toujours l'incidence du facteur socioéconomique et du terme sur les compétences langagières ainsi que la trophicité à la naissance (Johnson et al.,2016). L'autre facteur évoqué serait les compétences cognitives verbales normales mais statistiquement plus faibles que dans la population témoin (Nguyen et al.,2018). Plusieurs études rapportent l'effet de prise en charge langagière précoce par des bains de langage ou par des parents "éduqués" (Baxendale et al., 2009). Le réseau canadien néonatal (Asztalos et al., 2016) rapporte clairement que le niveau d'éducation du premier et principal « dispensateur de soins » est associé à une augmentation des scores composites cognitifs et linguistiques à l'âge corrigé de 18 à 21

mois chez les nourrissons prématurés. L'effet de cette prise en charge à long terme reste discuté (Andrew et al.,2018) Si la surreprésentation des troubles du langage oral existe chez les enfants nés grands prématurités, leur spécificité et leur prise en charge restent discutés. Wolke et Marlow au sein de l'étude épidémiologique anglaise des prématurissimes EPICUR (Wolke et al., 2008) suggèrent que les difficultés linguistiques ou phonétiques sont liées aux difficultés fonctionnelles cognitives générales de l'enfant né prématurissime. Leurs résultats auraient des implications pour les modèles de déviation globale du développement du cerveau chez les enfants extrêmement prématurés. Ces résultats sont discutables au vu de la dernière méta-analyse (Zimmerman, 2018) très récente caractérisant les atteintes du langage oral des enfants de 6 à 9 ans, nés prématurissimes et à très faible poids de naissance. Tous les paramètres mesurés du langage sont moins bons que les enfants nés à terme tant en réception qu'en production, en conscience métaphonologique et en grammaticalisation à l'exception de la composante pragmatique. Ces données ont des incidences thérapeutiques sur les prises en charge et les trajectoires développementales des enfants nés prématurés. Cependant, les rééducations orthophoniques ne démarrent pas à un âge si précoce et elles sont rarement évaluées. Les stratégies rééducatives sont peu claires et inconnues du corps médical. En pratique courante, pour déterminer si les enfants nécessitent une rééducation précoce, une guidance parentale ou une simple surveillance nous proposons très facilement un premier bilan orthophonique par BILO petit des 3 ans après les questionnaires IFDC déjà évoqués ci-dessus. L'association du bilan psychologique (K ABC ou Brunet Lézine) développemental au bilan orthophonique permet d'évaluer si les difficultés sont au sein de compétences hétérogènes ou non.

Les critères cliniques anamnestiques associés aux troubles du langage des enfants prématurés ou facteurs de risques sont redondants dans la littérature et touchent tous les termes. Parmi les critères cliniques développementaux, le terme, l'hypotrophie ainsi que les

pathologies respiratoires chroniques telle que la dysplasie broncho-pulmonaire sont corrélés aux scores les moins bons de l'IFDC à 12 et 18 mois dans notre étude. A notre connaissance il n'y a toujours pas actuellement de travaux sur les composants précoces du langage de l'enfant né prématuré portant sur l'hypothèse de la théorie motrice de la perception de la parole. Si les gestes moteurs de l'IFDC (12 mois) semblent corrélés aux scores de langage plus tardif (Stolt et al., 2016), aucune étude n'a analysé les dysfonctionnements moteurs initiaux dans le langage et leur impact développemental. Les études en imagerie fonctionnelle de (Peterson et al., 2002 ; 2009) ont montré une architecture fonctionnelle particulière des réseaux neuronaux traitant le langage des anciens prématurés âgés de 8 et 12 ans. Plus précisément, et dans les limites techniques de traitement et interprétation de l'imagerie fonctionnelle, les aires spécialisées motrices du langage et les structures sous corticales semblent être utilisées différemment dans des tâches phonologiques de type « écoute de logatome » (association de syllabe sans sens) comparativement à des enfants non prématurés. Encore plus récemment, une étude IRM, a cherché de nouveaux marqueurs structurels in vivo de l'asymétrie des réseaux moteurs et du langage dans une population de nouveau-nés prématurés sains à l'âge équivalent du terme. En utilisant l'imagerie du tenseur de diffusion et la tractographie probabiliste, les auteurs (Liu et al., 2010) suggèrent que des asymétries structurelles dans les réseaux moteurs et langagiers sont présentes chez les nouveau-nés prématurés en bonne santé à l'âge équivalent du terme, bien avant le développement de la parole et de la préférence pour les mains. Par ailleurs il n'était pas retrouvé d'asymétrie dans les réseaux sensoriels thalamiques supérieurs. Si les interprétations des résultats radiologiques restent incertaines il est néanmoins raisonnable d'affirmer, au vu de la bibliographie, les particularités structurelles des faisceaux neuronaux chez les enfants nés grands prématurés sains. Pourrait-il s'agir d'indicateurs d'atteinte motrice à minima, et ou de marqueurs de « l'encéphalopathie du prématuré » ? Très récemment Wilkinson (Wilkinson

et al., 2017) discute les interprétations des particularités cérébrales notamment l'asymétrie développementale en utilisant une technique radiologique améliorée permettant de mieux prendre en compte l'anisotropie neuronale variant avec la maturation progressive. Ainsi, ils rapportent la maturation du faisceau arqué symétrique dans sa partie postérieure mature dès 3 ans et une asymétrie progressive moyenne et antérieure au cours du développement de l'enfant à l'adulte. Nous avons déjà évoqué le rôle éventuel du faisceau arqué dans sa maturation progressive entre les différentes zones de Wernicke et la zone de Broca en fonction des mouvements linguaux et articulatoires. Il est intéressant de souligner que le langage oral standard de l'enfant est « terminé » à 3 ans. Les corrélats radiologiques et cliniques sont inexistantes mais ces différents travaux sont compatibles avec une atteinte hétérogène du langage de l'enfant né prématuré. Une étude clinique (Guarini et al., 2016) décrit l'atteinte langagière hétérogène des enfants de 5 ans nés grands prématurés (< 32 SA). Leur profil linguistique est caractérisé par certaines capacités plus altérées que d'autres. Cela conforte la nécessité d'une évaluation linguistique précise à la fin de l'âge préscolaire afin de planifier une intervention ciblée visant à améliorer les compétences lexicales et pragmatiques. Dans nos travaux préliminaires, nous avons constaté comme ce qui est retrouvé dans la littérature, l'incidence du niveau socioculturel des parents sur le langage mais seulement sur certains paramètres langagiers. Le niveau socio culturel et éducatif ne semble pas corrélé aux contraintes sensori motrices du langage. Le niveau socio culturel des parents est cependant, très lié au niveau de lexique en production. C'est-à-dire qu'un milieu familial stimulant et porteur permettrait à l'enfant d'accéder à un langage de communication en apparence correct. L'enfant apprend du vocabulaire sans maîtriser totalement les habilités phonologiques. Cette stimulation n'agirait pas sur les dysfonctionnements sensorimoteurs de développement (contraintes motrices) qui modèlent l'accès au langage plus élaboré. Le milieu socioéconomique non favorisé ne compensera pas ou peu et l'enfant aura peu de vocabulaire. Les dysfonctionnements initiaux

sensorimoteurs seront rapidement majeurs malgré l'école et l'orthophonie si elle est trop tardive (>6ans). Si les dysfonctionnements moteurs initiaux sensorimoteurs supposés (comme l'atteinte des praxies buccofaciales) n'évoluent pas malgré le niveau socioéconomique, alors ces paramètres cliniques pourraient correspondre à des éléments préverbaux fixés séquellaires. La correspondance en exploration cérébrale pourrait être des aires cérébrales « spécialisées » par pré détermination en langage oral et contraintes par le temps développemental mais moins fonctionnelles et ou avec des réseaux neuronaux moins efficaces cherchant des compensations par connexions inhabituelles. Paquette (Paquette et al., 2015) rapporte des marqueurs neurophysiologiques différenciant les enfants prématurés des enfants à terme dans leur capacité à discriminer rapidement une différence de son langagier. Ce résultat rejoint les données en imagerie cérébrale de réseaux neuronaux différents et ou avec une architecture neuronale particulière décrite en IRMf. Des différences de discrimination entre les enfants prématurés avec un très faible poids de naissance et les enfants nés à terme ont été rapportées. Une corrélation entre une atteinte phonologique testée cliniquement et des patterns « altérés » en MMN à 4 ans a été décrit sur un petit nombre d'enfants (Jansson-Verkasalo et al., 2004). Sur le plan clinique, Guarini (Guarini et al., 2010 ; 2019) décrit une trajectoire atypique en montrant des effets spécifiques à long terme de la prématurité sur le développement du langage et de l'alphabétisation. Il n'était pas retrouvé de différence cognitive entre les enfants prématurés avec le groupe témoin à 8 ans mais des différences en maîtrise du langage en termes de lexique, grammaire, morphosyntaxe et habilités phonologiques. En langage écrit la vitesse était significativement plus lente ainsi que l'écriture. Ainsi, les auteurs parlent de trajectoire développementale atypique en langage chez les enfants nés grands prématurés. Ces troubles neurodéveloppementaux sont rapportés par différentes équipes pour proposer des repérages précoces et des prises en charge (Nguyen et al., 2018). Il s'agit de

savoir si ces vulnérabilités neurodéveloppementales sont spécifiques à la prématurité et si elles sont modifiables par une rééducation précoce.

II.4 Hypothèse du PHRC LAMOPRESCO

Les objectifs de la recherche LAMOPRESCO ont pour hypothèses l'atteinte motrice mineure des anciens prématurés qui induirait des difficultés de développement du langage. S'il existe une atteinte motrice à minima dans les faisceaux moteurs du langage la production précoce du babillage et des premiers mots pourraient en être légèrement altérée et aurait une incidence sur le développement de la phonologie. Le rôle des mouvements de la bouche et des praxies bucco faciale pourrait également avoir un impact sur la maturation du faisceau arqué liant la zone de Wernicke de compréhension du langage à la zone motrice frontale postérieure de Broca comme évoqué par les travaux de Dehaene et compatibles avec les derniers résultats en tractographie de la maturation progressive du faisceau arqué. La phonologie et ses habiletés pourraient être considérées comme la capacité à discriminer des sons proches, les comparer les produire puis les coder visuellement. Elle se construit donc précocement et se spécialise et ou s'automatise par un probable jeu de production et de contrôle rétroactif des paroles produites et entendues. Cet aspect évolutif de la spécialisation des réseaux du langage oral et écrit est décrit par Dehaene et Cohen en proposant la théorie du recyclage des neurones (Dehaene et al., 2007). Ils décrivent la modification de l'architecture cérébrale fonctionnelle après acquisition de la lecture et confirment la compréhension dynamique de l'acquisition et automatisation de la lecture sur des réseaux neuronaux de langage oral (Dehaene et al., 2015). L'évaluation et la caractérisation de zones de fragilités du langage à 3 ans et demi permettent de décrire ces difficultés motrices associées et de mettre en œuvre une stimulation précoce et précise pendant 6 mois. La stimulation spécifique et précoce sur ces

éléments fondamentaux du langage oral que sont la **phonologie** et le **lexique**, peut-elle rapidement améliorer les compétences langagières quand la fenêtre développementale ou période critique est encore ouverte ? Peut-elle améliorer les contraintes motrices supposées à la base de la difficulté en langage oral et donc non plus compenser le langage de surface mais corriger les dysfonctionnements moteurs initiaux ?

II.4.1 Objectif principal LAMOPRESCO

Notre objectif principal est d'évaluer l'intérêt d'une stimulation précoce, courte et spécifique sur le langage oral des anciens prématurés par une méthode de rééducation et stimulation protocolisée. Nos Objectifs secondaires sont de décrire les modifications des composants du langage (développement dynamique du langage : phonologie puis lexique puis morphosyntaxe). Nous voulons Spécifier la capacité de récupération des éléments travaillés en fonction de l'hétérogénéité du langage initial. Nous souhaitons Evaluer la nécessité d'intervenir avant la fin de la fenêtre développementale (5 ans) et constituer une cohorte pour évaluer l'impact de la stimulation précoce sur les composants du langage à plus long terme : 8 ans.

II.5 Description du protocole

II.5.1 Population.

Les critères d'inclusion étaient les Enfants nés à un terme strictement inférieur à 33 semaines d'aménorrhée. Ils devaient avoir été Hospitalisés au CHU de Rouen à la naissance (service de Pédiatrie Néonatale et Réanimation, Pr Marret) ou dans les services de Néonatalogie co-investigateurs : CHG du Havre, CHU de Caen, CHU de Tours et CHU de Grenoble. Leur date de naissance était comprise entre le 01 janvier 2007 et le 31 décembre 2008 (c'est à dire âgés de 3 ans pour le projet). Les Résultats du BILO

définissant les zones de fragilités du langage étaient au-moins deux items du BILO 1 \leq 25e percentile ou un item au 10e percentile. BILO petit est en Annexe 7.

II.5.2 Les critères de non-inclusions

Les critères de non-inclusion étaient les Enfants avec anomalie grave du caryotype ou avec malformation du système nerveux central diagnostiquée en anténatal ou sur les examens réalisés en période néonatale (échographie trans-fontanelle et/ou imagerie par résonance magnétique)

II.5.3 Les critères d'exclusions

Les Critères d'exclusion étaient les Enfants avec paralysie cérébrale ou persistance d'un trouble neurologique (acquisition de la marche après 24 mois) et/ou neurosensoriel majeur (cécité, surdité profonde.) et des Résultats du Bilan Informatisé Oral (BILO) pathologique, c'est-à-dire un item ou plus est $<$ 3ème percentile. Les enfants avec des résultats normaux au BILO ou un seul critère au centile 25 étaient également exclus.

II.6 Méthodologie

Il s'agissait d'une étude multicentrique prospective randomisée en double aveugle. Les enfants NGP sans PC (Stade Palisano 2) étaient inclus à 3 ans puis évalués en langage oral par BILOp à 3ans1/2. (Annexe 7). S'il existait des critères de vulnérabilités du langage oral les enfants étaient randomisés dans un bras rééduqué ou non. Les enfants pathologiques étaient exclus et adressés en rééducation. Les enfants normaux étaient exclus et rejoignaient le suivi habituel. Les documents en annexe 4 et 5 synthétisent la

méthodologie. La rééducation utilisait la technique « Dire et Faire » (Khomsi) pendant 22 semaines (annexe 9). Une séance avec un rééducateur était réalisée avec l'enfant en présence de ses parents qui avait une stimulation protocolisée à réaliser à la maison entre les séances.

II.6.1. Recueil de données

Le recueil de données reprenait de façon exhaustive tous les paramètres cliniques anté per et post natal, ainsi que les pathologies néonatales et les paramètres développementaux et environnementaux. Le recueil de données s'est largement inspiré de celui d'EPIPAGE installé de façon pratique sur les ordinateurs comme console outil lors des consultations de suivi.

II.7 Résultats

II.7.1 Nombres de sujets - Critère de jugement principal

Les analyses statistiques ont été réalisées en intention de traiter selon le groupe de rééducation tiré au sort. Pour ce qui concerne le critère de jugement principal (Différence entre la note obtenue au test post-rééducation immédiat et la note obtenue au test initial pour le score de phonologie du test BILO PETITS), les moyennes ont été comparées entre les deux groupes par un test de Student bilatéral au seuil habituel de 5 % (risque alpha) à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GEE, Generalized Estimating Equations), permettant d'estimer au mieux les paramètres du modèle en tenant compte de la corrélation intra-groupe générée par la présence de jumeaux et de triplets dans la base de données. La différence des moyennes entre les deux groupes et son intervalle de confiance à 95 % ont été estimés. Un effectif de 260 enfants (130 sujets par groupe) était attendu pour réaliser cette analyse. Sur les 547 sujets pré-inclus, seulement 165 sujets ont été randomisés

(groupe fragile), soit 63,5 % de l'effectif attendu (annexe 10). On notera que 12 sujets appartenant au groupe fragile n'ont pas été randomisés à tort. Sur ces 165 sujets randomisés (87 dans le groupe avec rééducation et 78 dans le groupe sans rééducation), le critère de jugement principal était disponible dans 87 % des cas, ce qui correspond à un taux de données manquantes pour le critère de jugement principal de 13 %. 70/87 (soit 80 %) et 73/78 (soit 94 %) de réponses complétées dans les groupes avec rééducation et sans rééducation respectivement. Ce taux global de données manquantes pour le critère de jugement principal nous permet de répondre à l'objectif principal sans envisager le recours à une analyse avec imputation de données. Cependant la puissance correspondant à cet effectif diminué ne sera pas la meilleure possible pour mettre en évidence une différence significative. Les résultats généraux principaux montrent en analyse univariée sur le critère principal (la phonologie) une absence de significativité mais une tendance $p=0,07$. La variation des scores de phonologie entre la 1ère visite V1 et la dernière visite V22 est meilleure dans le bras rééduqué. Ce résultat « encourageant » mais non significatif peut être en lien avec un nombre de 20% en moins d'inclusion. En analyse multivariée les meilleurs scores d'amélioration de la phonologie sont corrélés au score moteur général, la latéralisation à droite, et la motricité fine.

Exemple de corrélation de certains paramètres testés avec les scores de phonologie. (annexe 12).

Variation des scores de phono en analyse quantitative (score)Univariée	Modèle multivarié : modèle linéaire généralisé pour le critère de jugement principal
IMF $p=0,06$	• Score de Répétition de Mots à V1 ($p<0.0001$)
Score Moteur $p=0,0431$	Score respiratoire_groupe ($p=0.8082$)
Score alimentaire $p=0,08$	Microcéphalie ($p=0.0113$)
Score socio affectif $p=0,09$	Score alimentation_groupe ($p=0.0335$)
Score psycho social $p=0,071$	Score psychosocial_groupe ($p=0.0307$)
Emergence du langage $p=0,07$ bab/marche $p=0,08$	<u>Latéralité ($p=0.0107$)</u>
Latéralité $p=0,019$	<u>Praxies dynamiques ($p=0.1059$)</u>
	<u>Evaluation geste graphique ($p=0.0280$)</u>

Notre résultat sur le critère de jugement principal est donc une meilleure progression des scores de phonologie dans le groupe rééduqué versus non rééduqué. Ce premier résultat est non significatif statistiquement mais il peut s'agir d'un défaut de puissance par les données manquantes. Les améliorations phonologiques les plus significatives entre le début et la fin de la rééducation retrouvent des paramètres habituels tels que le score psycho social mais également des items de latéralité à droite et des gestes graphiques.

II.7.2 Critères de jugement secondaires

Nos Critères de jugement secondaire étaient les mesures des autres composants du langage à savoir le score en Lexique, en Morphosyntaxe tant en réception qu'en production et la compréhension. **Les scores en lexique en production et réception donnent une nette amélioration significative dans le bras randomisé avec $p < 0,0001$.** (annexe 13)

La caractérisation de nos populations randomisées dans les deux bras ne retrouve aucune différence significative sur tous nos critères cliniques comme attendu (annexe 11). Les enfants présentant une meilleure amélioration des scores de phonologie quel que soit le bras randomisé est dépendant de critères cliniques déjà décrits dans la littérature. L'hypotrophie, la microcéphalie, les dysplasies broncho pulmonaires apparaissent dans toutes les études comme facteurs de comorbidité pour le développement cognitif de façon générale et pour le langage également. Cependant dans nos résultats certains paramètres cliniques habituellement cités ne sont pas directement en lien avec les variations des scores de phonologie comme l'entérocolite ulcéro-nécrosante ou l'épilepsie. Le faible nombre d'enfants inclus présentant ces pathologies peut être évoqué et de façon plus générale les enfants ayant présenté ces agressions peuvent avoir des développements plus déficitaires. On peut émettre l'hypothèse qu'au sein des enfants exclus par atteinte pathologique de leur langage oral il y ait une plus grande représentation d'entérocolite ou épilepsie. Les analyses des populations incluses mais non randomisées pour langage oral

normal ou pathologique sont en cours. Les deux paramètres moteurs corrélés à la meilleure progression des scores de phonologie sont la latéralité et le score des praxies bucco faciales.

II.8 Discussions

Notre hypothèse théorique, de lien entre une atteinte de la motricité à minima et les troubles du langage oral de l'enfant né prématuré est compatible avec certains de nos résultats. Les résultats en phonologie sont corrélés à certains scores des items moteurs généraux, la latéralité et la motricité fine comme les gestes graphiques. Plus spécifiquement, la part motrice du langage testée par les praxies bucco faciales est corrélée aux scores de phonologie. Ainsi, la théorie motrice de la perception de la parole semble compatible et confortée par nos résultats et justifient la poursuite de l'étude et des travaux en ce sens. Des travaux récents issus d'Epipage 2 confortent nos hypothèses en rapportant des scores pathologiques de l'IFDC associés à d'autres scores moteurs d'un questionnaire parental. Des paramètres de motricité globale et fine ainsi que des scores de raisonnement et du NSE étaient liés aux scores moindres de l'IFDC pour tous les groupes d'âge gestationnels (Charkaluk et al.,2019) Récemment, une étude discute le rôle de la théorie motrice de la perception de la parole dans une population d'adulte avec un AVC dans la partie motrice du langage : la zone de Broca, l'insula ou le cortex sensorimoteur (Pillay et al.,2014). Les auteurs rapportent un corrélat de lésion spécifique entre la déficience d'accès phonologique et la région péri sylvienne postérieure chevauchant la région classique de Wernicke. Son implication dans la production phonologique pré-régulatrice plutôt que dans la perception de la parole les fait discuter la théorie de la perception motrice de la parole. Cependant, ils ne semblent pas considérer le rôle développemental de cette acquisition, qui ne nécessiterait plus cette compétence pour les mots connus et mémorisés chez des adultes. En revanche, la difficulté de leurs patients à

comparer des logatomes confirme la nécessité de cette voie motrice chez l'adulte, que l'on peut considérer comme une voie « obligatoire » pour chaque enfant en développement et acquisition du langage régulier. Des travaux récents confortent l'hypothèse de la représentation motrice de la perception de la parole comme premier composant de la phonologie (Davis et al., 2019). Est-ce que l'hypotonie initiale des enfants NGP peut gêner cette spécificité neuro développementale et serait-elle spécifique aux enfants NGP et accessible à la rééducation ? Les rééducations chez des enfants avec retard de langage sont souvent bénéfiques mais peu précises (Cable et al ;2011). Le développement de la phonologie, à savoir la qualité à discriminer correctement un son, le produire puis le juger est interdépendant du nombre de mots produits. Le lexique est donc corrélé à la phonologie. La maturation attentionnelle peut gêner à différentes étapes d'intégration sensorielle et ou de production. Les troubles auditifs mineurs, les troubles attentionnels auditifs puis les troubles d'exécution des sons constituant la première phonologie peuvent altérer la capacité à répéter les mots, peuvent donc altérer notre mesure de la phonologie. Par ailleurs les scores d'amélioration du lexique en production et la compréhension sont corrélés au nombre d'enfants à la maison et au niveau d'étude des parents; cette donnée environnementale est redondante dans la littérature. Notre PHRC LAMOPRESCO évaluant la rééducation protocolisée courte précoce a 3ans1/2 de type « dire et Faire » démontre son efficacité sur des paramètres essentiels du langage : le lexique en réception et en production chez des enfants vulnérables à l'âge de 3 ans et demi. **L'hypothèse initiale de l'effet mesurable d'une stimulation spécifique sur les différents composants du langage dont la motricité buccale a été démontré.** Cet effet peut- il être durable sans modification de la phonologie ? Notre mesure de phonologie clinique ne montre qu'une tendance mais reste compatible avec notre hypothèse initiale. Si ce manque de significativité n'est qu'un problème d'effectif, individuellement chaque enfant devrait bénéficier de la durée de cet effet et s'en resserrer lors de l'acquisition de la lecture. Malgré

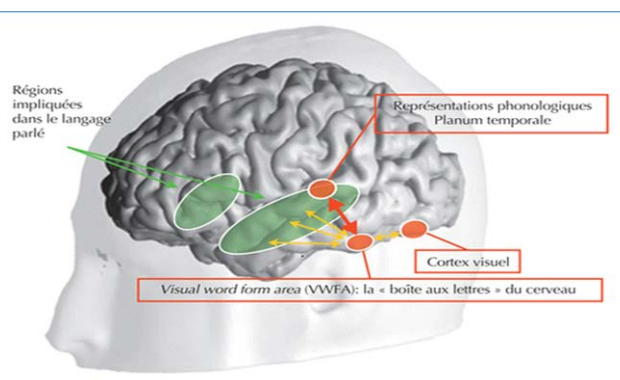
de nombreux facteurs confondants l'impact d'une stimulation à 4 ans devrait être mesurable à distance si l'on prend en compte la fin de la fenêtre développementale des composants du langage oral avant 5 ans. Nos perspectives de recherches cliniques ont pris tout leur sens avec une recherche plus fondamentale de marqueur électrophysiologique de la phonologie. Nous testons l'effet de cette stimulation 4 ans après sur l'acquisition de la lecture dont la maîtrise de la phonologie est une compétence essentielle. Nous réévaluons ces enfants cliniquement et électro physiologiquement au cours de leur 8 ans. Nous émettons l'hypothèse que la stimulation précoce spécifique peut modifier le développement de cette compétence composite qu'est la phonologie réutilisée pour l'acquisition de la lecture et mesurable neurophysiologiquement L'analyse précise des difficultés en lecture sous forme d'essais contrôlés randomisés sont indispensables et nécessaires car elle produira un cercle vertueux (Snowling et al.,2011) et permettrait de répertorier les co-morbidités (Snowling et al., 2019). L'étude des mécanismes de la lecture est au carrefour de très nombreuses disciplines de recherche dont tous les aspects théoriques informent la pratique. L'évaluation des interventions efficaces à tour de rôle peut informer et affiner les théories sur la nature et les causes des difficultés de lecture et de langage des enfants.

III Lecture et Potentiels Evoqués Visuels : théorie et méthodologies

III.1 Introduction PEV

La lecture est une compétence qui différencie le cerveau humain des autres mammifères et permet la réussite des apprentissages scolaires. La zone spécialisée du cortex intervenant dans la lecture est la Visual Form Word Area (VWFA). Un consensus actuel est admis pour décrire les réseaux neuronaux de la lecture, avec notamment l'apport de l'imagerie fonctionnelle. Deux voies cérébrales sont décrites dans le mécanisme de lecture : pour le

traitement des mots fréquents, on distingue une voie ventrale, impliquant le cortex visuel primaire, la VWFA, le gyrus temporal moyen et inférieur, et le gyrus frontal inférieur. Pour le traitement de mots peu fréquents ou des pseudo mots, la voie dorsale est activée. Elle est composée des aires temporales supérieures, du gyrus supramarginal et du gyrus frontal



inférieur (Kolinsky et al., 2014).

Figure 1 Régions cérébrales impliquées dans la lecture (Kolinsky et al., 2014)

Les Potentiels Evoqués Visuels Provoqués (PEV) ou Event Related Potentiels (ERP) sont un moyen technique de résolution temporelle inégalée du traitement de l'information et s'impose comme outil pratique pour explorer le développement neurologique de la lecture. La recherche s'est donc orientée vers l'analyse de pattern de lecture de différentes populations à différents âges, dont les enfants prématurés, afin de mieux analyser et comprendre leurs difficultés surreprésentées. Pour faciliter la compréhension de l'étude de la lecture par l'électrophysiologie, les modèles théoriques psycholinguistiques de la lecture et leur évolution sont rappelés. Ils permettent de raisonner sur les différentes contraintes potentielles et leurs liens avec les patterns électrophysiologiques mesurés. Si l'électrophysiologie révèle une temporalité indiscutable et reproductible, elle n'en reste pas moins une technique exigeante en temps et interprétation dont les consensus de bon usage sont rappelés afin de comparer nos résultats aux différentes études bibliographiques.

III.2 Apports des modèles théoriques psycholinguistiques

III.2.1 Le modèle de Frith (1985)

Selon le modèle de Frith, l'acquisition du langage écrit se fait de façon séquentielle. Le premier stade serait un traitement visuel des mots. Ignorant encore les codes relatifs à l'écriture, l'enfant analyse visuellement le mot. Il réalise une photo mentale du mot représenté en mémoire comme une image, auquel il attribue une signification qu'il retient par cœur : c'est le stade logographique. Il est suivi par le stade alphabétique, où l'enfant après avoir acquis les codes d'écriture que compose l'alphabet, associe le langage oral au langage écrit lui permettant d'identifier de nouveaux mots. En réalité, l'enfant réalise une conversion des graphèmes en phonèmes, par intégration d'un processus articulaire facilité par les acquis du langage oral. Ainsi, il peut verbaliser les mots nouveaux écrits et cela ne dépend plus d'une mémorisation globale des mots. Enfin, le stade orthographique correspondant à l'expertise en lecture, l'enfant va se construire un répertoire sémantique. Ainsi il reconnaît les mots connus et peut les associer au processus articulaire sans avoir à faire une conversion grapho-phonémique. C'est alors que la lecture devient fluide et maîtrisée.

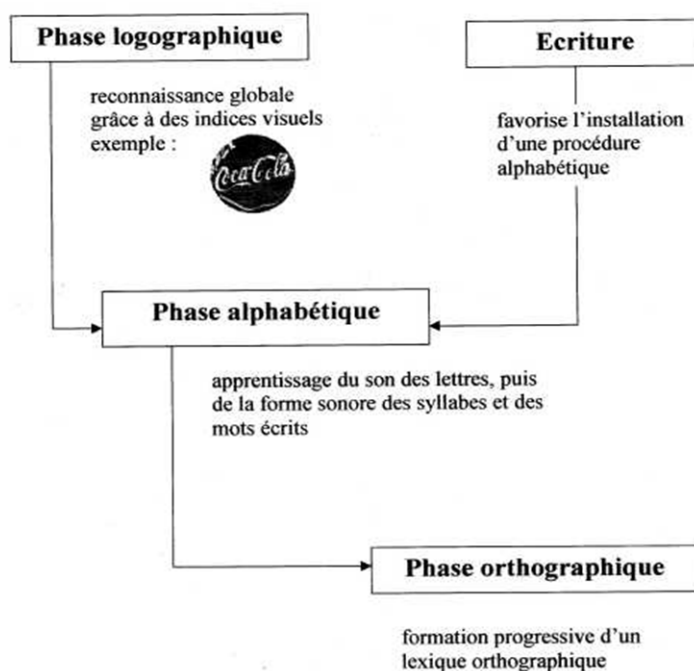


Figure 2 : Modèle de Frith 1985

III.2.2 Le modèle à double fondation de Seymour (1997)

Pour Seymour (1997), le développement du langage écrit ne se fait pas par étapes distinctes, mais résulterait de la coexistence du traitement logographique et de l'alphabétisation au sein même de l'étape de la construction du registre lexical. Ce modèle a cinq composantes représentant chacune un module, explicatives des difficultés d'apprentissage de la lecture. Ce modèle diffère des autres théories développementales axées sur l'étape d'alphabétisation comme principal élément critique. Ainsi pour Seymour, les modules logographique et alphabétique joueraient un rôle important dans l'élaboration de la représentation orthographique tout au long de la conscience phonologique. Pour lui, un déficit du processus logographique entraînerait des troubles de la mémorisation du vocabulaire sur le long terme et se caractériserait par une dyslexie de surface. Le module alphabétique se compose d'une relation interdépendante de la phonologie et de la conscience linguistique. Ainsi le module de la conscience phonologique serait induit par l'apprentissage de la conversion de graphèmes en phonèmes, résultant donc d'une composante environnementale. Le module orthographique serait pour Seymour le point central de cette théorie. Il correspondrait à un codage des informations orthographiques associées aux unités lexicales acquises par le module logographique, ce qui permettrait une représentation et une signification de chacune d'elles. Un dernier module interviendrait également dans le développement orthographique, le module morphologique qui dépendrait du module orthographique. Enfin, selon Seymour, les troubles d'apprentissage de la lecture pourraient être analysés grâce au développement orthographique caractérisé par trois composantes qui sont : la connaissance des lettres (valeur phonémique), le processus alphabétique et le processus logographique.

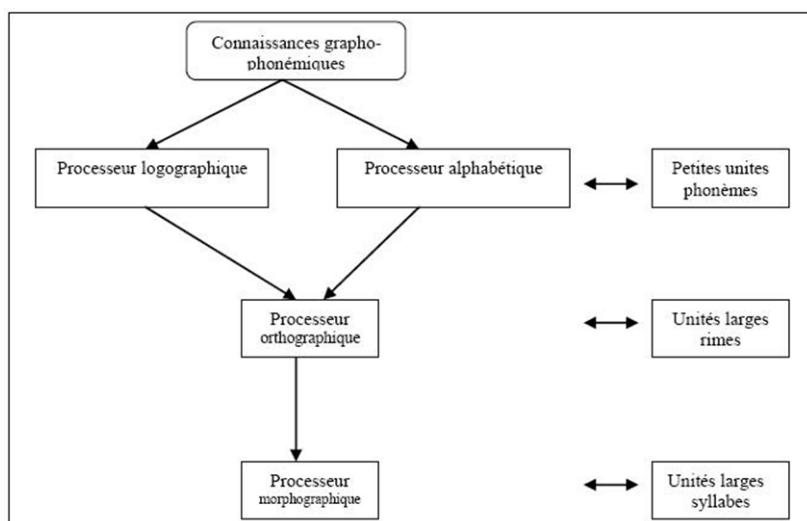


Figure 3 : Modèle de Seymour

III.2.3 Le modèle à double voie en cascade de Coltheart (2001)

Le modèle à double voie en cascade (Coltheart et al., 2001) rend compte du processus sous-jacent mis en place par le lecteur à partir du mot écrit jusqu'à sa prononciation. D'après Coltheart, ce processus serait divisé en deux voies qui se succèderaient, après perception visuelle et analyse morphologique du mot. Les deux voies disponibles se distinguent par leur spécificité au mot, à savoir si le mot est déjà connu ou non du lecteur. Dans un premier temps, la voie indirecte sera utilisée pour un mot non connu ou complexe pour le lecteur. Ainsi, il va réaliser la conversion des graphèmes en phonèmes, laquelle va être stockée en mémoire à court terme, le temps de créer le processus articulatoire bucco-facial afin de prononcer le mot. Dans un second temps, il y a la voie directe qui sera utilisée pour un mot connu ou simple à identifier. Le lecteur va dans ce cas devoir réaliser une recherche du mot dans le stock lexical de sa mémoire à long terme pour identifier le mot, afin de le stocker en mémoire à court terme et de prononcer le mot, comme en voie indirecte. Cette deuxième voie est donc successive à la voie indirecte. Une fois le mot inconnu devenu régulier, le lecteur passera de la voie indirecte à la voie directe pour le prononcer. La voie directe est donc une forme automatisée de lecture, qui est moins coûteuse en termes de charge cognitive pour le lecteur.

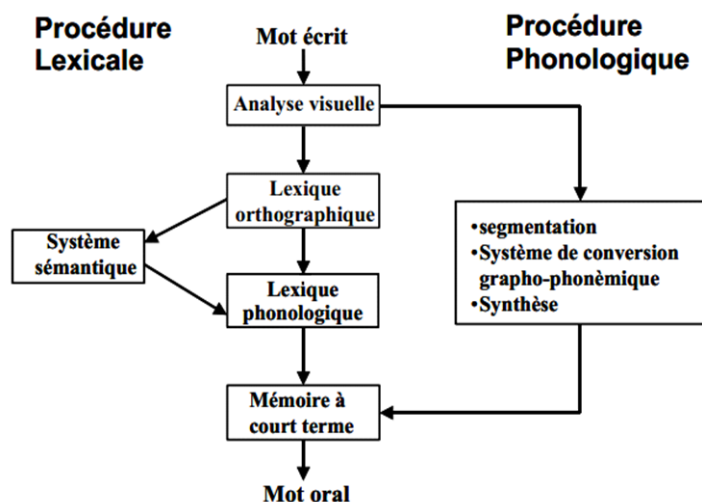


Figure 4 : Le modèle à double voie en cascade de Coltheart et al. (2001)

III.2.4 le modèle de Gombert

Le modèle de Gombert est un modèle théorique encore plus récent et plus neuro-développemental. L'intérêt de ce dernier est l'idée conceptuelle que les troubles de lecture seraient des troubles de l'apprentissage implicite. L'apprentissage implicite est soumis à la fréquence et à la cohérence des modalités sensorielles et des trans-modalités, comme voir et entendre en même temps une syllabe. Cette règle neuro-développementale nous permet de comprendre les acquisitions de lecture ou de codage visuel de l'enfant, en lien avec la parole et le contexte pour fixer le sens. La fréquence visuelle de lettres ou signes successifs est déjà orthographique, et vient progressivement utiliser une transmodalité avec la parole prononcée de mots eux-mêmes stockés antérieurement, plus ou moins correctement. La lecture est alors dépendante de la qualité de ce stock orthographique visuel et de la qualité du stock de mots dits. Ainsi ce modèle rend compte des troubles de lecture en fonction des apprentissages implicites antérieurs, avant l'acquisition académique de la lecture.

En un certain sens, cette théorie neuro-développementale rejoint la théorie du « recyclage des neurones » de Dehaene et Ramus (Dehaene S. 2007) (*Les neurones de la lecture*). Avant cinq ans, l'enfant a spécialisé des réseaux neuronaux en attention sélective visuelle

pour traiter des codes, des symboles, des logos, mais également un groupe neuronal en réseau pour traiter tous les aspects du langage oral (Annexe 3). A partir de ces « deux réseaux » neuronaux spécialisés il y aurait des réseaux neuronaux « recyclés », se spécialisant pour la lecture, circonscrits dans la zone visuelle des mots : l'area visual word (AVW) en occipito pariétal gauche (figure 1).

La maturation des réseaux neuronaux précédant la lecture est un « apprentissage » implicite. On parle d'apprentissage implicite ne nécessitant pas d'intention mais de l'attention, dépendant de facteurs génétiques et environnementaux (Vinter et al., 2000). Les entrées neurosensorielles transmodales sont très précoces au cours du développement normal, et sous-tendent même les pré requis du langage oral comme déjà évoqués ci-dessus. Cette compréhension théorique nous permet d'observer un continuum neurodéveloppemental de l'acquisition de la lecture, quel que soit le type alphabétique dans l'environnement. Le mot serait appris contextuellement pour donner du sens et donc accéder à la compréhension.

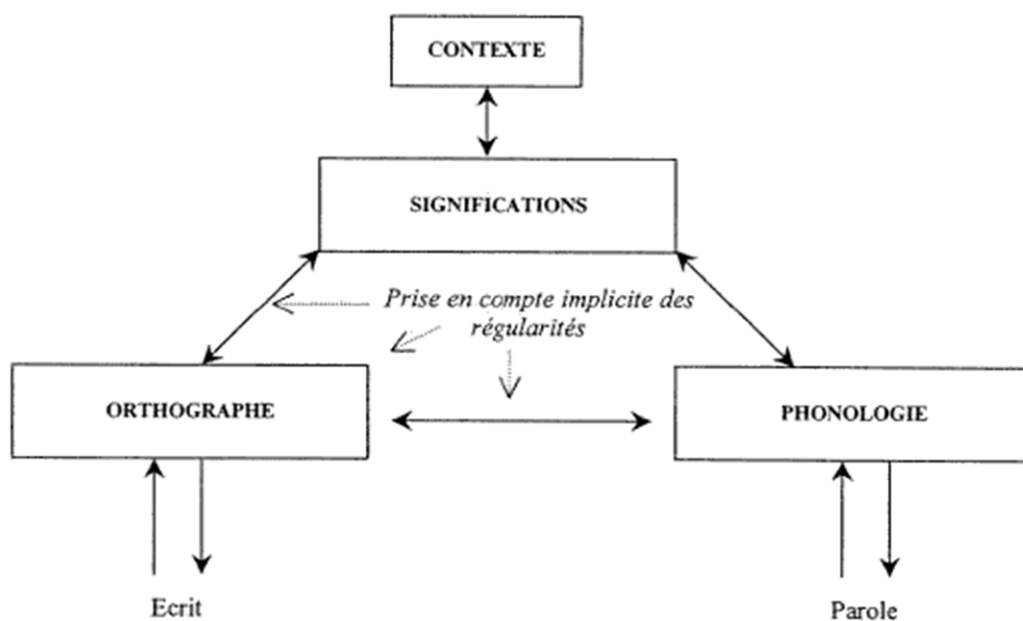


Figure 5 : modèle de Gombert

III.3 Hypothèses psycholinguistiques de la recherche

Il existe donc plusieurs modèles explicatifs du développement du langage écrit et de l'acquisition de la lecture. Bien que le modèle à double voie en cascade (Coltheart et al., 2001) soit le plus courant pour l'étude des troubles d'apprentissage de la lecture et notamment des dyslexies, nous soutenons l'hypothèse neurodéveloppementale des troubles des apprentissages implicites de Gombert pour intégrer le trouble éventuel de perception motrice de la parole et son incidence sur l'acquisition de la lecture de l'enfant né prématuré. Si le développement des mouvements des praxies bucco faciales est synchrone avec la maturation du faisceau arqué chez des enfants avec paralysie cérébrale (PC) il est licite de supposer le rôle moteur exécutif de la « parole » dans la qualité des réseaux du langage (Dehaene-Lambertz, 2012). Si le faisceau arqué qui relie la zone de Wernicke et la zone de Broca, se développe d'autant plus que les mouvements de la bouche sont efficaces, on peut supposer que l'hypotonie des praxies bucco faciales des enfants nés grands prématurés sans PC a un effet sur le réseau du développement du langage. La théorie de la perception motrice de la parole prend tout son sens avec une zone de Wernicke moins spécialisée dans la discrimination de la phonologie par moins de compétences motrices exécutives. Les réseaux et projections neuronales vers les noyaux pourraient également être touchés si l'on considère un aspect neurodéveloppemental comme une boucle de "rétrocontrôle de spécialisation". La zone temporale supérieure gauche, le planum temporal, la zone de Wernicke du langage parlé généraient l'acquisition de la lecture par sa voie phonologique. Si la maturation du faisceau arqué est corrélée aux mouvements de la bouche, la qualité du décodage DEC (zone de Wernicke) peut être altérée par la qualité des praxies bucco faciales. (figure 6)

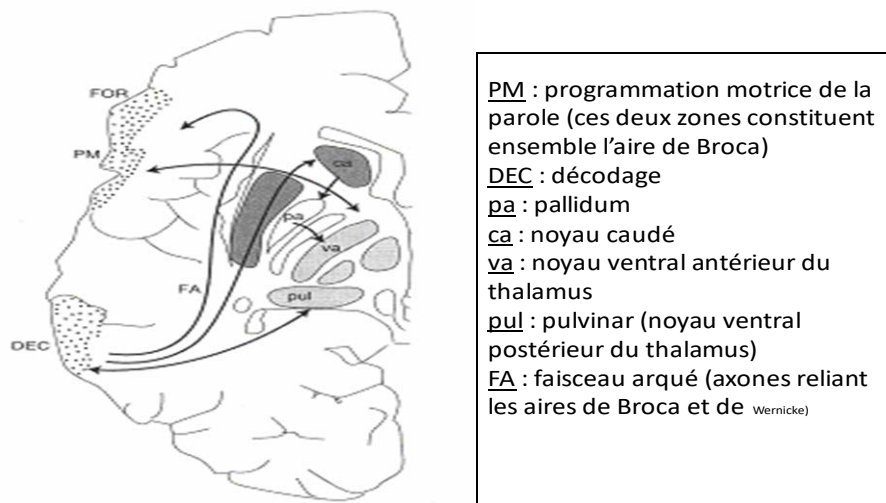


Figure 6 Schéma en coupe des réseaux neuronaux du langage parlé.

La composante visuelle attentionnelle qui se développe avant la lecture pourrait de façon analogique être perturbée ou être développée anormalement pour assurer la fonction neuro visuelle spécifique de la lecture. L'empan visuel de signes ou de lettres stockées, et codant pour du sens, pourrait être perturbé chez des enfants présentant de fréquents troubles orthoptiques, comme ce qui est décrit chez certains dyspraxiques visuo spatiaux (Barray et al 2008). Ainsi la lecture est une compétence maturative qui n'existe pas à la naissance (Liberman et al., 1989). Il semble probable que certains circuits neuronaux soient recrutés et spécialisés pour le traitement des symboles linguistiquement pertinents au cours du développement précoce de la lecture. Lors de ce dernier, l'enfant doit être en mesure de prêter attention aux unités de morphèmes de la langue parlée, tels que les syllabes et les phonèmes, et de la correspondance visuelle par des règles de régularité du recodage phonologique (Sprenger-Charolles et al., 2003). Depuis plus de 20 ans, des méthodes d'imagerie cérébrale, dont la MEG et l'EEG, ont permis d'étudier et de décrire la dynamique corticale spécialisée dans la perception des mots écrits chez l'adulte (figure 7, figure 8). (Nobre et al., 1994 ; Salmelin et al, 1996 ; Tarkiainen et al., 1999 ; Marinkovic et al., 2003 ; Wydell et al., 2003). Lors de la lecture des mots isolés, différents auteurs avaient

rapporté, chez l'adulte normo lecteur, une chronologie d'activité neuronale temporo spatiale compatible avec les étapes successives d'accès à la compréhension, selon certains modèles théoriques.

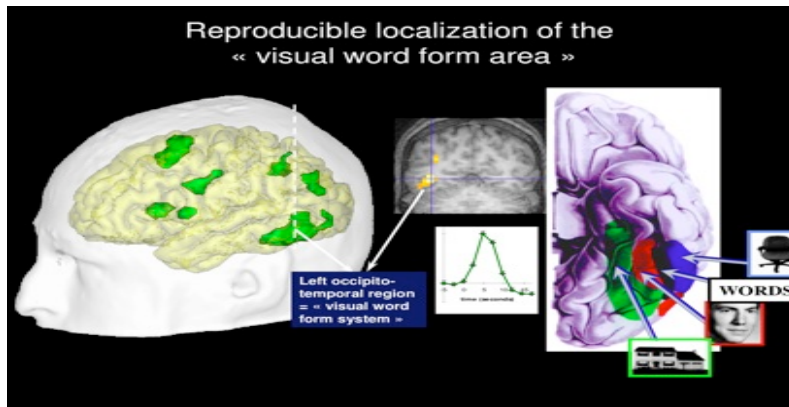


Figure 7 : Schémas selon Ramus et Dehaene : la Zone cérébrale spécialisée en lecture : VWFA adjoint aux autres zones visuelles spécialisées. Issus de Dehaene et Cohen, 2011.

L'activation cérébrale la plus importante est initialement dans le cortex occipital bilatéral à 100msec pour reconnaître les lettres (VF), puis autour de 150 - 200 msec principalement à gauche pour l'analyse des lettres ou chaînes de lettres (LS), et enfin à partir de 300msec de façon bilatérale dans les lobes temporaux pour l'analyse de l'information sémantique (Helenius et al., 1998 ; Tarkiainen et al., 1999). Ces différentes étapes d'analyse à différentes fenêtres de temps ont été répétées et dupliquées, et sont admises comme réseaux neuronaux de la lecture.

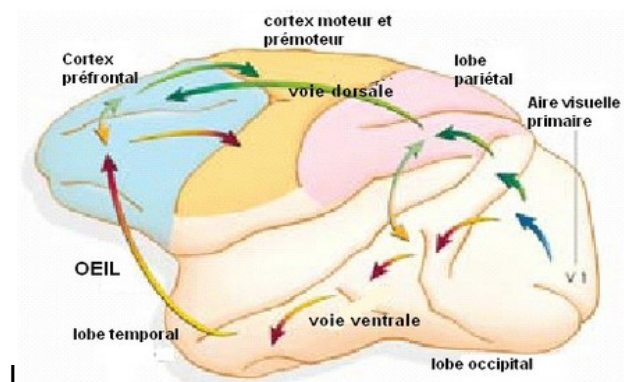


Figure 8: Les réseaux neuronaux de la lecture . Les deux voies matures de la lecture ventrale et dorsale. Entrée par l'attention visuelle

Le traitement de l'information commence par l'analyse visuelle pour caractériser la forme comme lettre, suivie par des processus orthographiques liés à l'identification des lettres, par des processus lexicaux-sémantiques liés à la signification du mot, et par des processus phonologiques liés à la structure sonore de la parole (Seidenberg et al.,1989 ; Coltheart et al., 1993). Ainsi, chaque activité de groupes neuronaux, identifiée en ondes positives et négatives en électrophysiologie, composent le pattern électrophysiologique de la lecture. Il peut être enregistré, analysé et comparé entre nos populations d'enfants prématurés et d'autres populations d'enfants dyslexiques et normo lecteurs. L'interprétation des potentiels évoqués, selon les consensus électrophysiologiques et les modèles théoriques, sont confrontés aux données cliniques et comportementales des enfants étudiés.

III.4 Les potentiels évoqués

L'utilisation de cette méthode électrophysiologique nécessite une compréhension précise et rigoureuse qui est rappelé ci-dessous afin d'argumenter les résultats de notre travail. L'électroencéphalogramme (EEG) a été la première méthode développée pour des mesures directes et non invasive de l'activité du cerveau de sujets humains (Adrian et al.,1935 Jasper,1948). Ils peuvent être engendrés par différentes modalités, ainsi trois types de potentiels évoqués existent : visuels, auditifs, somesthésiques. La stimulation présentée dépend du type de potentiel évoqué que l'on souhaite recueillir : présentation d'une image, d'un son, etc. Les potentiels évoqués traduisent les premières étapes de réception neuronale, quel que soit le niveau de traitement cognitif demandé. Chaque réaction à un stimulus est caractérisée par un changement d'activation cérébrale qui se décompose en plusieurs composantes électrophysiologiques, chacune reflétant une étape du traitement de l'information. Elles sont organisées selon leur ordre d'apparition (milliseconde) et leur valence positive ou négative (N = négative ou P =positive).

Un consensus « d'interprétation », de compréhension et de signification électro clinique du

pattern de lecture chez l'adulte normo lecteur semble communément accepté.

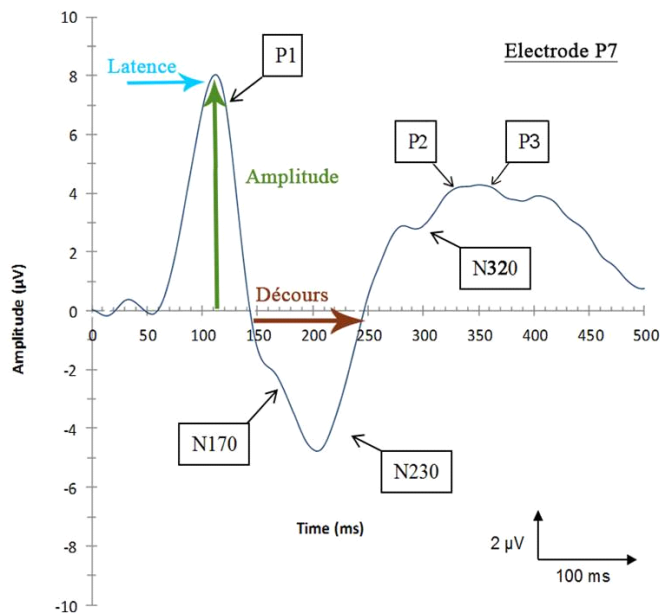


Figure 9 Pattern Electrophysiologique des Potentiels Evoques Visuels en lecture :

Nous distinguons

L'onde P1 ou P100 survenant vers 100ms : extraction du signal visuel.

L'onde N1 ou N170 survenant vers 170 ms: traitement sub orthographique (reconnaissance de lettres)

L'onde N2 ou N230 survenant vers 230 ms.

L'onde P3 ou P300 survenant autour de 300ms : traitement lexical (reconnaissance qu'il s'agit d'un mot).

L'onde N320 survenant vers 320 ms : traitement phonologique quand le mot est inconnu ou logatome.

III.4.1 Potentiels Evoqués Visuels : avantages et contraintes

La première étape de l'enregistrement des potentiels Evoqués est toujours exogène et « attentionnelle ». Il s'agit d'extraire une information visuelle du champ visuel général, on parle d'attention visuelle « sélective ». La caractérisation de cette première modification

des potentiels aux stimuli sensoriels est ancienne, et elle a été beaucoup étudiée et discutée dans la méthodologie. Woodman (Woodman, 2010) rappelle les fondamentaux techniques des PEV cognitifs pour analyser et interpréter l'étape de la perception, qui est la première onde enregistrée dite « d'attention ». Historiquement, les premières études portaient sur l'EEG brut et avaient cherché à caractériser les changements d'activité électrique pendant le traitement sensoriel et l'exécution des tâches simples de détection (Walter, 1938). Rapidement, les scientifiques ont commencé à tirer parti d'un signal moyenné ; le potentiel lié à l'événement (ERP) est rapidement devenu l'outil principal des neurosciences cognitives (Donchin, 1969 ; Naatanen, 1967). Malgré l'apparition et l'inflation des méthodes de neuro imagerie modernes, plusieurs avantages de la technique en Potentiels Evoqués provoqués continuent d'en faire l'une des méthodes les plus largement utilisées pour étudier la chronologie du traitement cognitif (PEc). Comme le cerveau est essentiellement un dispositif électrique par voie « humide », ces enregistrements électrophysiologiques fournissent une mesure directe de « l'unité » du système que nous étudions. En outre, étant donné la nature de l'activité électrique et le tissu dans lequel les potentiels sont générées et propagées, il n'y a pas de retard de conduction mesurable entre l'activité cérébrale générée à l'intérieur de la tête et les potentiels enregistrés à partir du cuir chevelu (Nunez et al., 2006). La méthode des potentiels évoqués visuels (PEVc) est un dérivé de l'électroencéphalographie. Les potentiels évoqués cérébraux (PE) correspondent aux réponses électriques qui se manifestent par des différences d'activation par suite d'une stimulation sensorielle. Ainsi, la résolution temporelle exceptionnelle des Potentiels Evoqués s'accompagne d'un degré inconnu de résolution spatiale. Cela signifie que nous ne pouvons pas localiser les générateurs neuronaux des effets PE à partir des données enregistrées. Bien que l'incapacité à résoudre l'activité des neurones individuels puisse représenter un grand inconvénient de la technique des PE, il apparaît que l'unité fonctionnelle d'analyse que

mesure les PE provoqués soit des patterns de processus cognitifs. Plus précisément, les PE provoqués nous permettent d'observer une série d'opérations cognitives qui ont lieu, même avant le début du traitement de l'information sensorielle, et jusqu'après la réponse comportementale terminée. Les premières études avaient montré que les fluctuations stéréotypées du potentiel étaient provoquées par la présentation de stimuli sensoriels. Cependant, la recherche en PEV provoqués a vraiment gagné en popularité quand une étude a démontré que l'activité cognitive liée à la préparation d'une tâche pouvait être mesurée. La variation négative contingente (CNV) a été décrite puis admise comme traduisant l'activité cérébrale de préparation, avant même le début d'un stimulus auquel les participants devaient répondre (Walter et al., 1964). Il convient de dire que cet effet d'anticipation a été le premier des processus cognitifs composant les PEV provoqués (PEVp) (Kornhuber et al., 1965). Le traitement du signal s'est amélioré par le moyennage, c'est-à-dire l'extraction des petites fluctuations de tension d'amplitude communes à chaque essai séparé du « bruit » de fond (Donchin 1969 ; Donchin et al., 1975). A cette même époque, le développement du système 10/20, pour le placement normalisé des électrodes, a permis des comparaisons beaucoup plus faciles à intégrer et à reproduire à travers les études (Jasper, 1958). Les pics et les creux d'un PEV p sont donc des ondes stimulus-dépendant et nous permettent de visualiser les processus cognitifs tels qu'ils se déroulent au cours d'un process. L'origine de la convention (négative et positive) a été beaucoup discutée. Il est clair que cette méthode de présentation a été, et continue d'être, une question litigieuse, et des auteurs ont beaucoup argumenté pour inverser l'axe de tension (Brigel et al., 1998).

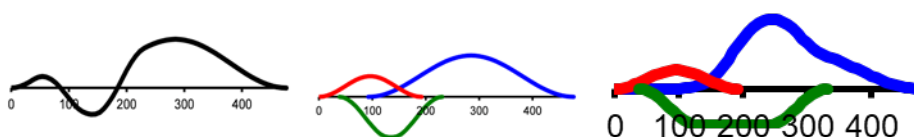


Figure 10 Un effet pendant la période d'un pic particulier peut ne pas refléter une modulation du composant sous-jacent. Adapté de Luck, (1998).

Woodmann questionne la signification du pic d'amplitude d'un composant en PEVc par rapport à la latence de ce dernier. L'intérêt de mesure du pic d'amplitude d'un composant existerait surtout par rapport à son début ou à sa fin, c'est-à-dire sa latence et son déroulement temporel (Woodman et al., 2004). Selon ces auteurs il y aurait un faible intérêt à mesurer l'amplitude d'une opération cognitive qui n'en serait qu'à la moitié de sa réalisation. Cependant, c'est essentiellement ce que l'on essaie de quantifier lors de la mesure d'une composante PEVc au sein d'autres paramètres. Les travaux rapportant l'intérêt des temps de latence et des déroulements temporels des différents composants en PEV cognitifs sont nombreux (Gratton et al., 1992) mais pas moins difficiles d'interprétation (Hopf et al., 2004). D'après Woodman, la littérature sur les PEVc démontre de manière convaincante que la focalisation sur les maximas d'amplitude est arbitraire et trompeuse (« pics » de tension positive ou négative). Quelques facteurs bien identifiés rendent difficile l'interprétation des pics. Le plus grand parasitage des pics de grandes amplitudes est par "cumul" progressif même malgré la présence des filtres numériques passe-bas. Le pic de l'onde peut être contaminé par des fluctuations aléatoires du bruit de fréquence plus élevée. Un autre problème de la mesure des latences de composants est lié à un chevauchement des différents composants. Ainsi, malgré l'excellente résolution temporelle, la mesure précise de la synchronisation d'un composant individuel d'un pattern de PEVp est rendue difficile par le fait que les composants se chevauchent généralement avec leurs voisins. Les fluctuations de la tension de la forme d'onde se chevauchent intrinsèquement les uns avec les autres, dans le temps et dans l'espace. Par exemple, la même variation de la tension observée entre les deux conditions pourrait être le résultat d'un précédent décalage de la composante N2 ou un début plus précoce de la composante P3 (Näätänen, et al., 1979). Ces éléments seront d'autant plus fluctuants que les composants, marqueurs de spécialisation de groupes neuronaux, sont en cours de maturation et de spécialisation comme chez l'enfant. Pour remédier à ces difficultés, de nombreuses études en PEVp de

lecture montrent la nécessité de très nombreux passages des stimuli, pour minimiser les hétérogénéités intra personnelles. La taille du groupe étudié doit être la plus grand possible pour moduler les variations interpersonnelles pour un même processus cognitif. En tenant compte de cette complexité d'interprétation des PEV provoqués ou ERP, nous décrivons et comparerons nos données, essentiellement en latence et en durée, des composants spécifiques à la lecture en précisant chaque étape. L'analyse de l'amplitude des composants du pattern de lecture se fera également au regard du chevauchement des ondes. Notre méthode de programmation des enregistrements en PEV Lecture a prévu un grand nombre de passage des stimuli mots, au sein des deux paradigmes utilisés que nous détaillerons ci-dessous.

III.4.2 PEV : Pattern en lecture

Les PEV de lecture se décomposent classiquement en sept étapes pour le traitement d'un mot présenté visuellement (figure 11).

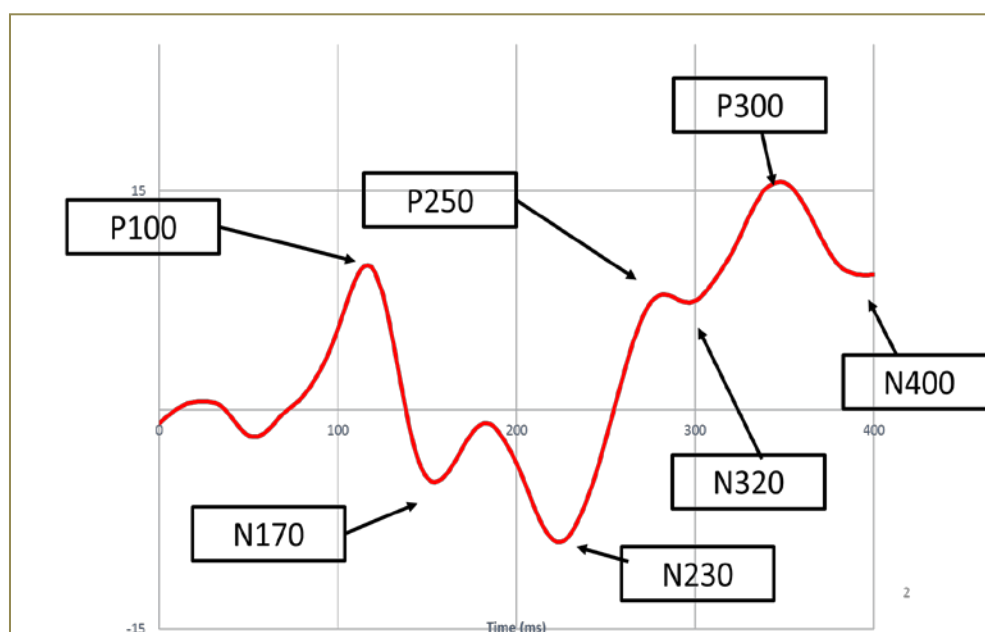


Figure 11 : Schéma du pattern de lecture avec ses différents composants. L'amplitude en ordonnée et le temps en ms en abscisse.

La P100 arrive en premier, à environ 100ms et correspond à l'extraction des

caractéristiques physiques de la stimulation Ce serait un indice électrophysiologique de l'attention allouée à sa détection. Si l'extraction visuelle des caractéristiques physiques d'un quelconque objet peut être représenté par l'onde P1 (ou P100), l'origine est le cortex ventro-latéral occipital avec un pic maximal atteint vers 100 millisecondes post stimulus. Cette composante reflète la toute première étape du traitement visuel non spécialisé qui nécessite que l'attention visuospatiale soit portée vers le stimulus (Hillyliard, et al., 1998). Le gyrus fusiforme et gyrus lingual répondent aux stimuli orthographiques selon plusieurs études, et seraient le siège de la reconnaissance visuelle des mots (figure 12).

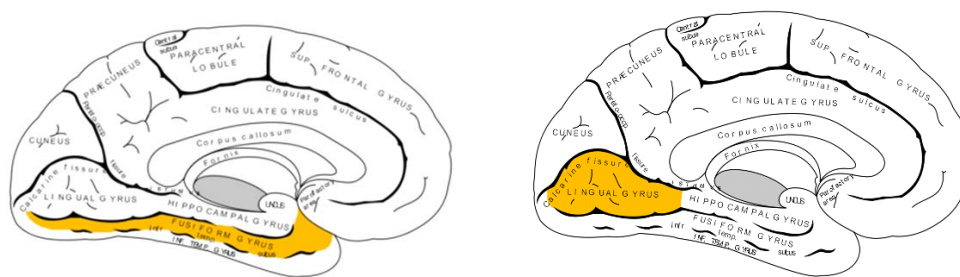


Figure12: Gyrus fusiforme et gyrus lingual en jaune répondent aux stimuli orthographiques

Ces résultats reproduits sont issus d'étude en magnétoencéphalographie (MEG). Kuriki (Kuriki et al.,1998) montre l'activation entre 150 et 250 ms, spécialement pour le traitement des mots et des pseudo mots, dans le gyrus lingual et fusiforme. L'aire visuelle de reconnaissance des mots serait dans le gyrus fusiforme (Dehaene et al.,2011). Il existe une Invariance spatiale : cette aire s'active de façon similaire lorsque le mot est présenté dans l'hémichamp visuel gauche ou droit. Dans ces deux situations, l'aire se localise de façon prédominante dans l'hémisphère gauche, prépondérant dans le traitement du langage. Il semble bien exister un traitement pré-lexical, c'est à dire une étape de reconnaissance de suite de lettres présentées soit en un mot soit en un pseudo-mot (chaîne de caractères ressemblant à un mot réel mais n'ayant aucun sens). Cela signifierait que cette aire s'active avant l'accès au lexique soit de façon pré-lexicale. Le traitement

phonologique activerait le gyrus frontal inférieur gauche qui est l'Aire de Broca (Poldrack et al.,1999) et représenterait la boucle phonologique de Baddeley (Paulesu et al.,1993). La transcription graphème - phonème se ferait également au niveau du gyrus temporal supérieur et au niveau du gyrus frontal inférieur gauche. Il semble difficile d'étudier la phonologie qui correspondrait à plusieurs traitements. Le traitement sémantique activerait le gyrus fusiforme. Chez les dyslexiques, le gyrus frontal inférieur Gauche serait plus activé et les aires postérieures moins activées (Shaywitz et al., 1998).

La lecture fait appel à une analyse visuelle poussée et automatisée au fur et à mesure de l'apprentissage. Le coût attentionnel demandé pour cette activité décroît à mesure de l'acquisition de l'expertise. Les potentiels évoqués pourraient donc permettre de mesurer ces ressources et de comparer les nécessités attentionnelles chez le lecteur novice et le lecteur expert. Selon ces auteurs, l'attention dirigée vers le stimulus permet de repérer les traits visuels et de reconnaître les formes ainsi que leur positionnement dans l'espace. Par conséquent, l'automatisation de ces processus permettrait une lecture rapide et fluente et pourrait être un indicateur de l'expertise dans cette activité. La littérature de la P100 en ERP rapporte différentes études discutant son rôle et ses variations en fonction des pathologies. Cette composante précoce varie beaucoup avec les éléments dits exogènes mais elle est un passage obligatoire à l'automatisation et à la spécialisation des réseaux de neurones dédiés à la lecture. Les paramètres d'analyse des composants du pattern de lecture devront également tenir compte du trouble neurodéveloppemental, spécifique ou non, au sein de la maturation cérébrale de nos populations pédiatriques concernées. Le schéma récapitulatif des processus fonctionnels de lecture et réseaux neurologiques nous indique que le traitement sub lexical orthographique semble être la N170 (figure 13). Le traitement sub lexical phonologique semble être la N230. Le traitement sémantique et, ou phonologique semble être la P300 avec la N320 s'il s'agit d'un pseudo-mot. La N400 est considérée comme l'accès à la représentation sémantique du mot. La lecture se développe

en passant par le réseau du langage oral (représentation articulatoire). L'étape de la programmation motrice dans la zone de Broca pour articuler est active et fonctionnelle pour lire silencieusement. Ainsi, on comprend que l'étape de la maturation de la lecture peut rester une contrainte par une zone motrice peu spécialisée. L'incidence sur la maîtrise de la phonologie pour acquérir la lecture devrait se traduire électrophysiologiquement. A partir du pattern de lecture et interprétations de chaque composant, certains paramètres d'intérêts censés représenter le lexique (et la phonologie interdépendante) seront analysés en particuliers la N170.

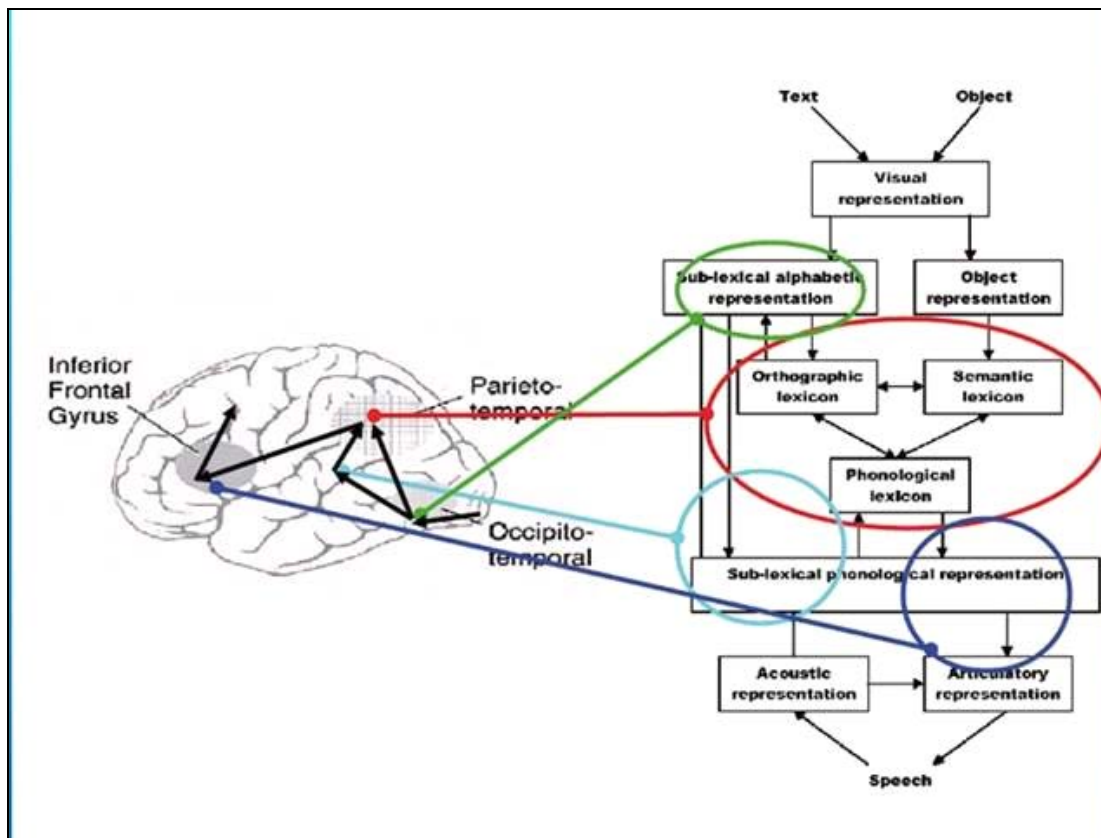


Figure 13 Schéma selon Ramus Réseaux neuronaux de la lecture et localisations des fonctions spécifiques par étapes.

Il est supposé que le traitement fonctionnel et anatomique soit corrélé aux composants du pattern de lecture schématisé ci-dessous. (figure 14)

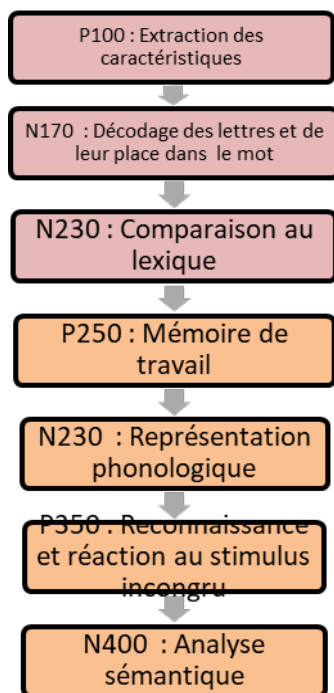


Figure 14 : Schéma chronologique des fonctions supposées de chaque composant.

L'ensemble des composants et leurs fonctions supposées sont synthétisés en annexe 15.

III.4.2.1 P100 revue de la littérature

Comme évoqué antérieurement, il est recommandé de respecter de grandes règles pour interpréter la composante très précoce, P100, des PEV provoqués. Les points fondamentaux sont l'obtention d'une ligne de base très peu fluctuante autour du zéro avant la stimulation et donc un rapport signal / bruit correct. Un temps minimum de 500 msec avant la première stimulation est également recommandé. Enfin les mesures de la latence et du décours temporel auraient plus de réalités significatives que l'amplitude ou la valeur d'un pic. Il existe pourtant de nombreuses études mesurant les variations d'amplitudes de la P100, avec des mesures de pics pour décrire l'effet des variations des facteurs exogènes ou d'entraînement ou de rééducation.

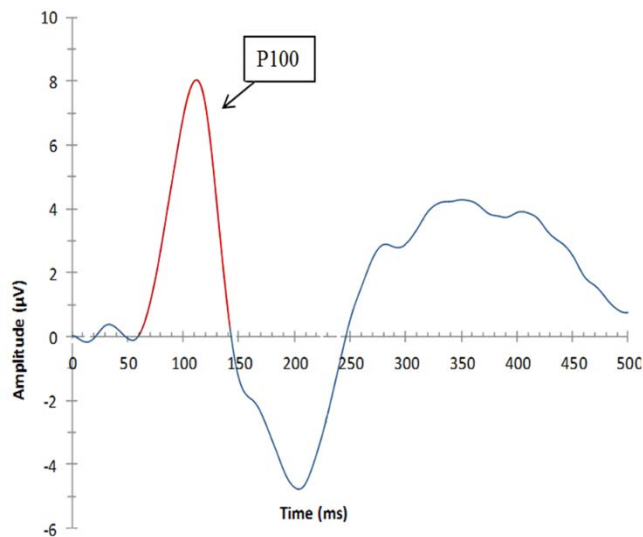


Figure 15 : La P100 est le 1^{er} composant d'extraction sensorielle reflétant l'attention initiale à 100ms

Une étude suggère que l'écriture et l'entraînement au découpage visuel produisent des différences d'amélioration orthographique qui sont détectables par des mesures PEV. L'écriture et l'entraînement au découpage visuel présenteraient des avantages pour l'attention visuelle précoce P100 utilisée en lecture. Cela entraînerait également des modifications de la reconnaissance orthographique mesurée et représentée par la N170. Ces variations seraient le marqueur d'une nouvelle compétence de généralisation de lecture de caractères qui n'ont pas été appris par écrit ou par fragmentation visuelle. En effet, lorsque les apprenants réutilisent leurs propres stratégies pour coder, les résultats suggèrent que, ceux qui montrent des preuves électrophysiologiques de l'attention visuelle précoce garderaient l'effet bénéfique pendant une période de trois mois ou plus. Cette modification prolongée de la P100 est prise pour preuve, par les auteurs, de la modification durable des circuits neuronaux pour une tâche cognitive dès l'étape sensorielle précoce (Cao et al.,2013). La P100 ne serait donc pas uniquement dépendante des facteurs exogènes, mais modifiable, « spécialisable » par un probable effet Top Down. Un des mécanismes pourrait être l'interprétation du pic d'amplitude comme chevauchement de différents potentiels sous-jacents, comme Woodman le suggère, dont certains seraient sensibles à l'encodage. La possible « spécialisation » de la P100 est aussi discutée dans

une étude récente comparant l'identification de lettre et la lecture de mot au sein d'une population d'enfant aveugle et témoins. La P100 est le premier potentiel traduisant l'extraction de l'information sensorielle visuelle ou proprioceptive. L'analyse Visio spatiale de lettres tactiles de ces deux groupes d'enfants rapporte des différences significatives. Chez les enfants aveugles, elle apparait plus précocement que chez des enfants normo lecteurs lorsqu'il s'agit de lire des lettres par proprioception, en rapport avec des réactions sensori-motrices plus rapides. Les étapes sémantiques existent chez les enfants aveugles sans différence avec les non aveugles. Les voies de lecture étudiées par la cartographie permettent d'authentifier les cortex différents, fronto pariétal pour les enfants aveugles et occipital pour les non aveugles. Les auteurs rapportent le rôle cohérent de P100 sur l'extraction rapide de l'information par spécialisation somatosensorielle de formes complexes que sont les lettres. Les différences corticales entre les groupes témoins et aveugles, au cours de la discrimination tactile spatiale, sont associées à l'activation dans la voie visuelle occipitale et la voie d'association liée à une tâche zones (lobes temporaux et frontaux). Les résultats montrent que le traitement précoce de la stimulation tactile nécessitant une transmission de l'information modale transversale, diffère chez les enfants atteints de cécité ou ayant une vision normale. Cette stimulation tactile est simultanément multi-modale pour l'information spatiale fréquente chez l'enfant sans trouble sensoriel.

Ces résultats illustrent la plasticité cérébrale et argumente pour une spécialisation de la P100 en fonction de la tâche demandée, ici la tâche de lecture versus la tâche de discrimination tactile ou somatosensorielle de non-lettre. Les enfants aveugles sont plus lents, avec une latence de P100 plus longue, pour évaluer des directions spatiales indépendantes des lettres. Cette compétence, meilleure chez les enfants non aveugles, est corrélée à une P100 plus précoce car ils doivent utiliser ce sens sensorimoteur pour cette analyse. Les enfants aveugles se sont spécialisés à repérer les lettres et la P100 est un marqueur précoce de cette extraction rapide sensorimoteur. La spécialisation de la P100

en lecture braille, chez les enfants aveugles, serait donc démontrée par une latence plus courte retrouvée uniquement pour les lettres.

III.4 .2 .2 L'onde N170

Description des composants à partir d'un pattern de lecture issu de nos moyennages de populations normatives en Décision lexicale. La seconde onde est la N170. Elle traite l'aspect orthographique c'est-à-dire l'étape durant laquelle le stimulus est reconnu comme une succession de lettres compatible avec un mot.

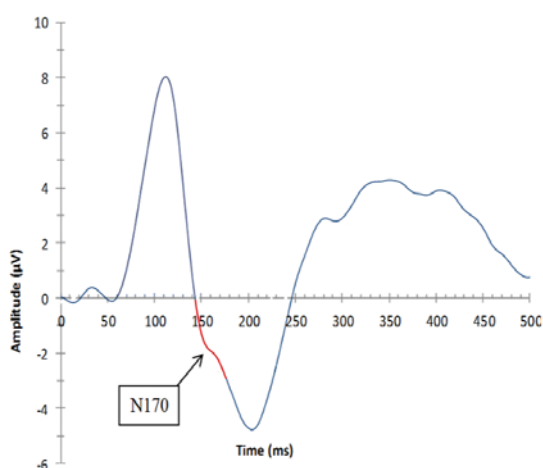


Figure 16 : la N170 est la 1^{ère} onde d'encodage à 170 ms. elle assurerait le traitement sub orthographique Cette étape, visible au niveau de l'onde N170, serait générée au niveau occipito-temporal gauche lors de la présentation de mots et non lors de la présentation de stimuli non orthographiques (Bentin et al.,1999). En effet, lors de la présentation de visage ou d'objets familiers, la N170 serait soit latéralisée à droite, soit présenterait une bilatéralité. Seuls les stimuli orthographiques génèrent une N170 exclusivement dans l'hémisphère gauche, progressivement au cours de l'acquisition de la lecture (Maurer et al., 2005, 2007). Ainsi, différentes parties du système visuel se spécialisent pour répondre à des stimuli bien distincts et probablement pour réduire le coût de traitement de l'information (Bentin et al., 1999). Par ailleurs, cette latéralisation à gauche permettrait un lien plus précis entre la phonologie et la reconnaissance des lettres au niveau visuel (Maurer et al, 2005). Une

apparition retardée de la N170 chez les populations dyslexiques, vers 12 ans au lieu de 8 ans, chez les enfants non dyslexiques est bien établi (Maurer et al, 2011). Nous détaillons la cinétique neurodéveloppementale de la N170 au sein d'un paragraphe pour préciser nos hypothèses de recherche.

III.4.2.3 Les ondes P200 et N230

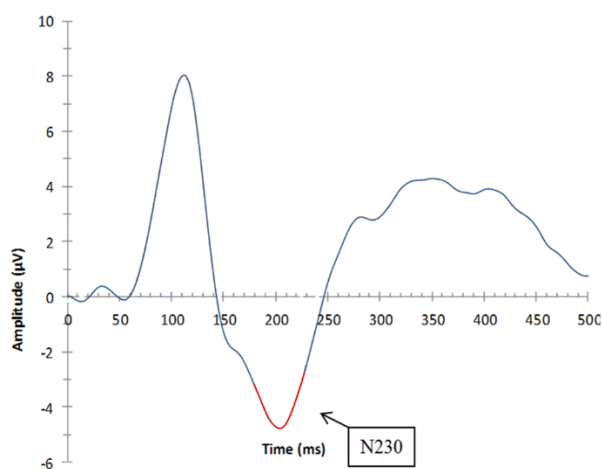


Figure 17 : la N230 est le second composant d'encodage à 230 ms.

La P200 est visible entre 200 et 275ms environ, elle correspondrait à la recherche en mémoire du mot. L'intensité de l'amplitude semble varier en fonction de l'orthographe, et la latence en fonction de l'entraînement. Stuellein (Stuellein et al. 2016) discute cette modélisation de la mémoire de travail en décrivant, contrairement à ce qui est habituellement énoncé, une reconnaissance associative d'abord sémantique vers un niveau orthographique de plus en plus précis. La variation de la P200, plus importante pour des mots anciens que nouveaux, est corrélée négativement à la N400. L'organisation fonctionnelle de la mémoire de travail en lecture chez un adulte normo lecteur semble régie dans un premier temps par l'analogie sémantique puis secondairement orthographique. La N 230 est la deuxième onde négative d'encodage du pattern de lecture en PEV. Lorsque le « mot » présenté est prononçable dans la langue du lecteur, un traitement lexical est

entamé. Cette composante négative apparaissant à 230 ms post stimulus, a été observé au niveau du gyrus médio-temporal gauche (Simon et al.,2014). La N230 présenterait une amplitude maximale pour les pseudomots, ce qui dévoilerait une recherche dans le lexique de même alphabet. De même, la répétition de mots peu fréquents induit elle aussi une N230, démontrant probablement une recherche plus approfondie dans le lexique.

III.4.2.4 Les ondes tardives P300, N320 et P400

La P300 apparaissant autour de 300ms reflète la réaction à un stimulus incongru et se retrouve notamment en tâche de paradigme d'Oddball

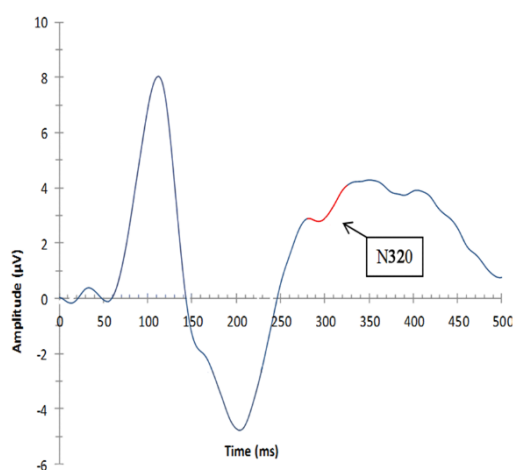


Figure 18 : La N 320 signifierait le codage phonoalphabétique pour les logatomes

La N320 n'apparaît qu'en lecture de logatome chez les normo lecteurs. Elle est plus tardive en tâche de décision lexicale qu'en tâche de rime. Elle correspond à la conversion graphème-phonème, mais il n'y a pas réellement de consensus. Historiquement, Bentin (Bentin et al.,1999) avaient mis en évidence cette composante N320 maximale au niveau temporal (aire de Wernicke), distribuée bilatéralement mais plus ample dans l'hémisphère gauche, à la présentation de stimuli orthographiques prononçables. Simon ont également mis en évidence une onde N320, provenant du gyrus médio-temporal et du gyrus temporal inférieur gauche, lors de la présentation de mots peu fréquents (Simon et al.,2004). Cette composante représenterait la recherche en mémoire à un niveau phonologique et donc la conversion graphème-phonème. Elle disparaîtrait lorsque le mot est très fréquent,

supposant alors un passage directement par le lexique. Sur le plan développemental, cet aspect phonologique obligatoire nécessite que l'enfant ait acquis la notion de graphèmes correspondant à des phonèmes. Comme expliquée précédemment, cette conscience phonologique s'acquiert très précocement dans l'apprentissage de la lecture.

Enfin, classiquement, l'accès sémantique est traité postérieurement à ces étapes et il est représenté par la 4ème onde. Le lecteur recherche le mot en mémoire pour en trouver la signification. Une plus grande amplitude de la N400 en présence de pseudo mots met en évidence un examen plus approfondi pour essayer de leur donner un sens (Bentin et al, 1999). La N4 ou N400 est produite par n'importe quel stimulus sémantique. Elle est sensible à l'amorçage sémantique (Nobre et al, 1995) et à la répétition. Elle est également sensible à l'attention sélective. Elle aurait des liens étroits avec la phonologie, car il n'est pas enregistré de N400 quand il y a des fautes orthographiques ou phonétiques. Elle varie en fonction du voisinage orthographique.

Les hypothèses de fonction de la N400 ont été discutées et précisées plus récemment par certains auteurs, comme Stuellein, sus-cité, évoquant d'abord une recherche associative sémantique rapide puis secondairement orthographique. On peut supposer que la N400 soit un traitement phono orthographique variant pour des logatomes et ou des mots considérés peu fréquents. Cette discussion remet au-devant du tableau l'interaction forte entre le niveau du langage oral et les mécanismes de lecture. Le lexique mental est donc un « conteneur » de l'information écrite au niveau sémantique, phonologique, orthographique et syntaxique. Un mot serait reconnu lorsque la représentation de l'information sensorielle reçue correspondrait à la représentation cognitive récupérée en mémoire, tant lexicale que sémantique.

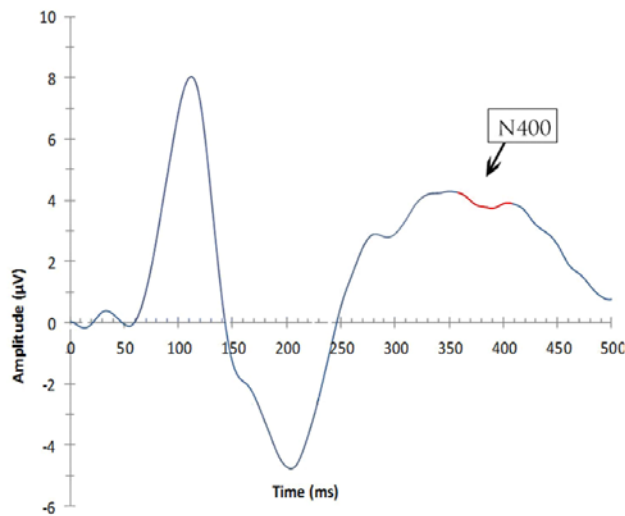


Figure 19 : la N400 représenterait l'accès sémantique

La question est, comme pour tous les composants, et surtout au fur et à mesure de la maturation atypique d'enfants vulnérables : sa fonction spécialisée peut-elle être, une seule composante spécifique ou le résultat de plusieurs composants reflétant l'intégration plus ou moins "normale" des étapes précédant la lecture ?

III.5 Hypothèses électrophysiologiques de l'acquisition de la Lecture

Le Codage phono alphabétique : Connaissances et questionnements actuels sur la N170

Ces dernières années, de nombreuses études ont porté sur la composante N170 et les mécanismes de la lecture. Les auteurs décrivent et analysent le rôle et le fonctionnement de cette onde dans l'apprentissage de la lecture, plus particulièrement chez les enfants dyslexiques. Il est retenu l'idée d'un déficit dans la spécialisation des processus visuels des mots qui se traduirait par des caractéristiques variantes de la N170. Au vu de cette littérature, on distingue deux étapes de développement des réseaux neuronaux impliqués dans la lecture.

Il y aurait dans un premier temps la mise en place de réseaux neuronaux qui seraient sous-tendus pour le traitement du mot dans sa globalité. La N170 apparaît rapidement chez les enfants de maternelle (< 6 ans) apprenant la lecture, et tendrait à se maintenir et à évoluer lorsque l'entraînement est continu. Ainsi l'entraînement à la conversion des graphèmes en

phonèmes amènerait l'enfant à présenter une N170 plus ample, au fur et à mesure de l'avancement de l'expertise (> 6 ans). Cela a mis en évidence (Maurer et al.,2007 ; Brem, 2006 ; Bucher 2006 ; Brandeis, 2007) une différence d'amplitude de la N170 entre un mot non connu et des symboles vers 8 ans, âge considéré comme le début d'apprentissage de la lecture. Ce résultat est concordant avec un traitement spécifique progressif pour les mots, qui s'affinerait avec l'apprentissage et qui se spécialiserait à gauche.

Il existerait une deuxième étape dans le développement des réseaux neuronaux alloués à la lecture, qui correspondrait à l'affinage de ces réseaux et à l'acquisition de l'expertise. L'apprentissage de la lecture dite « de narration » est une étape introduisant des mots plus complexes et la récursivité. La distinction de certains mots et de chaînes de consonnes ne serait pas possible tant que le traitement final ne serait pas mis en place, bien que le traitement global, permettant la distinction mot/symbole, soit déjà acquis. C'est grâce au développement de l'expertise visuelle que l'enfant pourrait discriminer les régularités orthographiques de chaînes de consonnes, l'enfant prenant conscience des critères orthographiques applicables à la lecture et ceux qui ne le sont pas. Selon Maurer, le traitement apparaît vers 10 ans, avec une N170 plus ample pour les mots que pour les chaînes de consonnes. En revanche, Zhao (Zhao et al.,2014) réalise une étude prenant en compte le niveau d'alphabétisation (nombre de livres à la maison) et le niveau de lecture : les enfants en avance auraient une N170 plus négative pour les mots que pour les symboles, ce qui va dans le sens de réseaux neuronaux spécifiques au traitement global du mot. Donc, la deuxième étape de sur-spécialisation serait plus lente à se développer, mais dépendrait fortement de la régularité de la pratique, compte tenu que les enfants en avance présentent des différences de traitement interhémisphérique. Les auteurs se questionnent encore sur le processus spécifique qui sous-tend la N170, mais ils se basent essentiellement sur l'hypothèse du développement d'un traitement global vers un traitement fin du mot. Les très nombreuses publications sur la N170 en PEV lecture sont

motivées par la description convergente de ce composant, reflétant une activité neuronale spécialisée défaillante ou troublée dans la pathologie, et définissant un trouble spécifique d'acquisition de la lecture qu'est la Dyslexie. Une étude française (Jucla et al.,2010) visait à étudier les corrélations en PEV Lecture des composantes N170 et P300 avec un programme de formation multimodal axé sur la dyslexie. Tous les enfants ont bénéficié de deux programmes de formation intensifs de deux mois fondés sur des données probantes : l'un reposant sur la conscience phonémique, et l'autre sur le traitement visuel et orthographique dans une conception croisée. Dix enfants témoins avaient été appariés en âge chronologique, et les auteurs ont montré une dissociation entre N170, P300 et l'amélioration du comportement. Dans le groupe dyslexique, l'amplitude de la P300 a diminué pour les non-mots et pour les mots, en lien avec une amélioration de la performance. Dans le groupe témoin, le même effet a été observé pour les pseudo-mots. Dans le même temps, le modèle inverse s'est produit pour la latence N170, qui a été raccourcie pour les pseudo-mots dans le groupe dyslexique, et pour les mots dans le groupe de normo lecteur. Ainsi, l'entraînement module l'activité corticale chez les enfants dyslexiques dans une tâche de reconnaissance visuelle des mots. Compte tenu de l'implication bien connue de P300 dans les processus attentionnels, leurs résultats reflètent le lien étroit entre l'amélioration des compétences en lecture après la maturation visuelle du processus attentionnel. La N170 a une latence plus courte après entraînement, et elle est corrélée à une amélioration comportementale en décision lexicale.

Ces résultats, confirment des modifications différentes sur deux paramètres électrophysiologiques des composants du pattern de lecture. L'hypothèse de leur spécialisation progressive est confortée avec des vitesses de traitement et latences modulables chez des enfants dyslexiques nés à terme.

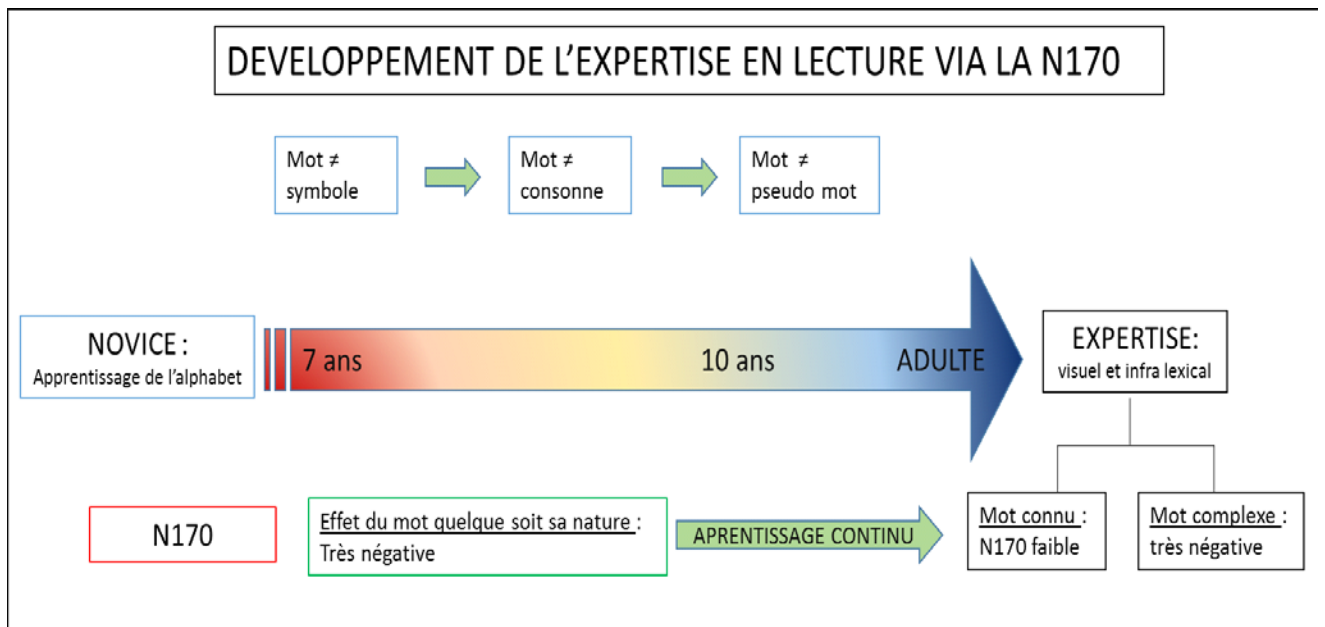


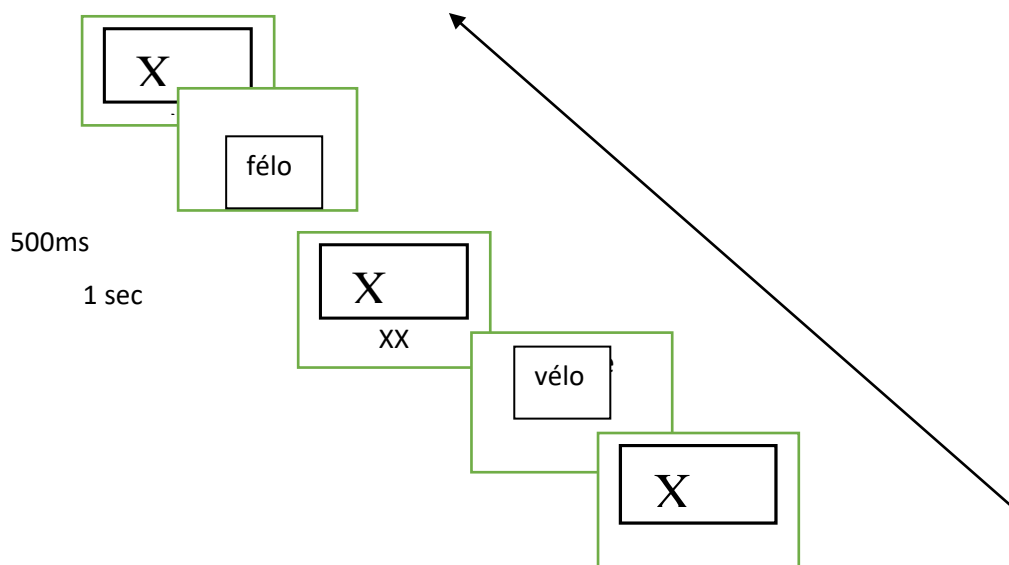
Figure 20 Représentation de l'état des connaissances du développement du composant d'intérêt N170 dans l'hémisphère gauche, pour l'acquisition et l'expertise de la lecture.

III.6 Les deux paradigmes électrophysiologiques expérimentaux

III.6.1 Le paradigme Décision Lexicale :

Ce paradigme consiste à demander au sujet de juger si le mot existe ou non. Le plus souvent, les mots et non mots proposés sont soit des homophones (fame/femme) soit des pseudo logatomes (félo/vélo). Dans certaines études les propositions sont des suites de lettres incohérentes ou parfois des symboles visuels en fonction de la question et des hypothèses émises. La P100 et la N170 sont très étudiées en décision lexicale.

Figure 21: Exemple de tâche de décision lexicale : un mot fréquent est présenté pendant 500ms et l'écran noir pendant 1 seconde puis un pseudomot peut apparaitre pendant 500ms.



III.6.2 Le paradigme d'Oddball

Il consiste à demander au sujet de détecter des stimulations rares « cibles » (ex : foule), aléatoirement réparties au sein de stimulations répétitives fréquentes ou stimulations « standard » (ex : poule). Le paradigme d'Oddball est la méthode la plus fréquemment utilisée afin d'obtenir l'onde P300. La P300 est donc une onde qui survient lorsqu'apparaît le stimulus cible, attendu mais imprévisible, et qui correspond à un changement d'activation des réseaux neuronaux en relation avec une opération cognitive. Elle représenterait également la mise à jour en mémoire de travail des informations perçues. Son amplitude renseigne sur l'aspect énergétique des processus cognitifs. Si le sujet présente une difficulté dans la discrimination du stimulus, cela se traduira par une diminution de l'amplitude et une augmentation de la latence. Cette onde ayant également une composante attentionnelle, elle peut varier selon les ressources disponibles au moment de l'apparition du stimulus en tâche d'Oddball.

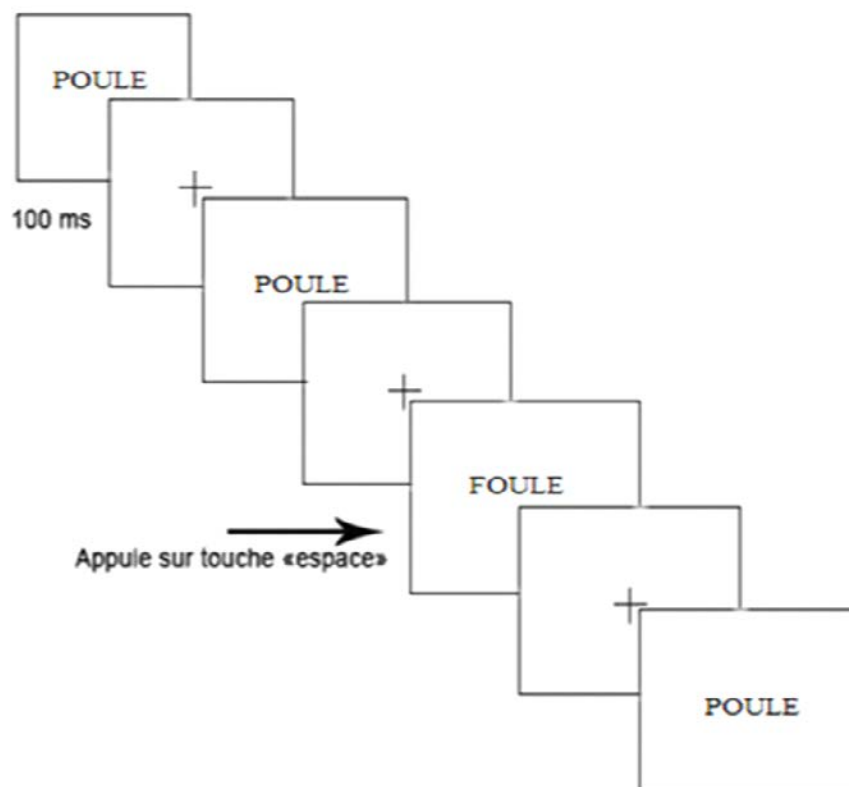


Figure 22 : exemple de tâche d'OddBall. Présentation du stimulus Standard S, répété 80% du temps, et du stimulus Cible O, présenté 20% du temps. On repère la rapidité de la détection du stimulus Cible.

III.7 Hypothèses en Potentiels Evoqués Visuels provoqués chez des Populations vulnérables en lecture

Ce travail de recherche a pour objectif d'étudier les mécanismes neuronaux sous-tendus par la lecture, afin d'apporter des éléments de compréhension aux troubles pouvant survenir lors de l'apprentissage de la lecture, dans des populations vulnérables que sont entre autres les enfants nés grands prématurés. C'est pour comparer à une autre population vulnérable spécifiquement en lecture, que cette étude va tenter de décrire les difficultés que peuvent rencontrer les enfants prématurés. Les enfants nés grands prématurés (NGP) ont été comparés aux enfants dyslexiques et normo lecteurs de même âge, mais aussi à des adultes normo lecteurs, suivant la même méthodologie. Les enfants nés grands prématurés présentent des difficultés plus ou moins sévères en lecture, sur représentées par rapport aux enfants nés à terme. Ces troubles n'ont pas fait l'objet d'étude au travers des potentiels évoqués visuels provoqués dans cette population. Il n'y a pas encore de théorie explicative ni de description des PEV de lecture chez les enfants nés grands prématurés dans la littérature actuelle.

Il n'existe pas d'études comparatives publiées, quant à notre objectif final, de mesures par les PEVp d'un éventuel effet d'une rééducation précoce en langage oral sur l'acquisition de la lecture. La première question posée est de savoir si les troubles que rencontrent ces populations d'enfants NGP lors de l'apprentissage de la lecture, résultent du même processus déficitaire et passent par les mêmes étapes de traitement que des enfants dyslexiques non prématurés. Notre recherche en électrophysiologie clinique s'appuie sur l'état des connaissances et, entre autres, sur des résultats préliminaires (Dujardin et al, 2011), rapportant la capacité des PEV en lecture à mettre en évidence différentes procédures de lecture au sein de populations d'adultes dyslexiques. Ce résultat est-il reproductible et comparable chez des adolescents dyslexiques et chez des adolescents nés grands prématurés ? Si dans un premier temps nous avons étudiés des adolescents

dyslexiques nés à terme et des adolescents NGP suivis en consultation pédiatrique, notre perspective est l'étude de l'acquisition de la lecture au sein d'une population bien caractérisée d'enfants nés grands prématurés, dont le développement du langage oral a été suivi dans le cadre de notre PHRC LAMOPRESCO selon deux bras randomisés, comme exposé dans la première partie.

III.7.1 Analyses des PEV lecture chez les dyslexiques.

Différents facteurs peuvent expliquer un dysfonctionnement, comme des difficultés comportementales, cognitives, cérébrales, génétiques et environnementales (Ramus et al., 2003). L'hypothèse prédominante décrit un déficit du système de représentation et de traitement phonologique, gênant le mécanisme de correspondance grapho-phonémique. Il est décrit une atteinte de la conscience phonologique, associée à des difficultés en mémoire verbale à court terme et à un accès contraint au lexique phonologique. De ce fait des difficultés de compréhension, de construction du stock orthographique et de dénomination rapide sont relevées chez l'enfant dyslexique. Des atteintes d'autres fonctions cognitives sont également observées chez les enfants dyslexiques. Un dysfonctionnement de la mémoire de travail verbale et visuo spatiale est parfois retrouvé (Fostick et al., 2018). Un nombre important de travaux a été réalisé auprès de la population de dyslexiques à partir de la méthode des potentiels évoqués visuels (Maurer et al ; 2006 ;2011 ; Mahé et al. 2010, 20Ramus et al 2003), avec plus récemment des communications sur les effets électrophysiologiques des rééducations (Mahé et al, 2018) (Hasko et al., 2013) (Jucla et al, 2010). Certains auteurs ont pu mettre en avant quelques théories explicatives de ces troubles chez les dyslexiques. Maurer (Maurer et al, 2005) a bien décrit l'apparition plus tardive de la N170 à Gauche chez des enfants dyslexiques. Autrement dit, la spécialisation de la N170 avec les mêmes caractéristiques est présente mais avec un décalage de 3 à 4 ans. Cette onde qui a pour fonction un repérage sub-

orthographique précoce est sensible à l'entraînement phonologique, dans plusieurs langues alphabétiques y compris le français (Jucla et al, 2010). Les étapes plus tardives, les ondes N230, P300, P320 et P400 ont également des caractères différents chez les populations dyslexiques par rapport aux normo lecteurs. De nombreux travaux répliqués discutent différentes explications, dont une mémoire de travail plus vulnérable ou encore un stock lexical insuffisant (Stelmack et al, 1988). Les variations significatives des PEV de lecture chez les populations dyslexiques sont bien établies mais dépendent du paradigme expérimental (Van Setten et al, 2019). Ces variations concernent tous les composants du pattern spécifique de lecture mais leurs significations neurodéveloppementales sont encore discutées (Singh et al, 2018). Les marqueurs électrophysiologiques de dyslexie, parfois même avant l'âge de la lecture, sont rapportés dans une perspective de compréhension et de prévention, rejoignant nos objectifs chez l'enfant né prématuré (Pleisch et al.,2019).

III. 8 Méthodologie : matériels et méthodes

Depuis 2013 et de façon chronologique, nous enregistrons en ERP des populations d'adultes, d'adolescents et des enfants normo lecteurs, ainsi que des adolescents et enfants dyslexiques ou vulnérables en lecture afin de préciser et améliorer nos enregistrements et interprétations. Nous avons effectué deux grandes expérimentations au cours de ces années. Une première utilisant des mots de niveau CM1 puis une seconde utilisant des mots plus simples de niveau CE1. Le schéma du déroulement de notre recherche, pour atteindre l'objectif de description du langage oral puis écrit, cliniquement et électro physiologiquement, d'une population d'enfants nés grand prématurés bien caractérisés, est présenté ci-dessous.

Programme de recherche

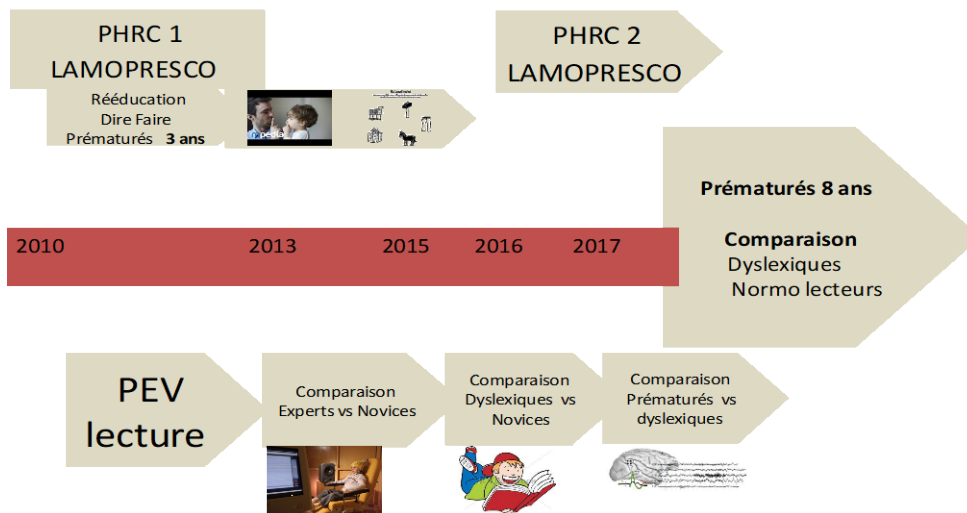


Figure 23 Schéma : notre programme de recherche en PEV lecture s'est articulé avec nos deux PHRCs dont le schéma suivant rappelle la chronologie.

Notre travail de recherche a débuté par l'enregistrement de populations adultes volontaires, pour tester notre méthodologie et s'assurer de nos patterns normatifs de lecture. Au cours de la même année, des adolescents normo lecteurs « témoins » ont été enregistrés. Ces adolescents étaient en classe de 4^{ème} ou 5^{ème}, et ils étaient considérés comme maîtrisant le langage de verbalisation. Ces deux groupes de normo lecteurs (adultes et adolescents) ont été comparés, pour étudier les facteurs maturatifs les différenciant, selon nos paradigmes et méthodologies.

III.8.1 Première expérimentation

La population de cette première expérimentation se composait d'une population témoin, recrutée sur le site de l'Université de Rouen en grande partie. Nous nous assurons d'une vision normale ou corrigée, du français comme langue maternelle, de « l'effcience » et de l'absence de trouble psychiatrique. Les traitements médicamenteux étaient pris en compte afin d'éviter une potentielle interaction avec le protocole. Chaque sujet a participé de son plein gré à l'expérimentation et il était libre d'arrêter à tout moment. Un consentement libre et éclairé (annexe 24) est signé avant le début de la passation. La population d'adolescents

témoins a été sollicitée au sein de 4 collèges différents de Rouen, et le consentement a été lu aux enfants et signés par eux-mêmes et les tuteurs légaux.

Les passations se sont déroulées au sein du Centre de Référence des Troubles du langage et des Apprentissages, au CHU Charles Nicolle de Rouen pour les adolescents, et au laboratoire de l'université de Mont Saint Aignan pour les adultes.

Un bureau rassemblant les conditions optimales de recueil de données par potentiels évoqués visuels était à notre disposition. La pièce était fermée, calme, sans fenêtre, donc très peu lumineuse ; les passations se déroulant le samedi, il n'y avait aucun problème de bruit environnant.

III.8.2 Matériels

Cette manipulation a nécessité deux ordinateurs : un pour recueillir les données (PC d'acquisition), le second pour la présentation des stimulations au sujet (PC de stimulation). A l'unité centrale de l'ordinateur de stimulation est relié l'amplificateur, l'électroencéphalogramme, lui-même relié à l'ordinateur d'acquisition, à l'écran de stimulation et au casque à électrodes (Figure 24).

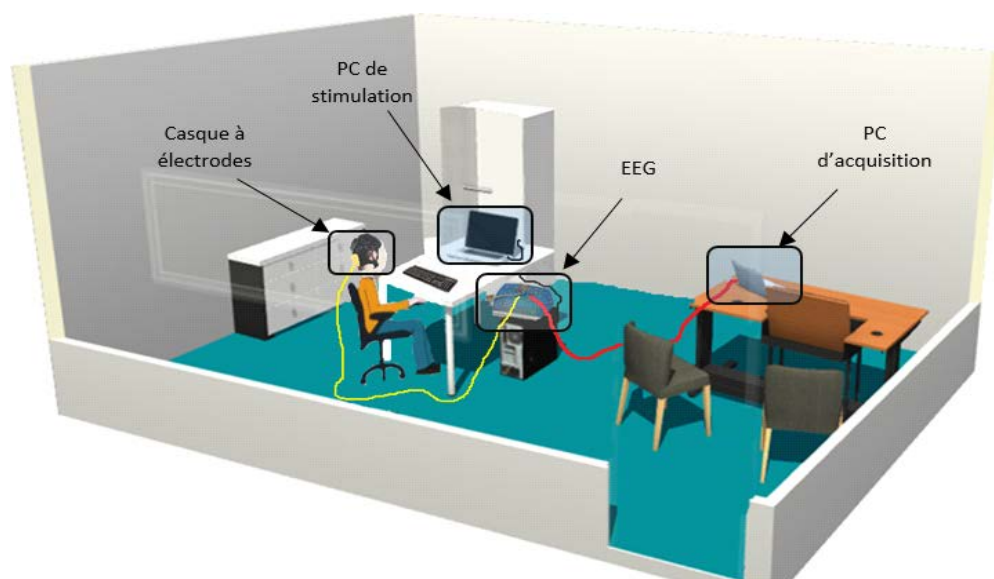


Figure 24 : schéma de la salle et du dispositif d'enregistrement

Notre protocole dure environ une heure et demie, mais varie selon la rapidité du sujet, ses difficultés, et les temps de pause pris dans les tâches expérimentales.

En premier lieu, un recueil d'informations générales sur le sujet est effectué en présence des parents (date de naissance, scolarisation normale ou non, redoublement, traitement médicamenteux ou antécédents médicaux qui ne seraient pas présents dans le dossier médical). Ensuite, le sujet est soumis à une évaluation psychométrique, afin de vérifier les capacités globales intellectuelles mais aussi les capacités de lecture, élément principal de cette recherche. Le premier test administré est la lecture en une minute de Khomsi (LUM) (1999) (annexe 16) Le sujet doit lire en colonne le plus vite possible et le mieux possible jusqu'à ce qu'on lui dise d'arrêter, au bout d'une minute. Cela permet d'avoir une représentation du niveau de lecture à voix haute du sujet et de s'assurer de sa norme en fonction de l'âge scolaire. Le second test administré est la vitesse de lecture silencieuse de Khomsi (2005) (annexe 17). La consigne est de lire silencieusement en deux minutes les mots en ligne, et barrer tous les mots qui sont mal orthographiés (avec un droit d'autocorrection), après démonstration sur un exemple. Ici, le sujet réalise un traitement orthographique du mot et cela permet de spécifier le type d'erreurs réalisées : en effet, le test se compose de mots bien et mal orthographiés. Il y a deux types de mots mal orthographiés : les pseudos logatomes écrits (PLE) qui sont des mots ayant une écriture différente et un son différent du vrai mot, ce qui le rend inexistant (ex : aminal) ; les homophones lexicaux (HP) qui à l'inverse sont des mots ayant un son identique au vrai mot, mais qui ne sont pas écrits correctement (ex : fame). Les PLE relève de la voix phonologique (conversion graphème-phonème) tandis que les HP font appel à la voix lexicale (stock lexical disponible). Comme pour la LUM, ce test permet de situer les capacités de lecture du sujet par rapport à la norme de son âge scolaire, mais plus finement. Les deux derniers tests sont des subtests de la Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC IV) de Wechsler (2005), permettant d'évaluer les capacités non verbales

du sujet. Le subtest des codes renseigne différents points comme la vitesse d'exécution graphique, la coordination visuo-motrice ou la mémoire à court terme (annexe 18). Ici, le sujet a pour consigne de recopier le symbole attribué au chiffre correspondant sur le haut de la page, en ligne, et dans le sens de la lecture. Il dispose de deux minutes pour en réaliser un maximum. Enfin, dans le subtest des matrices (annexe 19) de la WISC IV de Wechsler (2005), le sujet doit compléter une suite logique d'images en choisissant une des cinq propositions qui lui sont présentées ; ce test évalue le raisonnement perceptif abstrait. Enfin nous avons évalué la latéralité avec le questionnaire d'Olfield et Edimbourg mais n'avons pas exploité ces données (annexe 23). A la suite de cette première partie, qui dure environ trente minutes, le sujet passe aux tâches expérimentales sous électroencéphalogramme. Cette méthode est non invasive et indolore pour les participants. Il leur est demandé de rester immobile pendant la phase d'enregistrement, des pauses étant accordées environ toutes les cinq minutes.

III.8.3 Enregistrement des PEV Lecture

Les données comportementales sont enregistrées. Le temps de réaction et le taux de bonnes réponses sont saisis par l'ordinateur de stimulation, puis récupérés en fin de passation. Le casque comporte 32 électrodes (norme 10/20 JASPER – Annexe 20). Il est apposé sur le scalp du sujet, préalablement dégraissé grâce à un sérum hydro-alcoolique. Il existe 3 tailles de casque (S, M, L), choisies selon la circonférence crânienne du sujet, afin qu'il soit le mieux ajusté possible. Enfin, un gel conducteur est appliqué sur le scalp, au niveau de chaque point de contact avec les électrodes du casque, afin de favoriser la conductance des ondes. Une fois cette étape effectuée, nous nous assurons du bon fonctionnement de chacune des électrodes grâce au logiciel ASAlab. L'ordinateur de stimulation va présenter au sujet les stimuli qui composent les tâches expérimentales, tandis que l'ordinateur d'acquisition va recueillir les données électrophysiologiques émises

au travers de l'amplificateur, grâce au logiciel ASAlab. Quatre fichiers d'acquisition sont récupérés à partir desquels les signaux sont traités. Les filtres de fréquence sont classiques entre 0,1 et 30 Hertz. Les artéfacts sont retirés en choisissant une fenêtre de -75 microV et + 75 microVolt. La ligne de base est « calculée » à -0,5 sec et les extractions sont de -0,1 à 1 sec. Le moyennage des signaux est obtenu par ASAlab pour chaque individu et le pattern de lecture apparait par sujet avec le nombre de passation lisibles et interprétables, pour chaque condition afin de construire de pattern. Deux tâches sur ordinateur sont administrées et contrebalancées de manière qu'il n'y ait pas d'effet d'ordre. Ainsi, chaque sujet doit choisir un chiffre, soit 1, soit 2. Un correspond à la tâche de décision lexicale, 2 correspond à la tâche d'Oddball. Dans le cas où le sujet choisit, par exemple 1, il commencera par la décision lexicale et inversement.

III.8.3.1 Décision lexicale

La décision lexicale (DL) est la tâche où le sujet doit juger si le mot qui apparait à l'écran est un mot qui existe (mot) ou qui n'existe pas (pseudo-mot). Pour cette tâche, une série de stimuli mots et pseudo-mots est présentée aléatoirement. La durée d'apparition est définie à 1 seconde et l'intervalle inter-stimulus à 2 secondes. La tâche se décompose en quatre blocs, permettant ainsi au sujet de prendre un temps de pause entre chaque série. Chaque bloc est composé de 40 stimuli aléatoires (20 mots réguliers et fréquents selon Manulex et 20 logatomes ou pseudo mots), répétés pour chaque bloc. Les mots et pseudo-mots présentés sont tous composés de 6 lettres (deux syllabes). La liste de mots utilisés pour la Décision lexicale pour la première expérimentation est en annexe 21. Dans le cadre du modèle à double voie de Coltheart, cette tâche fait appel à la voie lexicale pour les mots connus et à la voie phonologique pour les pseudo-mots. Elle permet de confronter tous les sujets, qu'ils soient normo lecteurs, prématurés ou dyslexiques, avec leur niveau d'automatisation des deux voies de la lecture. Selon le modèle de Gombert, les deux voies

vont varier ensemble. La lecture à haute voix, via la LUM, versus la lecture silencieuse, via VL, révéleront les difficultés.

III.8.3.2 Oddball

Le paradigme Oddball consiste à identifier un changement entre deux stimuli et permet de mettre en évidence l'onde P300 dont l'interprétation reste discutée. Cette tâche sera utilisée pour évaluer la discrimination de mots de cinq lettres, proches phonologiquement, dont une seule lettre sera changeante. Chaque mot se présente en couple avec une transformation au niveau de la lettre initiale (Vente/Pente) ou au niveau de la syllabe finale (Corse/Corde). Nous avons choisi des couples de mots dont les phonèmes peuvent être proches ou au contraire éloignés des visèmes. Le mot standard est présenté aléatoirement à 80% du temps, tandis que le mot cible à détecter, l'est à 20%. Le mot standard est indiqué au début de chaque bloc. Le participant doit appuyer sur la touche « espace » avec ses deux index, seulement lorsqu'il voit un mot cible présenté. Chaque mot apparaît une seconde. Le temps de réponse est de 2 secondes. Par exemple, le 1^{er} mot standard « pente » apparaît pendant 1 sec, puis l'épreuve du 1^{er} bloc démarre avec apparition de façon aléatoire des mots cibles « vente » ou « fente » 14 fois et « pente » 64 fois. La liste des mots de la tâche d'OddBall est en annexe 22. Chaque bloc présente une tierce de mots différents avec un mot standard et deux mots cibles, morphèmes et visèmes proches. L'ordre des neuf blocs est randomisé. La durée de passation de chaque bloc se termine en quatre minutes et l'enfant prend une durée de pause qui lui convient. La tâche dure 40 minutes. Entre chaque bloc et chaque paradigme l'enfant peut boire, manger et se détendre. En étude comportementale, nous faisons l'hypothèse que les temps de réaction serait plus long chez les enfants que chez les adultes. En revanche et compte tenu de la tâche de lecture simple, on s'attendait à ce que les taux de bonnes réponses soient les mêmes dans les deux populations. En étude électrophysiologique, nous pensions voir des

ressources attentionnelles plus importantes chez l'enfant que chez l'adulte en raison d'un degré moindre d'expertise dans la lecture. Cette différence serait visible à travers les composantes associées à ces processus via une amplitude plus grande chez l'enfant. Les caractéristiques (amplitude, latence et décours temporel) des composantes associées aux processus de lecture (P1, N170 et N230) seraient distinctes entre les deux populations par leur différence d'expertise en lecture, soit uniquement l'aspect maturatif neurodéveloppemental

III.8.4 Analyses statistiques

Des analyses statistiques ont été réalisées selon notre méthodologie. Pour cela, les signaux électrophysiologiques ont été segmentés en fenêtres temporelles encadrant chaque composante à analyser. Ainsi, la composante P1, est étudiée dans la fenêtre temporelle 60 ms – 152 ms. Le logiciel ASA permet de récupérer la valeur numérique du pic d'amplitude et de sa latence d'apparition pour chaque participant par le peak scoring. Cependant, en ce qui concerne les composantes négatives, la variabilité individuelle a rendu cette mesure informatique initialement laborieuse. Une méthode manuelle a donc été privilégiée pour les composantes N170 et N230. L'étude de l'amplitude et de la latence des composantes s'est faite grâce à une analyse de variance à mesure répétée (ANOVA, logiciel Statistica©). Nous réalisons en fonction, d'autres tests statistiques pour rechercher d'éventuelles corrélations.

IV Résultats première expérimentation

Deux adolescents ont dû être retirés de notre étude car les tests neuropsychologiques ont mis à jour des temps de lecture en dessous de leur âge. Ces enfants ont été pris en charge par le centre de référence des troubles des apprentissages

pour un bilan plus approfondi. Notre première population se compose donc de quinze enfants et de dix-neuf adultes.

IV.1 Population Normo lectrice

IV.1.1 Analyses descriptives des composantes électrophysiologiques

Les différentes passations, en moyenne 30 par stimulus, ont permis d'acquérir des données qui ont été ensuite moyennées par le logiciel ASA pour chaque individu. Le moyennage a permis de construire le tracé moyen sujet par sujet. Le grand moyennage des individus d'un même groupe met en évidence les signaux électrophysiologiques pour ce groupe dans la tâche étudiée. Le tracé électro physiologique suivant montre le grand moyennage des enfants normo lecteurs, lors de la lecture d'un mot fréquent au cours du paradigme de Décision Lexicale. Il est possible de dégager plusieurs composantes comme déjà présenté (figure 25).

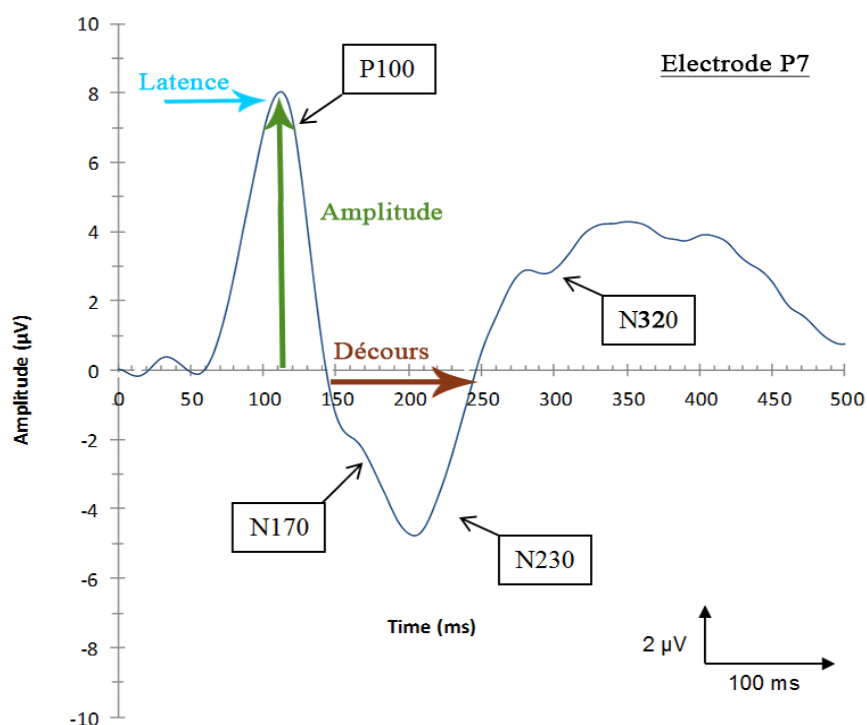


Figure 25 : Tracés électrophysiologiques des sujets des enfants normo-lecteurs enregistrés sur l'électrode P7 en tâche de décision lexicale (mots fréquents et pseudomots).

Tâche décision lexicale

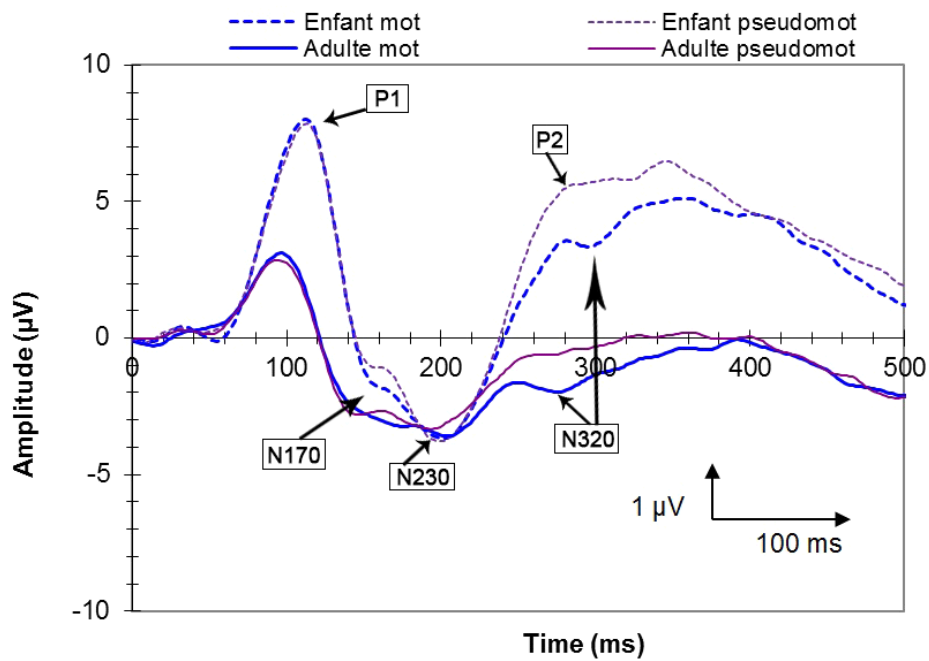


Figure 26 : Décision Lexicale Population Normo lectrice Adulte et Enfants de 12 ans.

Nous comparons nos patterns en Décision Lexicale pour notre population adulte (n=19) en trait plein et notre population enfants (n=15) en trait pointillé.

Dans les deux tâches, Décision Lexicale et OddBall, la composante P1 présente une amplitude plus élevée chez l'enfant (figure 27). L'activité de lecture semble nécessiter davantage de ressources attentionnelles dans cette population. L'enfant présente un traitement généralement retardé par rapport à l'adulte, probablement dû à l'amplitude de l'onde P1 qui retarderait toutes les autres composantes

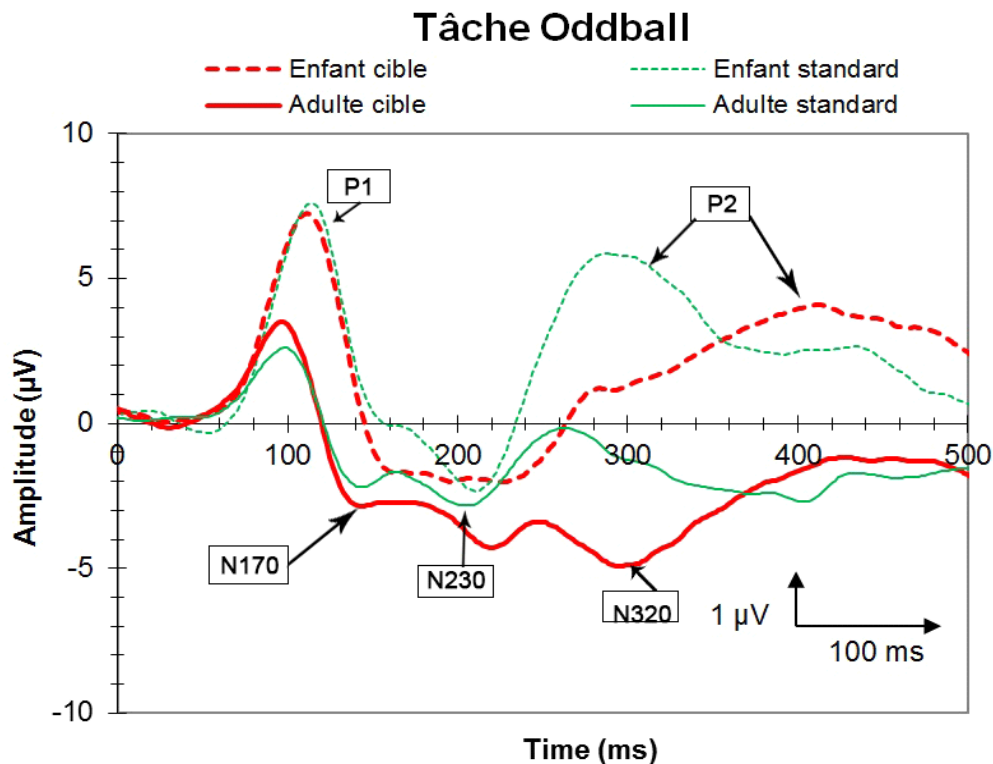


Figure 27 : Tracés électrophysiologiques des sujets adultes et des enfants normo-lecteurs enregistrés sur l'électrode P7 dans une tâche d'oddball (mots standard répétés à 80 % et mots cibles répétés à 20 %).

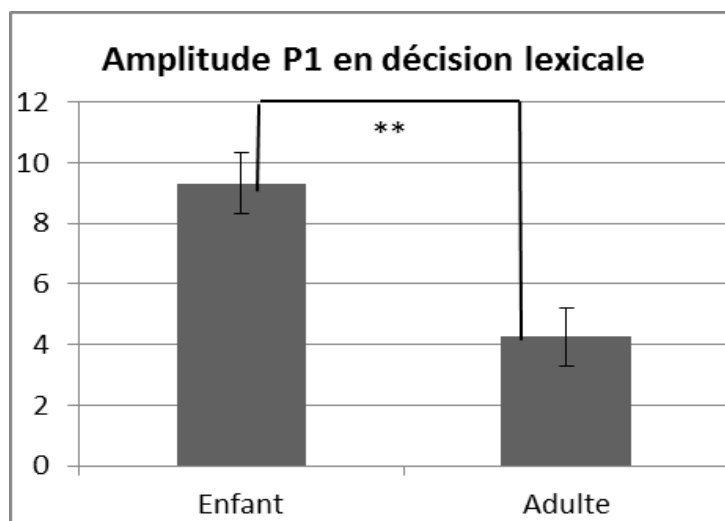
. Dans la tâche d'Oddball, il semble que seul le groupe des adultes parvient à discriminer dès 100 ms l'item standard d'un item cible. Cette précocité dans la détection du changement serait favorisée par l'expertise. La moindre amplitude de la composante P1 pour l'item standard pourrait refléter une baisse de l'attention due à la répétition des stimuli. Au niveau de la composante N170, la tâche de décision lexicale montre que les enfants ont une amplitude plus importante pour les mots que pour les pseudomots, ce qui n'est pas retrouvé chez l'adulte. La tâche Oddball met en évidence une différence de traitement et une détection du changement orthographique entre un item cible et un item standard dans les deux groupes. Dans les deux tâches, seuls les adultes semblent présenter une différence d'amplitude entre les deux items au niveau de la composante N230. De plus, dans la tâche Oddball, le traitement de la cible semble retardé, dans les deux populations. Cela pourrait être dû à la moindre répétition de cet item qui génère une mise à jour de la mémoire, et donc un traitement plus long.

IV.1. 2 Résultats statistiques

IV.1.2.1 Analyses statistiques des données électrophysiologiques de la tâche décision lexicale

IV.1.2.1.a Analyse de la P100

L'analyse de l'amplitude de la composante P1 (Figure 28) révèle une différence significative entre les deux groupes ($F(1,32)=13.06$; $p=0.001$) confirmant nos analyses descriptives. L'enfant présente une onde P1 plus ample de quatre microvolts que celle de l'adulte, quel que soit l'item présenté (HSD de Tukey $p=0.001$). La latence de cette composante ne révèle pas de différence significative mais seulement une tendance pour un effet de groupe ($p=0.06$). Un plus grand nombre de sujets nous permettrait probablement de mettre en évidence un traitement plus tardif chez l'enfant.



I

Figure 28 : Comparaison entre les enfants et les adultes de l'amplitude de l'onde P1 en tâche de décision de lexicale.

V.1.2.1.b Analyse de la N170

Aucune différence significative entre nos deux populations n'a pu être mise en évidence pour cette composante, tant pour la latence ($F(1,32)=2.49$; $p=0.12$) que pour l'amplitude

($F(1,32)=1.19$; $p=0.28$). Soit le nombre de sujets est insuffisant pour mettre en évidence une différence, soit le traitement sub lexical neurophysiologique des adolescents normolecteurs est déjà automatisé pour nos mots simples, et la N170 n'est pas différente de celle de l'adulte. Nous discuterons le rôle du stimulus.

IV.1.2.1.c Analyse de la N230

Concordant avec nos observations, l'amplitude de la N230 est significativement modulée par l'item chez l'adulte. En effet, la N230 est plus ample lors de la présentation d'un mot par rapport à un pseudomot ($F(1,18)=5.96$; $p=0.025$ HSD de Tukey $p=0.025$). Aucun effet significatif ne ressort de l'analyse de l'amplitude entre les deux groupes. Cependant, la comparaison est significative en ce qui concerne la latence de la N230 ($F(1,32)=3.91$; $p=0.05$ HSD de Tukey $p=0.05$). (Figure 29). Le traitement lexical chez l'enfant serait retardé de vingt millisecondes, et ce quel que soit l'item présenté.

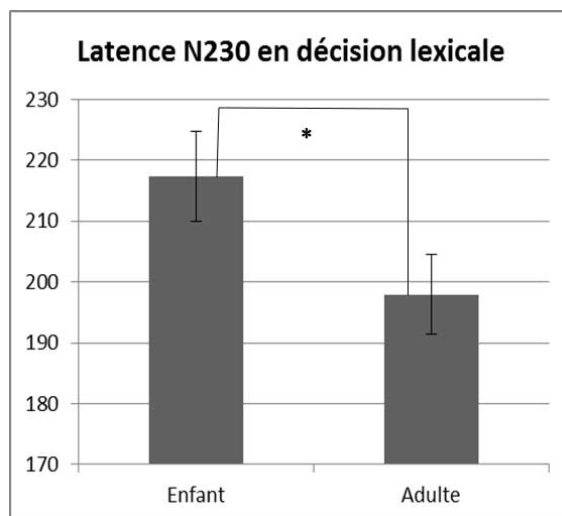


Figure 29 : Comparaison entre les enfants et les adultes de la latence de la N230.

IV.1.2.2 Analyses statistiques des données électrophysiologiques de la tâche

Oddball

IV.1.2.2.a Analyse de la P100

Une différence significative entre les deux groupes au niveau de l'amplitude de la P100 est également retrouvée pour cette tâche ($F(1,32)=16.83$; $p<0.000$), (Figure 30). L'enfant génère une onde plus ample que l'adulte, avec près de quatre microvolts de différence.

De plus, les statistiques confirment que seul l'adulte discrimine précocement le standard de la cible ($F(1,18)=5.33$; $p=0.03$ HSD de Tukey $p= 0.033$), puisque l'item cible est plus ample que l'item standard. Chez l'enfant, cet effet n'est pas retrouvé ($F(1,14)=0.01$; $p=0.91$). (Figure 31).

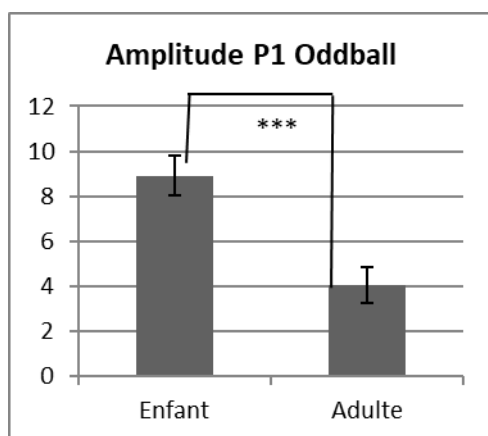


Figure 30 Effet population sur l'amplitude P1

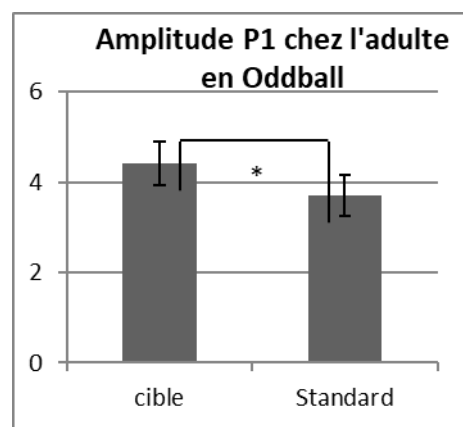


Figure 31 Effet de l'item – cible et standard

chez les adultes sur l'amplitude de l'onde P1 en OB.

Tout comme l'analyse de la tâche de décision lexicale, la latence de la composante P1 ne montre pas de différence significative entre les enfants et les adultes. Cependant, avec un seuil à $p=0.07$, cela reste une tendance qui pourrait devenir significative avec un plus grand nombre de sujets. Dans les deux tâches, l'enfant présenterait donc un retard de dix millisecondes pour cette composante, montrant que l'amplification des ressources attentionnelles lors de l'extraction des caractéristiques physiques pourrait rallonger le traitement de quelques millisecondes. Ce retard pourrait avoir des conséquences sur les composantes suivantes. Chez l'adulte, un effet top down pourrait aider à diminuer l'attention nécessaire pour accomplir ce traitement et permettre une extraction plus rapide des caractéristiques physiques.

IV.1.2.2.b Analyse de la N170

Aucune significativité n'est retrouvée en comparant l'amplitude de la N170 entre les enfants

et les adultes pour ($F(1,32)=3.04$; $p=0.09$).

Quand les deux groupes sont pris séparément, une tendance à la significativité est trouvée seulement chez l'enfant, en faveur d'un item cible générant une onde N170 plus ample que l'item standard ($F(1,14)=3.75$; $p=0.07$).

Le traitement est significativement retardé de vingt millisecondes chez l'enfant ($F(1,32)=5.33$; $p=0.027$ HSD de Tukey 0.027), (Figure 32). Ce retard pourrait s'expliquer par la plus grande amplitude de la composante P1, mais aussi par la nécessité d'un traitement orthographique plus long pour cette tâche.

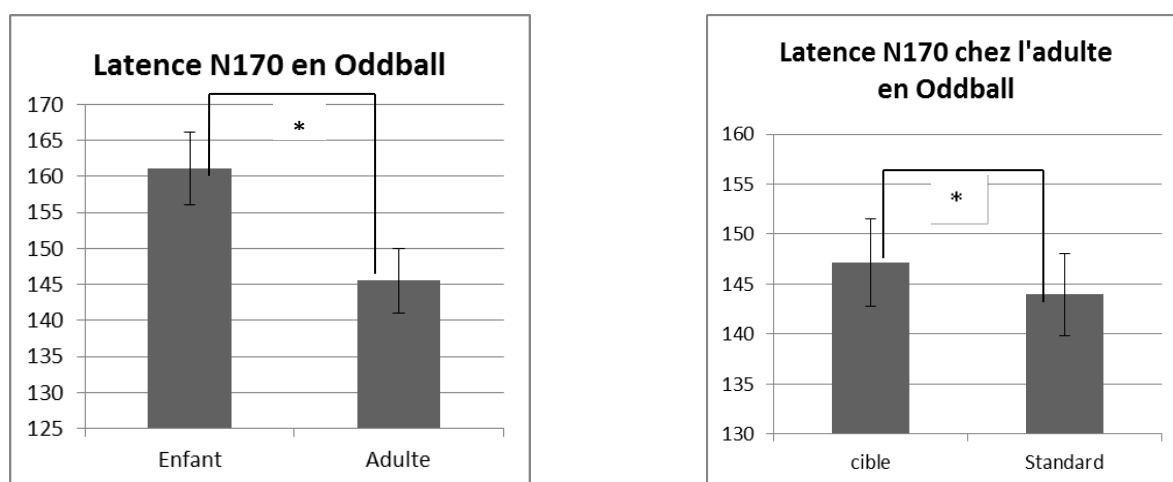


Figure 32 à gauche : Comparaison entre les enfants et les adultes de l'amplitude de l'onde N170 en tâche Oddball. A droite : Effet de l'item – cible et standard - chez les adultes sur l'amplitude de l'onde N170 en tâche Oddball.

Dans la population adulte, un effet de l'item sur la latence est également observé. Le mot cible semble être traité plus tardivement que le mot standard, ($F(1,18)=4.82$; $p=0.04$ HSD de Tukey 0.04), (Figure 9) L'effet de répétition des stimuli pourrait expliquer ce résultat, comme cela a été mis en évidence par Simon (Simon et al., 2004).

IV.1.2.2.c Analyse de la N230

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les groupes, tant pour l'amplitude ($F(1,32)=1.89$; $p=0.18$) que pour la latence ($F(1,32)=0.50$; $p=0.48$).

Cependant, les deux groupes présentent une différence significative de l'amplitude selon l'item présenté ($F(1,32)=16.05$; $p<0.000$) - Le test de Tukey prouve cette significativité chez l'enfant avec un $p=0.04$ et chez l'adulte $p=0.03$. La cible serait plus ample d'environ 1.5

microvolt par rapport au standard. Concordant avec les résultats précédents, cet effet pourrait être une conséquence de la répétition de l'item standard. Ces résultats sont retrouvés en analysant les deux groupes séparément. L'adulte ($F(1,18)=10.29$; $p=0.005$ HSD de Tukey $p=0.005$) et l'enfant ($F(1,14)=6.26$; $p=0.02$ HSD de Tukey $p=0.02$) présentent une onde plus ample pour l'item cible, (Figure 32) à gauche et à droite.

Enfin, en ce qui concerne la latence, les résultats ne mettent pas en évidence de différence significative entre les deux groupes ($F(1,32)=0.50$; $p=0.48$). Néanmoins, la population adulte semble présenter un traitement retardé de la cible de dix millisecondes. L'analyse statistique ne révèle qu'une tendance à la significativité ($F(1,18)= 3.61$; $p=0.73$) et cette différence de traitement n'est pas retrouvée chez l'enfant ($F(1,14)=0.08$; $p=0.77$). Ces résultats pourraient montrer une spécialisation du traitement chez l'adulte qui serait encore en cours d'acquisition chez l'enfant.

IV.1.2.3 -Analyse statistique des résultats comportementaux

Les données de la tâche Oddball ont pu être traitées statistiquement. Les données comportementales en Décision Lexicale n'ont pu être saisies correctement du fait d'une défaillance informatique. L'analyse comporte le taux de bonnes réponses à la cible ainsi que le temps de latence.

IV1.2.3.a Analyse statistique du pourcentage de bonnes réponses

L'analyse du taux de bonnes réponses ne permet pas de conclure à une différence entre les deux groupes ($F(1,31)= 0.16$; $p = 0,69$). Cependant, il existe un effet de l'item ($F(1,31)= 41.46$; $p<0,000$) montrant que le taux de bonnes réponses à l'item standard (où les participants ne doivent pas appuyer) est plus important (99%) que le taux de bonnes réponses à l'item cible (90 %) (HSD Tukey $p<0.000$) et ce, quelle que soit la population.

IV.1.2.4. Analyses statistiques des tests psycho linguistiques

IV.1.2.4.a Les tests de lecture

Le test de vitesse de lecture de Khomsi (VL) apporte des données abondantes concernant la lecture. Toutes montrent une significativité entre enfant et adulte.

La vitesse de lecture en elle-même ($F(1,32)= 16;589$; $p<0,000$) confirme que les adultes lisent plus rapidement que les enfants avec une différence de seize mots en moyenne (HSD de Tukey $p<0.000$). Ce résultat est attendu puisque, le test s'arrêtant à dix-huit ans, il semble que la vitesse de lecture augmente jusqu'à cet âge., Conformément à ce qui est attendu, les adultes présentent de meilleures performances au niveau du traitement phonologique (PLE) ; ils traitent huit mots de plus que les enfants ($F(1,32)= 22;218$; $p<0,000$, HSD de Tukey $p<0.000$). On retrouve ces mêmes performances pour le traitement purement orthographique (HP), avec neuf mots de différence ($F(1,32)= 10,762$; $p=0,0025$ HSD de Tukey $p = 0.0026$). Cela mène à une précision de lecture également significative ($F(1,32)= 15 ;382$; $p<0,000$ HSD de Tukey $p < 0.000$), les adultes montrant un écart de 6 % par rapport aux enfants, (Figure 33) . Le test de la LUM vient confirmer ces résultats puisqu'en une minute, les adultes lisent dix mots de plus que les enfants ($F(1,31)= 11.78$; $p = 0,001$ HSD de Tukey $p = 0.001$). (Figure 33)

IV.1.2.4.b Les tests de raisonnements

Le test des matrices ne révèle pas de différence significative entre les enfants et les adultes ($F(1,32)= 1.0523$; $p = 0.313$), ni le test du Code ($F(1,32)= 0.000$; $p = 0,997$). Les deux populations se trouvent aux alentours de onze pour la note standard, aux deux tests. Les performances sont donc tout à fait dans la moyenne de leurs âges.

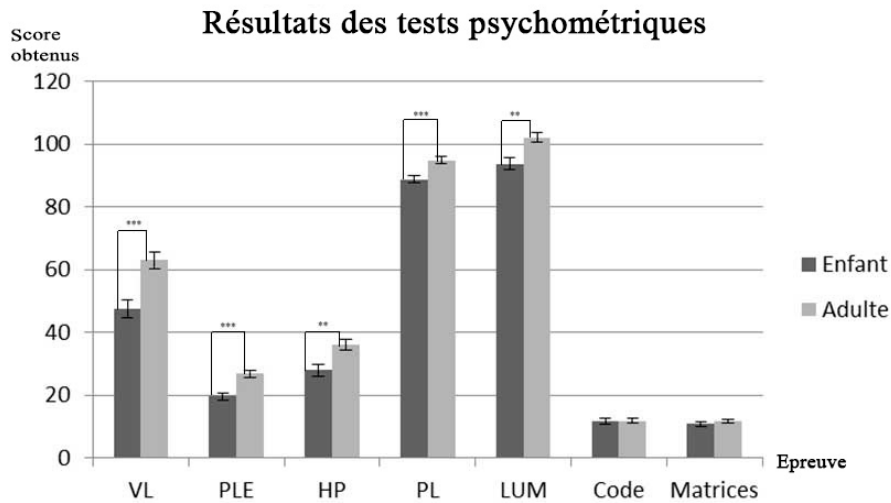


Figure 33 : Résultats comparatifs des scores psycholinguistiques des adultes et enfants Normo lecteurs

IV.1.3 Synthèse des principaux résultats dans les tâches de Décision Lexicale et d'Oddball dans nos 2 populations témoins Adultes et Adolescents.

L'ensemble des résultats met en évidence une amplitude plus élevée chez l'enfant (quatre microvolts) au niveau de la composante P1. Le traitement perceptif précoce semble générer une activation neuronale plus importante, ce qui suggère la nécessité de ressources attentionnelles accrues chez les enfants par rapport aux adultes. L'amplification de ce traitement tend à retarder sa latence d'exécution, même si la significativité statistique n'est pas atteinte. De plus, l'amplification du traitement perceptif précoce semble avoir des conséquences sur les étapes ultérieures, à savoir orthographique (composante N170), et lexicale (composante N230), et ce en fonction de la tâche.

En conclusion, il semble bien y avoir un effet « d'expertise » dans la mesure où l'enfant, étant en cours d'acquisition, il a besoin de ressources attentionnelles importantes induisant un retard des étapes ultérieures. Cet effet est confirmé par les résultats des tests en vitesse de lecture, les adultes présentant une vitesse plus importante que les enfants.

Ces premiers patterns normatifs avec la fluctuation de leurs différents composants sont ceux retrouvés dans la littérature. Notre méthodologie utilisant des mots simples est

correcte, la N170 semble apporter des hypothèses maturatives complémentaires et a été publié. (Publication 1).

IV.1.4 Discussion : Effet de la maturation et de la spécialisation de la lecture au travers de nos résultats

IV.1.4.1 La composante P1 et l'attention

La composante P1 (P100) est l'onde la plus précoce dans le traitement visuel des stimuli. Elle représenterait l'extraction des caractéristiques physiques du stimulus ainsi que les processus attentionnels qui sont impliqués dans la tâche (Hillyard, et al., 1998). Selon Taylor (Taylor,2002), l'onde P1 n'est pas seulement modulée par l'attention spatiale, mais aussi par l'attention sélective. En effet, il semble exister un **effet top-down** qui influencerait sur cette composante. Grâce aux résultats de cette première étape, nous pouvons supposer que cet effet *top-down* agirait sur l'attention portée sur les stimuli langagiers. Ainsi, chez le lecteur expert, les items langagiers seraient si souvent manipulés et intégrés en mémoire que les attentes du sujet influenceraient l'identification perceptive. Cet effet, s'il existe chez l'enfant, ne semble pas encore très opérant puisque l'augmentation de l'amplitude de la P1 nous permet d'observer le besoin de ressources attentionnelles plus importantes dans cette population. Ces résultats concordent avec ceux de Brem (Brem et al.,2006) qui étaient similaires, mais chez des adolescents d'une moyenne d'âge de seize ans. Cette différence d'amplitude pourrait refléter une maturation non spécifique, et donc l'activation d'un plus grand nombre de neurones. Cette idée avait déjà été expérimentée par Taylor (Taylor, 1988) avec une étude développementale dans une population allant de sept à dix-huit ans. On peut relever **un processus extrêmement lent** sur le plan maturatif neuro développemental, et ce **indépendamment de la difficulté des mots à lire**.

Le modèle de La Berge et Samuels (Bowers et al, 1991) stipule que le coût attentionnel de la lecture décroît avec l'expertise. Au commencement de l'apprentissage de la lecture,

l'enfant apprend chaque lettre, puis la correspondance du son de chaque phonème avec son graphème. Pour le lecteur en début d'apprentissage, la lecture consiste tout d'abord à décoder chaque mot, syllabe par syllabe, puis à mesure de l'enseignement, les mots sont lus directement dans leur globalité sur des représentations d'unités écrites plus larges. Autrement dit, en faisant le lien avec le modèle de Frith (1985), le traitement orthographique évolue pour devenir alphabétique. Dans ce modèle, la lecture serait donc efficace lorsque le lecteur maintient son attention sur le sens grâce à un décodage visuel automatique. Cette hypothèse peut être supportée en observant la lecture d'un jeune enfant. Souvent, il se concentre sur le décodage et rencontre des difficultés pour accéder au sens. Lorsqu'il doit restituer ce qu'il vient de lire, il lui faut un long temps de réflexion ainsi qu'un appui sur le texte. Le lecteur adulte, lui, accède au sens dès le déchiffrage parce que le décodage est devenu automatique. Dans notre population d'enfants, il peut être supposé que l'attention visuelle reste coûteuse, parce qu'un lien fort est encore nécessaire avec le niveau phonologique et la recherche en mémoire qui permet le décodage. On peut aussi faire l'hypothèse que l'anticipation de la recherche de mot différent, ou de non mot, maintienne une activité attentionnelle coûteuse. Cette activité attentionnelle importante, dévoilée au cours de ces paradigmes de lecture de mots très simples, démasque la faible automatisation et le coût du « jugement » par lequel passe l'apprentissage de la lecture. Etant donné son expérience de lecture relativement récente, l'enfant semble avoir besoin de plus grandes ressources attentionnelles, dès cette étape d'extraction visuelle. Cette observation concorderait avec les résultats de Grossi (Grossi et al.,2001) qui a établi que les changements d'amplitude et de latence au niveau des ondes P100 et N170 pourraient démontrer l'efficacité des processus visuels. Ainsi, ces ressources attentionnelles plus importantes chez les enfants normo lecteurs reflèteraient une adaptation liée à leur statut d'apprentis. Une étude faite dans trois langues différentes conclut d'ailleurs, que l'attention visuelle pourrait être prédictrice de futures habiletés de

lecture (Franceschini et al., 2012). En outre, une étude sur la fréquence des mots démontre que la singularité avec laquelle les mots sont rencontrés a une influence sur le nombre de connexions synaptiques nécessaires (Hauk et al., 2004). Ainsi, l'automatisation de la lecture et la familiarisation avec les stimuli langagiers permettraient la construction d'un réseau, plus spécialisé et plus efficace, qui induirait une baisse du coût attentionnel lors de la lecture. Ainsi, l'amplitude plus importante de l'onde P100 (P1) semble faire partie du processus typique de l'apprentissage de la lecture. Il reste à déterminer l'âge auquel cette amplitude décroît pour atteindre celle de l'adulte. Selon certains auteurs, cette similarité ne serait pas atteinte à seize ans bien que la vitesse de lecture de pseudomots soit équivalente entre les adolescents et les adultes (Brem et al., 2006). Seule l'amplitude de P1 était significativement différente de celle de l'adulte. La latence n'obtient qu'une tendance statistique, ce qui amène à penser qu'un effectif plus important pourrait atteindre un seuil significatif. Toutefois, il est également possible de suggérer que la vitesse de traitement s'acquiert avant l'économie au niveau attentionnel. Le gain en rapidité de lecture ne pourrait se faire sans l'appui de ressources attentionnelles accrues, essentielles pour éviter des erreurs de lecture. Cette hypothèse concorde de nouveau avec les travaux « princes » de La Berge et Samuels (1974). La compréhension lors de la lecture s'acquiert en réorganisant la lecture des mots en unités plus grandes. Alors qu'il procède à cette réorganisation, l'enfant se doit de ralentir la lecture pour éviter de commettre des erreurs et accéder à une compréhension correcte. A mesure de l'automatisation, la vitesse de lecture peut augmenter sans générer plus d'erreurs, mais au prix de ressources attentionnelles importantes.

IV.1.4.2 La composante N170 et le traitement sub orthographique

L'amplitude de cette composante N170 serait influencée par les stimuli orthographiques au niveau occipito-temporal de l'hémisphère gauche (Bentin et al, 1999, Simon et al, 2004). Cependant, une étude (Coch et al., 2012) dévoile que chez l'enfant de onze ans, l'amplitude

de la composante N170 n'est pas différenciée selon un item orthographique (mots et pseudomots) ou non orthographique (symboles). Ces résultats pourraient mettre en évidence l'importance de la durée nécessaire pour le développement de l'architecture neuronale, permettant le traitement efficace des processus orthographiques pré lexicaux. Cette étude pourrait expliquer la raison pour laquelle aucun effet n'a été observé sur l'amplitude de l'onde N170 entre nos différents items, chez les adolescents. Si, à l'âge de onze ans, les stimuli langagiers ne présentent pas une amplitude plus grande que des stimuli non langagiers, il est possible de supposer que deux ans plus tard, la discrimination entre deux stimuli langagiers ne génère pas encore de différence d'amplitude, comme si le coût était le même à la différence de la lecture experte plus tardive.

Néanmoins, il ne semble pas que l'âge soit le seul facteur qui influe sur cette composante. En effet les processus d'apprentissage induiraient une onde N170 bilatérale même chez l'adulte (Maurer et al., 2005). Leur protocole consistait à faire correspondre des stimuli abstraits avec des mots ou des images. Ce nouvel apprentissage a permis d'observer une bilatéralité coïncidant avec la nécessité de rassembler une grande population de neurones pour apprendre de nouvelles connaissances. L'expertise aidant, les neurones se spécialisent pour permettre une plus grande rapidité de traitement en un coût moindre. Notre étude a permis de mettre en évidence un retard de latence de la N170 chez les enfants dans la tâche Oddball, et donc un effet de la tâche. Nous utilisons le paradigme Oddball afin d'observer la discrimination entre deux items avec des composantes orthographiques proches. Cette tâche nécessiterait un traitement précis au niveau orthographique, et ce traitement pourrait expliquer le retard de près de vingt millisecondes observées chez les enfants par rapport aux adultes. Il avait déjà été remarqué qu'une tâche orthographique pouvait moduler l'amplitude de l'onde N170 chez l'enfant de dix ans (Spironelli et al., 2009). En effet, cette tâche était celle qui générait la plus grande amplitude de la N170, comparée à une tâche phonologique ou sémantique. De

plus, ces auteurs ont démontré, en sommant quatre électrodes par hémisphère, une latéralisation à droite pour les mots chez des enfants de dix ans. Dans notre recherche, l'hémisphère gauche des enfants de treize ans est majoritairement impliqué dans le traitement des mots. Il est possible de supposer que l'une des stratégies pour réussir cette tâche Oddball pourrait consister à repérer le changement de lettre et à se concentrer sur ce point précis. Le retard des enfants de près de vingt millisecondes, montrerait que ce traitement nécessite plus de temps, probablement parce que la stratégie adoptée est différente. L'enfant aurait besoin de décoder chaque syllabe du mot, alors que l'adulte pourrait le lire par un traitement logographique, ou ne traiter que la lettre changeante, ce qui est moins coûteux et donc plus rapide (Dujardin et al., 2012). Chez l'adulte, nous avons également pu mettre en évidence un retard de quatre millisecondes pour le traitement de la cible. Simon et al (2004) a établi que la répétition d'un stimulus pouvait influencer sur cette onde grâce à un effet « top-down », permettant une recherche plus rapide en mémoire (Simon et al, 2004). Cela pourrait expliquer que l'item standard, répété à 80% du temps, soit traité plus rapidement que l'item cible présenté à 20 %. La différence entre les deux types d'item, standard et cible, n'est pas retrouvée chez l'enfant, ce qui amène à s'interroger sur l'efficacité de l'effet top-down dans cette population. La question qui reste posée est de savoir s'il existe une automatisation de l'effet top down et, si tel est le cas, à quel âge.

IV.1.4.3 La composante N230 et le traitement sub lexical

Cette composante reflète la recherche du mot dans le stock lexical. Certains auteurs ont démontré que la N230 était sensible aux mots fréquents, aux mots peu fréquents, et aux pseudomots, avec une onde plus ample lorsque les mots peu fréquents étaient répétés deux fois, plutôt que cent fois. En effet, la répétition permet une recherche en mémoire moins importante et génère donc une amplitude plus faible de la composante N230. Cet effet est retrouvé dans la tâche Oddball, puisque les enfants comme les adultes présentent

une onde N230 plus ample pour la cible que pour le mot standard répété plus souvent. La répétition de l'item aiderait donc la recherche en mémoire dans le stock lexical, et ce, dès treize ans.

Dans une étude sur la fréquence des mots, des auteurs ont exposé que le cerveau distinguait très tôt les processus lexicaux (Penolazzi et al.,2007). Il y aurait bien une architecture neuronale spécifique pour les mots, dépendante de la fréquence de ceux-ci pour moduler son activation. De nombreux auteurs ont placé cette recherche lexicale à environ 200 ms après le stimulus (Marslen-Wilson and Tyler, 1975, 1980; Sereno and Rayner, 2003 cités par Penolazzi et al, 2007). Selon eux, cet accès lexical est également influencé par la longueur des mots. Dans notre étude, les mots sont courts et ne nécessitent probablement que peu de recherche phonologique. C'est cette recherche qui, selon ces auteurs, retarderait l'apparition du traitement lexical. Lors de la tâche de décision lexicale, seul l'adulte génère une plus grande amplitude pour les mots que pour les pseudomots. Ce résultat refléterait un niveau d'expertise plus important, car l'adulte traite spécifiquement chaque item et semble chercher de manière plus précise le mot dans le stock lexical. L'enfant semble traiter les deux types d'items de la même manière. Ces résultats concordent avec ceux de Lannuzzi (2010) qui avait mis en évidence que l'évènement N2 était généré plus abondamment pour les mots, sur les électrodes pariétales et occipitales de l'hémisphère gauche. Cela pourrait coïncider avec l'activation du « *visual word form area* », et donc refléter un processus lexical, ou bien les échos de processus sublexicaux (Cohen et al.,2000). En effet, cette région fonctionnelle présente dans le gyrus fusiforme s'activerait entre 150 et 200 ms, uniquement pour les mots présentés via la modalité visuelle. Cette aire cérébrale de la lecture ne s'activerait pas encore très efficacement chez l'enfant de huit ans, montrant que l'expertise dans la lecture améliorerait l'activation de cette région (Dehaene et al., 2003). D'ailleurs, selon cet auteur, cette région n'atteint jamais son plein potentiel chez l'adulte dyslexique. Néanmoins, les résultats de

Lannuzzi (2010) vont à l'encontre des effets mis en évidence par Simon et al. (2004), où la N230 était maximale pour les pseudomots puisque leurs propriétés sont semblables aux mots mais n'ont pas d'équivalent dans le stock lexical. Les auteurs avaient conclu que la recherche était donc approfondie pour ces items langagiers absents du stock lexical. En potentiel évoqué auditif, la N2 est générée lorsque le sujet s'attend à une stimulation déviante et serait plus ample selon l'attention portée aux stimuli (Novak et al., 1990 cités par Dubois et al., 2009). Nos résultats en potentiels évoqués visuels sont en accord avec ceux trouvés en auditif. Dans le paradigme Oddball, nous avons remarqué une moindre amplitude de la N230 lors de la présentation de l'item standard par rapport à l'item cible, et ce, dans nos deux populations. Cette observation pourrait être due à un effet de la répétition du stimulus standard permettant un traitement lexical moins coûteux de l'item standard, ou bien à une recherche lexicale plus importante liée à une attention particulière vers le stimulus cible, comme cela a été mis en évidence en potentiel évoqué auditif. Plus généralement, il a été montré que la composante N2 voit sa latence raccourcir à mesure de l'avancement en âge (Taylor et al., 1995). Ces auteurs se réfèrent à de nombreux travaux pour conclure que l'effet de l'âge sur les latences observées dans les potentiels évoqués serait dû à des changements de stratégies, encouragées par la maturation cérébrale, afin de gagner en efficacité. Ces résultats concordent avec les retards de latences retrouvés dans notre étude chez les enfants, en particulier au niveau de la N170 et de la N230. L'ensemble de nos résultats (annexe 26, 27, 28) tend à affirmer nos premières hypothèses. L'étude comportementale au moyen de tests psychométriques a permis de mettre en évidence la vitesse moindre des enfants lors de notre tâche de lecture. De plus, aucune différence n'est retrouvée au niveau du taux de bonnes réponses lors de la tâche Oddball. Ainsi, les enfants et les adultes discriminent correctement un changement orthographique. Enfin, nos résultats suggèrent que les processus de lecture sont spécifiques selon la consigne donnée, puisque les différences observées entre les adultes et les enfants sont

particulières à chacune des tâches proposées. Bien que cette première étape rapportât des variations attendues des composants des patterns en fonction des épreuves de lecture, la N170 ne se différenciait pas entre les deux populations enfant et adulte en Décision Lexicale. La P100 avait une latence et une amplitude différente au dépend des adolescents. Les mots faciles de notre liste pour les deux populations signent une automatisation de la N170 qui peut être apparentée à l'effet tuning rapporté par certains auteurs (Maurer et al., 2006 ; Mahé et al., 2013 ; Zhao et al., 2014). Notre première publication a permis de décrire la méthodologie et de la valider puisque les composants des patterns des deux populations normo lectrices variaient comme attendu selon les deux paradigmes utilisés. Nous rapportons une première interrogation sur la variation maturative de la N170 en fonction de nos stimuli très faciles pour l'âge.

IV.2 Population Adolescente dyslexique :

IV.2.1 Hypothèses

L'importance des ressources attentionnelles dans les processus de lecture a été beaucoup décrite chez les enfants dyslexiques. L'attention sélective serait particulièrement importante durant le décodage phonologique, car elle évite des interférences au niveau perceptuel. Ruffino (Ruffino et al., 2014), rapporte que seuls les enfants atteints de dyslexie phonologique présentent une difficulté attentionnelle sélective. Une certaine catégorie de dyslexiques aurait donc des difficultés à décoder les lettres car ils ne parviennent pas à exclure les autres informations perceptuelles. Il pourrait s'agir d'un défaut de maturation des fonctions d'inhibition. Dujardin (Dujardin et al., 2012), avait déjà mis cette spécificité en évidence chez l'adulte, grâce à une tâche de décision lexicale. En effet, seule une catégorie particulière de dyslexiques présentait une amplitude de P1 plus faible à l'âge adulte. Cette difficulté attentionnelle ne se trouverait donc que chez certains dyslexiques ; ou alors, certains d'entre eux développeraient des processus de compensation face à ce

manque attentionnel. Il semblerait toutefois que cette difficulté attentionnelle n'ait pas été observée que chez des enfants avérés dyslexiques. En effet, une étude a été menée auprès d'enfants de six et huit ans présentant un risque de dyslexie à cause d'antécédents familiaux (Maurer et al., 2007). Dans cette population, l'amplitude de la composante P1 était moindre, comparée aux enfants sans risque. Ce résultat avait été démontré par ces mêmes auteurs chez des enfants en maternelle, montrant que cette baisse d'amplitude n'était pas spécifique aux mots. La population dyslexique présenterait donc un déficit plus général de l'attention. Cette étude ne semblait pas prendre en compte les différents types de dyslexies. Au vu de ces publications, et devant nos premiers résultats, la population d'enfants dyslexiques étudiée selon notre protocole, avec les mêmes mots simples, devrait montrer une amplitude moindre au niveau de la composante P1 par défaut potentiel de recrutement attentionnel. Outre les particularités attentionnelles, l'hypothèse émise sur les enfants dyslexiques est une différence significative sur les caractères d'amplitude et surtout de latence de la N170 sub-orthographique, au vu de nos résultats sur la population normale lectrice du même âge et en accord avec la littérature. L'effet tuning ne devrait pas être retrouvé dans notre population dyslexique comme décrit dans des travaux récents (Eberhard-Moscicka et al., 2019). Cet effet pourrait être supporté en partie par le modèle connexionniste de mémoire multi-traces d'Ans, Carbonnel et Valdois.

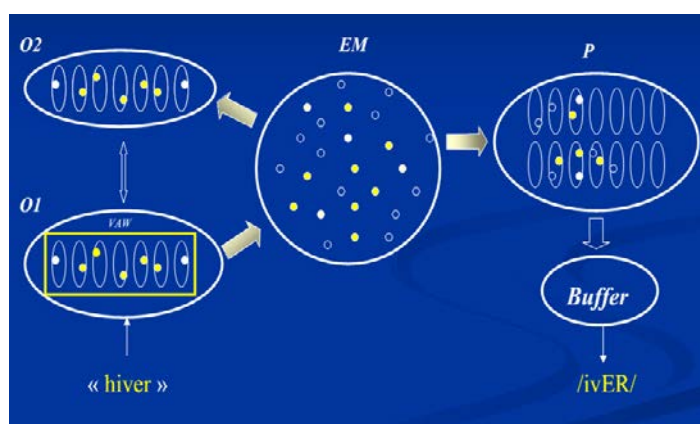


Figure 34 : Schéma de la théorie visuo- attentionnelle selon S Valdois (2004).

Le modèle connexionniste de mémoire multi-traces d'Ans, Carbonnel et Valdois

IV.2.2 Effectifs population dyslexiques

Dix-huit adolescents dyslexiques ont été enregistrés selon le même protocole et la même méthodologie. Les adolescents dyslexiques étaient inclus par le biais de la consultation du CRTLA du CHU de Rouen. Ils étaient inclus après information et signature du consentement par leurs parents et eux-mêmes. La lettre d'information leur été systématiquement lu au vu de leur trouble de lecture.

Sur le plan éthique le CERNI du CHU de Rouen a émis un avis favorable devant l'absence de soins invasifs et l'utilisation de l'EEG en pratique courante. Les tests psychologiques et linguistiques étaient réalisés le même jour que les Potentiels visuels de lecture avec les mêmes conditions et listes de mots. Le traitement du signal a été réalisé de la même façon avec ASA puis Statistica pour les données calculables. Les résultats des 18 patients sont présentés comparés aux populations normatives. Ils ont tous montré des différences significatives sur tous les éléments psycholinguistiques par rapport aux deux groupes témoins (normo lecteurs adultes et adolescents). Sur les Dix-huit adolescents dyslexiques inclus, deux enfants ont été exclus devant des difficultés cognitives générales. Deux autres enfants ont été exclus en OddBall pour un tracé inexploitable dans ce paradigme. La population de référence est donc de 16 enfants d'âge moyen de 12,6 ans +- 1 mois constituée de 8 filles et 8 garçons pour les épreuves de Décision Lexicale et de 14 enfants (âge moyen :12,6. 8 garçons et 6 filles) en tache d'Oddball.

VI.2.3 Tests psycholinguistiques

Les résultats psycholinguistiques montrent pour tous les items psycho-linguistiques une distribution plus large que dans la population normoelectrice. Certains scores d'adolescents dyslexiques sont dans la norme faible (Matrice 7) et d'autres dans la norme haute (Matrice13) supérieur aux scores de certains normo lecteurs.

Les scores de leximétrie (LUM et VL) sont corrélés entre eux et inférieurs aux

normolecteurs. Le score en matrice est corrélé aux scores en code dans notre population de dyslexiques.

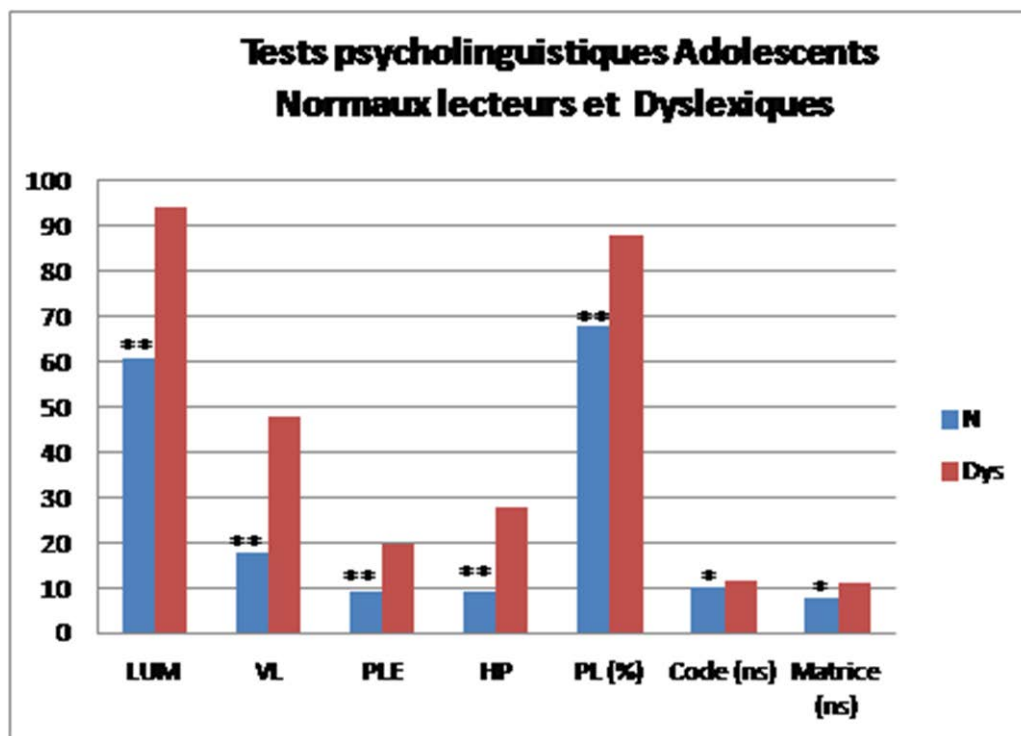


Figure 35 : Comparaison des tests psychométriques pour les populations adolescentes

Les adolescents dyslexiques présentaient des résultats psychologiques dans la norme pour leur âge mais leur vitesse de lecture pathologique était très hétérogène.

Les différents tests de leximétrie LUM, VL PL étaient pour 10 d'entre eux très faibles, niveau CE2 et pour 4 d'entre eux niveau CM2. Nous les avons séparés en dyslexie sévère (DS n=10) et dyslexie moyenne (DM n = 4). Nous avons comparé tous les groupes (dyslexiques et populations témoins adolescents et adultes) qui différaient significativement les uns des autres pour tous les tests psycholinguistiques ($F(4; 42) = 119, 2; p < 0,001$).

Les renseignements cliniques du dossier médical de chaque patient dyslexique ont permis de confirmer d'autres difficultés neurodéveloppementales antérieures à 7 ans. Une difficulté en langage oral et ou en attention étaient signalés pour les 10 enfants avec une dyslexie sévère. Les 4 adolescents dyslexiques dits modérés n'avaient pas d'antécédent de retard de langage oral noté. La sévérité de la dyslexie dans notre échantillon est

certainement dû au recrutement par le CRTLA qui ne voit que des enfants en grande difficulté. Le graphe (figure 36) représente la distribution de VL, paramètre clinique principal de notre recherche, dans l'ensemble de nos groupes enregistrés. Nous avons choisi d'étudier les individus en fonction de ce paramètre principal qui détermine l'intensité clinique du trouble de lecture. Nous avons alors réalisé une sous division du groupe d'enfants normo lecteur en enfant "précoce" EP n=6, et d'enfant normo lecteur dit "correct" EC n=10 devant des vitesses de lecture très différentes et équivalentes à celle de certains adultes. Les adolescents dyslexiques ont été séparé en dyslexie modérée DM n=4 et dyslexie sévère DS n=12 selon les mêmes critères de leximétrie.

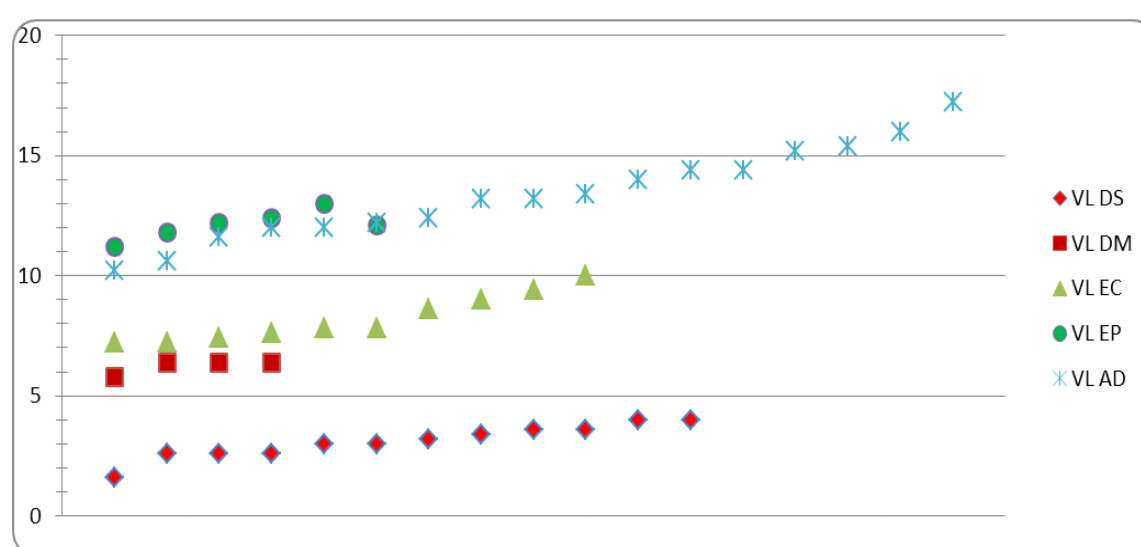


Figure 36 : Nuage de point des Z scores obtenus en vitesse de lecture (Khomsî). Leximétrie : distribution des scores VL dans les sous-groupes de populations Ce graphique permet de noter combien l'hétérogénéité est présente dans chacun des groupes et propose d'analyser les PEV lecture en fonction de VL. AD (n=19): adultes DS : dyslexie sévère (n=12) DM dyslexie modérée (n=4) EC enfant normo lecteur (n=10) EP enfant "précoce"(n=6).

L'hypothèse, devant une telle hétérogénéité était un éventuel effet et ou lien entre la leximétrie (VL) et certains composants des PEVp. Nous avons donc étudié nos groupes par rapport à VL. Nous avons classé les enfants normo lecteurs en précoce devant leur VL plus rapide que certains adultes et scindé notre groupe de dyslexique en dyslexie sévère et dyslexie modérée comme indiqué ci-dessus. Nous rapportons leurs paramètres psycholinguistiques distinguant leurs profils. L'hétérogénéité se retrouve dans tous les tests

comportementaux que nous avons effectués (figure 37). Il peut être remarqué que les enfants lisant précocement (EP) présentent des scores semblables aux adultes en Matrices et même meilleures en Codes. Les enfants normo lecteurs (EC) ont des performances moindres dans ces domaines. Enfin, si les dyslexiques ne sont pas différenciés au niveau des tests de raisonnement perceptuel, les tests de lecture mettent en évidence des disparités nettes.

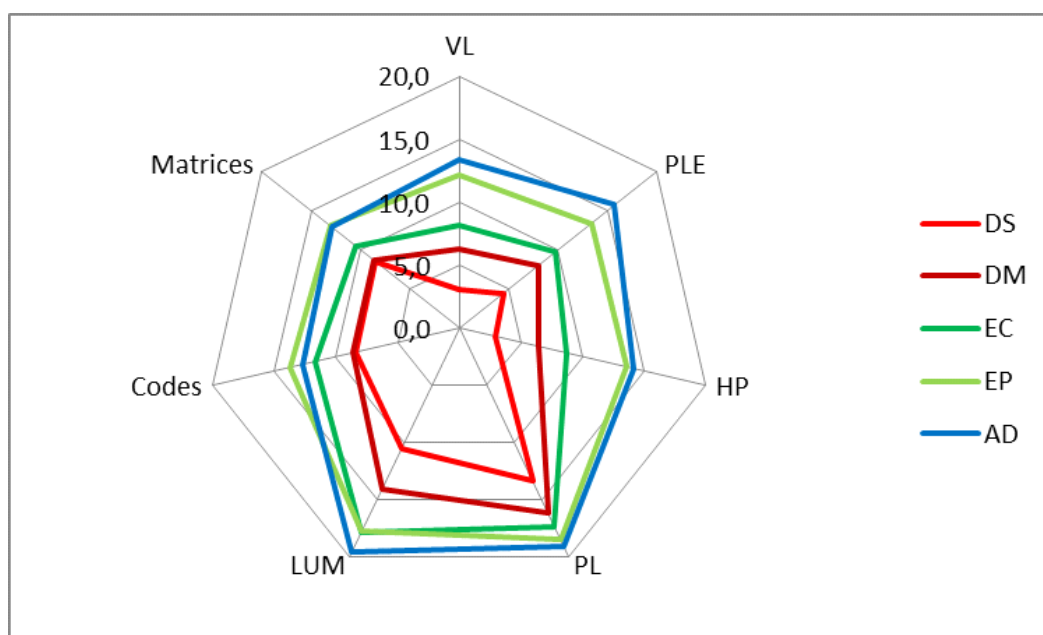


Figure 37. Représentation graphique en radar des Z-scores aux différents tests psychométriques en fonction du niveau de lecture (VL).

L'hétérogénéité des scores psycholinguistiques peut-elle être traduite et corrélée qualitativement aux composants des patterns en lecture ?

IV.2.4 Hétérogénéité des composants du pattern

L'hétérogénéité des patterns PEV dans le groupe dyslexique rendait la moyenne de groupe non pertinente. Par ailleurs, aucune corrélation entre les paramètres psycholinguistiques et latence et amplitude des différents composants n'a été mise en évidence. Néanmoins en analyse descriptive, tracé par tracé nous avons observé des N170 extrêmement fluctuante

et variable. L'onde N170 se chevauchait parfois avec l'onde P100, mais elle s'est également trouvée négative ou absente chez certains patients. Les patterns des deux groupes de dyslexiques sévères et modérés se distinguent avec une absence d'onde N170 pour les plus sévères ce qui rejoint les données publiées (Maurer et al., 2005), est-ce pour autant spécifique aux dyslexiques (Mahé et al., 2013) ? Est-ce que notre population de dyslexiques étudiés par nos stimuli simples (effet tuning), nous renseigne sur les contraintes qu'ils rencontrent à automatiser leur lecture ? Autrement dit, est-ce que nous pouvons mettre en évidence des paramètres d'amplitude, de latence ou de décalage temporel de la N170 qui soient liés aux paramètres psycholinguistiques testés ?

Nous avons analysé, différents paramètres et tester plusieurs analyses tant en Décision lexicale qu'en OddBall pour essayer de mettre en évidence un éventuel effet de l'absence ou de la positivité de la N170 au sein de la population dyslexique. Nous rapportons les patterns moyennés en Décision lexicale (figure 38) Cette représentation est le moyennage du pattern de la Décision Lexicale N170 par les 5 groupes classés par leur score à VL. Le composant N170 chevauche l'onde P100 chez des enfants qui lisent aussi rapidement que les adultes mais aussi chez des dyslexiques modérés. La N 170 n'est pas très différente entre les enfants en lecture normale et les enfants dyslexiques très sévères.

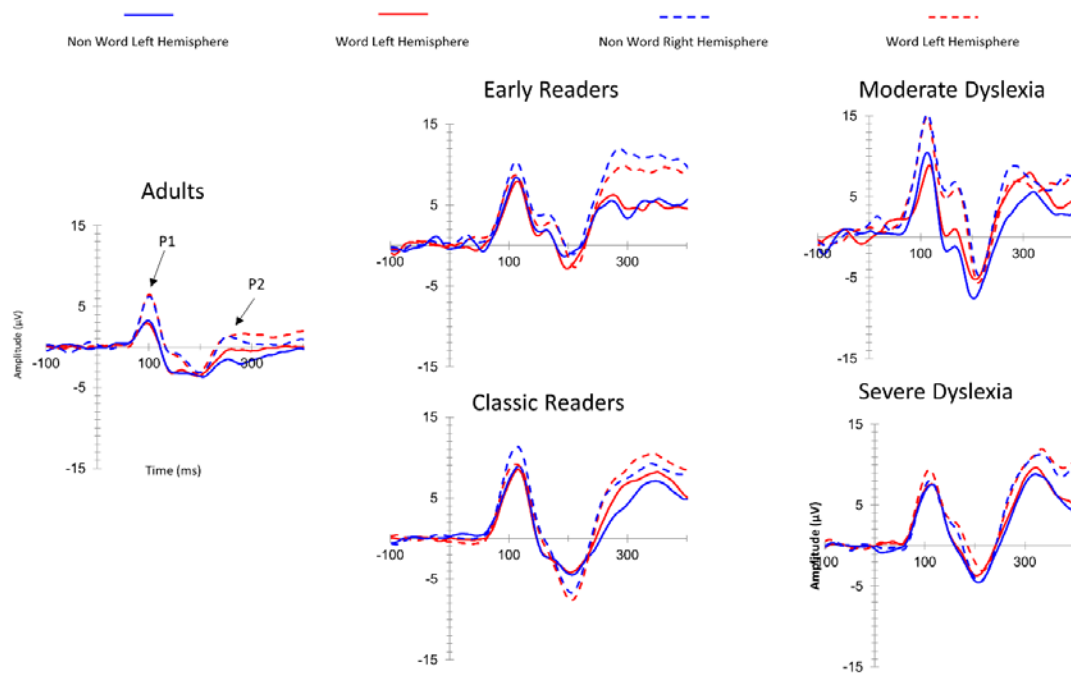


Figure 38 : Pattern moyennés en Décision Lexicale : Traits plein : Hémisphère gauche. Traits pointillés hémisphère Droit. En Bleu les non mots. .En Rouge les mots. Pattern Adultes (n = 19). Patterns Early Readers Enfants Précoces (n =6). Patterns Classic Readers Enfants Normaux (n=10). Moderate Dyslexia Enfants Dyslexiques modérés (niveau CM2) (n=4). Severe Dyslexia Enfants dyslexiques sévères (niveau CE2 (n= 12)

Nous avons comparé l'amplitude des activités entre les deux hémisphères pour rechercher une absence de spécialisation à gauche pour la population dyslexique Nous rapportons les principaux résultats de différentes analyses (figure 39). L'analyse de l'amplitude de la P100 montre une plus grande activité dans l'hémisphère droit pour les enfants avec une dyslexie modérée. Les dyslexiques sévères ont une absence de différence en P100 entre les deux hémisphères.

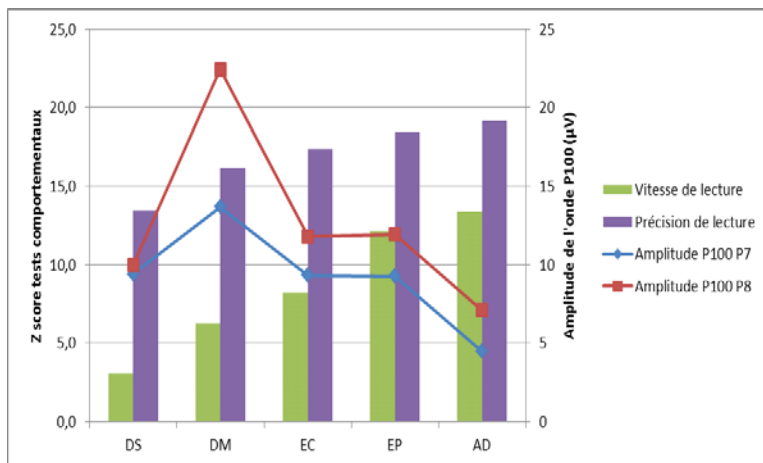


Figure 39. L'analyse de l'amplitude de la P100 entre les deux hémisphères.

L'analyse de l'amplitude de l'onde P200 entre les deux hémisphères sur P8 montre une différence de groupe à $p = 0.00$ (figure 40). De nouveau, seul l'adulte présente une amplitude significativement moindre que les autres groupes, excepté avec les DM, même si une tendance se dégage ($p = 0.08$). Les autres groupes ne présentent pas de différence entre eux. La plus grande amplitude se retrouve dans l'HD pour les enfants dits "précoces". L'analyse de la latence ne fait ressortir aucune différence significative

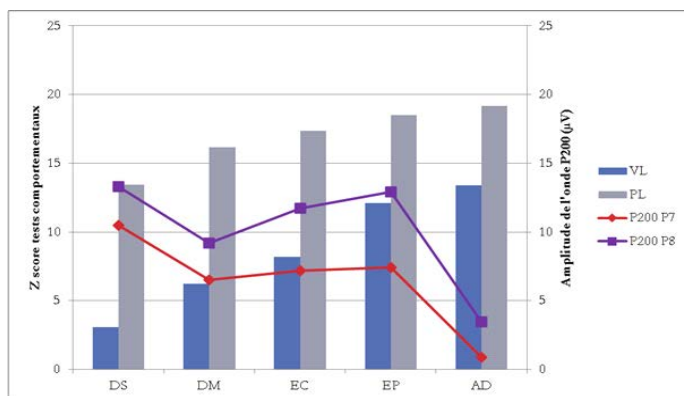


Figure 40. L'analyse de l'amplitude de l'onde P200 entre les deux hémisphères

La somme des activités positives et négatives dans l'hémisphère gauche révèle quelques particularités. Les activités positives et négatives sont apparues plus tard et plus amples chez les dyslexiques que chez les lecteurs normaux pour lire des mots simples dans la tâche de décision lexicale. Les activités positives et négatives plus précoces et moins abondantes chez les enfants normo lecteurs représentent la référence. La N170 est identifiable chez les enfants dyslexiques modérés et absente chez les enfants dyslexiques sévères, ce qui est un résultat attendu. En revanche les enfants (EP) qui lisent aussi vite

que des adultes ont une N170 qui apparaît moins ample, moins négative que les enfants normo lecteurs alors qu'ils ont de meilleures compétences lexicales et phonologiques. L'amplitude de la P100 est similaire pour tous les adolescents mais le décalage temporel est très différent. L'enclassement de la N170 dans la P100 dans le positif ou dans le négatif démasque-t-il des fonctionnements différents ? (Figure 41).

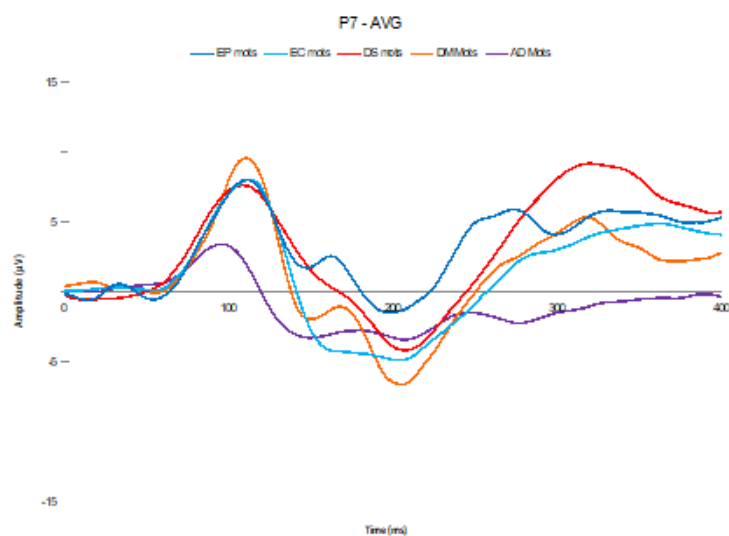


Figure 41 : Graphe des patterns de DL pour les mots : 1ère expérimentation. La N170 de référence est celle des enfants NL (EC) plus tardive mais de même amplitude que celle des adultes. Les enfants précoces (EP) lisent aussi vite que les adultes mais ont une N170 enclassée dans la P100. Les enfants dyslexiques modérés (DM) ont une N170 peu ample qui semble également enclassée dans une P100. Les enfants avec une dyslexie sévère (DS) n'ont pas de N170 reconnaissable.

Autrement dit, est-ce que l'hétérogénéité du pattern de lecture est elle-même analysable, caractérisable et révélatrice d'étapes ou de contraintes de la spécialisation des réseaux neuronaux en lecture ?

IV.2.4.1 Analyse du couple P1N1

Les caractéristiques latence, amplitude et chevauchement peuvent-ils révéler une dynamique particulière avec les variations de la P100 ? La signification de couple P1N1 et notamment la présence de la N170 au sein de la P100 est-elle un marqueur évolutif ? Afin d'étudier de manière cohérente le lien entre niveau de lecture et les composantes précoces, la transition entre le traitement sensoriel représenté par la P100 et le processus

d'encodage N170 le point d'entrée dans la négativité a été étudié (annexe 30). Les PEVp de lecture chez les enfants normo lecteurs et chez les enfants dyslexiques montrent une différence qualitative. Il est à noter que les composantes P1 et N1 normalement trouvées dans la fenêtre de 80 à 170 MS n'ont pas été trouvées chez les enfants dyslexiques. Au lieu de cela, le modèle représente un P1 qui chevauchait la caractéristique globale de la fenêtre temporelle au détriment de la N1. (Figure 42).

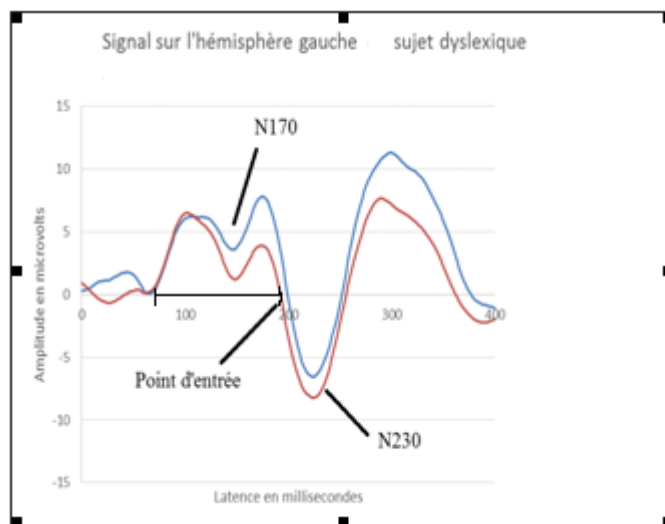


Figure 42 : pattern de l'enfant dyslexique le plus sévère. La P100 présente un décalage temporel important (150 ms) et la N170 est dans la positivité et enchâssée dans la P100. Le point d'entrée est de 200ms.

IV..2.4.2 Résultats

Les mesures du décalage temporel de P100 ont une variabilité intra et inter groupe (annexe 29). Des analyses statistiques sur les latences du point d'entrée dans la négativité et sur le décalage temporel négatif et positif ont été réalisées. (annexe 30).

> Les dyslexiques sévères : Il est retrouvé un lien négatif important ($r = -.64$) entre le score à la vitesse de lecture et l'entrée dans la négativité sur P7 pour les mots.

> Les dyslexies modérés : L'analyse de Bravais-Pearson a mis en évidence des corrélations importantes entre HP et l'entrée dans la négativité en P7 pour les pseudos mots ($r = -.97$) et en P8 pour les mots et pseudo mots ($r = -.96$). Aucune corrélation n'est

constatée pour les PLE et plus largement pour la VL.

> Les enfants classiques : Une corrélation positive à .65 est retrouvée entre le point d'entrée en P7 et la VL. On note ici que la corrélation est aussi forte que pour les dyslexiques sévères mais de signe opposé. Enfin un lien entre la VL et les HP de .75 est observé.

> Les enfants précoces : Nous retrouvons une corrélation à -.95 entre la LUM et le point d'entrée dans la négativité des pseudo mots. Il est également constaté un lien positif très important entre VL et Code à .94.

> Les adultes : Le score à la VL est en lien avec le score au PLE ($r = .94$) et au HP ($r = .95$). Une corrélation négative est retrouvée entre le point d'entrée des mots en P7 et les codes ($r = -.56$). > Toutes populations : il est retrouvé une corrélation à $-.51$ entre la VL et les participants (figure 43). Dans notre population dyslexique l'hétérogénéité de la présence distincte de la N170 en décision lexicale nous a fait relire et analyser nos enregistrements de normaux lecteurs. En effet certains normo lecteurs présentent une N170 positive c'est à dire au sein de la P100. Ce chevauchement est d'autant plus intéressant à analyser qu'il est majoritaire chez les adolescents très bons lecteurs. Le niveau de vitesse de lecture (VL) nécessitant un jugement orthographique a permis de comparer tous les sujets entre eux ($n=48$). Nous décrivons une corrélation linéaire de Bravais-Pearson à $-.51$ entre cette Vitesse de Lecture (VL) et l'encodage initial (P1 et N170) et ce quel que soit l'individu et son groupe d'appartenance (figure 43).

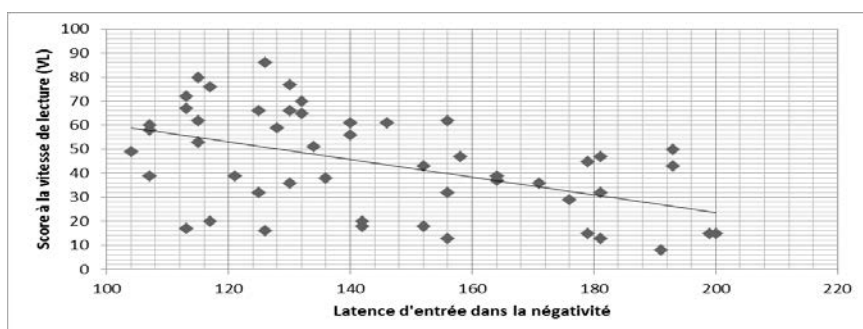


Figure 43 : répartition de la latence

d'entrée dans la négativité dans la fenêtre 80 à 200 ms pour l'ensemble des sujets en fonction de leur vitesse de lecture. $N=48$.

Ce continuum permet de mettre en évidence un probable effet maturationnel.

IV.2.4.3 Discussion Variabilité N170 au sein du couple P1N1

La variabilité intra groupe de P1 et N170 y compris chez les adultes et adolescents normo lecteurs pourrait révéler des stratégies et ou difficultés anciennes lors de l'acquisition précoce de la lecture actuellement normalisée. Nos résultats originaux non moyennés permettent de rendre compte de l'hétérogénéité des patterns précoces dans une tâche simple de lecture. L'importance du choix de stimuli a déjà été rapporté dans la littérature, comme pouvant modifier notre compréhension électrophysiologique de la chronologie du développement de la lecture (Penolazzi et al., 2007). **Le couple P1N1 semble donner des informations sur les paramètres neuro développementaux.** Le décours temporel P1-N1 et la latence de la négativité ont été relié à des mesures cliniques dans les trois groupes, ce qui pourrait refléter des variations liées au neurodéveloppement de l'hétérogénéité de N170 ainsi qu'une pathologie développementale. **Nos résultats sur cette deuxième étape nous permettaient de souligner trois points essentiels** 1. Le décours temporel P1-N1 apparaît comme un meilleur marqueur de développement de la lecture automatisée que N1 seul pour des mots simples. 2. Le niveau de complexité des stimuli visuels est crucial pour une meilleure interprétation des caractéristiques N170 au cours du développement de la lecture. 3. Le décours temporel P1-N1 et la latence de la négativité peuvent être associés à un test de Vitesse de lecture. Cette vitesse de lecture silencieuse est basée sur le jugement orthographique. Cette opération cognitive mesurant le niveau d'automatisme de la lecture des mots est très intéressante puisqu'elle est le phénomène suspecté dans les grandes variations de la P100 et le chevauchement de la N170 au cours du développement et maturité de la lecture. (Publication 2). Les résultats des corrélations sont en annexe 31.

Nous proposons de schématiser nos résultats globaux pour la Décision lexicale (figure 44) pour explorer les enfants nés prématurés. Est-ce que leurs compétences en lecture et leurs patterns s'intégreront dans ce continuum ?

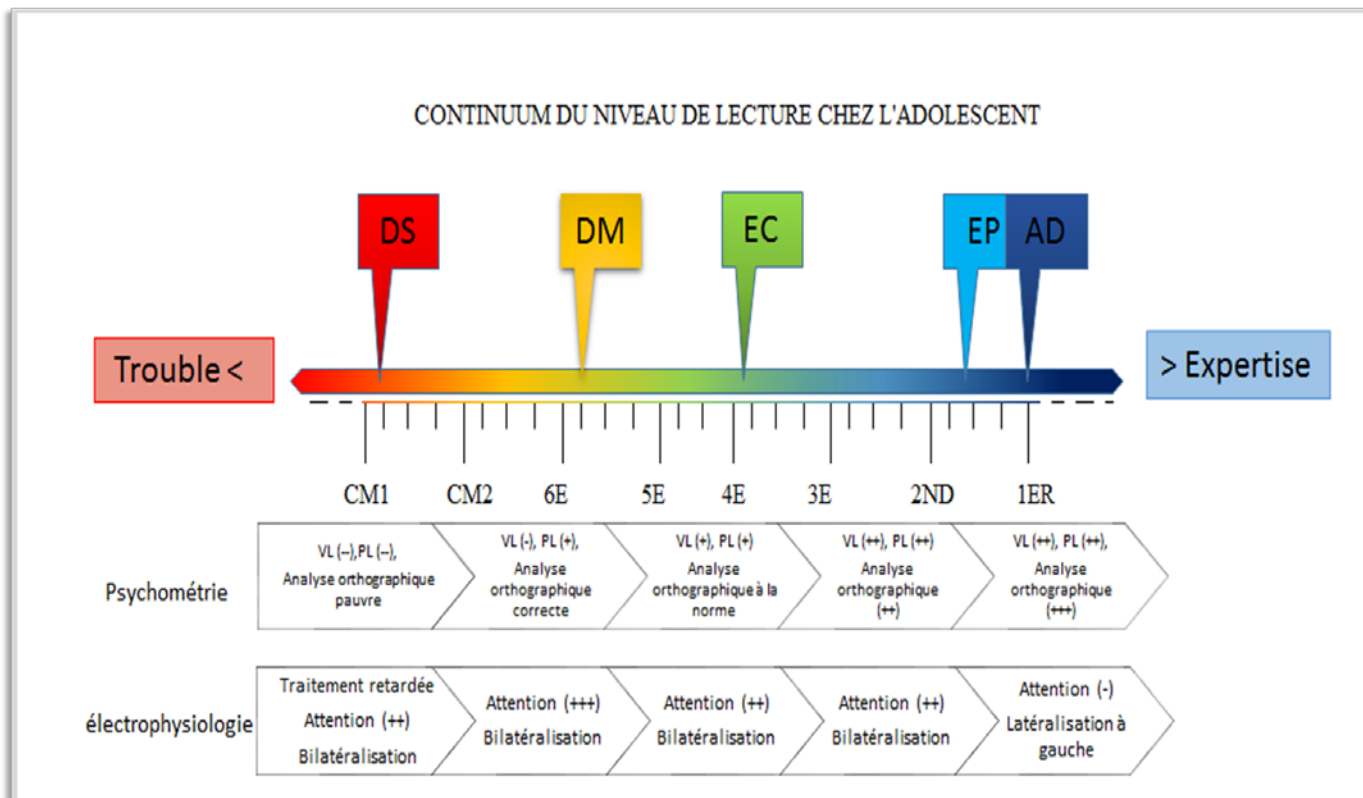


Figure 44 : continuum des paramètres PEVc et psycholinguistiques de nos populations étudiées.

IV.2.5 Résultats et discussion en ODDBALL des PEV chez les dyslexiques

L'effet OddBall comme la DL retrouvent une plus grande hétérogénéité au sein de la population dyslexique. Des analyses descriptives ont été réalisées sujet par sujet. Dans notre population dyslexique, 14 sujets ont des résultats OB analysables. Parmi ces sujets, dix sujets ont un effet Oddball très perturbé. Les atteintes du langage Oral et ou de l'attention ont été retrouvés comme pour la DL chez les enfants avec une dyslexie plus sévère. Des troubles attentionnels sont inscrits pour les dix enfants avec une dyslexie sévère mais seuls 4, sont documentés. Parmi les 4 adolescents avec une dyslexie moyenne, seul un, a un trouble d'attention noté non documenté par un test spécifique. Nous les avons étudiés, comme en DL, en les séparant selon notre paramètre de

leximétrie VL. Les adultes et adolescents normolecteurs, les 4 dyslexiques moyens DM (profil 1) présentant un effet Oddball attendu et les enfants dyslexiques sévères DS (profil 2) présentant un effet Oddball perturbé ont été comparés. Aucun résultat statistique de corrélation n'a été obtenu en analysant les paramètres d'amplitude et de latence de la P300. De façon analytique, descriptive nous avons néanmoins observé des différences que nous avons cherché à mettre en évidence en s'appuyant sur la corrélation retrouvée en DL, entre VL et le décours temporel de P1N1. Si notre paramètre clinique de Leximétrie est lié à P1N1, activités précoces des potentiels évoqués en DL, est-ce que l'activité plus tardive de l'OB au-delà de 300ms signifie ou correspond à un des composants psycholinguistiques étudiés ? Est-ce qu'il existe des fenêtres d'analyse d'intérêt au vu de la variation analytique de l'effet OB en fonction du groupe des individus étudiés ?

Nous avons réalisé différentes analyses statistiques en mesurant les activités dans différentes fenêtres temporelles. Le choix des fenêtres temporelles d'intérêt a été réalisé en fonction des observations descriptives, montrant que les caractéristiques des composantes visées (P200 P300 standard cible) changent en fonction de la population (adultes, enfants normolecteurs et dyslexiques). Le décours temporel des composantes, incite à utiliser plusieurs fenêtres. Plus spécifiquement, les dyslexiques de profil 2 présentent des différences importantes en termes d'amplitude de la composante P2 et P300, signifiant un effet "Oddball" qui n'est pas présent ou perturbé dans le temps, en comparaison aux trois autres populations. La composante P200, est l'étape de traitement associée à la recherche en mémoire. Dans ce paradigme Oddball il est à noter que cette étape est grandement sollicitée et chevauche la composante P300. Autrement dit, l'effet Oddball commence dès la P2. Celle-ci a été relevée dans un intervalle de temps compris entre 225 et 275ms. La P300 correspond à une actualisation de la mémoire de travail représentant l'effet "Oddball". Nous avons testé cet effet et son évolution dans le temps, en le divisant en trois parties correspondantes chacune à un intervalle de 75ms. Ces parties sont appelées suivant leur

ordre d'apparition et ne reflètent en aucun cas une composante en particuliers, le but étant de suivre l'évolution de l'effet Oddball dans le temps. Il y a la P3p (« précoce ») comprise entre 285-360ms, la P3m (« moyenne ») 360-435ms et la P3t (« tardive ») comprenant un intervalle de 435 à 510ms (annexe 32). Il existe différentes corrélations entre la latence d'amplitude maximale de la P3m et P3t avec le score de précision lexicale (PL) (annexe 33). Comme nous trouvons une corrélation forte entre le décours temporel de P1N1 et VL, nous retrouvons une corrélation pour les fenêtres moyenne et tardive de P300. La limite est l'effectif et la latence parfois très importante des enfants dyslexiques pour l'effet OB. Des adolescents dyslexiques sévères Dys 2 et des dyslexiques modérés Dys 1. L'effet OB est très tardif pour les Dys sévères comme attendu. L'effet OB est plus précoce et plus ample pour les Dys 1 que les normo lecteurs. Les Dys 1 ont de moins bons scores en mémoire de travail et aux codes que les NL. La précocité du repérage du mot cible peut être secondaire à la rééducation et ou repérage rapide de lettre différente sans vraiment lire (figure 45).

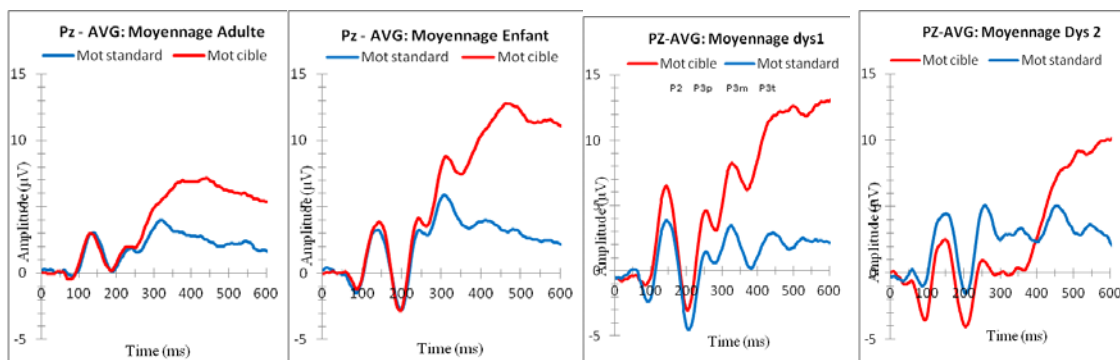


Figure 45 Tache D OddBall 1 ere experimentation : L'amplitude plus importante des mots cibles (rouge) est une constante quelque soit les groupes.

IV.2.5.1 Synthèse et conclusion des résultats OddBall / Dyslexiques

Certains adolescents dyslexiques de notre population présentent une même vitesse de lecture (VL) mais pas le même effet OddBall. Cette différence pourrait être en lien avec les co-morbidités ou contraintes de l'apprentissage du langage écrit. L'effet Oddball pourrait

nous permettre d'argumenter et démontrer qu'un même degré de sévérité clinique peut être causé par des troubles différents. Dans la littérature cet effet est assez simple et robuste, systématiquement identifié dans ce type de paradigme. On peut donc se demander quelle est la signification de la perturbation de cet effet. Pourquoi la discrimination se fait-elle plus tardivement ? Le modèle connexionniste de mémoire multi-traces d'Ans, Carbonnel et Valdois postule l'existence d'une "fenêtre attentionnelle" où se situe l'extraction de l'information orthographique du mot. La tâche de discrimination de type Oddball qui est une tâche visuo-attentionnelle peut être en partie expliquée par une déficience de l'attention spatiale, d'orientation et de focalisation de l'attention ou même un déficit de la perception visuelle (Skottun, 2014). Ce trouble pourrait concerner la population des enfants prématurés que nous allons comparés. La P2 est l'étape de la recherche en mémoire du stimulus et la P300 l'étape de la "réactualisation de la mémoire de travail" (Hansenne, 2000) représenté par l'effet Oddball caractérisé par une amplitude de la composante plus importante pour les mots cibles (Polich, 2007). La mémoire de travail est classiquement perturbée dans la dyslexie, ce qui rend plus compliqué la recherche en mémoire du mot et sa réactualisation. En référence au modèle connexionniste, la mémoire de travail est l'étape selon laquelle le mot est recomposé pour accéder à son sens. On peut donc émettre l'hypothèse que les sujets de notre étude présentent une atteinte de la mémoire de travail, affectant la recombinaison du mot et l'accès à son sens, perturbant de ce fait la recherche en mémoire de ce mot puis sa discrimination. Les dyslexiques de profils 2 semblent présenter cet effet Oddball à partir de 400ms (figure 45). Cette apparition de l'effet Oddball vers 400ms coïncide avec la latence d'apparition de la composante N400 (Kutas et al.,1981). Cette composante serait un marqueur de l'accès sémantique, autrement dit c'est à cette étape que le sujet a accès au sens du mot. La question qui se pose est de savoir si ces résultats sont la conséquence de la mise en place de stratégies de compensation reposant sur la sphère sémantique, ou alors sur le fait qu'il s'agisse

réellement d'un effet Oddball retardé décalant temporellement toutes les ondes.

L'effet Oddball permet de distinguer les différentes caractéristiques de cette population dyslexique. L'hétérogénéité de notre population étudiée se confirme même sur un stimulus mot simple, l'hypothèse de trouble neurodéveloppemental attentionnel retient notre intérêt ainsi que le niveau et caractéristiques du langage oral pour discuter l'analyse et la comparaison de notre population prématurée cible.

IV. 3 Population Adolescents Prématurés

IV.3.2 Hypothèses

Une des questions posées est de savoir si les mécanismes de compensation chez les dyslexiques (les stratégies, les modes de traitement,) seraient retrouvés chez les sujets prématurés présentant aussi des troubles dans l'apprentissage de la lecture. L'autre question était de savoir si l'hétérogénéité des profils observée chez les dyslexiques (patterns électrophysiologiques, couple P1N1, OB, et données psychométriques) se retrouve et avec quelles différences chez les prématurés.

A la naissance les prématurés présentent un cerveau immature et on suppose que le développement des circuits neuronaux impliqués précocement dans la lecture se ferait de façon atypique et cela peut occasionner de multiples troubles, qui varient d'un individu à l'autre. C'est pourquoi on s'attend à observer une variation interindividuelle pour cette population de grands prématurés, davantage même que chez les dyslexiques. Même si pour tous les enfants la lecture s'acquiert grâce à une spécialisation de réseau de neurones issues du langage oral et de l'attention visuelle (théorie du recyclage de neurones) les enfants dyslexiques et prématurés n'ont probablement pas les mêmes. Cette variabilité pourrait se retrouver aussi bien au niveau des signaux électrophysiologiques qu'aux performances psychométriques.

En outre, les troubles observés chez les deux populations ont une origine bien différente, génétique pour les dyslexiques et neurodéveloppementale pour les prématurés. Les enfants nés grands prématurés inclus dans le protocole LAMOPRESCO est notre population cible mais nous devons d'abord tester notre 1ère expérimentation sur des enfants nés prématurés du même âge que nos populations adolescentes précédentes pour les comparer et décrire les premières caractéristiques de leur lecture cliniquement et électrophysiologiquement avec nos stimuli. En annexe 34 est rappelé notre méthodologie d'évaluation des 4 populations.

IV.3.3 Effectifs population prématurés

Les adolescents nés prématurés ont été inclus par le biais du CRTLA et de la consultation de néonatalogie qui suit les enfants nés grands prématurés selon les recommandations nationales. Tous les enfants étaient appariés en âge et sexe. Les critères d'exclusions étaient, comme pour les autres populations, les troubles sensoriels avérés (cécité, surdité) les déficiences cognitives ou les pathologies psychiatriques. Nous nous assurons que le français était la langue maternelle et que la scolarité se poursuivait dans un cursus normal. Les traitements médicamenteux étaient pris en compte afin d'éviter une potentielle interaction avec le protocole.

Nous avons inclus un groupe de 18 enfants nés prématurés à un terme inférieur de 33 semaines d'aménorrhée. Douze d'entre eux étaient eutrophes et six hypotrophes. Ils sont âgés de 13,4 ans en moyenne (10 garçons et huit filles) à l'inclusion. Huit d'entre eux portaient des corrections visuelles. Ils faisaient partie majoritairement des enfants suivis à la consultation de médecine néonatale par le réseau périnatalogie jusqu'à leur 8 ans. Ils ont donc été rappelé /appelé en fonction de leur date de naissance et des critères d'inclusion pendant une période de 3 mois. Il a été proposé aux parents cette étude en argumentant qu'ils auraient connaissance du niveau de lecture et de bilans de

compétences cognitives de leur enfant. La note d'information a été lu aux adolescents qui ont signé le protocole.

Les enfants dyslexiques et prématurés ont fait l'objet d'un suivi (orthophonique notamment) au Centre de Référence des Troubles du Langage et des Apprentissages au CHU de Rouen après l'étude quand ils en avaient besoin.

IV.3.4 Psycholinguistiques

IV.3.4.a Analyses des performances psychométriques.

Les adolescents nés prématurés (au terme de 33 sa à 28 sa) étaient tous avec des composants testés dans la norme. Dans l'étape précédente, les sujets avaient été qualifiés par leurs performances en lecture (VL), révélatrice de leur qualité de lecture, et critère clinique d'un diagnostic de dyslexie. Dans cette partie les enfants sont recrutés par leur terme de naissance. Les enfants nés prématurés ont, en soi, une grande hétérogénéité du niveau de la lecture. Il y a des enfants prématurés sans difficultés de lecture et des prématurés avec des retards de lecture. Nous les décrivons en fonction de leur score à Vitesse de lecture VL pour comparer nos résultats précédents. Les prématurés avec un score faible en VL sont au nombre de 7 et les prématurés avec un score dans la norme sont 9. LE faible (PLEF, $n=7, x=29.33 ; s=3.5$) et des prématurés LE correct (PLEC ; $n=9, x=38.71 ; s=3.97$). De plus, de façon surprenante trois enfants prématurés présentent des VL similaires aux adultes, supérieures au centile 75 (VL = 49,49 et 79).

Résultats statistiques Psycholinguistiques

Sur le plan statistique, on retrouve un effet global du niveau de lecture ($F(6 ; 60) = 54.74 ; p < 0.00$). Plus précisément, via des comparaisons post-hoc, on note que les prématurés avec LE faible ne sont pas différents des dyslexiques avec une atteinte

modérée (DM) ($p>0.76$) mais ils le sont des dyslexiques sévères ($p<0.01$). La VL chez ces sujets est davantage reliée à celle des Dyslexie Modérée. Quant aux prématurés LE correct, la VL n'est pas significativement différente de celle des normo-lecteurs classique né à terme ($p>0.64$). Enfin, les moyennes des enfants prématurés entre eux ne sont pas significativement différentes ($p>0.08$). Pour les autres éléments psychométriques langagiers, les performances des prématurés sont toujours, quel que soit leur niveau, meilleures que celle des dyslexiques sévères, quel que soit la composante évaluée. Nous notons des effets globaux du niveau de lecture pour l'ensemble des éléments psychométriques (Annexe 35). PLE ($F(6 ;60)=48.3 ;p<0.00$), HP ($F(6 ;60)=57.3 ;p<0.00$) et PL ($F(6 ;60)=24.2 ;p<0.00$). (figure 46). De façon plus spécifique, pour l'ensemble des éléments les enfants prématurés, quel que soit leur niveau de lecture ne sont pas différents des dyslexiques modérés mais toujours des dyslexiques sévères [PLE ($p<0.00$), HP ($p<0.00$ et $p<0.02$), PL ($p<0.00$)] (Annexes 33, 34 ,35). Concernant les deux sous-groupes chez les enfants prématurés, les prématurés LE correct ont significativement de meilleures performances en HP que les prématurés LE faible ($p<0.00$). De même avec les PLE ($p<0.00$). Les prématurés non atteints sont aussi plus précis (PL) de manière significative ($p<0.00$) (Annexe 35)

Sur le plan de l'efficiencia, les subtests Code et matrice du WISC-IV afin de nous assurer des compétences cognitives de nos sujets. Pour nos quatre populations, aucune moyenne n'est sous le seuil pathologique de 7.

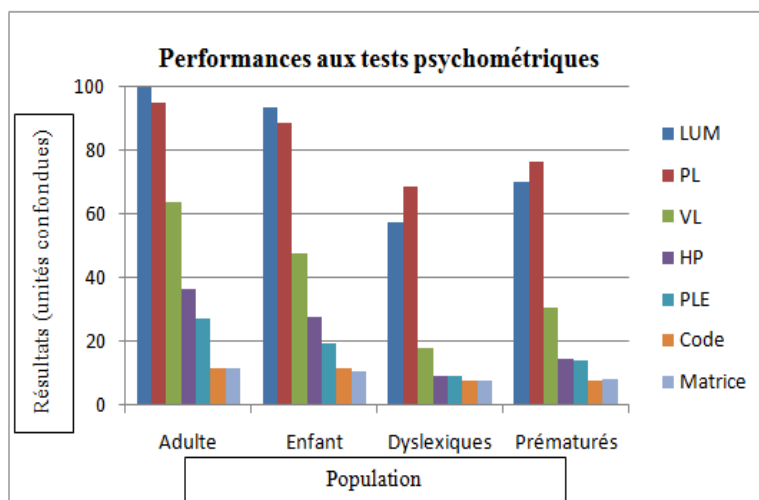


Figure 46 : Résultats psycholinguistiques des 4 populations . Les tests de Leximétrie différencient de façon globale les 4 groupes.

Cependant, on note que la population prématurée est différente de la population dyslexique par l'hétérogénéité des profils de lecture qu'elle comporte : précoce, classique ou sous la norme. Elle ne semble pas constituer une population nécessairement pathologique en opposition aux dyslexiques nés à terme mais plutôt une population spécifique par l'histoire neuro-développementale. Nous avons choisi de représenter le profil de nos sujets dans le graphique en radar ci-contre réalisé grâce à des Z-scores pour représenter la place des enfants prématurés en références à nos populations précédentes. (figure 47).

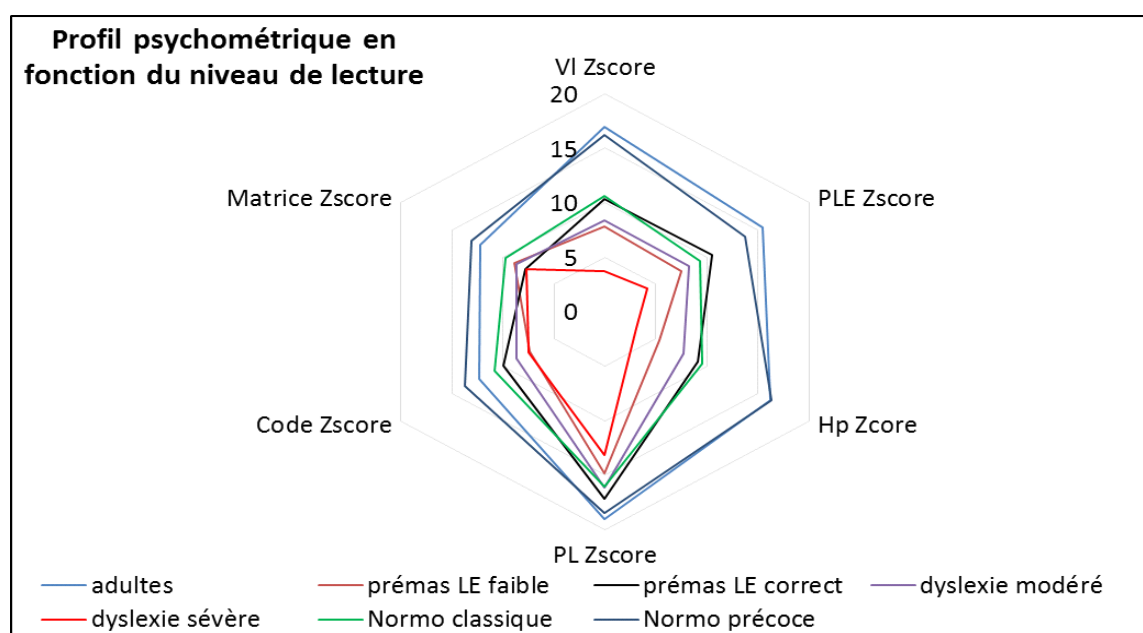


Figure 47 : Graphique en radar des profils psychométriques des sous-groupes réalisé grâce des Z-score sur 20.

IV.3.5 Pattern PEV Prématurés

L'hétérogénéité électrophysiologique est importante chez les adolescents nés prématurés, avec une atypicité des composantes parfois difficilement dissociables. Une analyse descriptive des patterns précède l'analyse de grand moyennage. Ce grand moyennage donnerait peu de sens au vu de l'hétérogénéité des scores et du faible effectif. Des sous-groupes en fonction de VL sont réalisés pour comparer nos patterns avec nos choix précédents. Nous avons ensuite testé la robustesse des corrélations trouvées antérieurement chez les dyslexiques entre la VL, le décours temporel de P1N1 et la latence de la négativité sur cette population d'adolescents nés grands prématurés.

IV.3.5.1 Décision Lexicale

En Décision lexicale, le résultat principal des populations précédentes est sa variabilité croissante d'une population standard normolectrice aux dyslexiques adolescents via les adolescents normo lecteurs. Les caractéristiques variables de la N170 chez l'enfant nous avaient conduit à analyser le moment d'entrée dans la négativité après la P100 soit la latence d'une onde négative « d'encodage ».

Cette durée ou décours temporel était corrélé à des paramètres de leximétrie. Le retard à l'entrée dans la négativité ou la durée du décours temporel de la P100 est corrélé aux mauvais lecteurs. Ainsi, en ajoutant la population prématurée à la population générale, une corrélation à -0.38 est retrouvée (figure 48). Quand on sélectionne uniquement des sujets nés à terme, la corrélation remonte à -0.45 . La population prématurée tendrait à diminuer la force du lien corrélationnel. Quand on analyse uniquement le lien entre VL et le point d'entrée pour la population prématurée, on ne note aucune corrélation.

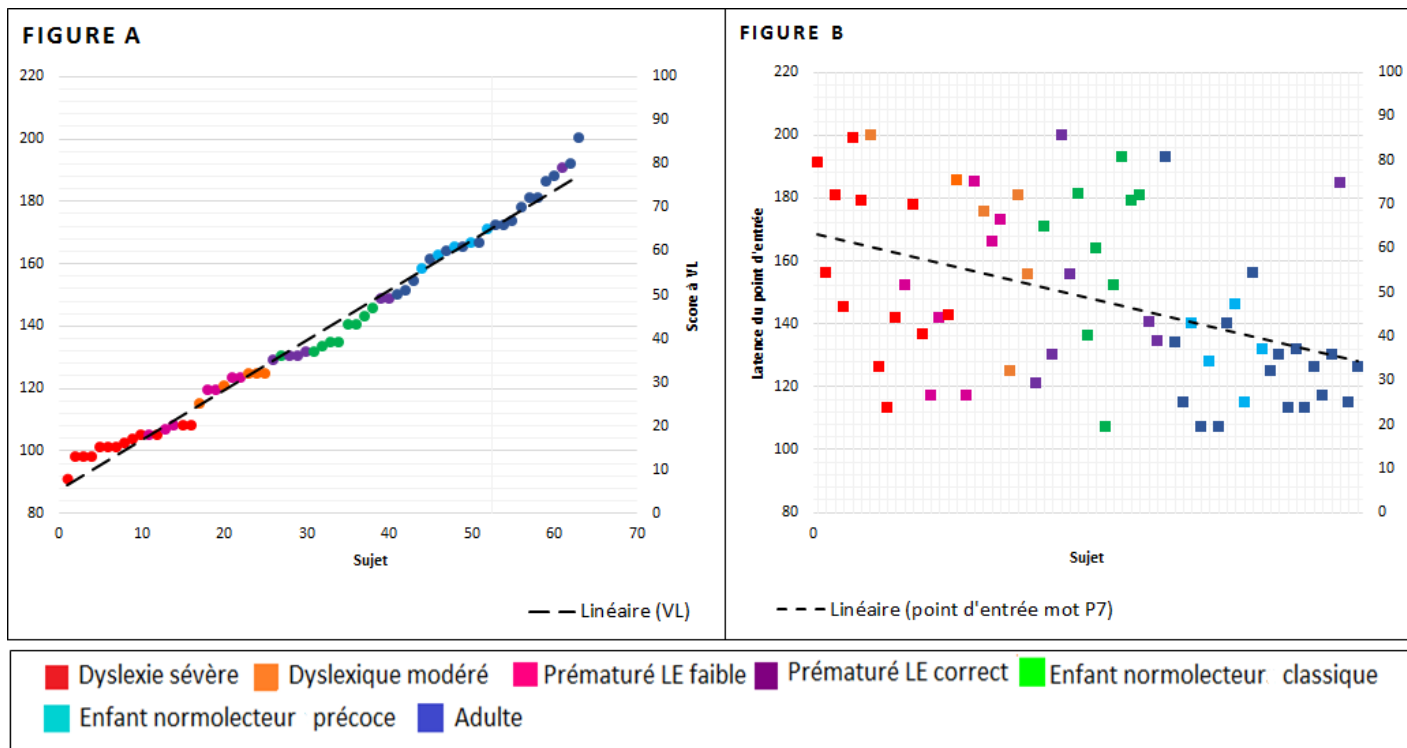


Figure 48 : à gauche distribution des scores de VL. A droite distribution de VL en fonction de la latence du point d'entrée dans la négativité.

Nous nous sommes interrogés, comme pour les dyslexiques et certains normo lecteurs, sur la signification de la N170 « positive » ou absente au sein de la même durée du décours temporel de la P100 comme illustré ci-dessous. Comme nos individus prématurés ont plus de variabilité que nos autres groupes, un effet de taille peut être responsable. Nous avons alors essayé de trouver une méthode d'analyse reflétant la présence ou l'absence de la N170 au sein de la P100 (figure 49). Nous avons développé une macro pour calculer l'aire sous la courbe au sein d'une fenêtre temporelle habituelle : 80-200 ms. Le calcul d'aire sous la courbe en cherchant l'amplitude moyenne a été testé dans différentes publications :

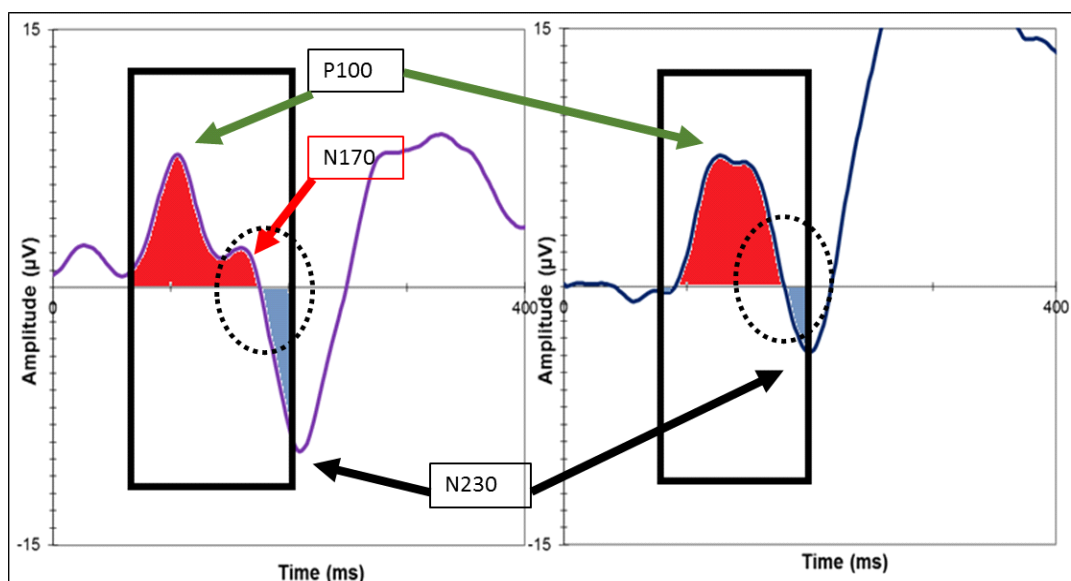


Figure 49 : Exemple de deux Patterns d'enfant prématuré et illustration des aires dans la fenêtre temporelle 80-200 ms.

La macro Excel permettant le calcul des aires positive et négative à l'aide d'amplitudes moyennes dans une fenêtre temporelle définie a été élaborée. Ceci dans le but de pouvoir analyser et mesurer l'éventuelle incidence de la N170, qu'elle soit positive, négative ou même absente. La fenêtre temporelle 80-200 est la constante dans nos autres analyses. Afin aussi d'étudier cet équilibre positif/négatif et sa valence en fonction du trouble et ou de l'expertise en lecture. Les aires positives et négatives sont obtenues indépendamment dans une même fenêtre et ne sont pas sommées (figure 49). Comme chez les dyslexiques et les normo-lecteurs, on note chez les enfants prématurés des patterns avec des composants très amples en opposition à l'adulte. Quand on observe à VL égale, comme ci-dessous (figure 50), pour deux enfants en grandes difficultés (niveau CE2 pour la 4e), un enfant dyslexique et un enfant prématuré, on observe des patterns différents. Cela montre les différences entre enfant prématuré et dyslexique pour une même qualité de lecture, l'enfant dyslexique montre une amplitude plus importante avec ébauche de tous les composants. Le pattern de l'enfant prématuré est plus émoussé avec très peu voir absence de composants « spécialisés » dont la N170. S'agit-il d'une traduction de ressource plus importante pour les dyslexiques, notamment attentionnel pour aller vers la spécialisation

plus tardive ou un marqueur de contraintes développementales ?

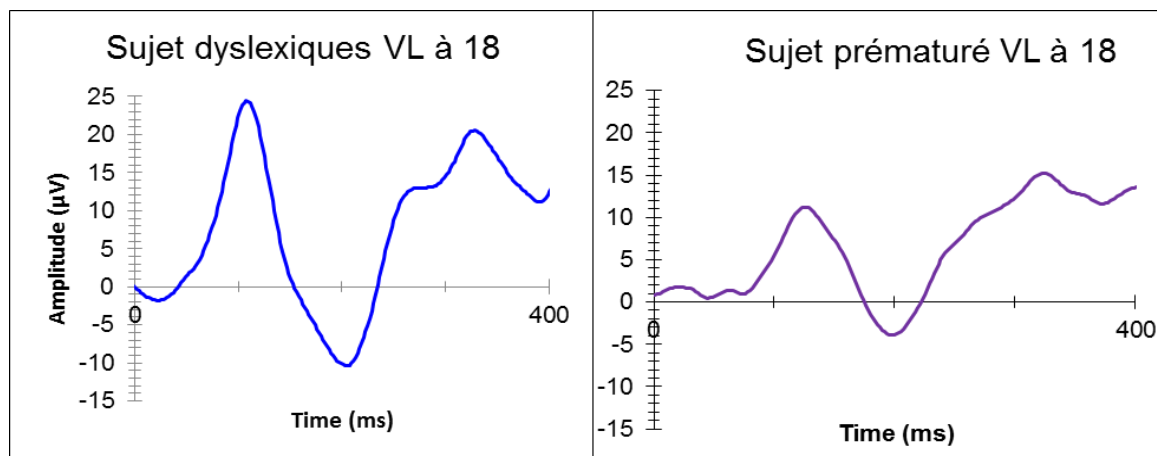


Figure 50 : Mise en opposition de patterns d'enfant dyslexique et prématuré avec la même VL.

IV.3.5.2 Décision Lexicale Analyses statistiques

Les RESULTATS de cette nouvelle analyse concernent la position de la N170, qui est positive chez 56% des prématurés alors qu'on la retrouve chez 39% des dyslexiques. On note aussi toujours la présence de la N230 quel que soit la position de la N170.

Au plan statistique, d'une part concernant les aires positives, sur P7 (hémisphère gauche spécialisé dans le langage) on retrouve un effet global de cette variable ($F(6 ; 60)=455.53 ; p<0.00$). Les analyses post-hoc permettent d'explicitier ce lien par des différences significatives entre les enfants et les adultes ($m=27.26$), hormis les prématurés avec un niveau correct ($m=37.8 ; p>0.09$). Aucun effet de la condition n'est noté. Sur P8 (hémisphère droit, non spécialisé) on n'observe pas d'effet global de l'activité positive ($F(6 ; 60)=324.41 ; p>0.10$). Sur le plan des différences inter-hémisphériques : On note un effet global de l'hémisphère ($F(6 ; 60)=84.4 ; p<0.00$) mais pas d'interaction entre le facteur groupe et hémisphère ($p>0.27$). Ainsi l'hémisphère gauche serait moins chargé en « attention » que l'hémisphère droit indépendamment du groupe. D'autre part, pour les aires négatives, il est retrouvé un effet global du niveau de lecture

($F(6 ;60)=254.86 ;p<0.00$) qui tient pour origine une opposition adulte/enfant. On constate aussi un effet de l'hémisphère ($F(6 ;60)=49.15 ; p<0.00$) avec une aire négative moins importante à droite, conformément attendu par rapport la spécialisation à gauche dans le langage. La part d'aire positive et négative pour chaque groupe pourra être observée au moyen de la représentation graphique ci-dessous (figure 51).

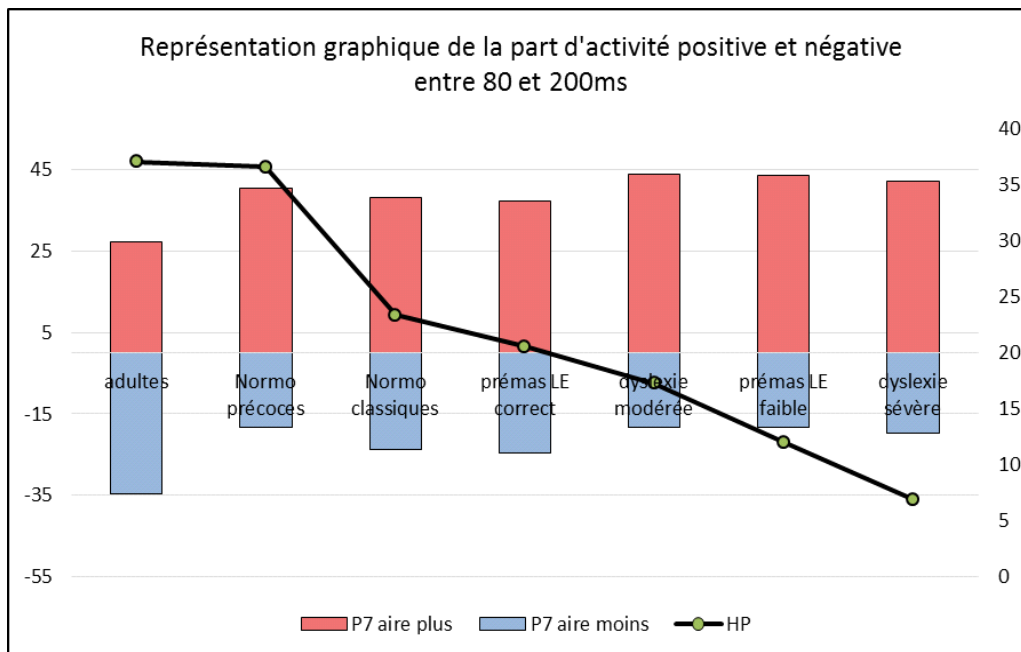


Figure 51 : Représentation graphique de la part d'activité négative et positif pour chaque groupe, en lien avec le stock lexical (HP)

Quand on relie les aires à la psychométrie via des corrélations, de façon générale, les aires négatives sont corrélées positivement à la psychométrie et négativement à l'activité positive (annexe 43). Plus précisément, en population générale on retrouve 0.30 pour la VL, .39 pour les PLE, .35 pour les HP et .31 pour la PL, polarisé en opposition pour les aires +/- . Ainsi, la population prématurée s'est révélée au travers des divers résultats être une population différente de la population d'enfant normo lecteur et différente de la population dyslexique, même à vitesse de lecture égale.

IV.3.5.3 Discussion N170

Cette 3eme sous partie avait pour objectif d'étudier une population au développement cérébral dit atypique ou vulnérable. Les adolescents nés grands prématurés ont été comparé aux résultats de nos populations d'enfant né à terme normo lectrice et d'enfant né à terme dyslexique.

Notre travail avait aussi pour but de mettre à l'épreuve notre continuum de compétence en lecture élaborée. Nous avons réalisé des comparaisons statistiques pour nos groupes afin de caractériser leurs performances en lecture et les composantes précoces. Nous avons également réalisé des analyses de corrélation entre psychométrie et électrophysiologie afin de relier des marqueurs cliniques à des marqueurs électrophysiologiques comme avec les populations précédentes.

Les résultats cliniques

Nos résultats montrent que la population prématurée est très hétérogène. En effet, l'échantillon est scindé en deux groupes, il existe des prématurés avec une atteinte en lecture et des prématurés avec un niveau normal de lecture. Grâce à l'analyse de leur dossier médical, nous avons pu relier les performances psychométriques obtenus lors de notre expérimentation à des éléments clés du parcours développemental de nos sujets. Ainsi, nos sujets prématurés avec un score à la vitesse de lecture (VL) sous le centile 5 ont tous eu des troubles du langage oral initial. De plus, les prématurés les plus atteints au sein de ce groupe ont aussi des fragilités importantes sur le plan attentionnel et font pour certains l'objet d'un suivi régulier. En opposition, les prématurés ayant eu un score en VL normal ont très vite quitté le parcours de soin du CHU de Rouen. On ne note pas de lien causal direct, comme on pourrait s'y attendre, entre le degré de prématurité et la sévérité des troubles des apprentissages spécifiquement dans notre petite cohorte. Cette hétérogénéité des parcours de soin et des scores de nos sujets sont des faits classiques

souvent évoqués dans la littérature sur la prématurité. Crunelle en 2003 avait déjà évoqué cette fragilité en langage oral qui était présente chez un tiers des prématurés et impactait l'apprentissage de la lecture, une fragilité 2 à 3 fois plus retrouvée que chez les enfants nés à terme (Crunelle et al., 2003). De même pour les fragilités attentionnelles, elles sont retrouvées chez un enfant prématuré sur deux (Leclercq et al., 2006). Les sujets prématurés de notre étude qui ont un trouble de la lecture ont une atteinte moins sévère que les adolescents dyslexiques. Notre objectif est ici de décrire et caractériser ce phénomène.

Pour la dyslexie, depuis les années 2000 la communauté internationale soutient l'importance de la génétique dans le développement du trouble. Ce postulat est appuyé au moyen d'étude chez des jumeaux monozygotes et dizygotes, d'investigations en recherche sur la génétique et d'autre part, par la présence d'un trouble initial en conscience phonologique chez 70% des sujets (Ramus et al., 2005). Une fragilité initiale qui impacterait à plus long terme l'acquisition de la lecture. Quant aux enfants prématurés, de nombreuses publications rapportent des atteintes potentielles multiples comme évoqué en première partie. L'atteinte initiale des praxies bucco-faciales chez les enfants prématurés, nécessaire à l'acquisition du langage oral et par conséquent l'apprentissage de la lecture nous confortait dans l'hypothèse de la théorie motrice de la parole comme rapporté dans des travaux antérieurs (Charollais et al., 2010) et compatibles avec des publications plus récentes (Dehaene et al. 2013). Ainsi, si on part du postulat que les enfants prématurés n'avaient pas de risque de développer une dyslexie sur le plan génétique, cela laisse penser que la naissance avant le terme impacterait le développement des réseaux neuronaux sous-jacent à la lecture comme l'évoque des études IRM fonctionnelles à 8 ans (Peterson et al., 2002 ; 2009). Par ailleurs, si le trouble dyslexique est bel et bien causé par des variations génétiques, les impacts sur la formation des réseaux neuronaux de la lecture sont plus ou moins homogènes chez les enfants dyslexiques nés à terme et

centrées sur des zones identifiées (Elnakib et al.,2014,). Les études IRM démontrent des atteintes homogènes et désormais classiques chez des sujets dyslexiques : l'hypo-activation des régions impliquées dans la lecture et la symétrie anormale du corps calleux et ou du planum temporal (Gallaburda et al.,1985). En opposition, la prédiction des atteintes possibles sur les réseaux neuronaux chez les sujets prématurés est complexe puisqu'elles peuvent être multiples. En effet, les atteintes peuvent à la fois être en lien avec la sévérité de la prématurité, le poids de naissance, les souffrances fœtales ou encore le patrimoine génétique initial. Les enfants prématurés présenteraient des variances interindividuelles encore plus importantes puisque chaque élément précédent puis constituant et aidant la spécialisation des neurones de la lecture peut être atteint par un phénomène environnemental propre à chaque enfant au moment même de la formation des principaux réseaux du néocortex. Nous décrivons et caractérisons ce phénomène à l'aide de nos résultats électrophysiologiques. En effet, si la déflexion est dans le positif, elle impacte la surface de l'aire positive et réduit l'aire négative et inversement si elle se trouve sous la ligne de base. Des analyses corrélationnelles nous ont permis de mettre en avant l'impact de l'emplacement de la N170 sur l'importance du traitement positif et sur le commencement du processus d'encodage. Ceci via d'une part, des liens avec la position de la N170 au moyen d'un codage binaire en 1/0 et d'autre part, par une corrélation stable entre le point d'entrée qui représente le début d'encodage de la stimulation et les aires. L'aire positive était corrélée positivement au point d'entrée et à l'emplacement d'une N170 sous la ligne de base.

Nous discutons le sens de cette part de positivité/négativité. Un équilibre positif/négatif qui varie en fonction des échantillons et dont le point d'entrée dans la négativité serait la jauge temporelle de ce passage. En effet, cet équilibre est une véritable construction puisque la part de positivité et de négativité est différente en fonction de la maturation comme le montrent nos résultats, conformes à la littérature sur les analyses

d'amplitudes (Korinth et al., 2012). Notamment parce qu'il y a une positivité toujours plus importante chez les enfants en opposition à l'adulte. Ainsi, l'expertise en lecture prend forme par ce changement d'équilibre entre la première composante, P100, qui représente l'analyse des caractéristiques de la stimulation (Rebaï et al 1998) et la seconde, la N170.

La N170 est définie dans la littérature comme un véritable marqueur de l'expertise en lecture mais aussi, comme un marqueur d'un trouble de la lecture (Mahé et al., 2013 ; Maurer et al.2011). La littérature décrit les étapes classiques de la construction du pattern de lecture et notamment la présence de cette négativité (N170) très rapidement après avoir été surexposé, comme on peut l'être à l'école primaire, à la conversion graphème/phonème. Cette composante négative est aussi fonction de la complexité du stimulus à traiter. Dans notre étude nous avons choisi des mots très fréquents et courts, mais également des pseudo-mots. Des pseudo-mots qui devraient, par leur étrangeté, être analysés de façon similaire à un mot nouveau en voie phonologique comme le présente le modèle de la double voie (Coltheart et al., 2001). Or, aucune différence de traitement n'a été retrouvée entre les deux conditions. Le modèle de Gombert peut être compatible avec ces résultats en supposant que le trouble se révélera par la complexité des deux : mots et logatomes. La N170 repère l'étape sub-orthographique avec ou sans sens. Les composants plus tardifs lexicaux N230 et sémantiques N400 devraient nous permettre de répondre

Par ailleurs, sur le plan qualitatif, cet équilibre positif/négatif se matérialise différemment chez la population dyslexique et chez la population atypique (prématuré). Les patterns très atypiques montrent une légère déflexion à 170 ms non « fonctionnelle » puisque cette N170 reste dans le positif. Ce défaut était-il dû à des difficultés dès la P100 ou des difficultés dans l'exécution de l'analyse sub-orthographique représentée par la N170 ? Pour répondre à cette question nous nous devons de garder à l'esprit que même si ce phénomène est majoritairement présent chez une population touchée, né à terme ou

non, elle l'est aussi en minorité chez les enfants normo lecteurs. Elle n'est donc pas forcément en lien avec une fragilité de lecture actuelle chez nos sujets. Les résultats antérieurs que nous avons obtenus, nous avaient dirigés vers la réflexion suivante : la N170 dans le positif serait en lien avec une « cicatrice développementale initiale ». Cette hypothèse est d'autant plus pertinente aujourd'hui par le fait que la N170 dans le positif est beaucoup plus présente chez une population prématurée qui est plus vulnérable et qui aurait la « nécessité » de « réparer ou compenser » pour être fonctionnel dans l'acte de lecture. Il n'y aurait donc pas de construction normative du pattern par une maturation habituelle mais une construction des réseaux neuronaux différents chez des enfants prématurés. La présence de la N170 au sein de la P100 semble bien être un marqueur neurodéveloppemental, comme une cicatrice. Une autre hypothèse peut être envisagée et elle pourrait expliquer aussi la présence de la N170 dans le positif chez les normo lecteurs à un moment T : les fragilités attentionnelles. Il est important de garder à l'esprit que le pattern obtenu est certes représentatif de la stratégie de traitement habituellement du sujet via l'implication des processus top-down mais, il l'est aussi d'un état d'esprit à un moment donnée dans un cadre expérimental. Ainsi, nous pensons que la présence d'une N170 dans le positif pourrait être due à des fragilités attentionnelles car le processus attentionnel est fortement mis en jeu dans la composante initiale du traitement de la P100. De ce fait, une mauvaise extraction impacte donc l'ensemble du traitement et peut expliquer nombre d'erreurs faites au cours de la lecture : omission, ajout, soustraction de mot. Cette composante est aussi par définition, comme le sont classiquement les composantes dans le positif, chargée en attention, une attention exogène ; c'est-à-dire non dirigée volontairement vers une stimulation. Le sujet est en d'autres termes, happé par une stimulation. Pour que le processus soit effectif, les capacités d'attention initiales du sujet doivent être fonctionnelles. Cette approche a pour postulat un déficit d'orientation automatique de l'attention chez les dyslexiques. Ce défaut est dû à une capture

attentionnelle ralentie. En effet, chez ces sujets l'empan visuo-spatial se trouve réduit. Par ailleurs, chez l'enfant prématuré, Leclercq a évalué chaque forme d'attention de ces enfants en se référant au modèle attentionnel de Posner et Rothbart de 1991. Les auteurs ont ainsi montré une fragilité des processus de contrôle et d'alerte attentionnel chez les enfants prématurés (Leclercq et al., 2006). Après avoir proposé des hypothèses explicatives au phénomène observé sur le plan électrophysiologique, nous présentons nos résultats corrélacionnels.

IV.3.5.4 Continuum de lecture

Lors des étapes précédentes, un lien corrélation entre la VL et la latence de la N170 ou point d'entrée dans la négativité, avait été retrouvé. Une corrélation forte et négative auquel nous avons donné le sens d'un continuum de compétence en lecture se traduisant à la fois sur le plan psychométrique et sur le plan électrophysiologique. Un continuum élaboré chez une population née à terme. Nous interroignons alors sur l'intégration possible ou non de la population prématurée dans ce continuum ? Pour que cela soit possible, il est nécessaire d'obtenir un lien corrélation entre la VL et les points d'entrées dans la négativité des enfants prématurés.

Or, nos analyses corrélationnelles ne permettent pas de mettre en avant l'existence d'un tel lien, mais elles ne permettent pas non plus de l'infirmier, l'absence de résultats significatifs n'étant pas un résultat en soi. Quand on analyse finement la répartition du point d'entrée dans la négativité chez ces enfants prématurés on se rend compte que les enfants prématurés sont répartis entre 120 et 180 millisecondes. Il n'y a donc aucun retard dans l'entrée dans la négativité chez nos sujets prématurés, un résultat attendu puisque leur niveau de lecture est beaucoup moins sévère que certains dyslexiques et que c'étaient uniquement les dyslexiques avec une atteinte sévère qui étaient retardés. Ce phénomène est aussi appuyé par une perte de 15 points dans la force du lien entre VL et la population générale quand on y ajoute les enfants prématurés.

Ainsi, ces derniers éléments corrélationnels, l'ensemble de nos réflexions sur la clinique du prématuré et sur le pattern électrophysiologique de nos sujets nous laissent penser que la population prématurée est singulière. Premièrement, par les multiples possibilités d'adaptation du sujet à ces fragilités, et deuxièmement par des fragilités neurodéveloppementales elles-mêmes, qui sont propres à chacun. Par cela, leur atypicité fait qu'il semble déroger à la règle du développement cérébrale classique, par leur vulnérabilité et leur histoire le cerveau s'adapterait différemment.

IV.3.5.5 Conclusion de la DL sur la population d'enfants nés Prématurés comparativement aux populations d'enfants normo lecteurs et dyslexiques.

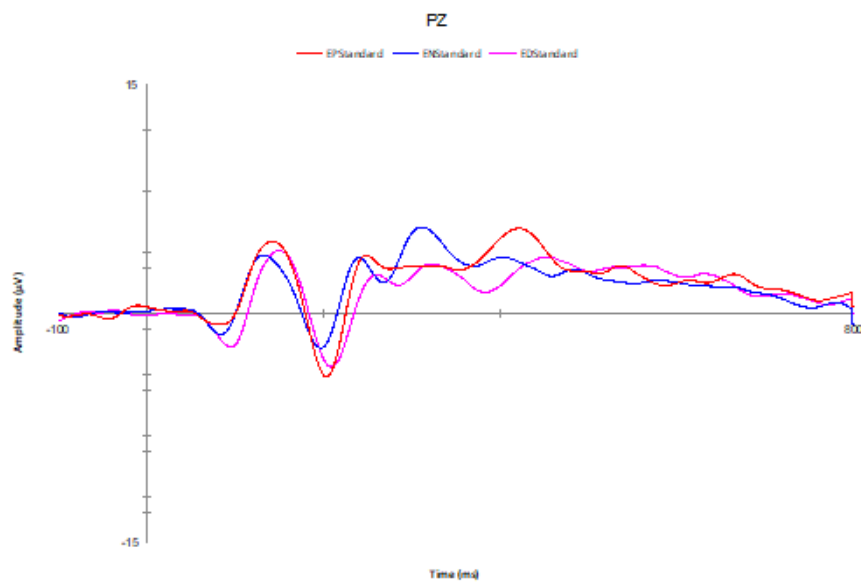
Cette partie consistait à étudier une population vulnérable et atypique : les enfants prématurés. Les résultats de nos travaux au sein de cette population d'enfants nés grands prématurés nous montrent leur singularité en différents points : par leurs histoires neurodéveloppementales, par leurs acquisitions « académiques » et aussi par leurs patterns qui sont plus complexes que ceux de nos populations de références.

Leur pattern et l'onde N170 sont encore plus hétérogènes que dans la population dyslexique. Cette hétérogénéité est croissante au sein de nos populations témoins, dyslexique et prématurée. Si la N170 en décision lexicale a une forte significativité d'automatisation de la lecture, elle n'en est pas moins contrainte par l'onde P100. Le couple P1N1 se révèle un marqueur neurodéveloppemental de l'acquisition et spécialisation de la lecture. Ce résultat est cohérent avec la modélisation psycholinguistique de Gombert, supposant que les troubles en lecture sont des troubles d'apprentissages implicites. L'analyse plus précise du couple P1N1 rendrait également compte des difficultés d'interprétation des pics d'amplitudes et la plus grande signification des latences que Woodman explicite. La N170 du groupe d'enfant nés prématurés en décision lexicale montrerait des difficultés préalables à sa spécialisation en lecture. Ces

résultats nous permettent de supposer que l'automatisation d'une fonction spécialisée n'est pas le résultat d'une seule stratégie mais représentatifs aussi, d'un parcours développemental fait de compensations et d'adaptations propre à chacun.

IV.3.6. Analyse de l'Effet OddBall.

Nous avons d'abord analysé classiquement l'effet OB en mesurant la latence et l'amplitude de l'onde P300. (Figure 52). Nous retrouvons un effet du mot sur l'amplitude pour les trois groupes d'enfants adolescents mais cet effet n'est pas le même en fonction du groupe. Nous ne pouvons donc conclure à un effet spécifique du mot dans notre paradigme d'OB.



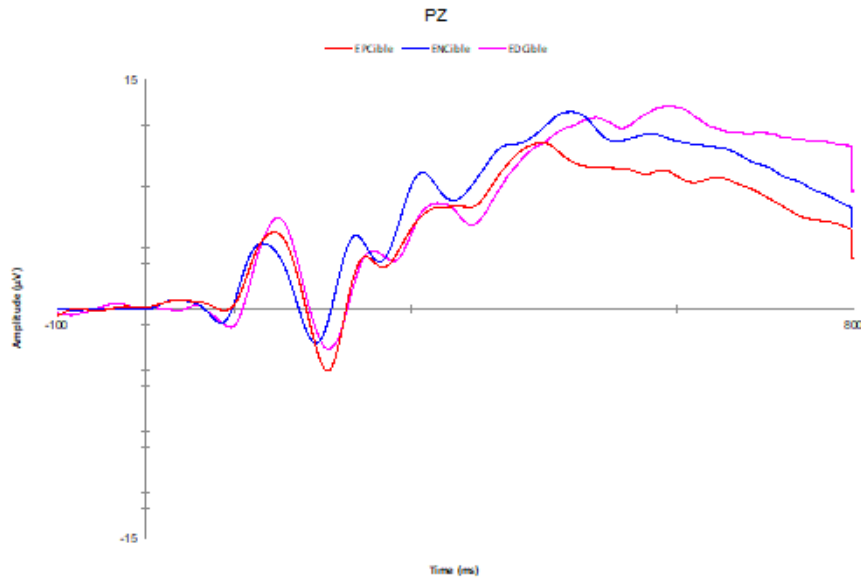


Figure 52: OddBall Mots standards en haut. Mots cibles en bas droite En rouge le pattern de l'enfant NGP. En Bleu le pattern de l'enfant Normo lecteur. En Rose l'enfant Dyslexique.

Le groupe a un effet sur la latence. ($F_{2,36} = 4,127$) $p = 0,02$. Il y a un effet « mot » (type de mot) sur la latence. Il n'y a pas d'effet significatif mot groupe. L'effet du mot ne varie pas en fonction du groupe. (Figure 53)

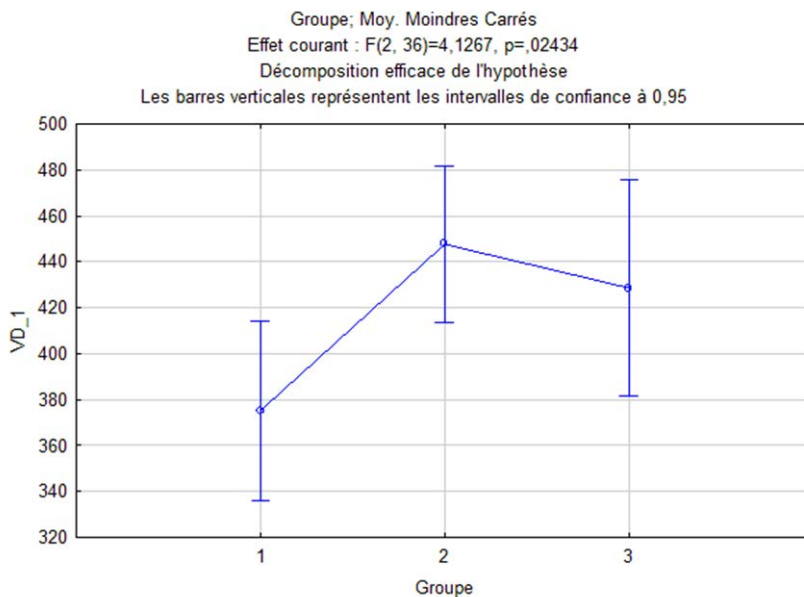
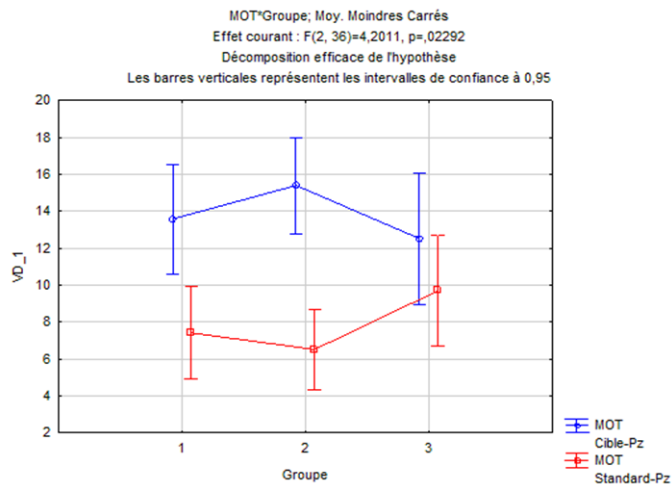


Figure 53 : effet du groupe sur la latence de P300 La latence de la P300 des enfants normo lecteurs (1) est plus faible que la latence des enfants dyslexiques (2) quel que soit le mot cible ou standard. La latence de la P300 des enfants prématurés (3) a la plus grande distribution et chevauche les scores des deux autres groupes.

La latence de la P300 pour les mots standards est plus courte pour tous les groupes. Le groupe a un effet sur la latence des mots standards. $F(2, 36) = 4,127$ $p = 0,02$. Il y a un effet « mot » (type de mot) sur la latence. Il n'y a pas d'effet significatif mot groupe. L'effet du mot ne varie pas en fonction du groupe. Nous retrouvons un effet amplitude attendu, plus important pour les mots cible que pour les mots standards pour tous les groupes. L'amplitude de P300 est plus variée et néanmoins regroupée pour les mots cibles et standards pour le groupe de prématurés comme s'il n'y avait aucune spécialisation. (figure



54)

Figure 54 Le groupe 1 est le groupe d'enfants normo lecteurs. Le groupe 2 est le groupe d'enfants dyslexiques. Le groupe 3 est le groupe d'enfants prématurés

Les corrélations avec tous les paramètres psycholinguistiques des trois groupes montrent **une corrélation négative de la VL avec la latence de P300 en mots cibles ($r = -0.39$)** (figure 55)

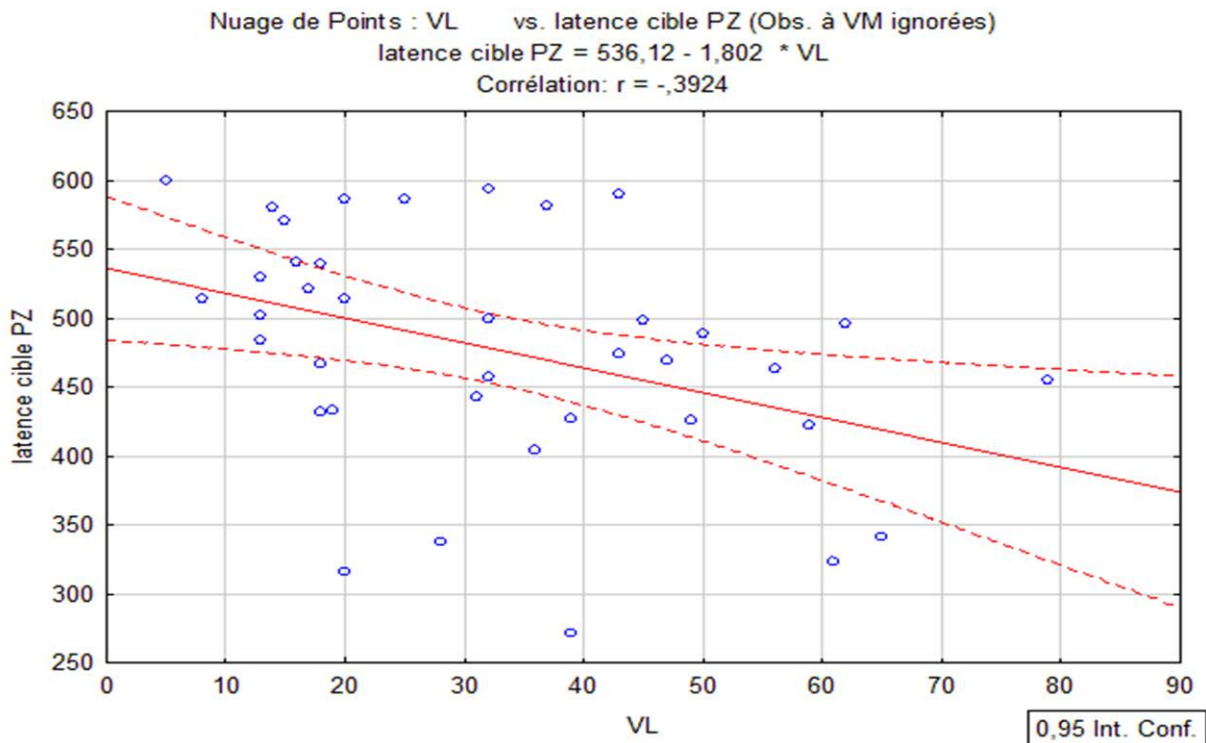


Figure 55 Corrélation négative entre le score à VL et la latence de P3 pour les mots cibles pour tous les groupes d'enfants normo lecteurs, dyslexiques et prématurés. Les enfants prématurés et dyslexiques ne sachant à peine lire et dont les tracés sont difficilement interprétables ont été soustrait pour cette analyse. (n=38).

Cette corrélation négative de VL avec la latence de P300 pour les mots cibles est intéressante car VL était déjà corrélée négativement avec la latence de la N170 en décision lexicale pour les normo lecteurs adultes et enfants ainsi que les dyslexiques. La VL, vitesse de lecture est un score composé de jugement orthographique de pseudo-logatomes et homophones sur le nombre de mots lus silencieusement. Plus faible est la vitesse VL, plus la N170 est tardive en DL, et plus la latence pour les mots cibles est grande en OB pour tous les groupes. Ce qui signifierait un processus lent de lecture spécifique exploré par la DL et un processus plus « en temps réel » exploré par l'OddBall. Ces résultats semblent cohérents avec les connaissances et compréhension du développement de la lecture et les interprétations des PEVc. Cependant, la corrélation de VL avec le décours temporel de P1N1 en DL n'existait pas pour les prématurés. La tâche d Oddball n'explore pas les mêmes fonctions de la lecture. L'effet OddBall est sensé

refléter un travail rapide en mémoire de travail en lien avec l'attention « interne ». Il pourrait s'agir d'un traitement superficiel de mot identique ou non sans même « lire au sens comprendre » le mot. On peut supposer que même des faibles lecteurs au sein des enfants prématurés repèrent une variation d'une lettre entre les mots standards et les mots cibles. La latence de P3 cible est corrélée pour les trois groupes au score d'Homophone (mots visuellement différents mais se prononçant de la même façon) et non au score de pseudologatomes (mots avec phonèmes proches). Ce résultat conforte nos résultats liant l'effet oddball au score de leximétrie à VL. L'Oddball selon notre méthodologie et stimuli mots montre une première corrélation originale pour une population d'enfants nés prématurés entre une vitesse de lecture silencieuse et la latence de la P300. Pour préciser ces résultats et devant l'hétérogénéité des vitesses de lecture des enfants prématurés nous avons regardé l'effet OddBall en séparant les mauvais lecteurs : dyslexiques très sévères et les enfants prématurés faibles lecteurs sur la base de leur résultat de VL.

Cette procédure d'analyse, déjà faite pour le paradigme de Décision Lexicale nous permet de centrer notre travail sur la recherche d'une corrélation entre une mesure clinique effectuée pluri quotidiennement et les PEV lecture précisant les mécanismes sous-jacents. La VL égale ou inférieure au niveau CE2 a séparé les dyslexiques en dyslexiques sévères et dyslexiques modérés. Nous avons séparé les enfants prématurés de façon identique. L'objectif était de prendre en compte l'hétérogénéité des patterns avec la variabilité de la P3 arrivant précocement, comme très tardivement selon les sujets et l'importance du trouble mesurée par VL.

Cette analyse se justifie car certains de nos sujets prématurés présentent un effet Oddball atypique, comme de la négativité ou un retard d'apparition, de façon identique à la population dyslexique. Six sujets dyslexiques montrent un effet Oddball perturbé jusqu'à 435ms et trois enfants prématurés ne montrent pas d'effet Oddball significatif entre 225 et 510ms Ainsi, si l'on considère que la tâche de discrimination de type Oddball repose sur

des traitements visuo-attentionnel et visuo-représentationnel pour être réalisée, alors les enfants qui montrent un effet Oddball retardé pourraient être perturbés à ces différents une vitesse de lecture inférieure à 20. Cependant, concernant cette méthode, seul trois enfants prématurés montrent un effet Oddball perturbé. L'ensemble de ces résultats sont significatifs. Il est à préciser que cette méthode d'analyse de pic n'est corrélée à aucunes performances psychométriques. Par conséquent, afin de comprendre les difficultés de cette population nous les avons analysés en séparant en fonction de VL comme pour les autres analyses. (figure 33).

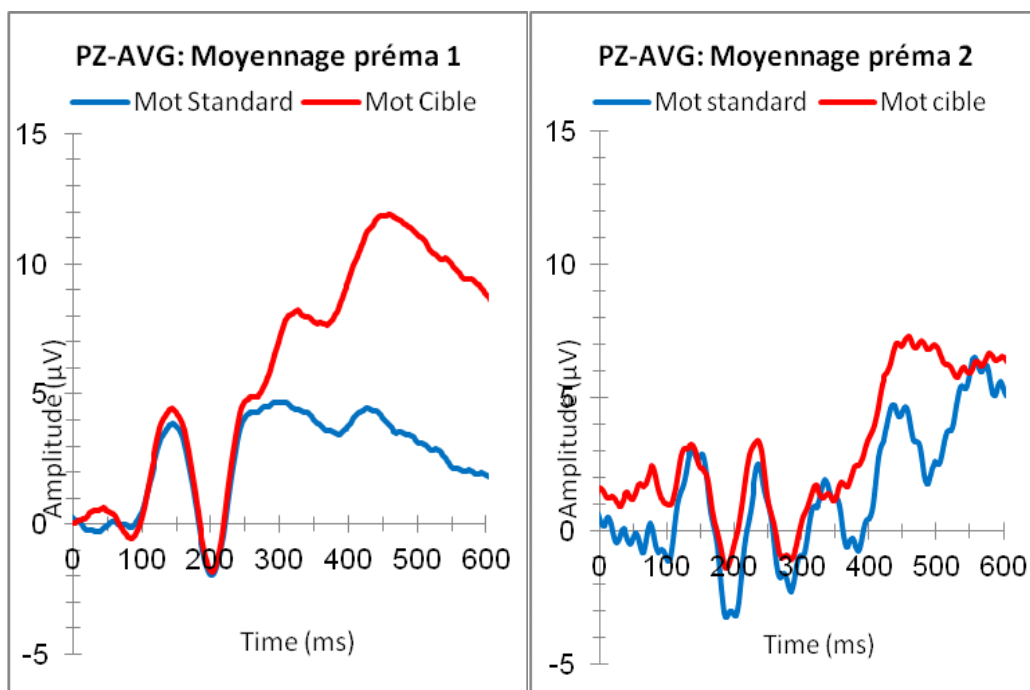


Figure 56 : Effets OB différents entres prématurés sans difficultés de lecture a gauche et très gênés en lecture à droite. L'hétérogénéité des tracés OB des enfants nés prématurés peut être éclaircie par VL : à gauche VL normale pour l'âge à droite VL pathologique...

Comme attendu, les enfants dyslexiques sévères et les prématurés faibles lecteurs ont des patterns de lecture en OddBall atypiques ou inversés, voir difficilement interprétables. Les enfants prématurés normolecteurs ont un effet OddBall similaire aux enfants normolecteurs. Les dyslexiques modérés montrent des amplitudes différentes mais un bel effet OddBall. L'effet Odd Ball mesuré en terme d'amplitude totale de P3 (P3p, P3m, P3t) pour

les mots cibles retrouve une corrélation différente en fonction des groupes. L'absence de corrélation chez les sujets normo lecteurs adultes est considérée comme la norme et le reflet de la maturation et automatisation experte de la lecture. Les enfants normo lecteurs ont une corrélation avec leur score de matrice qui pourrait être en lien avec une compétence visuoattentionnelle. Les enfants dyslexiques ont une amplitude en P3 cible corrélée à leurs scores de pseudologatomes écrits. Les enfants prématurés ont une corrélation avec leurs scores d'homophone. Ces résultats entre des scores de leximétrie différents entre deux groupes d'enfants avec une hétérogénéité de lecture confortent notre hypothèse de troubles différents. Les dyslexiques ont une amplitude de P3 d'autant plus grande pour les mots cibles qu'ils sont bons en repérage de pseudo logatomes écrits. Ce résultat peut être interprété comme les effets de la rééducation orthophonique. Les enfants NGP ont une amplitude de P3 pour les mots cible d'autant plus grande qu'ils savent repérer les homophones. Ces observations nous permettent d'exploiter plus avant ce paradigme. Cependant nous ignorons si l'amplitude de l'effet OB pour ces deux groupes marque le déficit ou la compensation. Les taux de réussite et de temps de réponse de tous les groupes n'étant pas exploitables.

IV.3.7 Discussion de l' effet Odd ball chez la population Prématurée

Notre recherche visait à décrire l'activité neurologique de détection rapide de mots simples et transparents chez des adolescents dyslexiques nés à terme et chez des enfants du même âge nés prématurés, afin de savoir si l'OB , élément contributif à la mémoire de travail, était comparable à l'effet Tuning de la décision lexicale ou s'il nous apportait plus d'éléments ? En d'autres termes, est ce que la détection de mots proches simples relève d'un fonctionnement identique quand ces mots sont acquis pour ces trois populations ? Les enfants nés prématurés ont-ils des apprentissages de lecture différents des adolescents normo lecteurs, et/ou des enfants dyslexiques, comme le laisse penser nos résultats en DL

? Nos résultats statistiques en ANOVA montrent que les groupes se distinguent entre eux en terme de variance pour tous les paramètres testés, ce qui nous permet de mettre en évidence des corrélations. Les enfants dyslexiques se différencient des enfants prématurés pour des composants psychologiques. Tout en étant normales, les Matrices sont meilleures pour les enfants dyslexiques que pour les enfants prématurés. Ces données sont connues et rejoignent les données d'Epipage, relevant des coefficients de développement (QI) normaux, mais plus faibles, que dans la distribution de la population générale. Au plan électroencéphalographique, la latence des mots cibles et standards est liée au score de VL. L'amplitude des mots « cible » est plus forte dans tous les groupes que celle des mots « standard ». Par groupe, les enfants normo lecteurs ont une latence corrélée aux Codes, qui est également une mesure de vitesse et d'attention. Les dyslexiques ont une amplitude en mots standards corrélés à la Précision Lexicale et aux Matrices. On sait qu'un enfant dyslexique compensera d'autant plus facilement qu'il a des ressources non verbales (Poletti et al., 2016). Ces résultats sont donc conformes à la bibliographie. Concernant notre population de prématurés, qui par groupe entier ne montre aucune corrélation sur l'ensemble des éléments psycholinguistiques, on peut faire l'hypothèse que le groupe est trop hétérogène ou de trop faible effectif. En séparant les prématurés très faibles lecteurs, la latence varie avec VL pour les mots standards et cibles. La différence apparaît en termes de latence, donc de vitesse de traitement, mais également en durée. Les enfants dyslexiques ont un effet OB moins important que les enfants du même âge normo lecteurs. Ce résultat argumente en faveur du rôle de la connaissance des mots sur cet effet OB. En d'autres termes, le repérage de différence de mot simples (cable / sable) est plus tardif, mais avec moins d'engagement attentionnel ou moins de ressource en mémoire de travail. Cette corrélation inverse, entre la vitesse de lecture (VL) et la latence de la P300 pour les mots cibles et standards dans toutes les populations, confirme l'intérêt d'étudier ces paramètres. Ces résultats originaux viennent confirmer et préciser l'intérêt de l'activité

neuronale d'OB en lecture qui est corrélé dans notre travail à la vitesse de lecture. Ainsi, on argumente un lien spécifique et différent pour tous les adolescents dyslexiques, entre le cout cognitif de la mémoire de travail et la VL.

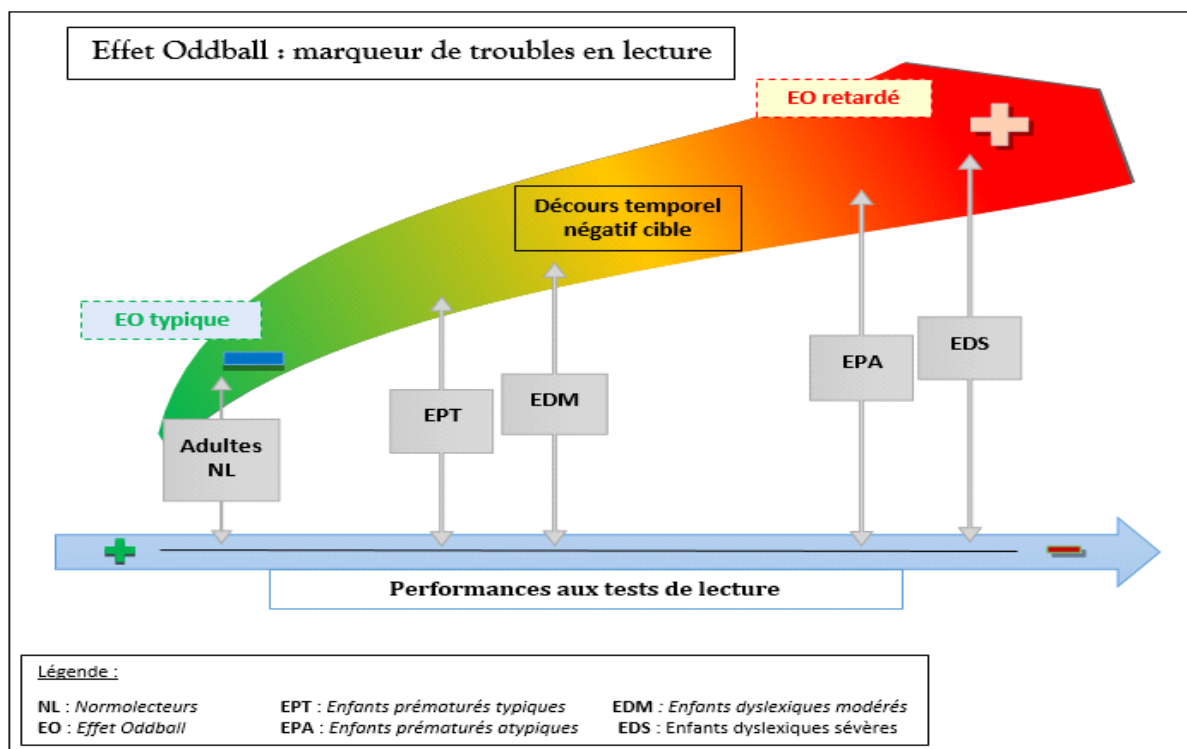


Figure 57 : effet Oddball varie avec l'automatisation de la lecture (VL) corrélée à la latence.

IV.4 Conclusion

1ere Expérimentation 3 populations adolescentes Normo lecteurs Dyslexiques et Prématurés

Notre méthodologie est adaptée et a permis de mettre en évidence des nouvelles caractéristiques électrophysiologiques neurodéveloppementales de la lecture. Néanmoins, la population des enfants nés prématurés révèle des hétérogénéités nous ayant fait séparés les très faibles lecteurs. Des stimuli plus simples seraient plus adaptés. **Nos résultats électrophysiologiques**, sur nos différentes populations d'adolescents normo lecteurs, dyslexiques, et prématurés, semblent nous orienter vers une procédure

neurologique de lecture différente chez les enfants nés prématurés, moins spécifique que chez les dyslexiques. Dans l'hypothèse psycholinguistique de Gombert, les troubles de lecture sont des troubles d'apprentissage implicites, ce qui est compatible avec notre hypothèse initiale de théorie motrice de la perception de la parole. La gêne en programmation motrice induirait un trouble phonologique en langage oral, puis en langage écrit. Si le trouble est perceptif, la mémorisation de la programmation des syllabes, usuellement localisée dans la zone de Broca, serait plus difficile, engendrant des coûts attentionnels plus ou moins compensés par les autres ressources de chaque individu. Ceci rendrait chaque enfant né prématuré plus vulnérable à son environnement au sens large. L'ensemble de la littérature ainsi que les suivis de cohortes des enfants prématurés retrouve ce facteur socioéconomique et éducatif très lié aux apprentissages, de façon générale. La contrainte initiale développementale des enfants nés prématurés toucherait un aspect sensori moteur, plus ou moins « compensable » par les facteurs intrinsèques de l'enfant et le NSE. Les facteurs intrinsèques déterminant « la plasticité cérébrale » (co morbidités : MMH ,DBP, ECU , SFA, terme, trophicité ...), sont regroupés sous le terme de facteurs périnataux, plus ou moins compensés par les facteurs extérieurs que sont le NSE. Par ce dernier facteur on entend, la stimulation adaptée et l'entraînement des fonctions exécutives, dont l'attention est l'acteur principal. L'ensemble de ces données peut expliquer l'importante hétérogénéité de notre groupe de prématurés adolescents.

Pour explorer notre population cible d'enfants de 8 ans, nés prématurés suivis dans la cohorte LAMOPRESCO à 4 ans, nous avons décidé de simplifier encore nos stimuli, avec des mots cibles phonologiquement proches et des mots cibles visuellement proches, ceci afin d'essayer de limiter l'hétérogénéité et de distinguer les aspects phonologiques moteurs des aspects visuels, tant en Décision Lexicale qu'en OddBall. La question est également, de savoir si les PEV en lecture à 8 ans, d'enfants nés grands prématurés, nous apportent un élément neurodéveloppemental confortant notre hypothèse sur la théorie motrice de la

perception de la parole. La question de l'inadéquation, entre les stimulations de langage oral perçues précocement et la maturité motrice à les mémoriser, rejoindrait les travaux sur l'explication des dys stimulations au sens large. Enfin, la recherche de différence entre les enfants NGP rééduqués précocement en langage oral et leur homologues non rééduqués est notre objectif final.

V. 3eme partie

Deuxième expérimentation : 3 populations d'enfants de 8 ans

V.1 Prématurés LAMOPRESCO et ERP lecture

Pour décrire et analyser l'acquisition de la lecture au sein de notre population d'enfants nés grand prématurés randomisés, nous avons créé une étude ancillaire à notre deuxième PHRC LAMOPRESCO 2. Nous avons proposé aux enfants revus au CHU de ROUEN, de participer à notre recherche clinique sur les potentiels évoqués en lecture. Ces enfants font partie de la cohorte constituée par le premier PHRC et sont à nouveau sollicités à 8 ans, pour analyser leurs caractéristiques d'apprentissage de la lecture. L'enregistrement en PEV lecture n'a concerné qu'une partie des enfants randomisés pour des raisons de contraintes géographiques. Les résultats significatifs démontrant les effets de la rééducation à partir d'une technique protocolisée « Dire & Faire » (**Khomsi**), sur le stock lexical, la compréhension et la morphosyntaxe, avaient été évalués à 6 mois de la rééducation. L'absence de significativité sur notre critère de jugement principal, la phonologie, testée en répétition de mots, nous a orientés vers la recherche d'un marqueur neurophysiologique. Si les paramètres sensori moteurs sont constitutifs précocement de la compétence phonologique, la lecture pourrait être plus discriminante pour révéler des différences de construction phono alphabétique. Nous re testons notre population 4 ans après les avoir randomisés. De nombreux facteurs confondants ont pu survenir. Des

atteintes sensorielles, des stimulations et rééducations différentes, ainsi que des troubles médicaux et ou psychiques, sont des événements de vie qui peuvent modifier le développement du langage oral et écrit. Les nombreuses autres caractéristiques développementales sont contrôlées, puisque nous n'avons trouvé aucune différence significative sur l'ensemble des paramètres répertoriés entre les deux bras des enfants randomisés. Nous émettons l'hypothèse que la fenêtre neuro développementale du langage ne permettra pas de modifier nos effets précoces. En d'autres termes, nous supposons que la flexibilité de l'enfant, au sens neuro développemental, à modifier les premiers constituants du langage est plus grande entre 3 et 4 ans qu'après 4 ans. Cette connaissance est une recommandation nationale récente. Il est aujourd'hui évoqué que les 1000 premiers jours de la vie de l'enfant sont optimaux concernant la plasticité cérébrale pour prendre en charge efficacement les troubles neuro développementaux de type trouble du spectre autistique. Ainsi une action précoce et adaptée aurait plus d'efficacité, ce qui sous tendait notre hypothèse initiale sur le langage oral. Qu'en est-il sur l'aspect phonologique ? Cette compétence est elle-même multisensorielle, avec des temps d'intégration peu précis sur l'éventuelle prépondérance d'un sens sur un autre. Est-ce que cette compétence légèrement améliorée en langage, mais non discriminée par la répétition orale de mots, se révèle au travers d'une compétence phono alphabétique de lecture ?

La littérature et nos résultats précédents confirment l'hétérogénéité du composant N170, qui reste néanmoins le marqueur de l'automatisation de la lecture. L'étude de cette hétérogénéité par l'analyse du couple P1N1, nous a permis de proposer une hypothèse d'étape préliminaire. La P100 est une étape incontournable d'extraction visuelle sous tendue par une attention visuelle sélective. Celle-ci serait progressivement spécialisée par un effet top down en parallèle d'une N170 plus constante. Nous proposons d'étudier en PEV notre cohorte d'enfants nés grands prématurés de 8 ans, âge auquel les enfants normo lecteurs présentent une N170 standard et les enfants dyslexiques une absence de

N170.

Nous abordons notre deuxième expérimentation avec des mots plus simples, connus dès le CE, et présentés en couple avec des visèmes / morphèmes plus contrastés. Un contraste phono alphabétique plus important est choisi, afin de vérifier nos premiers résultats en Décision Lexicale et nos hypothèses neuro développementales. Quel effet a notre rééducation sensorimotrice en langage oral à 4 ans sur la mesure électrophysiologique de l'acquisition de la lecture à 8 ans ?

V.2 Hypothèses

Il s'agit de décrire pour la première fois les PEV de lecture chez des enfants de 8 ans nés grands prématurés, bien caractérisés à 4 ans par le LAMOPRESCO 1 et de décrire les variations des composants de leur pattern de lecture par rapport à des populations témoins et des populations dyslexiques du même âge. Notre objectif principal est la mesure de l'effet de la rééducation sur des composants électrophysiologiques supposés marqueurs de la phonologie. Ce travail vise à mesurer, par la méthodologie développée sur d'autres populations et à d'autres âges, des différences entre les deux bras randomisés des enfants nés grands prématurés rééduqués versus non rééduqués. Est-ce qu'une rééducation en langage oral axée sur la phonologie modifie durablement des paramètres du langage oral et est ce qu'elle se traduit neurophysiologiquement ? Est-ce que les patterns de l'acquisition de la lecture à 8 ans sont marqueurs et sensibles des caractéristiques du langage oral ? Notre seconde expérimentation avec de nouveaux mots choisis pour étayer notre hypothèse a nécessité d'enregistrer de nouvelles populations de normo lecteurs, de dyslexiques du même âge, et une population référente d'adulte normo lecteurs. Est-ce que le pattern de lecture en PEV des enfants prématurés de 8 ans présente les mêmes particularités que celui des enfants prématurés de 12 ans ? Est-ce qu'en décision Lexicale la N170 est dans la positivité, chevauchant la P100 très

ample ? Est-ce qu'en OddBall la latence de la P300 est liée à VL, comme chez tous les groupes d'adolescents que nous avons enregistrés ? Est-ce que les enfants rééduqués sont meilleurs que les non rééduqués en VL ? Ont-ils une meilleure précision en pseudo logatomes utilisant la voie phono alphabétique travaillée ? Sont-ils toujours linguistiquement différents, comme à 4 ans, des enfants non rééduqués ? Est-ce que la composante précoce N170 différencie les groupes d'enfants de 8 ans ? L'hypothèse initiale était qu'en décision lexicale les enfants nés grand prématurés rééduqués à 4 ans aient de meilleures performances en lecture aux pseudo-logatomes à morphèmes proches plus qu'à visèmes proches. La rééducation « Dire & Faire » fait travailler en ralenti imité « la composante motrice » de la phonologie. Nous attendions des effets tant au plan comportemental (taux de bonne réponse), qu'au plan électrophysiologique. L'hypothèse d'une latence ou amplitude de l'onde N170 très différente entre les pseudo logatomes à morphèmes et visèmes proches, chez les enfants nés grand prématurés rééduqués, supportait la démarche expérimentale initiale. Nos résultats précédents rapportent l'importance de l'hétérogénéité intrapersonnelle et inter personnelle de la composante N170, d'autant plus variée qu'il existe des contraintes neurodéveloppementales. Le couple P1N1, que nous décrivons comme marqueur neurodéveloppemental dans nos populations d'adolescents, est supposé être plus homogène dans notre groupe d'enfants nés grands prématurés rééduqués. Nous supposons avoir un effet mesurable sur la construction de la voie phono alphabétique, puisque nous avons démontré cliniquement l'effet sur le lexique et sur la compréhension. Est-ce que notre méthodologie électrophysiologique expérimentale, ajustée par nos résultats sur des populations plus âgées, permet de le mettre en évidence ?

V. 3 Matériels et Méthodes de la deuxième expérimentation

Pour rappel nous utilisons les paradigmes expérimentaux d'OddBall et Décision Lexicale

avec de nouveaux stimuli (annexe 44). Les enregistrements étaient saisis avec les mêmes ordinateurs et le traitement des signaux se faisait par le même logiciel ASA. La programmation de chaque paradigme a été conçue pour que le mot soit présenté 500ms et le temps de réponse de 1sec. L'enregistrement démarré après l'obtention d'un tracé avec une ligne de base stable Les enfants de 8 ans auraient nécessité des présentations plus longues comme apprenti lecteurs mais nous voulions limiter l'enregistrement de chevauchement d'autres potentiels plus tardifs. Les stimuli étaient présentés en quatre blocs de quarante passages par couple de mots et pseudo mots morphèmes et visèmes proches en Décision Lexicale. Les mots standards représentaient 80% du temps et les mots cibles 20% en OddBall. Les rejets étaient de l'ordre de 10 à 20%, ce qui laisse un nombre de signaux à traiter correct de 30 en moyenne. La saisie et le traitement de l'enregistrement par l'ordinateur sont réalisés par le logiciel ASA. Un premier pattern électrophysiologique moyenné de tous les passages pour chaque enfant est obtenu par peakscoring. De façon descriptive si les patterns étaient similaires dans un même groupe d'enfants nous testions un grand moyennage. Un pattern par groupe apparaissait. Si les tracés étaient trop hétérogènes le grand moyennage ne présentait que peu d'intérêt car le nombre d'enfants par groupe était limité et ceci n'aurait pas permis de traduire une éventuelle réalité liée à la spécificité clinique du groupe. Les données statistiques ont également été réalisées de la même façon que dans 1^{ère} expérimentation. Nous avons testé par Statistica des analyses de variances en ANOVA entre nos paramètres cliniques. Si des différences significatives apparaissaient en ANOVA nous testions par un test post-hoc de Fischer le facteur significatif. L'ensemble des paramètres cliniques du recueil de données des enfants NGP du PHRC n'ont pas encore été traités et notamment certains critères moteurs des contraintes supposées. Néanmoins, nous avons enregistré en PEV un groupe homogène randomisés d'enfants NGP qui nous permet de décrire et analyser l'acquisition de la lecture. La modification des stimuli de notre protocole

expérimental a nécessité un nouvel enregistrement de populations témoins. Nous avons sollicité une population d'adultes normo lecteurs pour obtenir un pattern normatif de lecture experte. Nous avons enregistré une population d'enfants normo lecteurs nés à terme du même âge que notre population cible d'enfants nés grand prématurés, pour décrire le pattern normatif selon nos nouveaux stimuli. Nous avons enregistré une population d'enfants dyslexiques du même âge. Ils étaient inclus par le biais de la consultation du CRTLA. Une note d'information et un consentement étaient proposés aux parents et lus aux enfants. Les enfants dyslexiques devaient être nés à terme et ne devaient pas présenter de trouble sensoriel avéré. Ils n'étaient ni sourds appareillés ni traités pour un déficit d'attention. Les enregistrements des adultes se sont faits au laboratoire de psychologie, à l'université de Mont Saint Aignan, pour des raisons pratiques, comme lors de la première expérimentation. Les enregistrements des enfants se sont tous déroulés de façon identique au sein de la consultation du CRTLA du CHU de Rouen. La méthodologie fut la même que pour la première expérimentation. La même pièce, sans fenêtre, était utilisée le samedi, jour où la consultation est fermée, ce qui assurait de bonnes conditions d'enregistrement dans le calme. L'ensemble de la passation des tests psycholinguistiques et de l'enregistrement des potentiels durait 1h30. Des pauses avec des gouters étaient proposés dans la salle d'attente où les enfants pouvaient se détendre.

V.4 Résultats

V.4.1 Effectifs des 4 populations et Patterns

La Population Normo Lectrice Adulte est constituée de vingt-six adultes ont été inclus ; dix-huit femmes et huit hommes dont vingt-trois droitiers. Un homme a été exclu devant des performances en lecture faible (< C5 à VL). Il a été orienté vers un bilan orthophonique. Tous les participants étaient volontaires et étudiants à l'université de Mont saint Aignan.

L'âge moyen était de 22 ans et 4 mois. Deux étudiants portaient des lunettes pour myopie. Ils étaient tous droitiers homogènes. Ils ne prenaient pas de traitement particulier. La tâche était extrêmement simple et le coût attentionnel mineur voire inexistant pour cette population adulte témoin. Les données psycholinguistiques étaient toutes dans la norme et le pattern moyenné de lecture montrait peu d'amplitude. La Population Normo lectrice Enfants est constituée de vingt-deux enfants normo lecteurs ont été inclus ; onze garçons et onze filles, dont 20 droitiers. Ils avaient un âge moyen de 8 ans et 2 mois.

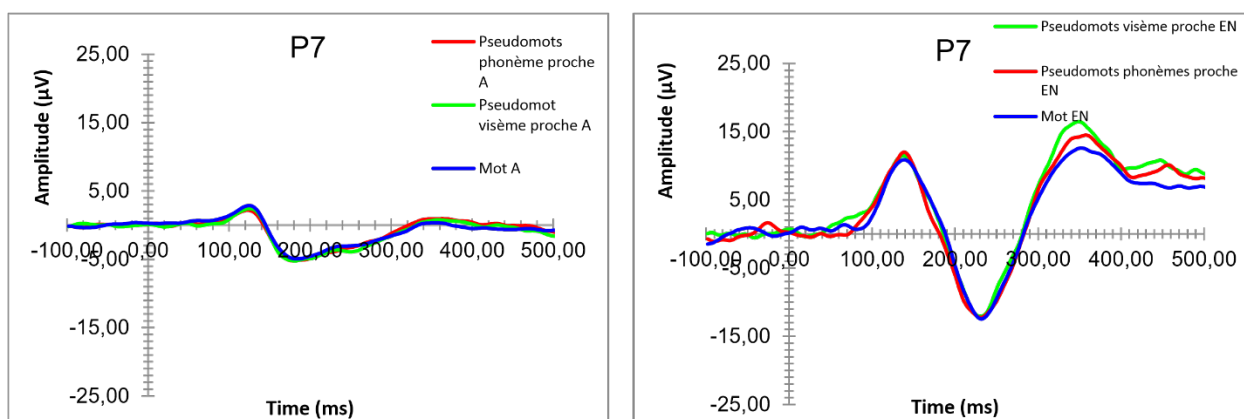


Figure 58 Adultes n=25 Décision Lexicale MOTS CE2 Enfants de 8 ans n=22

On repère à peine une très faible amplitude pour tous les adultes, avec néanmoins les composants caractéristiques des PEV Lecture En bleu les mots, en rouge les pseudo mots phonèmes proches en vert pseudo mots viseme proche.

La Population d'enfants nés grands prématurés est constituée de dix-neuf de la cohorte LAMOPRESCO 1 où ils avaient été inclus au sein de l'étude ancillaire de LAMOPRESCO 2 ; treize garçons et six filles, dont dix-sept droitiers. Ils avaient un âge moyen de 7 ans et 1 mois. La population d'enfants dyslexiques était constituée de onze enfants dyslexiques; sept garçons et quatre filles dont huit droitiers. Leur âge moyen était de 8 ans et 4 mois. Les passations des adultes ont eu lieu au sein du laboratoire de psychologie de Rouen (CRFDP). Pour les enfants, les passations se sont déroulées au CRTLA situé au CHU de Rouen avec la présence d'au moins un de leur parent. Chaque participant a donné son consentement libre et éclairé (Feuille de consentement). Quinze prématurés ont été

analysés sur les 41 de l'étude ancillaire du LAMOPRESCO 2. Différentes difficultés d'analyse et d'enregistrement ne nous permettent pas d'utiliser toutes les données pour l'instant.

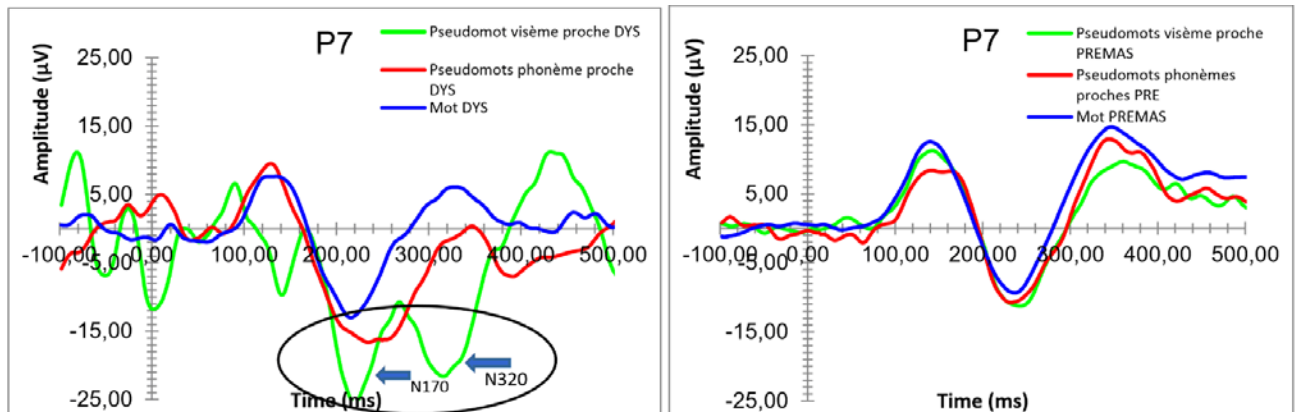


figure 59 Moyennage de Décision Lexicale enfants dyslexiques 8ans n=8 Enfants NGP n=18. En bleu les mots, en rouge les pseudo mots phonèmes proches en vert pseudo mots visème proche.

La comparaison des grands moyennages des signaux entre les trois populations a permis d'observer une différence entre les normo lecteurs (adultes et enfants) et les enfants nés prématurément. Chez l'adulte et l'enfant normo lecteur, nous observons une quasi-superposition des patterns électro physiologiques, quel que soit le type d'item ; tandis que chez l'enfant né prématurément, il existe des différences entre les trois signaux. En effet, les signaux des différents types d'items ne se superposent pas et nous observons des différences des caractéristiques des composantes, comme une amplitude P1 accrue pour le traitement des PMVP comparée aux PMPP et aux mots. Ces observations nous indiquent que les enfants nés prématurément n'auraient pas recours aux mêmes voies neuronales de traitement à cet âge, en fonction de l'item. Ces différences pourraient être en lien avec l'atypicité de la mise en place des réseaux de neurones de « pré-lecture », et la « construction / spécialisation » particulièrement variable pour la lecture en lien avec des circonstances différentes de la naissance prématurée.

V.4.2 Résultats psycholinguistiques

Dans le test de lecture en une minute (LUM), la comparaison deux à deux précise l'existence de différences significatives entre les enfants. Pour la LUM, les enfants normolecteurs ont des scores significativement supérieurs aux enfants prématurés ($p < 0.017$) et aux enfants dyslexiques ($p < 0.000$) tandis que les enfants prématurés ont tendance à avoir des performances de lecture supérieures aux enfants dyslexiques ($p = 0.057$).

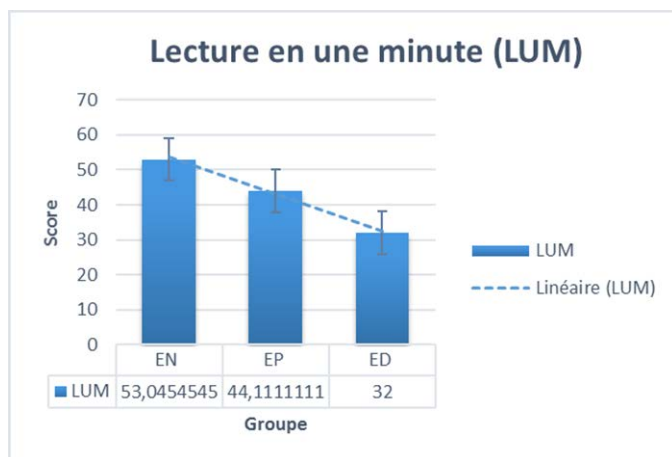


Figure 60 Performances au test de Lecture en Une Minute des enfants Nes Grands Prématurés (EP) entre les enfants enfants Normo lecteurs (EN) et les enfants dyslexiques (ED).

La Précision de Lecture (PL) est significativement meilleure pour les enfants normolecteurs que pour les enfants prématurés ou dyslexiques (respectivement $p = ,03$; $p = ,02$). Les enfants normolecteurs obtiennent également de meilleurs scores en Séquences lettres et Chiffres (SLC) que les deux autres groupes d'enfants (prématurés $p = ,002$; dyslexiques $p = ,005$). Les enfants normolecteurs sont meilleurs en Matrices que les enfants prématurés ($p = ,04$).

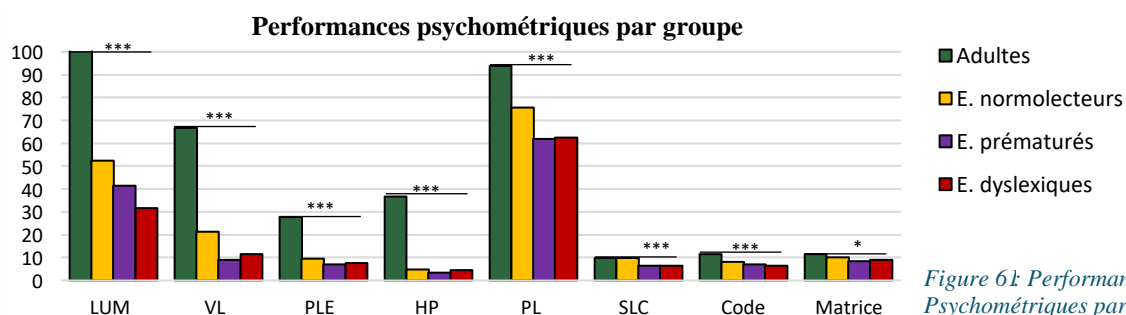


Figure 61: Performances Psychométriques par groupe

Comme dans la 1ère expérimentation, l'analyse met en avant un effet global de la population aux épreuves psychométriques, les adultes ayant des scores significativement supérieures aux trois groupes d'enfants, pour la LUM ($F(3,70)=110,36$, $p<0.000$), la VL ($F(3,69)=86,046$, $p<0.000$), les PLE ($F(3,70)=127,07$, $p<0.000$), les HP ($F(3,70)=161,81$, $p<0.000$), la PL ($F(3,70)=21,363$, $p<0.000$), la SLC ($F(3,70)=8,2058$, $p<0.000$), le Code ($F(3, 70)=8,888$ $p<.000$) et l'épreuve de Matrice ($F(3,70)=3,5133$, $p<0.019$) (figure 61).

Pour la VL, les enfants normolecteurs ont une vitesse de lecture significativement supérieure à celle des enfants prématurés ($p<0.005$) et qui a seulement tendance à être supérieure à celles des enfants dyslexiques ($p<0.057$). Les enfants normolecteurs ont tendance à identifier plus de PLE que les enfants prématurés ($p<0.058$) alors qu'ils ne diffèrent pas des enfants dyslexiques. Concernant les HP, il n'y a pas de différence significative entre les groupes d'enfants. Ainsi, comme l'ont montré les résultats précédents chez les adolescents de 14 ans, les enfants prématurés de 7-8 ans semblent plutôt présenter des difficultés orthographiques. La précision de lecture des enfants normolecteurs s'avère significativement supérieure à celles des enfants prématurés ($p<0.005$) et dyslexiques ($p<0.018$) alors que les enfants prématurés et dyslexiques ne diffèrent pas statistiquement ($p<0.895$).

A l'épreuve SLC, les scores de mémoire de travail des enfants prématurés et dyslexiques ne diffèrent pas significativement ($p<0.895$). Les enfants normolecteurs nés à terme ont des scores équivalents aux adultes experts en lecture ($p<0.897$). Ainsi, on note une différence significative en mémoire de travail chez les populations contrôles vis-à-vis des enfants prématurés et dyslexiques ($F(3,70)=8,2058$, $p<0.000$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre les trois groupes d'enfants aux épreuves Code et Matrice.

V.4.3 Résultats comportementaux

V.4.3.1 temps de réaction et taux de bonne réponse en Décision Lexicale

Le temps de réaction des mots, des pseudomots à phonèmes proches et des pseudomots à visèmes proches, concernant les enfants dyslexiques sont significativement inférieurs aux autres groupes, y compris par rapport aux enfants prématurés (Mot A $p=,000$; EN $p=,000$; EP $p=,000$; Pseudomots phonèmes proches A $p=,000$; EN $p=,000$; EP $p=,001$; Pseudomots visèmes proches A $p=,000$; EN $p=,000$; EP 18 $p=,000$). Nous pouvons remarquer que les pseudomots à phonèmes proches entraînent plus particulièrement un temps de réaction très faible chez les enfants dyslexiques. Tandis que le taux de bonnes réponses concernant les mots pour les enfants dyslexiques est significativement inférieur aux trois autres groupes ($p=,003$). Cette discordance entre un faible temps de réaction des mots et un faible taux de bonnes réponses des enfants dyslexiques avait déjà été constaté lors de notre première expérimentation. Toutefois, sur le plan descriptif, malgré un taux de bonne réponse et un temps de réaction significativement très faible pour les mots, il existe chez les enfants dyslexiques par rapport aux trois autres groupes, un temps de réaction faible des pseudomots à phonèmes proches, avec un taux de bonne réponse meilleur et presque équivalent aux normo lecteurs. Ce résultat interroge et n'avait pas été retrouvé chez des enfants dyslexiques de 12 ans. A noter, un taux de bonne réponse très faible sur l'ensemble des pseudomots à environ 40%, pour les enfants NGP (figure 62)

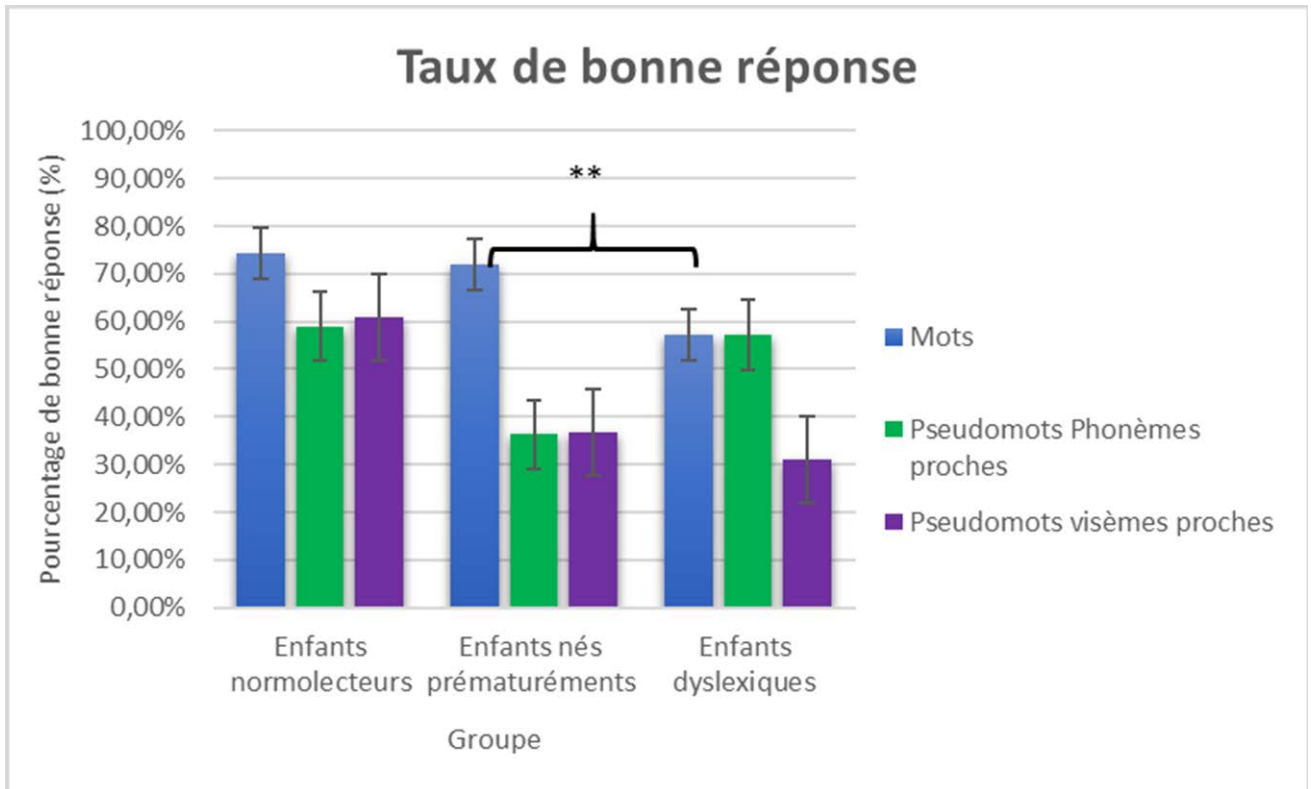
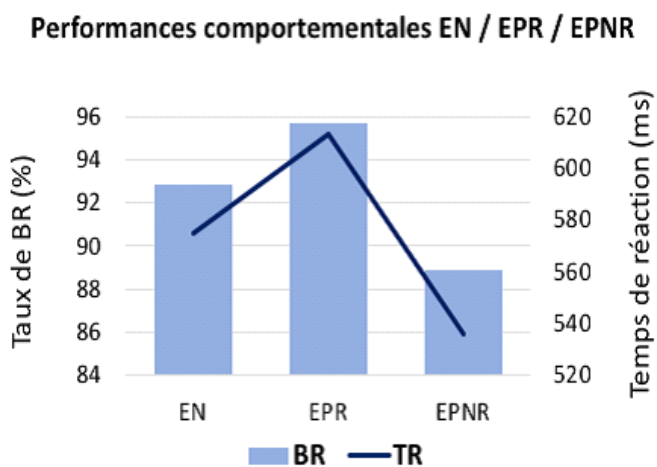


Figure 62. Performances comportementales : taux de bonnes réponses en Décision Lexicale.

V.4.3.2 Temps de réaction et taux de bonne réponse en Oddball.

Les performances comportementales en différencient les enfants NGP rééduqués (n=8) des enfants NGP non rééduqués (n=9). Les enfants NGP rééduqués ont des temps de réactions plus lents mais de meilleurs taux de réussites pour repérer un mot cible (figure



63).

Figure 63 taux de Bonnes Réponses et Temps

de Réaction des enfants normo lecteurs EN, des enfants Prématurés rééduqués (EPR) et des enfants prématurés Non rééduqués EPNR.

V.4.4 Résultats PEV en Décision Lexicale

En raison d'un nombre élevé d'artefacts (notamment musculaires), et des difficultés rencontrées durant la tâche, quatre enfants dyslexiques ont été retirés de cette approche les signaux n'étant pas interprétables. L'analyse statistique met en évidence des différences significatives entre les patterns adultes et les patterns d'enfants, tous groupes confondus. Ceci se traduit par l'expertise et l'automatisation de la lecture. En d'autres termes, l'expertise de la lecture se caractérise par une amplitude significativement moins élevée ainsi qu'une latence et un décours temporel plus courts. Cependant, lorsqu'on analyse les caractéristiques de l'onde P1 ainsi que les décours temporels P1 et N1, nous ne retrouvons pas de différence significative entre les groupes d'enfants. Toutefois, nous remarquons que les enfants dyslexiques ont, pour les mots, une amplitude P1 en hémisphère gauche plus élevée que les enfants normolecteurs, de manière significative ($p=,01$). Nous avons alors analysé à l'aide des grands moyennages, les activités négatives qui s'étendent sur les composantes plus tardives, comme la composante N320, composante phonologique, des enfants dyslexiques. Les grands-moyennages montrent essentiellement que les enfants dyslexiques traitent différemment les pseudomots des mots, en comparaison aux enfants prématurés et normo lecteurs (les courbes de traitement bleu et rouge se distinguent de la verte). Cela pourrait s'apparenter à trois chemins différents de traitement, pour le mot, pour les pseudomots visuellement proches et pour les pseudomots phonétiquement proches. Ainsi, les enfants prématurés et les enfants dyslexiques, au vu de ces patterns, disposeraient d'un traitement des différents types de mots qui leur est très spécifique. Or, chez les enfants normo lecteurs ou prématurés, il n'y a pas de distinction franche entre les courbes de traitement des mots ou des pseudomots ; cela s'apparente ainsi à une similarité de traitement quel que soit le type de mot. En somme, les patterns d'enfants normo lecteurs et des enfants prématurés se rapprochent

des patterns adultes (bien que l'amplitude des groupes d'enfants soit plus élevée).

V.4.4.1 Synthèse des résultats 2^{ème} expérimentation en Décision Lexicale

L'approche tridimensionnelle a mis en évidence de nombreuses informations qui s'avèrent être complémentaires entre elles. Les données psychométriques nous révèlent tout d'abord qu'à 7/8 ans, ce n'est pas la vitesse mais la précision, qui permet de distinguer les enfants en fonction des difficultés, puisqu'ils n'en sont encore qu'au début de l'apprentissage. De plus, les résultats psychométriques ont établi une distinction entre enfants prématurés et enfants atteints de dyslexie : ces derniers ont de manière générale obtenus les moins bons scores, la sévérité des troubles en lecture étant plus importante que dans la prématurité.

Le comportement distingue également les enfants dyslexiques des enfants NGP. Les enfants dyslexiques échouent à tous les stimuli, aux mots comme aux pseudo mots. Les enfants NGP ont réussi pour les mots, et échoué pour les pseudo-mots.

Les résultats psycholinguistiques retrouvent la fragilité des items langagiers des enfants prématurés de notre cohorte. En PEV, la latence de P1 est très courte par rapport aux dyslexiques. Leur vitesse de conduction est identique aux enfants normo lecteurs, nous rassurant sur leur maturité neurologique. Cette vitesse de traitement plus lente pour les dyslexiques pourrait distinguer leur trouble spécifique. Par ailleurs, ces résultats pourraient supposer une non-spécialisation de l'attention visuelle sélective des enfants prématurés. Ces deux résultats inattendus orientent vers le rôle important de l'attention visuelle très précoce, et l'importance du feed back dans le neurodéveloppement.

V.4.4.2 Discussion : Résultats 2^{ème} Expérimentation en Décision Lexicale

Nous avons comparé une population d'apprentis lecteurs (EN) âgés de 7/8ans nés à terme à des enfants susceptibles de présenter des difficultés dans l'acquisition du langage écrit, tels que les enfants nés prématurément (EP) et les enfants atteints de dyslexie (ED), appariés en âge. Compte tenu de l'origine supposée différente des troubles, et des

résultats obtenus dans la seconde partie, nous souhaitons vérifier en premier si ces distinctions entre EP et ED s'observent déjà chez les apprenti-lecteurs. En étudiant les caractéristiques de la composante électrophysiologique de P1 lors d'une tâche de Décision Lexicale, nous avons vérifié si les résultats observés chez les adolescents se retrouvaient également chez nos apprenti-lecteurs. Les caractéristiques de la composante précoce P1 sont-elles marqueur de l'expertise et/ou marqueur de déficits, au niveau de l'étape d'extraction des caractéristiques physiques d'un stimulus.

Cette étape nécessite à la fois de bonnes ressources attentionnelles et le bon fonctionnement du système perceptif visuel, progressivement spécialisé. Les enfants dyslexiques de notre 2^{ème} expérimentation sont inclus par le biais du CRTLA, et sont tous en rééducation orthophonique depuis au moins 12 mois. Les stratégies rééducatives ne sont pas connues dans le détail, mais nous pouvons supposer un effet sur les bonnes performances en pseudo logatomes à morphèmes proches. La deuxième hypothèse est qu'ils présentent une atteinte prédominante sur la voie visuo attentionnelle.

V.4.4.2.a Psychométrie et comportement : discussion

Les enfants NGP de notre étude présentent des profils différents des enfants dyslexiques. Dans un premier temps, la psychométrie nous révèle que chez les apprenti-lecteurs de 7/8 ans, ce n'est pas la vitesse de lecture (VL) qui permet de distinguer les enfants en fonction de leur difficulté mais l'indice de précision de lecture (PL). Nous obtenons des corrélations électro cliniques à 7/8 ans avec la précision de lecture. Ceci diffère d'avec nos résultats obtenus durant les précédentes étapes du programme de recherche auprès des adolescents. (Publication 2). Le score de leximétrie (VL) avait permis de distinguer des différences inter et intra groupes. Nos groupes étaient moins homogènes et nous avons distingué deux groupes d'enfants nés prématurément (avec ou sans difficultés de lecture), et deux groupes d'enfants dyslexique en fonction de la sévérité des troubles de lecture. La

précision de lecture, quant à elle, n'était pas corrélée aux paramètres testés. Nous pouvons supposer que ce résultat est compatible avec le neurodéveloppement puisque l'apprentissage de la lecture nécessite un traitement cognitif laborieux et ne peut se faire rapidement. C'est au cours de l'enfance, et jusqu'à l'adolescence, que s'effectue l'accroissement de la densité de la substance blanche, et le processus de myélinisation des fibres jouant un rôle majeur dans la vitesse de transmission des informations (Orssaud et al., 2013 ; Barnea-Goraly et al 2005). La psychométrie a également permis de différencier les enfants nés prématurément des enfants atteints de dyslexie. Ces derniers sont ceux qui ont obtenu les plus faibles scores, à la fois aux épreuves de lecture et aux subtests des échelles de Wechsler. Nous observons ainsi que la sévérité des troubles est plus importante dans le cas de la dyslexie. D'autre part, la nature des troubles est également distincte entre ces deux populations. Nous rapportons des fragilités au subtest de raisonnement perceptif Matrices, uniquement chez les enfants NGP, ce qui souligne le fait que les circonstances particulières de la prématurité engendreraient, non pas uniquement un déficit des capacités qui sous-tendent la lecture, mais contraindraient des procédures plus générales. Les données comportementales se sont avérées être complémentaires à la psychométrie, puisqu'elles ont permis également de différencier ces deux populations. Nous avons d'une part observé une incapacité des enfants atteints de dyslexie à répondre à l'ensemble des items proposés en tâche de décision lexicale, alors que ce sont également eux qui répondaient le plus rapidement. D'autre part, les enfants NGP réussissaient face aux items « mots » mais étaient en échec face aux deux types de pseudomots. Ainsi les paramètres psychologiques et comportementaux pendant les PEV de lecture en Décision Lexicale, selon notre méthodologie, distinguent les deux groupes d'enfants. A même difficultés clinique d'apprentissage de la lecture, les paramètres contraignant les enfants dyslexiques nés à terme et les enfants NGP ne sont pas les mêmes. Si la prématurité et la dyslexie représentent tous deux des modèles atypiques

concernant l'apprentissage de la lecture, nous pouvons à l'aide de ces deux approches conclure qu'il ne s'agit pas de la même atypicité et ces différences viennent de l'origine même des troubles. Bien que ces deux groupes aient obtenu des performances inférieures aux enfants contrôles normo lecteurs, leur trouble n'ont pas la même origine. L'origine génétique de la dyslexie est rapportée communément, et sa traduction histologique supposée serait une perturbation de la migration neuronale au cours de la grossesse durant laquelle les neurones corticaux n'atteindraient pas leur destination finale (Galaburda et al 1985). De ces anomalies génétiques résulteraient une altération structurelle et fonctionnelle circonscrites aux régions cérébrales impliquées dans le langage écrit, se traduisant notamment par une absence d'asymétrie des régions temporale et une diminution du volume des fibres du faisceau arqué qui serait corrélées aux habilités de conscience phonologique (Saygen et al, 2013). De plus, le modèle visuo-attentionnel de Valdois, Ans et Carbonne (1993) nous permet de comprendre les performances comportementales des enfants atteints de dyslexie qui répondaient rapidement en tâche de décision lexicale alors qu'ils y échouaient. En effet, ces auteurs postulent l'existence d'un faible empan mnésique dans la dyslexie visuo attentionnelle. Les enfants ne parviendraient pas à maintenir suffisamment d'informations en mémoire. Le décodage complet d'un mot serait ainsi trop coûteux en ressources et en temps. Pour compenser ces difficultés, ils ne décoderaient que les premières lettres pour ensuite essayer de deviner le mot bien que cette stratégie ne soit pas efficiente. Pour les enfants nés prématurément, nous savons que l'origine des troubles rencontrés est liée aux circonstances atypiques de la naissance qui vient interrompre soudainement le développement cérébral, alors que le dernier trimestre de grossesse serait primordial à la prolifération, la migration des neurones corticaux et au développement des connexions corticales / sous-corticales (Dubois et al, 2012 ; Aavi-Obe et al, 2000). Contrairement à la dyslexie, c'est l'ensemble des réseaux neuronaux des enfants qui est immature à la naissance. De ce fait, les troubles ne se

rapportent pas uniquement ou spécifiquement au langage écrit, mais peuvent toucher l'ensemble du fonctionnement cognitif. En effet, dans la grande prématurité, une réduction de la substance grise de l'hippocampe est retrouvée et serait associée à des anomalies des fibres nerveuses impliquées dans les processus mnésiques, les processus d'apprentissage et le fonctionnement exécutif (De Kievet et al, 2012 ; cités par Abbette et al, 2005). Ce sont notamment les enfants nés prématurément, qui dans notre étude, ont obtenu les plus faibles performances au subtest de raisonnement perceptif, confirmant que la prématurité impacte l'ensemble du développement intellectuel de l'enfant et a des répercussions néfastes dans le domaine visuospatial. Caravale (Caravale et al. 2012) a décrit des enfants nés prématurément, d'âge préscolaire (5 ans) qui obtenaient un score de QI significativement inférieur aux enfants contrôles, et qui présentaient des déficits visuoperceptifs, visuo-spatiaux et visuo-moteurs plus fréquents. En conséquence, l'altération de ces fonctions peut troubler les activités de coordination papier-crayon, la motricité fine, la coordination visuo-motrice et la vitesse psychomotrice impliquées dans le langage écrit (Aylward, 2002 ; cité par Sayeur et al, 2011). L'existence de troubles oculomoteurs peut aussi altérer l'exploration du champ visuel, le déplacement du regard et du focus attentionnel, ainsi que la capacité à sélectionner les informations visuelles pertinentes (Deforge et al, 2009 ; Tosla et al, 2004).

V.4.4.2.b Discussion de l'intérêt de la Décision Lexicale pour explorer les enfants avec troubles neurodéveloppementaux : L'onde P1 est un marqueur de maturation, d'expertise et de déficits +dans une compréhension neurodéveloppementale des patterns de lecture. Les différents paramètres, d'amplitude, de latence et de décours temporel n'ont pas la même signification et ne réagissent pas de la même façon en fonction des explorations. L'étude du décours temporel de P1, qui sous-tend les ressources attentionnelles impliquées dans l'analyse visuo-perceptive du mot, a rendu compte des

différences de patterns entre les adultes et les différents groupes d'enfants. Ces différences se sont traduites par un allongement important du décours temporel de P1, ce qui est à la fois en lien avec la maturation cérébrale mais aussi avec l'expertise de lecture par un effet top down supposé. La mise en place des réseaux neuronaux qui permettent de traiter les items langagiers se ferait progressivement, via un recyclage de neurones. A 7/8 ans, les enfants n'ont pas encore atteint la maturation cérébrale des adultes ni la même expertise, n'étant encore qu'au début de leur apprentissage. L'expertise en lecture serait ainsi synonyme de rapidité dans le traitement, et se traduirait par un décours temporel de P1 raccourci pour entrer de façon automatisée dans la négativité de N1. L'efficacité des étapes de traitement s'observe ainsi, via une économie de ressources pour la lecture des mots. Les enfants n'ayant pas la même expertise, ils solliciteraient davantage de ressources et activeraient un plus grand nombre de neurones pour réaliser la tâche, ceci se traduisant par un allongement du décours mais aussi une amplitude P1 accrue. Bien que le développement des structures cérébrales et du système visuel débute dès la vie in utéro, il se poursuit progressivement jusqu'à l'âge adulte (Casey et al., 2000). L'évolution se ferait en 2 temps et dépendrait de facteurs physiologiques, anatomiques, génétiques et environnementaux. Bien que la rétine et les corps genouillés latéraux (CGL) soient les premières structures à arriver à maturation (4 et 6 mois), d'autres processus, comme la myélinisation axonale des cellules ganglionnaires, débuteraient plus tardivement et se prolongeraient durant l'enfance. L'allongement du décours temporel de la P1 retrouvé chez les enfants converge avec le fait qu'il existe entre 6 et 19 ans un accroissement de la densité de la substance blanche du corps calleux impliqué dans la vitesse de transmission des informations. De plus, ces fibres jouent également un rôle dans l'intégration sensorielle et les fonctions attentionnelles (Njiokitjen et al, 1994 ; cités par Barnea-Goraly et al, 2005 ; Kovacs et al, 1999 ; cités par Barnea-Goraly et al, 2005). D'autre part, l'approche bidimensionnelle, couplant les comportements et les patterns électrophysiologiques, rend

compte des difficultés présentées par les enfants NGP. D'une part, ces enfants étaient en difficulté pour traiter les pseudomots, comparés aux mots. D'autre part, en couplant ces données à la latence du pic de P1, nous avons observé qu'ils pensaient avoir réussi la tâche alors qu'en réalité ils se trompaient, puisque la latence de pic apparaissait précocement comparée aux enfants contrôles. Un troisième élément révélateur de l'atypicité dans le traitement des items langagiers correspond à l'existence de patterns électrophysiologiques distincts, en fonction des trois types d'items de la tâche de décision lexicale, alors que chez les normo lecteurs nous observons une superposition des signaux (figure 58). Via une analyse topographique, nous avons constaté qu'il y avait un désengagement plus tardif de la positivité chez les enfants NGP, par rapport aux enfants normo lecteurs, alors qu'ils présentent la même vitesse de lecture. On peut penser que le traitement des caractéristiques visuelles des items serait ainsi plus coûteux en ressources attentionnelles sélectives. Ces résultats rejoignent les publications rapportant les dysfonctionnements sensoriels, et notamment celui du système perceptif visuel (Kwinta et al., 2015). L'existence de troubles visuels peut être consécutive à une rétinopathie, à des lésions cérébrales ou à des dommages du cortex occipital causés par une hydrocéphalie ou une hypoxie à la naissance. Aucun de ces troubles n'étaient présents dans notre population d'enfants NGP. Selon Van den Hout, en 2000 (cités par Kwinta et al, 2015), l'existence d'une altération du corps calleux serait associée à un moins bon pronostic quant à l'efficacité du système visuel. L'existence d'une atrophie thalamique, et/ou de dommages de la substance blanche, altèreraient les capacités de perception visuelle, et le développement des coordinations visuo-motrices (Eikenes et al., 2011 ; cités par Kwinta et al, 2015). Enfin, l'altération des fibres nerveuses du splénium (partie postérieure du corps calleux) serait associée à un défaut d'intégration des informations visuelles que l'on retrouve dans l'alexie (Binder et al., 1992 ; cités par Kwinta et al., 2015). Finalement, l'analyse des signaux en DL, et de la topographie, a été révélatrice d'un effet maturationnel

et d'un effet d'expertise qui se sont traduits par un rallongement du décours temporel de P1. Nous pourrions proposer une compréhension neurodéveloppementale du couple P1N1. Ces résultats confortent nos interprétations rapportées lors de la 1ère expérimentation (2ème publication). D'une P1 globale avec une latence très courte et un décours temporel allongé en lien avec son amplitude qui durerait le temps de la construction et spécialisation de la N170, à une distinction de P1 et de N170 qui redescendrait progressivement dans la négativité nous décrivons le « recyclage » progressif qui construit la spécialisation des réseaux neuronaux en lecture. La N170 serait donc l'intégration automatisée mature de tous les mécanismes phonologiques et visuo attentionnels de la lecture. Ainsi on comprend pourquoi des enfants 12 ans normo lecteurs voire précoces peuvent présenter une N170 dans le positif de la P1. A même vitesse de lecture clinique, les PEV nous permettent de repérer des vulnérabilités de construction et d'automatisation, comme des cicatrices, qui nous permettent de mieux comprendre les paramètres sur lesquels nous pourrions intervenir dans le développement. Les enfants de notre population n'ont eu aucune exploration neurologique devant les critères d'inclusion qui excluaient les enfants avec PC et ou trouble sensoriel avéré ou absence de marche à deux ans. Peut-il néanmoins s'agir de lésions à minima dans cette population d'enfants NGP ? Est-ce que des mesures cliniques du langage systématiques ne devraient pas être couplées à la mesure du corps calleux et aux PEV sur une cohorte d'enfants NGP pour explorer cette hypothèse ?

V.4. 5 PEV OddBall

Nous présentons en premier les résultats comparatifs des quatre groupes étudiés. Nous avons mesuré la latence d'apparition de l'effet OB, c'est-à-dire le début de la séparation des courbes de P300, en standard et cible.

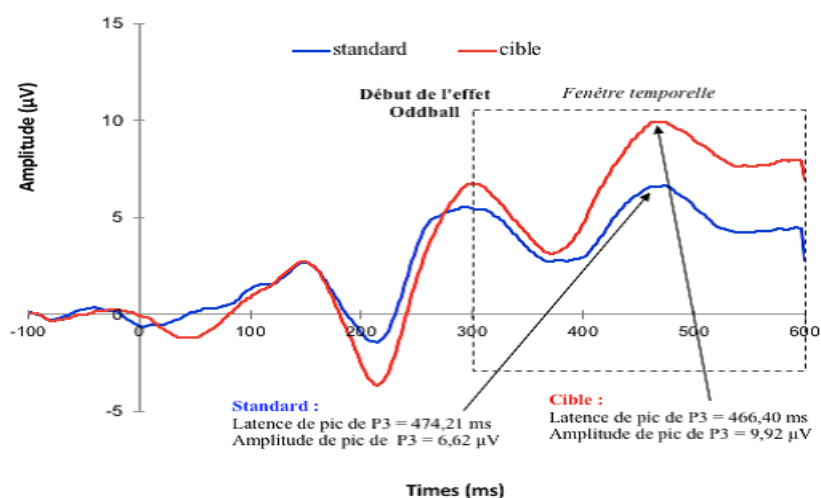


Figure 64 Pattern de lecture au cours du paradigme d'OddBall : différence d'amplitude et de latence dans une fenêtre temporelle de 300-600ms pour les mots standards (80%) et les mots cibles (20%).

La latence de l'effet OB chez les enfants normo lecteurs est plus longue à 350ms, ce qui est attendu de façon maturationnelle d'autant plus que le taux de réussite est correct (figure 65). La latence très longue de l'effet OB supérieure à 400 ms chez les enfants dyslexiques est attendue, et interprétée par différents auteurs comme marqueurs de difficulté d'accès à la mémoire de travail. Leur taux de bonne réponse est correct. La latence courte de l'effet OB à 320 ms chez les enfants NGP est un résultat inattendu, d'autant plus que leur taux de réussite est chuté. Néanmoins, statistiquement, nous ne trouvons pas de différence avec la latence des enfants normo lecteurs. L'homogénéité de notre groupe NGP ne permet pas de suspecter des variations neurocognitives et/ou sensori motrices importantes. Ce résultat de vitesse de traitement équivalent aux enfants nés à terme normo lecteurs a déjà été constaté en Décision Lexicale. Ainsi, il pourrait s'agir plus de difficultés de spécialisation des réseaux cognitifs. Une difficulté ou une absence d'effet top down devrait être recherchée. Quel événement ou contrainte pourrait empêcher un mécanisme de type top-down chez l'enfant NGP ? Nous pouvons supposer que la stimulation visuelle initiale survient sur des neurones immatures, non fonctionnels pour agir efficacement sur l'attention sélective visuelle. Les travaux sur l'effet des dystimulations sont encore pour l'instant très cliniques pour proposer des aménagements

au cours des hospitalisations longues des enfants NGP. Il peut également s'agir de difficultés à transmettre l'information vers le cortex frontal. Les travaux sur l'eye tracking devraient nous informer progressivement sur le niveau d'atteinte et proposer des stimulations adaptées.

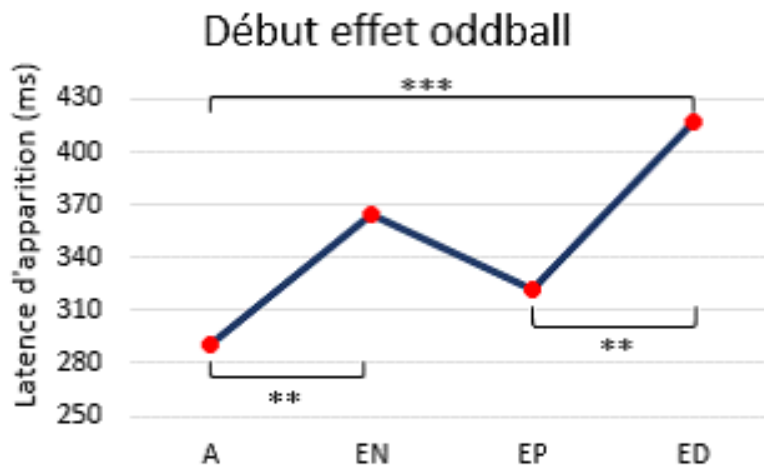


Figure 65 La latence de la P300 est très courte pour les adultes, quel que soit le type de mot cible.

Le paradigme d'oddball permet de distinguer statistiquement les enfants dyslexiques des deux autres groupes (figure 66). Les enfants NGP ont un pattern équivalent aux normolecteurs avec une amplitude légèrement moindre.

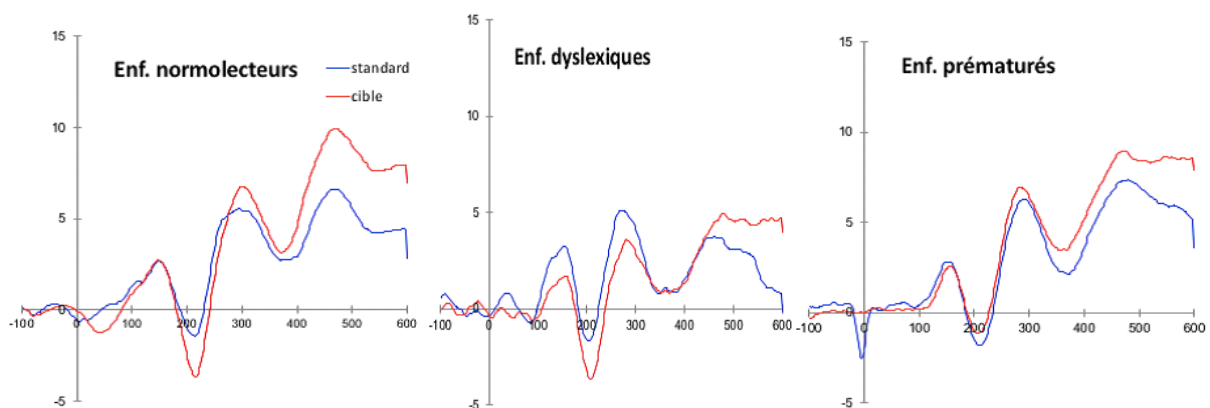


Figure 66 Grands moyennages des signaux électrophysiologiques issus de la région centro-pariétale des trois groupes d'enfants Normolecteurs n=18 Dyslexiques n = 8 Prématurés n = 17

V.4.6 ETUDE comparative des deux groupes d'enfants NGP LAMOPRESKO

Résultats psycholinguistiques

Pour examiner la lecture de nos deux groupes d'enfants NGP nous les avons séparés puisque notre objectif est de rechercher au travers des PEV un effet de la rééducation en langage oral à 4 ans. Les paramètres psycholinguistiques mesurés dans nos deux expérimentations ne distinguent pas statistiquement nos populations (figure 67). Néanmoins les résultats aux tests de leximétrie ne donnent pas la même tendance. La vitesse de lecture oralisée (LUM) est légèrement plus rapide pour les enfants NGP non rééduqués mais leur précision est moindre que pour les enfants NGP Rééduqués.

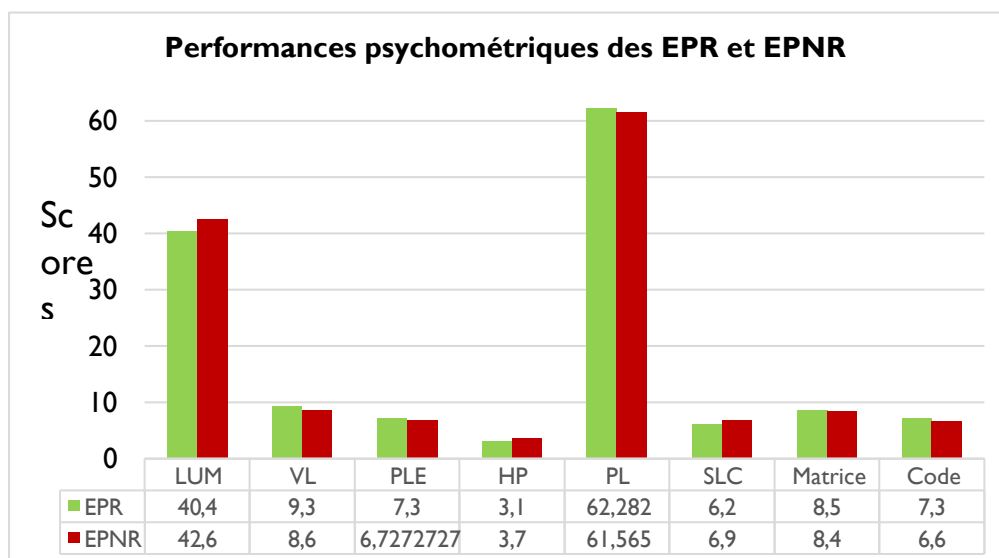


Figure 67 Scores psycholinguistiques enfants NGP rééduqués (EPR) en vert et non Rééduqués EPNR en rouge.

L'absence de différence sur les différents paramètres psycholinguistiques nous faisait supposer une absence d'effet entre les deux groupes d'enfants NGP sur les PEV en lecture

. V.4.6.1 PEV Décision Lexicale des enfants nés grands prématurés

En décision lexicale, les variations très importantes de latence et d'amplitude de P1N1

n'ont pas permis de distinguer les groupes. Les tracés ne permettant pas toujours de distinguer tous les composants. En décision lexicale, une analyse descriptive permet de quantifier une activité positive plus importante à gauche pour les enfants NGP rééduqués. L'absence de la N170 chez tous les enfants prématurés interrogent, comme supposé antérieurement, la construction de la spécialisation de cette onde. Alors que certains de ces enfants lisent aussi bien que les enfants normaux lecteurs la construction de la N170 vers la spécialisation ne semble pas se faire de façon similaire aux enfants normo lecteurs nés à terme. Un nouvel enregistrement de ces enfants à 12 ans nous permettrait de comprendre la construction lente, et supposée multimodale, de cette spécialisation neuronale. La présence de la N230 chez tous les enfants NGP lecteurs confirme leur accès à la connaissance sub lexicale. Ce dernier composant pourrait-il être en lien avec le stock lexical comme certains composants (N170) ? La N230 a une latence et un décours temporel plus courts chez les enfants NGP rééduqués que les enfants NGP non rééduqués. L'amplitude, souvent corollaire du décours temporel au cours de la maturation est plus grande pour tous les enfants non rééduqués. Ainsi nous interrogeons l'effet de la rééducation sur l'accès à la représentation sub lexicale du mot, ou est-ce un événement totalement indépendant et ou non mesuré ?

V.4.6.2 PEV OddBall des enfants nés grands prématurés

L'analyse de l'effet OddBall des enfants NGP rééduqués et des enfants non rééduqués NGP révèle une nette différence. Il existe une absence de distinction entre les mots cibles et les mots standards chez les enfants NGP non rééduqués. Au-delà de l'impulsivité et des échecs comportementaux, les PEV montrent l'absence de différence de traitement visuel chez les enfants non rééduqués.

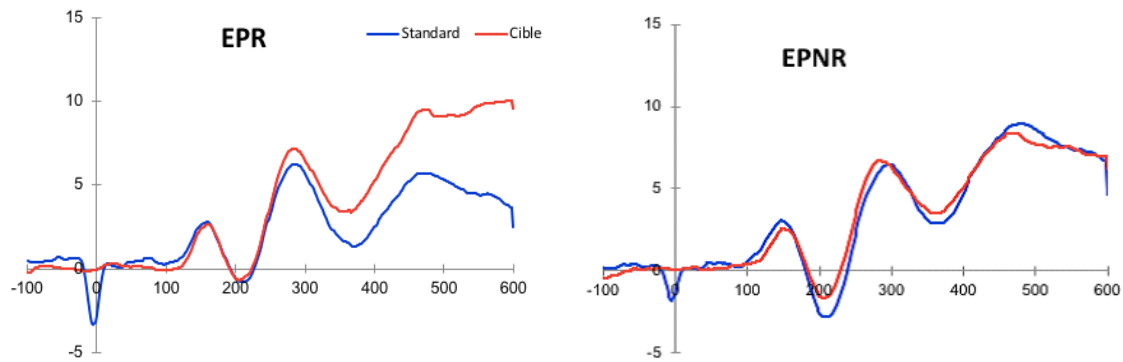


Figure 68 : Grands moyennages des signaux électrophysiologiques des enfants prématurés rééduqués (EPR n = 8) et non rééduqués (EPNR n= 9)

V.5 Discussion 2^{ème} expérimentation

Les résultats de cette seconde expérimentation mettent en évidence une différence comportementale et électrophysiologique au paradigme d OddBall entre les enfants nés grands prématurés rééduqués et le groupe d'enfants nés grands prématurés non rééduqués. Le taux de bonne réponse élevé et le temps de réponse long, inversement proportionnel différencient le groupe des enfants rééduqués, du groupe des enfants non rééduqués. Ces résultats originaux démontrent l'effet d'une rééducation précoce sur des paramètres inattendus. Nous cherchions à mettre en évidence la présence d'une onde N170 plus constante en Décision Lexicale au sein du groupe des enfants nés grands prématurés rééduqués âgés de 8 ans. Nous avons construit nos stimuli avec des mots cibles morphèmes proches et des mots cibles visèmes proches avec l'hypothèse de pouvoir distinguer les enfants NGP rééduqués des enfants NGP non rééduqués. Nous pensions que les enfants NGP rééduqués présenteraient en DL un début de N170 pour les pseudo mots à morphèmes proches puisque nous avons travaillé sur la phonologie en ralenti imité pour séparer et travailler les représentations phonologiques « motrices » avec un support lexical (Dire et Faire). Par ailleurs nous supposons que les enfants NGP non rééduqués présenteraient en OB les mêmes compétences pour les pseudo mots visèmes

proches puisque nous n'avions pas travaillé sur cet élément et que les groupes étaient similaires et contrôlés sur tous les autres paramètres. L'onde N170 n'est présente que chez deux enfants NGP rééduqués. Elle est alors superposée à l'onde P100 dans les deux tracés. Cette observation rejoint celle de la première expérimentation, où les adolescents présentaient une hétérogénéité de la N170. Cette hétérogénéité allait croissante du groupe d'adulte normo lecteurs aux groupes d'adolescents nés grands prématurés en passant par les adolescents normo lecteurs et les adolescents dyslexiques. Nous nous étions interrogés sur la signification du couple P1N1 comme marqueur de la « construction et « spécialisation » de la N170. Le décours temporel de P1N1 est corrélé à VL chez des adolescents normo lecteurs, des adolescents dyslexiques mais pas chez les adolescents prématurés. A 8 ans, le décours temporel de P1 est plus long dans l'hémisphère gauche chez les enfants normo lecteurs et les enfants NGP rééduqués. Les enfants dyslexiques et les enfants NGP non rééduqués ne présentent pas de différence entre les deux hémisphères. L'hypothèse de l'absence de spécialisation chez les enfants dyslexiques a déjà été rapporté par de nombreuses publications. En revanche, la différence de latéralisation du langage écrit au sein d'un groupe homogène d'enfants NGP randomisés interroge sur l'effet de la stimulation motrice précoce en langage oral. L'hypothèse d'atteinte du faisceau arqué liant les différentes zones du langage dont la partie frontale postérieure dite motrice pourrait être en cause et participer à l'explication de ces résultats. De plus, les observations similaires de non-latéralisation des enfants NGP non rééduqués et des enfants dyslexiques interrogent sur une possible atteinte commune des faisceaux de connexion. Nous pourrions imaginer que les enfants dyslexiques aient une atteinte génétique et les enfants NGP une atteinte neurodéveloppementale. Cette atteinte pourrait être une discordance entre des stimulations et entrées sensorielles extra utérine et des structures synchronisantes immatures. L'atteinte partielle du corps calleux est également rapportée chez les enfants dyslexiques. Les deux situations, bien qu'étiologiquement

différentes, poussent à réfléchir sur l'atteinte commune de structures neuro anatomiques et fonctionnelles de connexion motrices. En décision Lexicale, le couple P1N1 serait un marqueur neurodéveloppemental qui refléterait les contraintes pour automatiser la lecture. L'absence de N170 chez 17 enfants de 8 ans normo lecteurs NGP interrogent sur leurs apprentissages. S'agit-il d'une apparition plus tardive, qui représenterait une maturation décalée en lien avec des difficultés d'automatisation ? Les variations importantes d'amplitude en décision Lexicale ne nous ont pas permis de réaliser un grand moyennage. Cependant, l'absence à gauche d'onde N170, observable chez les enfants prématurés et dyslexiques, alors qu'elle est présente chez les normo lecteurs, confirme une difficulté de construction ou d'automatisation de la lecture. La spécialisation de la N170, différencierait les dyslexiques des faibles lecteurs. Dans notre travail, à même vitesse de lecture pathologique, le pattern de l'enfant NGP non rééduqué est différent du dyslexique. La latence de tous les composants et l'amplitude générale sont moindres chez l'enfant NGP. Le paradigme d OddBall révèle le repérage rapide de la différence de mot, standard et cible, chez les enfants NGP rééduqués. Ce résultat original est remarquable pour différents points. Cependant, l'hypothèse initiale sur la théorie motrice de la perception de la parole gênant le développement d'un des aspects de la phonologie, chez des enfants NGP, n'est pas démontrée par nos résultats expérimentaux. Les résultats du pattern développemental des potentiels évoqués provoqués en lecture de nos expérimentations, révèlent et précisent les paramètres neurodéveloppementaux des composants spécialisés précoces. La N170 est la, composante la plus étudiée dans les troubles de lecture puisqu'elle signe l'automatisation de cette compétence. Son absence chez des enfants NGP normo lecteurs révèle, traduit une particularité d'automatisation. Est-ce en lien avec les vulnérabilités du langage oral à 3 ans ou est ce lié à la prématurité elle-même ?

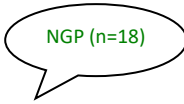
VI. DISCUSSION générale. Objectifs initiaux. Population prématurée

V.1 PEV prématurés

Stipdonck et al (2018) rapportent que les troubles du langage du prématuré touchent différentes zones de connexion fonctionnelle dans le circuit architectural du langage. Il semble y avoir plusieurs dysfonctionnements potentiels, parfois le corps calleux, parfois le cervelet. Ces éléments confortent les différentes possibilités de troubler une nouvelle spécialisation de réseaux neuronaux. Cette difficulté pourrait être d'autant plus grande qu'elle se construirait à partir d'autres neurones plus ou moins déjà vulnérables. Les PEV en lecture montrent cette hétérogénéité potentielle. La construction de la lecture passe non seulement par le couple P1N1 pour les enfants vulnérables, mais par la N230 lexicale avant même la N170. La description pour la première fois des PEV en lecture chez des enfants NGP bien caractérisés, nous permet d'entrevoir la particularité des neurones à se spécialiser ou à rendre plus efficace les connexions fonctionnelles où qu'elles soient. La plus grande activité électroencéphalographique lors de la lecture dans l'hémisphère gauche des enfants NGP rééduqués par rapport aux enfants NGP non rééduqués peut nous laisser supposer que nous avons sollicité le réseau du langage à se spécialiser à gauche ce qui pourrait faciliter le pattern de lecture. La N230 en décision lexicale nous convainc que le mot lu n'est pas que photographié comme « objet », mais qu'il est identifié par la voie lexicale. L'oddball explore classiquement plus la mémoire de travail, indépendamment de la capacité à lire de manière fonctionnelle. L'atteinte chez les enfants NGP non rééduqués est compatible avec des enfants moins sollicités. Sa signification est moins précise que l'effet attendu sur la phonologie mais elle peut être en lien avec des effets non mesurés puisque que classiquement la mémoire de travail est dépendante du lexique phonologique et du callepín visuo attentionnel..

Organigramme et rappel de la chronologie des populations étudiées :

Les enfants NGP sont les seuls à avoir été étudiés en langage oral à 3 ans 6 mois puis en lecture à 8 ans (**en vert**). Des adolescents ainsi qu'un groupe d'adultes ont été étudiés lors de la première expérimentation (**en rouge**) de 2013 à 2015, pour valider la méthodologie. Des enfants de 8 ans ainsi qu'un groupe d'adultes ont été étudiés lors de la deuxième expérimentation (**en bleu**) de 2016 à 2017, pour les comparer aux enfants NGP du PHRC Lamopresco.

	2010-2013	2013-2014	2015-2016	2016-2017
LO (3ans) Lamopresco 1	 Enfants NGP (n=150)			
Lecture (8 ans)				Enfants NGP (n=18) Enfants Dys (n=11) Enfants NL (n=22)
Lecture de narration (12ans)		Ados NL (n=16)	Ados Dys (n=16) Ados P (n=18)	
Lecture experte (20ans)		Adultes (n=19)		Adultes (n=25)

Les deux paradigmes de Décision lexicale et Oddball sont réalisables sur nos populations d'enfants de 8 ans comme ce qui est retrouvé dans la littérature (Maurer et al.,2006). Ils donnent certains résultats différenciant les enfants prématurés des enfants normo lecteurs et des enfants dyslexiques. Il avait déjà été rapporté des différences entre les enfants dyslexiques et les enfants peu verbaux (Melhase et al., 2019). La différence nette en OddBall, entre les enfants nés grands prématurés rééduqués et non rééduqués, est un résultat original et très encourageant. Il révélerait un effet de la prise en charge

rééducative. Il a déjà été discuté les effets des rééducations et stimulations qui modifient certains paramètres des composants du pattern de lecture (Reilhac et al.2012). En général, les publications rapportent les modifications de la N170 à court terme chez des enfants dyslexiques en fonction des caractères entraînés (Jucla et al., 2010). Différents stimuli visuoattentionnels, visuospatiaux et linguistiques peuvent faire varier la N170. Ces résultats tendant à montrer la spécificité de la N170 pour la lecture qui est composée de tous ces paramètres variant en fonction du neurodéveloppement et du niveau de lecture. Nos résultats des PEVc sur les enfants adolescents et enfants de 8 ans sont cohérents avec ces connaissances. Nous proposons une hypothèse pour expliquer l'hétérogénéité de la N170. Par ailleurs nous retrouvons une corrélation récurrente avec un score clinique de leximétrie (VL). Peu de travaux rapportent ce lien clinique et électrophysiologique. Nous apportons un élément de compréhension corrélation avec VL. Si les vulnérabilités du langage oral des enfants NGP sont améliorées par une rééducation sensorimotrice et langagière à court terme, elles n'empêchent pas toujours le trouble d'acquisition de la lecture. Notre rééducation modifie néanmoins durablement les stratégies d'apprentissage. La différence retrouvée en Oddball permet de supposer une meilleure mémoire de travail pour compenser le trouble de codage phono alphabétique visuel. L'atteinte visuelle et notamment l'attention visuelle sélective devraient être explorées plus précisément et plus stimulées. Notre hypothèse initiale est néanmoins à poursuivre et à approfondir. La théorie motrice de la perception de la parole, pour laquelle il est supposé qu'un enfant NGP est troublé sur les éléments moteurs, de la réception, de la programmation ou de l'exécution, par l'immaturité du tonus des praxies bucco faciales, pourrait être en lien avec la qualité du faisceau arqué reliant les différentes zones du réseau du langage. La maturation et le développement du faisceau arqué seraient synchrones avec le développement des mouvements linguaux. Ce constat pourrait évoquer une boucle de rétro contrôle pour améliorer la mémorisation des syllabes au milieu d'un flux de parole continu. La taille et la

qualité de ce même faisceau arqué sont corrélées aux compétences phonologiques des enfants nés à terme, à risque de dyslexie. Ainsi, la composante « motrice » de la phonologie, via le faisceau arqué, pourrait être atteinte pour différentes raisons. Son atteinte pourrait être même secondaire à un défaut d'attention visuelle focalisée ou sous utilisée, pour aller chercher les détails des mouvements de la bouche de l'interlocuteur de l'enfant NGP. Les PEV de lecture nous permettent de confirmer qu'une prise en charge précoce en langage oral, construite sur ces connaissances, a une incidence sur les stratégies d'acquisition de la lecture. Les PEV lecture analysés dans différentes populations, à différents âges, ont montré l'hétérogénéité, rapportée par la littérature, pour la mise en place régulière de la N170. Nos travaux ont permis d'explorer la signification de l'hétérogénéité, en la corrélant aux tests psycholinguistiques et aux tests comportementaux. La variation, intra et interindividuelle, démasquerait une « cicatrice » des éléments sensori moteurs et attentionnels nécessaires à la lecture. Si les réseaux neuronaux de la lecture sont un recyclage de neurones spécialisés en langage oral et en attention visuelle sélective, il est attendu qu'une vulnérabilité dans un de ces deux composants ne permettent pas de spécialiser et d'automatiser un « nouveau » groupe de neurones. Dans la littérature, on retrouve au sein des populations dyslexiques et des populations NGP, des troubles anatomiques, fonctionnels et psychologiques qui peuvent apparaître comme communs. De façon synthétique, Il est rapporté trois types d'atteintes générales gênants l'acquisition de la lecture (Piotrovskaja et al., 2019). L'atteinte de la lecture pourrait se concevoir comme la spécialisation neuronale humaine la plus complexe, sur des compétences antérieures plus ou moins vulnérables et plus ou moins diagnostiquées. L'étude en PEV de populations d'enfants NGP nous permet de comprendre et de différencier les atteintes. Le paradigme de décision lexicale révèle un phénomène neuro développemental de maturation, par l'effet Top Down. Ce probable effet très précoce a été décrit dans la littérature (Rokszin et al., 2016 ; Chen et al., 2015). La

compréhension conceptuelle de l'impact de la stimulation sensorielle environnementale rejoint la théorie de Gombert qui décrit la dyslexie comme un trouble des apprentissages implicites. La part de l'attention visuelle sélective est à développer car elle pourrait être déficitaire ou sous utilisée. Elle pourrait même précéder le rôle de l'hypotonie, voire la majorer. Les soins précoces de développement devraient permettre de mesurer l'impact visuo attentionnel pour minimiser les dys- stimulations et préciser le déficit éventuel (Martinet 2010). Les PEV, dont les stimuli seraient des symboles simples, pourraient permettre d'explorer cette hypothèse chez des nourrissons. La détection de différence de symbole devrait générer un effet OB plus ou moins rapide.

La lecture a pour finalité la compréhension. La modification de la N170 par le stock lexical nous permet de confirmer la connaissance neuro développementale de l'intrication de la phonologie et du lexique. Une étude récente confirme la co-construction de la phonologie « motrice » avec le stock lexical (Kehoe et al.,2018). Cette corrélation phonologique confirme les bases théoriques et pratiques de notre travail. En effet, les anglosaxons évaluent très souvent la phonologie en-dehors des tests linguistiques, comme une entité indépendante du stock lexical. Ils testent probablement le langage comme une entité plus psycholinguistique que neuro développementale. Notre approche d'analyse et de recherche confirme l'intrication phonologie et lexique qui permet l'accès à la compréhension des troubles. La phonologie peut être atteinte par un trouble sensori moteur même mineur, mais probablement en lien avec un trouble visuo-attentionnel. Le paradigme d'OddBall nous a permis de mesurer les mécanismes précoces de la lecture. Le paradigme de décision lexicale nous a permis d'explorer l'hétérogénéité du composant d'intérêt spécialisé, la N170, avec un probable effet Top Down sur P100. Le couple P1N1 permet de comprendre la spécialisation et l'automatisation de la N170. Ce résultat nous ouvre de nombreuses perspectives neuro développementales pour travailler sur tous les aspects de l'attention focalisée, sens par sens, afin de renforcer les indispensables

transmodalités. Il se peut que notre hypothèse initiale de contrainte non modifiable par les parents, quel que soit le Niveau Socio-économique, soit dépendante de l'attention focalisée précoce, visuelle et auditive. Cette hypothèse est révélée par la contribution des PEV lecture qui devrait nous servir plus régulièrement.

VI.2. Perspectives et Limites

La N170 apparait comme un marqueur de l'automatisation de la lecture mais ne serait pas spécifique aux enfants dyslexiques. Elle semble être une étape de spécialisation qui évolue (Maurer et al., 2010) Cependant elle semble variée avec les paramètres phonologiques testés et en fonction de l'âge (âge chronologique et niveau de lecture) ainsi qu'aux types de stimuli (Mots simples ou complexes). Cette hypothèse nous permet de comprendre les variations et résultats parfois contradictoires de la littérature.

La différence en OB des enfants NGP rééduqués et non rééduqués devra être testée par les autres paramètres cliniques du PHRC Lamopresco 2 dont les résultats ne sont pas encore tous connus. L'absence de l'effet OB chez les enfants NGP non rééduqués est-elle corrélée à notre seule rééducation ? Il peut exister de nombreux facteurs confondants malgré la randomisation de nos deux populations étudiées. Cependant les analyses des autres tests psycholinguistiques, dont la mémoire de travail, devraient nous aider à préciser nos résultats. Coltheart (Coltheart et al., 2013) rapportait l'atteinte de la phonologie dans le déficit de mémoire de travail. Est-ce que notre résultat a finalement modifié un paramètre phonologique se traduisant au sein de cette compétence mnésique ou est-ce un effet qui disparaîtra ? Nous attendions la N170, mais elle semble plus liée au lexique qu'à la phonologie vers 7/8 ans. (Maurer). Les hétérogénéités inter et intra personnelles nécessitent des effectifs beaucoup plus importants que les nôtres d'autant que nous nous intéressons au développement et particulièrement au développement vulnérable, pour conclure sur nos corrélations. Cependant, elles permettent des perspectives pour étayer

nos résultats et poursuivre la surveillance de cette cohorte.

L'intérêt de la rééducation précoce est démontré, cependant nous interrogeons l'effet mesuré sur le paradigme d'OddBall des enfants NGP. La surveillance par l'utilisation des PEV lecture chez les enfants prématurés de 5/6 ans pourrait être un outil permettant de comprendre et mesurer l'attention visuelle par l'OB et l'automatisation du lexique par la DL. Différents troubles observés par nos mesures cliniques se sont révélés des troubles d'attention induisant des troubles apparaissant comme lexicaux. L'utilisation de tests normés comme VL semble corrélée à la latence des PEV en lecture. Une rééducation ciblée comme chez les dyslexiques nous permettrait de savoir si la latence, donc la vitesse de traitement, peut changer ou si seule l'amplitude varierait, comme chez les dyslexiques.

Les limites de nos résultats sont les effectifs des enfants de chaque groupe qui de plus par leur hétérogénéité, nous ont obligé à réaliser des sous-groupes. Des analyses avec de gros effectifs sont indispensables à proposer et poursuivre. Nos effectifs d'enfants dyslexiques pourraient être classés avec l'atteinte des autres éléments sensorimoteurs pour mesurer des dyslexiques « génétiques » et des dyslexiques autres pour les comparer aux enfants NGP. Ils nous permettent de répertorier l'ensemble des difficultés pouvant gêner la lecture. De nombreuses similarités dans les atteintes du faisceau arqué peuvent nous maintenir vers l'hypothèse de la théorie motrice de la parole. Même si nous démontrons une différence entre les enfants rééduqués et non rééduqués, la rééducation peut avoir des limites en fonction de la trophicité initiale de l'enfant NGP et son probable corollaire qu'est la plasticité cérébrale. L'ensemble des données des deux PHRC LAMOPRESCO n'est pas encore totalement exploité pour préciser nos résultats. Les perspectives nous paraissent nombreuses pour utiliser nos connaissances et les résultats de ce travail. Nous pourrions proposer un algorithme de surveillance et recherche de 0 à 8 ans des enfants NGP. Même si les temps neuro développementaux restent inconnus sur la prépondérance de fermeture d'une sensorialité sur l'autre, nous savons qu'à 9 mois d'âge

corrigé, la totipotence phonologique se ferme. Nous savons que la transmodalité n'est plus aussi fonctionnelle vers 5 mois. Nous pourrions concevoir de répertorier, de classer, puis de stimuler, les transmodalités jusqu'à 5 mois, à partir d'un travail avec le nourrisson en veille calme, axé sur l'attention sélective « visage face au visage ». A partir de 9 mois, nous pourrions renforcer les syllabes sélectionnées dans le langage maternel en travaillant l'écoute d'histoires courtes sur support visuel de livres adaptés. A 9 mois l'IFDC nous renseignerait sur les fragilités de langage et sur les premiers gestes de communication. En fonction des résultats, une stimulation avec accompagnement parents enfants à partir de la méthode « Hanen » pourrait être proposée jusqu' à 24 mois. L'IFDC de 18 mois nous permettrait de contrôler et de proposer une stimulation orthophonique spécialisée en cas d'absence d'évolution. A 30 mois, un contrôle par BILO Petits et par une évaluation des habilités sensori motrices nous informerai plus précisément sur les paramètres langagiers automatisés ou non. Une stimulation du langage par « Dire et Faire » pourrait être proposée pendant 6 mois. Une guidance parentale suivrait. A 7 ans, nous pourrions proposer des PEV lecture afin d'évaluer les automatismes acquis ou non pour soutenir l'apprentissage de la lecture et évaluer plus systématiquement les effets des étapes précédentes

.

VII CONCLUSION

Les résultats de notre recherche clinique et électro physiologique répondent à un problème de santé public rapporté par les études épidémiologiques des enfants nés grands prématurés. Nous démontrons l'efficacité d'une prise en charge en langage oral, protocolisée et courte, à 3ans 1/2 chez des enfants nés grands prématurés, et nous mesurons son effet à distance par les PEV lecture à 8 ans. Il s'agit de résultats originaux prouvant la nécessité et l'intérêt d'intervenir précocement, de façon courte et précise, pour

bénéficier d'un effet durable. Nous montrons que les PEVc sont des aides diagnostics et des supports aux mesures neuro développementales dans différentes populations d'enfants à risques de trouble de lecture. D'autre part, l'utilisation des PEV avec des stimuli adaptés contribue à préciser l'origine des troubles de lecture cliniquement repérés et mesurer nos effets de prise en charge. L'expertise clinique et électro physiologique du neuro développement atypique des enfants nés grands prématurés nous permet d'explorer le développement psycholinguistique et nous aide à comprendre l'ensemble des troubles d'acquisition de la lecture.

VIII BIBLIOGRAPHIE

Aarnoudse-Moens CS, Weisglas-Kuperus N, van Goudoever JB, Oosterlaan J. 2009. Meta-analysis of neurobehavioral outcomes in very preterm and/or very low birth weight children. *Pediatrics*. 2009 Aug;124(2):717-28

Adrian E.D., Yamagiwa K. 1935. The origin of the Berger rhythm. *Brain*, 58 (1935), pp. 323-351

Allotey J, Zamora J, Cheong-See F, Kalidindi M, Arroyo-Manzano D, Asztalos E, van der Post J, Mol BW, Moore D, Birtles D, Khan KS, Thangaratinam S. 2017. Cognitive, motor, behavioural and academic performances of children born preterm: a meta-analysis and systematic review involving 64 061 children. *BJOG*. 2017 Oct 11

Ancel PY, Goffinet F; EPIPAGE-2 Writing Group, Kuhn P, Langer B, Matis J, Hernandorena X, Chabanier P, Joly-Pedespan L, Lecomte B, Vendittelli F, Dreyfus M, Guillois B, Burguet A, Sagot P, Sizun J, Beuchée A, Rouget F, Favreau A, Saliba E, Bednarek N, Morville P, Thiriez G, Marpeau L, Marret S, Kayem G, Durrmeyer X, Granier M, Baud O, Jarreau PH, Mitanchez D, Boileau P, Boulot P, Cambonie G, Daudé H, Bédu A, Mons F, Fresson J, Vieux R, Alberge C, Arnaud C, Vayssière C, Truffert P, Pierrat V, Subtil D, D'Ercole C, Gire C, Simeoni U, Bongain A, Sentilhes L, Rozé JC, Gondry J, Leke A, Deiber M, Claris O, Picaud JC, Ego A, Debillon T, Poulichet A, Coliné E, Favre A, Fléchelles O, Samperiz S, Ramful D, Branger B, Benhammou V, Foix-L'Hélias L, Marchand-Martin L, Kaminski M. 2015. Survival and morbidity of preterm children born at 22 through 34 weeks' gestation in France in 2011: results of the EPIPAGE-2 cohort study. *JAMA Pediatr*. 2015 Mar;169(3):230-8.

Andrew A, Attanasio O, Fitzsimons E, Grantham-McGregor S, Meghir C, Rubio-Codina M. 2018. Impacts 2 years after a scalable early childhood development intervention to increase psychosocial stimulation in the home: A follow-up of a cluster randomised controlled trial in Colombia. *PLoS Med*. 2018 Apr 24;15(4):e1002556

Asztalos EV, Church PT, Riley P, Fajardo C, Shah PS; Canadian Neonatal Network and Canadian Neonatal Follow-up Network Investigators. 2017. Neonatal Factors Associated with a Good Neurodevelopmental Outcome in Very Preterm Infants. *Am J Perinatol*. 2017 Mar;34(4):388-396

Aviles C, Madariaga P, Reinbach Hoffman K. Comparative study of neuropsychological functions in preterm and term childrens at eight years old. *Rev Chil Pediatr*. 2018 Aug;89(4):471-476.

Barnea-Goraly N, Eliez S, Menon V, Bammer R, Reiss AL. 2005. Arithmetic ability and parietal alterations: a diffusion tensor imaging study in velocardiofacial syndrome. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005 Dec;25(3):735-40

Barray V, Picard A, Camos V. 2008 Comparative study of dyspraxia: neuropsychological evaluation of children with developmental dyspraxia or consecutive to a preterm birth. *Ann Readapt Med Phys.* Apr;51(3):161-8.

Bastien-Toniazzo M, Stroumza A, Cavé C. 2009. Audio-Visual Perception and Integration in Developmental Dyslexia: An Exploratory Study Using the McGurk Effect. *Behaviour, Brain and cognition* Vol. 25, Issue 3, 2009

Bates E, Marchman V, Thal D, Fenson L, Dale P, Reznick JS, Reilly J, Hartung J. 1994. Developmental and stylistic variation in the composition of early vocabulary. *J Child Lang.* 1994 Feb;21(1):85-123.

Baxendale J. Anne Hesketh A. 2009. Comparison of the effectiveness of the Hanen Parent Programme and traditional clinic therapy *International Journal of Language & Communication Disorders*, Volume 38, 2003 - Issue 4

Beauregard JL, Drews-Botsch C, Sales JM, Flanders WD, Kramer MR 2018. Preterm Birth, Poverty, and Cognitive Development. *Pediatrics.* 2018 Jan;141(1).

Beilin H, Fireman G. 1999. *Adv Child Dev Behav.* The foundation of Piaget's theories: mental and physical action. 1999; 27:221-46.

Benassi E, Savini S., Iverson JM., Guarini A., Caselli MC., Alessandrini R., Faldella G., Sansavini A. 2016. Early communicative behaviors and their relationship to motor skills in extremely preterm infants. *Res Dev Disabil.* 2016 Jan;48:132-44.

Bentin S, Mouchetant-Rostaing Y, Giard MH, Echallier JF, Pemier J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *J Cogn Neurosci.* May; 11(3):235-60

Bishop DV Snowling MJ. 2004. Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychol Bull.* (2004)

Blankson AN, Weaver JM, Leerkes EM, O'Brien M, Calkins SD, Marcovitch S. 2016. Cognitive and Emotional Processes as Predictors of a Successful Transition into School. *Early Educ Dev.* 2017;28(1):1-20.

Brem S, Brandeis D. (2006) Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence. *Neuroimage* Vol 29, Issue 3, feb, P 822-837.

Brigell M, Bach M, Barber C, Kawasaki K, Kooijman A. 1998. Guidelines for calibration of stimulus and recording parameters used in clinical electrophysiology of vision. Calibration Standard Committee of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV). *Doc Ophthalmol.* 1998;95(1):1-14.

Bowers PG, Swanson LB. 1991 Naming speed deficits in reading disability: multiple measures of a singular process. *J Exp Child Psychol.* 1991 Apr;51(2):195-219.

Bucher K, Dietrich T, Marcar VL, Brem S, Halder P, Boujraf S, Summers P, Brandeis D, Martin E, Loenneker T. (2006). Maturation of Luminance -and motion -defined form perception beyond adolescence: a combined RP and fMRI study. *Neuroimage* 31, (4), 1625-36.

Cable AL, Domsch C. 2011. Systematic review of the literature on the treatment of children with late language emergence. *Int J Lang Commun Disord.* 2011 Mar-Apr;46(2):138-54.

Cantiani C, Choudhury NA, Yu YH, Shafer VL, Schwartz RG, Benasich AA. 2016. Sensory Perception to Lexical-Semantic Processing: An ERP Study in Non-Verbal Children with Autism. *PLoS One.* 2016 Aug 25;11(8):e0161637.

Cao F, Rickles B, Vu M, Zhu Z, Chan DH, Harris LN, Stafura J, Xu Y, Perfetti CA. 2013. Early stage visual-orthographic processes predict long-term retention of word form and meaning: a visual encoding training study. *J Neurolinguistics.* 2013 Jul 1;26(4):440-461

Caravale B, Mirante N, Vagnoni C, Vicari S. 2012. Change in cognitive abilities over time during preschool age in low risk preterm children. *Early Hum Dev.* 2012 Jun;88(6):363-7

Casey BJ, Giedd JN, Thomas KM. 2000. Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biol Psychol.* 2000 Oct;54(1-3):241-57.

Charkaluk ML, Rousseau J, Benhammou V, Datin-Dorrière V, Flamant C, Gire C, Kern S, Pierrat V, Kaminski M, Marret S. 2019. Association of Language Skills with Other Developmental Domains in Extremely, Very, and Moderately Preterm Children: EIPAGE 2 Cohort Study. *J Pediatr.* 2019 May;208:114-120.e5.

Charkaluk ML. Guidance orthophonique: une recherche auprès des grands prématurés
Ortho Magazine. Vol 20, N° 110 - janvier-février 2014
pp. 34-35

Charollais A, Stumpf MH, Beaugrand D, Lemarchand M, Radi S, Pasquet F, Khomsi A, Marret S. 2010. Evaluation of language at 6 years in children born prematurely without cerebral palsy: prospective study of 55 children]. *Arch Pediatr.* 2010 Oct;17(10):1433-9.

Charollais A, Stumpf MH, De Quelen R, Rondeau S, Pasquet F, Marret S. 2014. Delayed language development at two years of age in very preterm infants in the Perinatal Network of Haute-Normandie. *Early Hum Dev.* 2014 Dec;90(12):891-2.

Charollais A, Marret S, Stumpf MH, Lemarchand M, Delaporte B, Philip E, Monom-Diverre, Guillois B, Datin-Dorriere V, Debillon T, Simon MJ, De Barace C, Pasquet F, Saliba E, Zebhib R. LAMOPRESCO, 2013. Understand the neurodevelopment of language: a necessity to prevent learning disabilities in children. *Arch Pediatr.* 2013 Sep;20(9):994-9

Chen X, Ran G, Zhang Q, Hu T 2015. Unconscious attention modulates the silencing effect of top-down predictions. *Conscious Cogn.* 2015 Jul;34:63-72.

Chevrier-Muller C., Narbona J., 2007. Le langage de l'enfant. Aspects normaux et pathologiques. Ed Masson

Christodoulou J, Lac A, Moore DS.2017. Babies and math: A meta-analysis of infants' simple arithmetic competence. Dev Psychol. 2017 Aug;53(8):1405-1417.

Coltheart V. 1993 Effects of phonological similarity and concurrent irrelevant articulation on short-term-memory recall of repeated and novel word lists. Mem Cognit. Jul;21(4):539-45

Coltheart M, Rastle K, Perry C, Langdon R, Ziegler J.2001. DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. Psychol Rev. 2001 Jan;108(1):204-56.

Coch D, Mitra P.,George E.(2012) Behavioral and ERP evidence of word and pseudoword superiority effects in 7-and 11-year-olds.Brain research Vol 1486,27 nov P 68-81.

Cohen L, Dehaene S, naccache L, Lehérricy S,Dehaene-Lambertz, Hénaff MA,Michel F.(2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterieur split-brain patients. Brain Feb ;123 (Pt2) :291-307

Costa DS. Miranda DM.Burnett AC. Doyle LW.CheongJLY. AndersonP Victorian Infant Collaborative Study group. 2017. Executive Function and academic Outcomes in children Who were extremely preterm. Pediatrics 2017 Sep;140(3).

Crunelle D, Le Normand MT, Delfosse MJ. 2003.Oral and written language production in prematures children: results in 7 1/2-year-old. Folia Phoniatr Logop. 2003 May-Jun;55(3):115-27.

Davis M, Redford MA.2019.The Emergence of Discrete Perceptual-Motor Units in a Production Model That Assumes Holistic Phonological Representations. Front Psychol. 2019 Sep 18;10:2121.

Deforge H, Andre M, Hascoet JM, Fresson J, Toniolo AM. 2009. Impact of very preterm birth on visuospatial processes at 5 years of age. Arch Pediatr. 2009 Mar;16(3):227-34.

Dehaene S, Cohen L. 2007 Cultural recycling of cortical maps. Neuron. 2007 Oct 25 ;56(2) :384-98.

Dehaene S Les neurones de la lecture Stanislas Dehaene , Odile Jacob Villeneuve d Ascq 2007,P 200.

Dehaene S, Cohen L 2011. The unique role of the visual word form area in reading. Trends Cogn Sci Jun;15(6):254-62

Dehaene S, Cohen L, Morais J, Kolinsky R.2015.Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition.. Nat Rev Neurosci. 2015 Apr;16(4):234-44.

Dehaene-Lambertz G (2012) Une réévaluation de la bouche et des mouvements articulatoires dans l'acquisition de la langue maternelle.Motricité cérébrale volume 33, n°1 pages 2-3 (mars 2012)

Dehaene-Lambertz G· Hertz-Pannier L, Dubois J, Mériaux S, Roche A, Sigman M, Dehaene S.(2006) Functional organization of perisylvian activation during presentation of sentences in preverbal infants. Proc Natl Acad Sci U S A. 2006 Sep 19;103(38):14240-5.

Donchin E. 1969. Discriminant analysis in average evoked response studies: the study of single trial data. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1969 Sep;27(3):311-4.

Donchin E, Tueting P, Ritter W, Kutas M, Heffley E.1975. On the independence of the CNV and the P300 components of the human averaged evoked potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1975 May;38(5):449-61

DSM 5.2015. Publication de la version française de l'ouvrage de référence de l'Association Américaine de Psychiatrie. Ed Masson.

Dubois J, Hamker FH, Vanrullen R. (2009) Attentional selection of non contiguous locations : the spotlight is only transiently"split". *J Vis* May 8;9(5):3-1-11.

Dujardin T, Etienne Y, Contentin C, Bernard C, Largy P, Mellier D, Lalonde R, Rebaï M. (2011) Behavioral performances in participants with phonological dyslexia and different patterns on the N170 component. *Brain Cogn.* Mar;75(2):91-100.

Eberhard-Moscicka AK, Jost LB, Raith M, Maurer U.2015. Neurocognitive mechanisms of learning to read: print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology. *Dev Sci.* 2015 Jan;18(1):106-18.

Elnakib A, Soliman A, Nitzken M, Casanova MF, Gimel'farb G, El-Baz A.2014. Magnetic resonance imaging findings for dyslexia: a review. *J Biomed Nanotechnol.* 2014 Oct;10(10):2778-805.

Evrard, D., Charollais, A., Marret, S., Radi, S. ; Rezrazi, A. ; Mellier, D. (2011). Cognitive and emotional regulation developmental issue in preterm infants 12 and 24 months after birth, *European Journal of Developmental psychology*, vol.8, 2, 171-184 (14)

Ferreira RC Alves CRL, Guimarães MAP Menezes KKP, Magalhães LC. 2019. Effects of early intervention focused on the family in the development of children born premature and / or at social risk: a meta-analysis. *J Pediatr (Rio J).* 2019 Jun 27.

Fostick L, Revah H.2018. Dyslexia as a multi-deficit disorder: Working memory and auditory temporal processing. *Acta Psychol (Amst).* 2018 Feb;183:19-28

Frances A.,Carter BA Michael E., Msall MD. 2017. Health Disparities and child development after prematurity. *Pediatric Annals.*2017; 46 (10): e 360-e364

Franceschini S, Gori S, Ruffino M, Pedrolli K, Facoetti A.(2012) A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Curr Biol*,22 (9), 814-9.

Galaburda AM, Sherman GF, Rosen GD, Aboitiz F, Geschwind N.1985. Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Ann Neurol.* 1985 Aug;18(2):222-33.

Guarini A, Marini A, Savini S, Alessandrini R, Faldella G, Sansavini A. 2016. Linguistic features in children born very preterm at preschool age. *Dev Med Child Neurol.* 2016 Sep;58(9):949-56.

Guarini A, Bonifacci P, Tobia V, Alessandroni R, Faldella G, Sansavini A. 2019. The profile of very preterm children on academic achievement. A cross-population comparison with children with specific learning disorders. *Res Dev Disabil.* 2019 Apr;87:54-63

Guarini A, Sansavini A, Fabbri C, Savini S, Alessandroni R, Faldella G, Karmiloff-Smith A. 2010. Long-term effects of preterm birth on language and literacy at eight years. *J Child Lang.* 2010 Sep;37(4):865-85.

Golinkoff RM, Alioto A. 1995. Infant-directed speech facilitates lexical learning in adults hearing Chinese: implications for language acquisition. *J Child Lang.* 1995 Oct;22(3):703-26.

González-Garrido AA, Gómez-Velázquez FR, Rodríguez-Santillán E. 2013. Orthographic recognition in late adolescents: an assessment through event-related brain potentials. *Clin EEG Neurosci.* 2014 Apr;45(2):113-21.

Gonzalez-Gomez N, Nazzi T. 2012. Phonotactic acquisition in healthy preterm infants. *Dev Sci.* 2012 Nov;15(6):885-94. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01186.x. Epub 2012 Sep 7

Guellaï B, Streri A, Yeung HH. (2014) The development of sensorimotor influences in the audiovisual speech domain: some critical questions. *Front Psychol.* Aug 6;5:812.

Guiraud JA, Tomalski P, Kushnerenko E, Ribeiro H, Davies K, Charman T, Elsabbagh M, Johnson MH; BASIS Team. 2012. Atypical audiovisual speech integration in infants at risk for autism. *PLoS One.* 2012;7(5):e36428.

Gratton G, Coles MG, Donchin E. 1992. Optimizing the use of information: strategic control of activation of responses. *J Exp Psychol Gen.* 1992 Dec;121(4):480-506.

Grossi G, Coch D, Coffey-Corina S, Holcom P J, Neville H J. (2001) Phonological Processing in visularhyming: a developmental Erp Study. *J Cogn Neurosci.* 13(5),610-25.

Habib M, Rey V, Daffaure V, Camps R, Espesser R, Joly-Pottuz B, Démonet JF. 2002. Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *Int J Lang Commun Disord.* 2002 Jul-Sep;37(3):289-308

Halimi Y, Khomsi A. *Neuropsychiatr* (1981). Disorders of the maturation of speech in children: theoretical and methodological preliminaries. *Enfance Adolesc.* 1981 Apr-May;29(4-5):213-21.

Hanen Programs: Involving parents and teachers in young children's language development Janice Greenberg, B.Sc., D.S.P., Reg. CASLPO. • The Hanen Centre

Hansenne M. 2000. The p300 cognitive event-related potential. I. Theoretical and psychobiologic perspectives]. *Neurophysiol Clin.* 2000 Aug;30(4):191-210.

Hasko S, Groth K, Bruder J, Bartling J, Schulte-Körne G. The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study *Front Hum Neurosci.* 2013 Oct 7;7:570.

Hauk O, Pulvermüller .2004. Effects of word length and frequency on the human event - related potential. *Clin neurophysiol*, 115 (5), 1090-103

Havy M, Foroud A, Fais L, Werker JF1. 2017. The Role of Auditory and Visual Speech in Word Learning at 18 Months and in Adulthood. *Child Dev.* 2017 Nov;88(6):2043-2059
langage jusqu a 18 mois sensori moteur pour apprendre

Helenius P, Salmelin R, Service E, Connolly JF.(1998) Distinct time courses of word and context comprehension in the left temporal cortex. *Brain*. Jun;121 (Pt 6):1133-42.

Hillyard, Teder-Salejarvi, Münte, (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention.electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. Aug 29 ;353 (1373)1257-1270.

Hopf JM ,Boelmans K, Schoenfeld MA, Luck SJ, Heinze HJ.2004. Attention to features precedes attention to locations in visual search: evidence from electromagnetic brain responses in humans. *J Neurosci*. 2004 Feb 25;24(8):1822-32.

INSERM. L'étude Epipage 1epipage2.inserm.fr/index.php/fr/prematurite-fr/etude-epipage1.

Jansson-Verkasalo E, Korpilahti P, Jääntti V, Valkama M, Vainionpää L, Alku P, Suominen K, Näätänen R.2004. Neurophysiologic correlates of deficient phonological representations and object naming in prematurely born children. *Clin Neurophysiol*. 2004 Jan;115(1):179-87.

Jasper HH 1948. Charting the Sea of Brain Waves. *Science*. 1948 Oct 1;108(2805):343-7.

Johnson JS, Newport EL.1991. Critical period effects on universal properties of language: the status of subjacency in the acquisition of a second language. *Cognition*. 1991 Jun;39(3):215-58.

Johnson S, Strauss V, Gilmore C, Jaekel J, Marlow N, Wolke D. Epicure. 2016.Learning disabilities among extremely preterm children without neurosensory impairment: Comorbidity, neuropsychological profiles and scholastic outcomes. *Early Hum Dev*. 2016 Dec; 103:69-75.

Jongbloed-Pereboom M, Janssen AJ, Steiner K, Steenbergen B, Nijhuis-van der Sanden MW. 2017. Implicit and explicit motor sequence learning in children born very preterm. *Res Dev Disabil*. 2017 Jan;60:145-152.

Joseph RM, O'Shea TM, Allred EN, Heeren T, Hirtz D, Jara H, Leviton A, Kuban KC; ELGAN Study Investigators.2016.Neurocognitive and Academic Outcomes at Age 10 Years of Extremely Preterm Newborns.*Pediatrics*. 2016 Apr;137(4).

Jucla M, Nenert R, Chaix Y, Demonet JF. 2010. Remediation effects on N170 and P300 in children with developmental dyslexia. *Behav Neurol*. 2010;22(3-4):121-9.

Kehoe M., Patrucco-Nanchen T., Friend M., Zesiger P. 2018. The relation between phonological and lexical development in French-speaking children. *Clin Linguist Phon*. 2018; 32(12): 1103–1125.

Kolinsky R, Fernandes T.2014. A cultural side effect: learning to read interferes with identity processing of familiar objects. *Front Psychol*. 2014 Oct 31;5:1224

Komeilipoor N, Cesari P, Daffertshofer A. 2017. Involvement of superior temporal areas in audiovisual and audiomotor speech integration. *Neuroscience*. 2017 Feb 20;343:276-283.

Korinth SP, Sommer W, Breznitz Z 2012 Does silent reading speed in normal adult readers depend on early visual processes? evidence from event-related brain potentials. *Brain Lang*. 2012 Jan;120(1):15-26.

Kornhuber HH, Deecke, L. Pflugers Arch Gesamte Physiol Menschen Tiere. 1965 changes in the brain potential in voluntary movements and passive movements in man : readiness potential and reafferent potentials. May 10;284:1-17. German

Kuhl PK, Stevens E, Hayashi A, Deguchi T, Kiritani S, Iverson P 2006 . Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. Dev Sci.Mar;9(2): F13-F21.

Kuriki S, Takeuchi F, Hirata Y.1998. Neural processing of words in the human extrastriate visual cortex. Brain Res Cogn Brain Res. 1998 Jan;6(3):193-203

Kushnerenko E, Tomalski P, Ballieux H, Ribeiro H, Potton A, Axelsson EL, Murphy E, Moore DG.2013. Brain responses to audiovisual speech mismatch in infants are associated with individual differences in looking behaviour. Eur J Neurosci. 2013 Nov;38(9):3363-9.

Kwinta P, Herman-Sucharska I, Leśniak A, Klimek M, Karcz P, Durlak W, Nitecka M, Dutkowska G, Kubatko-Zielińska A, Romanowska-Dixon B, Pietrzyk JJ.2015. Relationship between Stereoscopic Vision, Visual Perception, and Microstructure Changes of Corpus Callosum and Occipital White Matter in the 4-Year-Old Very Low Birth Weight Children. Biomed Res Int. 2015;:842143.

Lannuzzi S, Jucla M, Demonet JF. (2010) ERP correlates of word and non-word identification in dyslexic children: transversal and longitudinal perspectives. I Jour of Psychophysiology. Vol 77, Issue 3, Sept p 223

Larroque B, Ancel PY, Marret S, Marchand L, André M, Arnaud C, Pierrat V, Rozé JC, Messer J, Thiriez G, Burguet A, Picaud JC, Bréart G, Kaminski M; EPIPAGE Study group.2008. Neurodevelopmental disabilities and special care of 5-year-old children born before 33 weeks of gestation (the EPIPAGE study): a longitudinal cohort study. Lancet. 2008 Mar 8;371(9615):813-20.

Larroque B, Ancel PY, Marchand-Martin L, Cambonie G, Fresson J, Pierrat V, Rozé JC, Marpeau L, Thiriez G, Alberge C, Bréart G, Kaminski M, Marret S; Epipage Study group. 2011.Special care and school difficulties in 8-year-old very preterm children: the Epipage cohort study. PLoS One. 2011;6(7):e2136

Lejeune F, Marcus L, Berne-Audeoud F, Streri A, Debillon T, Gentaz E. 2012.Intermanual transfer of shapes in preterm human infants from 33 to 34 + 6 weeks postconceptional age. Child Dev. 2012 May-Jun;83(3):794-800.

Liberman AM (1998) When theories of speech meet the real world.J Psycholinguist Res.Mar;27(2):111-22.

Liberman I. Y., Shankweiler D. (1989). Phonologie et apprentissage de la lecture : une introduction. In C. A. PERFETTI & L. RIEBEN (Eds), L'apprenti lecteur. Recherches empiriques et implications pédagogiques. Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.

Liu Y, Balériaux D, Kavec M, Metens T, Absil J, Denolin V, Pardou A, Avni F, Van Bogaert P, Aeby A.2010. Structural asymmetries in motor and language networks in a population of healthy preterm neonates at term equivalent age: a diffusion tensor imaging and probabilistic tractography study. Neuroimage. 2010 Jun;51(2):783-8.

Loi EC, Marchman VA, Fernald A, Feldman HM.2016. Using Eye Movements to Assess Language Comprehension in Toddlers Born Preterm and Full Term. *J Pediatr.* 2017 Jan;180:124-129

Loonis RF, Brincat SL, Antzoulatos EG, Miller EK 2017. A Meta-Analysis Suggests Different Neural Correlates for Implicit and Explicit Learning. *Neuron.* 2017 Oct 11;96(2):521-534

Luck SJ, Ford MA.1998. On the role of selective attention in visual perception *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1998 Feb 3;95(3):825-30.

Mahé G, Bonnefond A, Doignon-Camus N.2013. Is the impaired N170 print tuning specific to developmental dyslexia? A matched reading-level study with poor readers and dyslexics. *Brain Lang.* 2013 Dec;127(3):539-44.

Mahé G, Pont C, Zesiger P, Laganaro M.(2018) The electrophysiological correlates of developmental dyslexia: New insights from lexical decision and reading aloud in adults. *Neuropsychologia.* 2018 Dec;121:19-27.

Marchman VA, Bates E. 1994. Continuity in lexical and morphological development: a test of the critical mass hypothesis. *J Child Lang.* 1994 Jun;21(2):339-66.

Marinkovic K, Dhond RP, Dale AM, Glessner M, Carr V, Halgren E.2003 Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing. *Neuron.* May 8;38(3):487-97.

Marret S, Ancel PY, Marchand L, Charollais A, Larroque B, Thiriez G, Alberge C, Pierrat V, Rozé JC, Fresson J, Bréart G, Kaminski M; groupe EPIPAGE. 2009.Special outpatient services at 5 and 8 years in very-preterm children in the EPIPAGE study. *Arch Pediatr.* 2009 Sep;16 Suppl 1: S17-27.

Martineau J, Roux S, Garreau B, Adrien JL, Lelord G.1992. Unimodal and crossmodal reactivity in autism: presence of auditory evoked responses and effect of the repetition of auditory stimuli. *Biol Psychiatry.* 1992 Jun 15;31(12):1190-203.

Martinet M.2010. [Developmental support care, an invitation to interact *Soins Pédiatr Pueric.* 2010 Sep-Oct;(256):16-8

Maurer U, Brandeis D, McCandliss BD. 2005 Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behav Brain Funct.* 2005 Aug 9;1:13.

Maurer U, Schulz E, Brem S, der Mark Sv, Bucher K, Martin E, Brandeis D (2011).The development of print tuning in children with dyslexia: evidence from longitudinal ERP data supported by fMRI. *Neuroimage.* 2011 Aug 1;57(3):714-22

Maurer U, Brem S, Bucher K, Kranz F, Benz R, Steinhausen HC, Brandeis D. (2007) Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain.* 2007 Dec;130(Pt 12):3200-10

Maurer U Brem S, Kranz F, Bucher K, Benz R, Halder P, Steinhausen HC, Brandeis D (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *Neuroimage Vol 33, issue 2 Nov p749-758.*

Maurer U, Blau VC, Yoncheva YN, McCandliss BD 2010. Development of visual expertise for reading: rapid emergence of visual familiarity for an artificial script. *Dev Neuropsychol.* 2010 ;35(4):404-22

Mazeau M (2010) *Dyspraxia Arch Pediatr*, Mar;17(3):314-8

Mehlhase H, Bakos S, Landerl K, Schulte-Körne G, Moll K Orthographic learning in children with isolated and combined reading and spelling deficits. *Child Neuropsychol.* 2019 Apr;25(3):370-393.

Mellier, D. Marret, S. (2011). Contraintes pour le développement neuropsychologique de l'enfant né prématuré. In Mellier, D. (Ed.). *Le développement de l'enfant né prématuré.* Marseille : Solal.pp 11 – 27

Mitchel AD, Christiansen MH, Weiss DJ.2014. Multimodal integration in statistical learning: evidence from the McGurk illusion. *Front Psychol.* 2014 May 16;5:407.

Mohamad NB, Lee KY, Mansor W, Mahmoodin Z, Fadzal CW, Amirin S. 2015. EEG-based time and spatial interpretation of activation areas for relaxation and words writing between poor and capable dyslexic children. *Eng Med Biol Soc.* 2015;2015:4757-60.

Möttönen R, Krause CM, Tiippana K, Sams M. 2002. Processing of changes in visual speech in the human auditory cortex. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2002 May;13(3):417-25.

Näätänen R.1969. Anticipation of relevant stimuli and evoked potentials: a reply to Donchin and Cohen.*Percept Mot Skills.* 1969 Aug;29(1):233-4.

Näätänen R, Michie PT.1979. Early selective-attention effects on the evoked potential: a critical review and reinterpretation. *Biol Psychol.* 1979 Mar;8(2):81-136

Nazzi T, Nishibayashi LL, Berdasco-Muñoz E, Baud O, Biran V, Gonzalez-Gomez N.2015. Language acquisition in preterm infants during the first year of life *Arch Pediatr.* 2015 Oct;22(10):1072-7.

Nguyen TN, Spencer-Smith M, Zannino D, Burnett A, Scratch SE, Pascoe L, Ellis R, Cheong J, Thompson D, Inder T, Doyle LW, Anderson PJ. 2018.Developmental Trajectory of Language From 2 to 13 Years in Children Born Very Preterm. *Pediatrics.* 2018 May;141(5).

Nguyen TN, Spencer-Smith M, Haebich KM, Burnett A, Scratch SE, Cheong JLY, Doyle LW, Wiley JF, Anderson PJ 2018. Language Trajectories of Children Born Very Preterm and Full Term from Early to Late Childhood. *J. Pediatr.* 2018 Nov;202:86-91.

Nip ISB, Arias CR, Morita K, Richardson H. 2017. Initial Observations of Lingual Movement Characteristics of Children With Cerebral Palsy. *J Speech Lang Hear Res.* 2017 Jun 22;60(6S):1780-1790.

Nobre AC, McCarthy G (1995), Language-related potentials in the anterior-medial temporal lobe: II. Effects of word type and semantic priming.*J Neurosci* Feb;15(2):1090-8.

Nobre AC, Allison T, McCarthy (1994), Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature* Nov 17;372(6503):260-3.

Nunez PL, Srinivasan R. 2006. A theoretical basis for standing and traveling brain waves measured with human EEG with implications for an integrated consciousness. *Clin Neurophysiol.* 2006 Nov;117(11):2424-35.

Ohlsson A, Jacobs SE. 2013. NIDCAP: a systematic review and meta-analyses of randomized controlled trials. *Pediatrics.* 2013 Mar;131(3):e881-93. doi: 10.1542/peds.2012-2121. Epub 2013 Feb 18.

OMS. (2013). Organisation mondiale de la santé. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs363/fr/>

Paquette N, Vannasing P, Tremblay J, Lefebvre F, Roy MS, McKerral M, Lepore F, Lassonde M, Gallagher A. 2015. Early electrophysiological markers of atypical language processing in prematurely born infants. *Neuropsychologia.* 2015 Dec ;79(Pt A):21-32.

Paulesu E, Frith CD, Frackowiak RS. 1993. The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature.* 1993 Mar 25;362(6418):342-5

Peña M, Werker JF, Dehaene-Lambertz G. 2012. Earlier speech exposure does not accelerate speech acquisition. *J Neurosci.* 2012 Aug 15;32(33):11159-63.

Penolazzi B., Hauk O., Pulvermüller F. (2007) early semantic context integration and lexical access as revealed by event-related brain potentials. *Biol Psychol* Mar;74(3):374-88.

Pereira MB Befi, Lopes DM, Samelli AG. 2015. Association between audiological profile and primary language impairment in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015 Jan;79(1):53-7

Peterson BS, Vohr B, Kane MJ, Whalen DH, Schneider KC, Katz KH, Zhang H, Duncan CC, Makuch R, Gore JC, Ment LR. 2002. A functional magnetic resonance imaging study of language processing and its cognitive correlates in prematurely born children. *Pediatrics.* 2002 Dec;110(6):1153-62.

Peterson BS, Rajeevan N, Makuch RW, Constable RT, Ment LR. 2009. Alterations in neural connectivity in preterm children at school age. *Neuroimage.* 2009 Nov 1;48(2):458-63

Pierrat V., Marchand-Martin L., Arnaud C, Kaminski M, Resche-Rigon M, Lebeaux C, Bodeau-Livinec F, Morgan AS, Goffinet F, Marret S, Ancel PY and the EPIPAGE-2 writing group. 2017. Neurodevelopmental outcome at 2 years for preterm children born at 22 to 34 weeks' gestation in France in 2011: EPIPAGE-2 cohort study. *BMJ.* 2017 Aug 16;358: j3448.

Pillay SB, Stengel BC, Humphries C, Book DS, Binder JR. 2014. Cerebral localization of impaired phonological retrieval during rhyme judgment. *Ann Neurol.* 2014 Nov;76(5):738-46.

Piotrowska B, Willis A .2019. Beyond the global motion deficit hypothesis of developmental dyslexia: A cross-sectional study of visual, cognitive, and socio-economic factors influencing reading ability in children. *Vision Res.* 2019 Jun;159:48-60.

Plaza M, Cohen H. 2007. Dyslexia. The contribution of phonological awareness and visual attention in early reading and spelling. 2007 Feb;13(1):67-76.

Pleisch G, Karipidis II, Brauchli C, Röthlisberger M, Hofstetter C, Stämpfli P, Walitza S, Brem S. 2019. Emerging neural specialization of the ventral occipito temporal cortex to characters through phonological association learning in preschool children. *Neuroimage* 2019 Apr 1; 189:813-831.

Poldrack RA, Wagner AD, Prull MW, Desmond JE, Glover GH, Gabrieli JD.1999. Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*. 1999 Jul;10(1):15-35.

Poletti M. (2016) WISC-IV Intellectual Profiles in Italian Children With Specific Learning Disorder and Related Impairments in Reading, Written Expression, and Mathematics *J Learn Disabil*. May-Jun;49(3):320-35.

Potijk MR, Kerstjens JM, Bos AF, Reijneveld SA, de Winter AF. 2013. Developmental delay in moderately preterm-born children with low socioeconomic status: risks multiply. *J Pediatr*. 2013 Nov;163(5):1289-95

Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Vernet P, Pozzo T, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F. Ocular proprioception and developmental dyslexia. Sixty clinical observations. 2005. *J Fr Ophtalmol*. 2005 Sep;28(7):713-23.

Rakhlin N, Cardoso-Martins C, Kornilov SA, Grigorenko EL 2015 Spelling well despite developmental language disorder: what makes it possible? *Ann Dyslexia*. 2013 Oct;63(3-4):253-73. doi: 10.1007/s11881-013-0084-x. Epub 2013 Jul 17.

Ramus F. 2001 Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. *Dyslexia*. 2001 Oct-Dec;7(4):197-216.

Ramus F, Rosen S, Dakin SC, Day BL, Castellote JM, White S, Frith U.2003 Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*. 2003 Apr;126(Pt 4):841-65.

Ramus F, Altarelli I, Jednoróg K, Zhao J, Scotto di Covella L Neuroanatomy of developmental dyslexia: Pitfalls and promise. 2018. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018 Jan;84:434-452. Attention tous les paramètres n y sont pas

Rebaï, M., Bernard, C., Lannou, J. (1998). Spatial Frequency and Right Hemisphere: An Electrophysiological Investigation. *Brain Cogn*, 29(36), 21–29.

Reilhac C, Jucla M, Iannuzzi S, Valdois S, Démonet JF.2012. Effect of orthographic processes on letter identity and letter-position encoding in dyslexic children. *Front Psychol*. 2012 May 21;3:154.

Renart A, Parga N, Rolls ET 1999. Associative memory properties of multiple cortical modules. *Network*. 1999 Aug;10(3):237-55.

Ryu H, Han G, Choi J, Park HK, Kim MJ, Ahn DH, Lee HJ. 2017. Object permanence and the development of attention capacity in preterm and term infants: an eye-tracking study. *Ital J Pediatr*. 2017 Oct 2;43(1):90.

Rokszin AA, Györi-Dani D, Nyúl LG, Csifcsák G. 2016. Electrophysiological correlates of top-down effects facilitating natural image categorization are disrupted by the attenuation of low spatial frequency information.

Roux FE, Durand JB, Jucla M, Réhault E, Reddy M, Démonet JF. 2016. Segregation of lexical and sub-lexical reading processes in the left perisylvian cortex. *J Psychophysiol.* 2016 Feb;100:19-27

Roseberry S, Richie R, Hirsh-Pasek K, Golinkoff RM, Shipley TF. 2011. Babies catch a break: 7-to9-month-olds track statistical probabilities in continuous dynamic events. *Psychol Sci.* 2011 Nov;22(11):1422-4

Ruffino M, Gori S, Boccardi D., Molteni M., Facchetti A. (2014). Spatial and temporal Attention in developmental Dyslexia. *Front Hum Neurosc.* 8,331.

Salmelin R, Service E, Kiesilä P, Uutela K, Salonen O (1996) Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. *Ann Neurol.* Aug;40(2):157-62.

Santhakumaran S, Statnikov Y, Gray D, Battersby C, Ashby D, Modi N. 2017. Survival of very preterm infants admitted to neonatal care in England 2008-2014: time trends and regional variation. *Medicines for Neonates Investigator Group Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2017 Sep 7.

Schiller R, Jsselstijn H, Hoskote A, White T, Verhulst F, van Heijst A, Tibboel D. 2018. Memory deficits following neonatal critical illness: a common neurodevelopmental pathway. *Review Lancet Child Adolesc Health.* 2018 Apr;2(4):281-289. -3.

Seidenberg MS, McClelland JL. A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychol Rev.* 1989 Oct;96(4):523-68

Serati M, Barkin JL, Orsenigo G, Altamura AC, Buoli M. 2017. TDAH. The role of obstetric and neonatal complications in childhood attention deficit and hyperactivity disorder - a systematic review. *Child Psychol Psychiatry.* 2017 Jul 17.

Shaywitz SE, Shaywitz BA, Pugh KR, Fulbright RK, Constable RT, Mencl WE, Shankweiler DP, Liberman AM, Skudlarski P, Fletcher JM, Katz L, Marchione KE, Lacadie C, Gatenby C, Gore JC. 1998. Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1998 Mar 3;95(5):2636-41

Simon G, Bernard C, Largy P, Lalonde R, Rebaï M. (2004) Chronometry of visual word recognition during passive and lexical decision tasks: an ERP investigation. *Int J Neurosci.* Nov;114 (11):140-32.

Singh S, Walk AM, Conway CM. 2018. Atypical predictive processing during visual statistical learning in children with developmental dyslexia: an event-related potential study. *Ann Dyslexia.* 2018 Jul;68(2):165-179.

Smalle EHM, Page MPA, Duyck W, Edwards M, Szmalec A1 2018. Children retain implicitly learned phonological sequences better than adults: a longitudinal study. *Dev Sci.* 2018 Sep;21(5):e12634

Snowling MJ, Hulme C. 2011. Evidence-based interventions for reading and language difficulties: creating a virtuous circle. *Br J Educ Psychol.* 2011 Mar;81(Pt 1):1-23

Snowling MJ, Hayiou-Thomas ME, Nash HM, Hulme C. 2019. Dyslexia and Developmental Language Disorder: comorbid disorders with distinct effects on reading comprehension. *J Child Psychol Psychiatry*. 2019 Oct 20.

Sprenger-Charolles L, Siegel LS, Bechennec D, Serniclaes W (2003) Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: a four-year longitudinal study. *J Exp Child Psychol* 2003 Mar;84(3):194-217.

Spironelli C, Angrilli A.(2009). Developmental aspects of automatic word processing: language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-age subjects. *Biol Psychol* Jan;80(1):35-45

Stein J 2001. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*. 2001 Jan-Mar;7(1):12-36.

Stelmack RM, Saxe BJ, Noldy-Cullum N, Campbell KB, Armitage R. 1988 Recognition memory for words and event-related potentials: a comparison of normal and disabled readers. *J Clin Exp Neuropsychol*. Mar;10(2):185-200

Stipdonk LW, Franken MJP, Dudink J. 2018 Language outcome related to brain structures in school-aged preterm children: A systematic review. *PLoS One*. 2018 Jun 4;13(6)

Stolt S, Lind A, Matomäki J, Haataja L, Lapinleimu H, Lehtonen L. 2016. Do the early development of gestures and receptive and expressive language predict language skills at 5;0 in prematurely born very-low-birth-weight children? *J Commun Disord*. 2016 May-Jun;61:16-28.

Streri A, Gentaz E. 2004. Cross-modal recognition of shape from hand to eyes and handedness in human newborns. *Neuropsychologia*. 2004;42(10):1365-9

Stuellein N., Radach RR., Jacobs AM, Hofman MJ. 2016. No one way ticket from orthography to semantics in recognition memory: N400 and P200 effects of associations. *Brain Res*. 2016 May 15 ;1639 :88-98.

Tallal P. 2012. Improving neural response to sound improves reading. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2012 Oct 9;109(41):16406-7

Tarkiainen A, Helenius P, Hansen PC, Cornelissen PL, Salmelin R (1999) Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex *Brain*. Nov;122 (Pt 11):2119-32.

Taylor MJ 1988 Developmental changes in ERPs to visual language stimuli. *Biol Psychol*. 1988 Jun;26(1-3):321-38.

Taylor MJ (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clin Neurophysiol* Vol 113 Issue 12 Dec p 1903-1908.

Taylor MJ, Pourcelot L (1995). Cognitive evoked potentials in children: normal and abnormal development *Neurophysiol clin*. 25(3) :130-45.

Taylor HG, Clark CA. 2016. Executive function in children born preterm: Risk factors and implications for outcome. *Semin Perinatol*. 2016 Dec ;40(8):520-529.

- Thiebaut de Schotten M, Cohen L, Amemiya E, Braga LW, Dehaene S. 2014. Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus. *Cereb Cortex*. 2014 Apr;24(4):989-95.
- Tiippana K. 2014. What is the McGurk effect? *Mc Gurk Front Psychol*. 2014; 5: 725.
- Tirapu-Ustarroz J, Cordero-Andres P, Luna-Lario P, Hernaez-Goni P. 2017. Proposed model of executive functions based on factorial analyses *Rev Neurol*. 2017 Jan 1 16 ;4(2):75-84.
- Twillhaar ES, de Kieviet JF, Rnoudse-Moens CS, van Elburg RM, Oosterlaan. 2018. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. Academic performance of children born preterm: a meta-analysis and meta-regression. 2018 Jul;103(4) /F322-330
- Valdois S, Boose ML, Tainturier MJ. 2004. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia Vol 18 Issue 4* .26 Oct.
- Van Noort-van der Spek IL, Franken MC, Weisglas-Kuperus N. 2012. Language functions in preterm-born children: a systematic review and meta-analysis. *Pediatrics*. 2012 Apr;129(4):745-54.
- Van Setten ERH, Maurits NM, Maassen BAM. 2019. N1 lateralization and dyslexia: An event-related potential study in children with a familial risk of dyslexia. *Dyslexia Feb;25(1):84-102*.
- Vinter A, Perruchet P .2000 *Child Dev*. Implicit learning in children is not related to age: evidence from drawing behavior. Sep-Oct;71(5):1223-40.
- Vollmer B, Mårtensson A G., Nagy Z., Lagercrantz H, Smedler A.C., Forsberg H.. 2017. Correlation between white matter microstructure and executive functions suggests early developmental influence on long fibre tracts in preterm born adolescents. *PLoS One*. 2017; 12(6): e 0178893.
- Volpe JJ. 2009. The encephalopathy of prematurity--brain injury and impaired brain development inextricably intertwined. *Semin Pediatr Neurol*. 2009 Dec;16(4):167-78.
- Walter WG. 1938. Critical review: the technique and application of electro-encephalography. *J Neurol Psychiatry*. 1938 Oct;1(4):359-85.
- Walter WG, Cooper R, Aldridge VJ, Mccallum WC, Winter AL. 1964. contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human. *Nature*. 1964 Jul 25;203:380-4.
- Weschler D. 1949. Wechsler Intelligence Scale for Children. (1^{ère} version).
- White S, Frith U, Milne E, Rosen S, Swettenham J, Ramus F 2006; A double dissociation between sensorimotor impairments and reading disability: A comparison of autistic and dyslexic children. *Cogn Neuropsychol*. 2006 Jul 1;23(5):748-61.
- Whittingham K, Wee D, Boyd R 2011 Systematic review of the efficacy of parenting interventions for children with cerebral palsy. *Child Care Health Dev*. 2011 Jul;37(4):475-83.

Wilkinson M, Lim AR, Cohen AH, Galaburda AM, Takahashi E.2019. Detection and Growth Pattern of Arcuate Fasciculus from Newborn to Adult. *Front Neurosci.* 2017 Jul 14;11:389.

Wolke D, Samara M, Bracewell M, Marlow N; EPICure Study Group. 2008. Specific language difficulties and school achievement in children born at 25 weeks of gestation or less. *J Pediatr.* 2008 Feb;152(2):256-62.

Woodman GF. (2010) A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Atten Percept Psychophys.* Nov 72(8):2031-46.

Woodman GF, Luck SJ. 2004. Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychon Bull Rev.* 2004 Apr;11(2):269-74

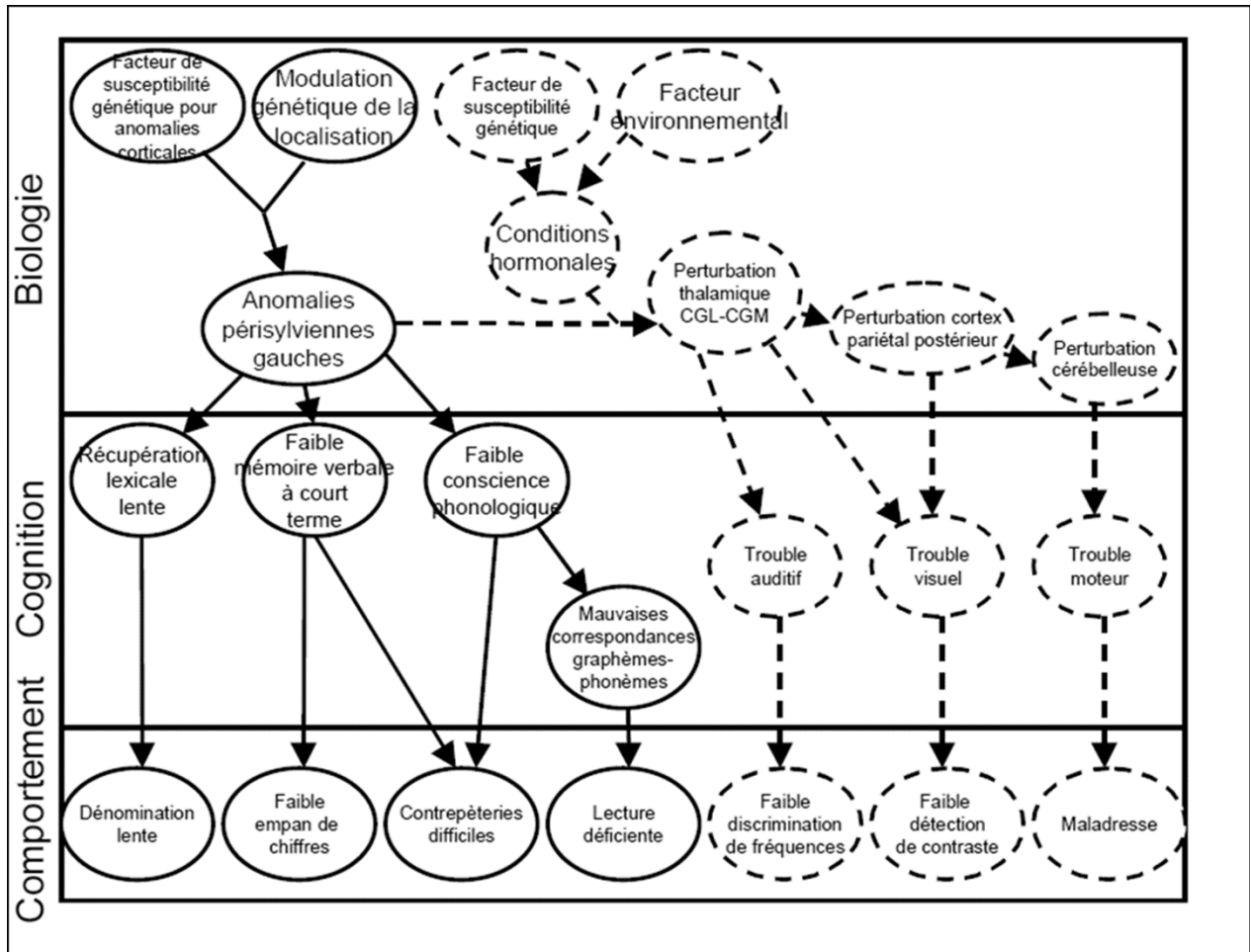
Wydell TN, Vuorinen T, Helenius P, Salmelin R.(2003) Neural correlates of letter-string length and lexicality during reading in a regular orthography. *J Cogn Neurosci.* Oct 1;15(7):1052-62.

Zhao J, Kipp K, Gaspar C, Maurer U, Weng X, Mecklinger A, Li S. 2014. Fine neural tuning for orthographic properties of words emerges early in children reading alphabetic script. *J Cogn Neurosci.* 2014 Nov;26(11):2431-42.

Zimmerman E.2018. Do Infants Born Very Premature and Who Have Very Low Birth Weight Catch Up With Their Full Term Peers in Their Language Abilities by Early School Age?. *J Speech Lang Hear Res.* 2018 Jan 22;61(1):53-65

IX. ANNEXES

Annexe 1.



Annexe 1. Schéma de l'atteinte de la phonologie selon Ramus. Les différents niveaux d'atteintes de la dyslexie génétique (trait plein) et des autres étiologies (Trait pointillé). Ramus et al. 2003.

Annexe 2. DSM 5 : 5^{ème} édition du Diagnostic and Statistical Manuel of Mental Disorders. Extrait et analyse

Nouveauté : - Les troubles apparus dans l'enfance sont pris en compte dans une perspective développementale et longitudinale, ce qui aboutit à un chapitre sur les troubles neurodéveloppementaux et à la définition entre autres d'un « trouble du spectre de l'autisme ».

A. Difficulté à apprendre et à utiliser les aptitudes académiques, comme indiqué par la présence depuis au moins 6 mois d'au moins un des symptômes suivants : "

1- lecture de mots inexacte, lente ou laborieuse"

2- difficulté à comprendre la signification de ce qui est lu (même si lu correctement)"

3- difficultés d'orthographe (spelling)"

4- difficultés dans l'expression écrite (erreurs de ponctuation ou grammaticales, manque de clarté de l'expression des idées)"

5- difficulté à maîtriser le sens des nombres, les faits numériques, ou le calcul"

6- difficulté dans le raisonnement mathématique"

B. Significativement en-dessous de ceux attendus pour l'âge et interfère significativement avec les performances académiques ou les occupations"

C. Commence durant les années d'école mais peut n'être manifeste que dès lors que les demandes excèdent les capacités limitées de l'individu"

D. Pas mieux expliquées par déficience intellectuelle, acuité auditive ou visuelle non corrigée, autres troubles neurologiques ou mentaux,

Annexe 3. Théorie du recyclage neuronal.

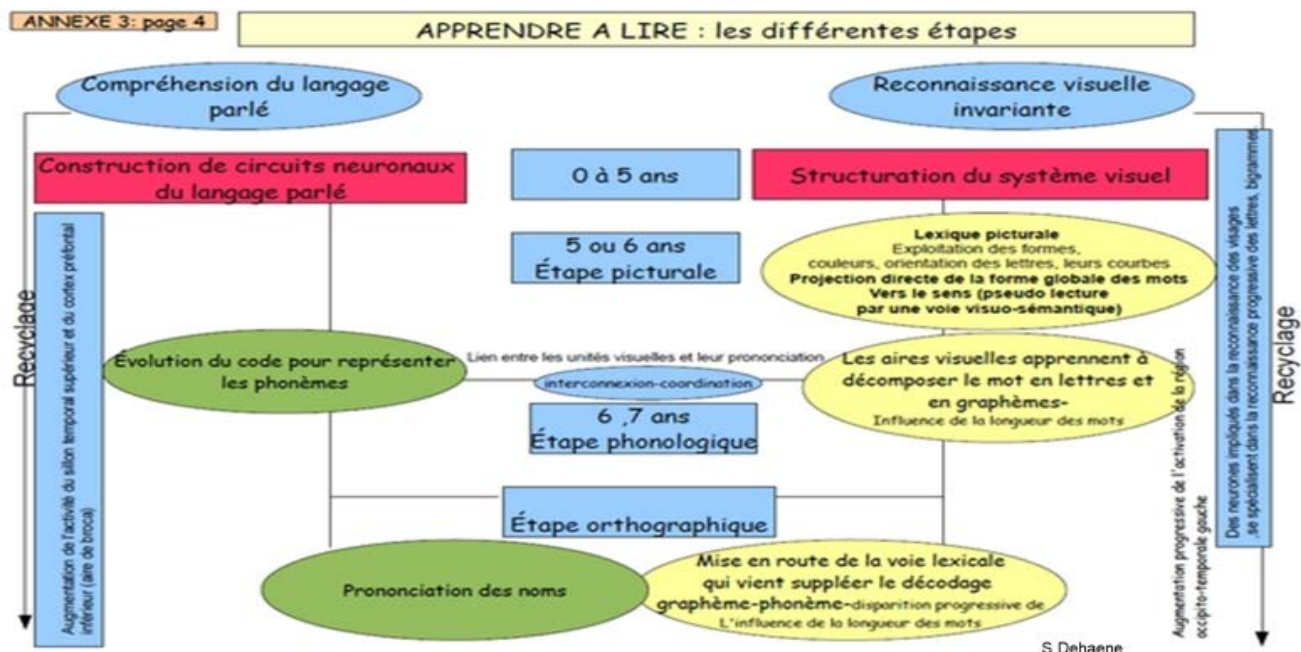


Schéma de la théorie du recyclage de neurones. Dehaene. 2007. Les neurones de la lecture Ed. O. Jacob

Annexe 4. PHRC LAMOPRESCO a reçu l'aide du FEDER. Protocole n°2010/089/HP

CHU PARTICIPANTS A L'ESSAI

Centre 1 – ROUEN
Dr Aude CHAROLLAIS /Pr MARRET
Médecine Néonatale et Education fonctionnelle, CHU
Hôpitaux de Rouen, 76031 Rouen CEDEX

Centre 2 - CAEN
Pr Bernard GUILLOIS
Service de Néonatalogie, CHU de Caen
Hôpital Clémenceau, 14 033 Caen

Centre 3 - GRENOBLE
Pr Thierry DEBILLON
Service de Médecine Néonatale, CHU de Grenoble
BP 217, 38 043 Grenoble cedex 9

Centre 4 – Le HAVRE
Dr Henri BRUEL / Dr Benoit DELAPORTE
Service de Médecine Néonatale et Soins Intensifs
Néonatale, CHR du Havre

Centre 5 – TOURS
Pr Eli SALIBA
Service de Réanimation Pédiatrique et Néonatalogie, CHRU
de Tours, 49 Bd Béranger
37000 Tours

Centre 6 – SAINT BRIEUC
Dr Anne BUSNEL /Dr Cécile VINCESLAS
CAMPS, centre Jacques Cartier
20 rue du Vou-Méno, BP 7069
22070 Saint Briec – cedex 03

EFFECTIF ET SCHEMA THERAPEUTIQUE

740 patient(e)s inclus dont 296 randomisé(e)s en 2 bras: 146 avec une rééducation orthophonique et 148 sans rééducation orthophonique.

CRITERES DE JUGEMENT

Principal :

- ✓ Amélioration significative des résultats du BILO 1 à la fin de la rééducation de 6mois par un critère totalement objectif: la phonologie

Secondaires :

- ✓ Amélioration significative par rapport aux enfants n'ayant pas eu de stimulation spécifique des scores en lexique et en morphosyntaxe.

Version n°0.0 avril 2011

CRITERES D'INCLUSION

- ✓ Enfants nés à un terme strictement inférieur à 33 semaines d'aménorrhée
- ✓ Hospitalisés dans un des services de Néonatalogie participant au protocole
- ✓ Agés de 3 ans et demi lors de l'inclusion
- ✓ Enfants dont les parents ont signé un consentement libre et éclairé après une information orale par l'un des médecins investigateurs de l'étude
- ✓ Enfants affiliés à un régime de sécurité sociale
- ✓ Résultats du BILO dépassant les zones de fragilité du langage: au-moins deux items du BILO 1 ≤25e percentile ou un item au 10e percentile

CRITERES DE NON INCLUSION

- ✓ Enfants avec anomalie grave du caryotype
- ✓ Enfants avec malformation du système nerveux central diagnostiquée en anténatal ou sur les examens réalisés en période néonatale (échographie trans-fontanelle ou imagerie par résonance magnétique)
- ✓ Enfant avec paralysie cérébrale ou persistance d'un trouble neurologique (acquisition de la marche après 24 mois) et/ou neurosensoriel majeur (cécité, surdité profonde ...)
- ✓ Enfant sous tutelle

METHODOLOGIE

- ✓ Etude multicentrique nationale, prospective randomisée.
- ✓ Durée prévue des inclusions : 2 ans
- ✓ Durée de participation de chaque patient : 6 mois

OBJECTIF

- ✓ Objectif principal : Evaluer l'intérêt d'une stimulation précoce, courte et spécifique sur le langage oral des enfants prématurés.
- ✓ Objectifs secondaires :
 - Décrire les modifications des composants du langage (développement dynamique du langage: phonologie puis lexique puis morphosyntaxe)
 - Spécifier la capacité de récupération des éléments travaillés en fonction de l'hétérogénéité du langage initial.
 - Evaluer la nécessité d'intervenir avant la fin de la fenêtre développementale (5ans)

LAMOPRESCO

«LANGAGE ET MOTRICITE DU GRAND PREMATURE EN AGE PRESCHOOLAIRE: DIAGNOSTIC ET INTERVENTION PRECOCE »

Essai multicentrique
Randomisé

N° RCB 2010-A00880-39
Protocole n° 2010/089/HP

PROMOTEUR

CHU de Rouen
Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation
1, rue de Germon, 76031 Rouen Cedex
☎ : 02 32 88 82 65, Fax : 02 32 88 82 87
@ : Delegation.Recherche@chu-rouen.fr

INVESTIGATEUR COORDONNATEUR

Dr Aude CHAROLLAIS
Médecine Néonatale et Education Fonctionnelle,
1, rue de Germon, 76031 ROUEN Cedex
☎ 02 32 88 86 93
Fax 02 32 88 04 27
@ : aude.charollais@chu-rouen.fr

ARC

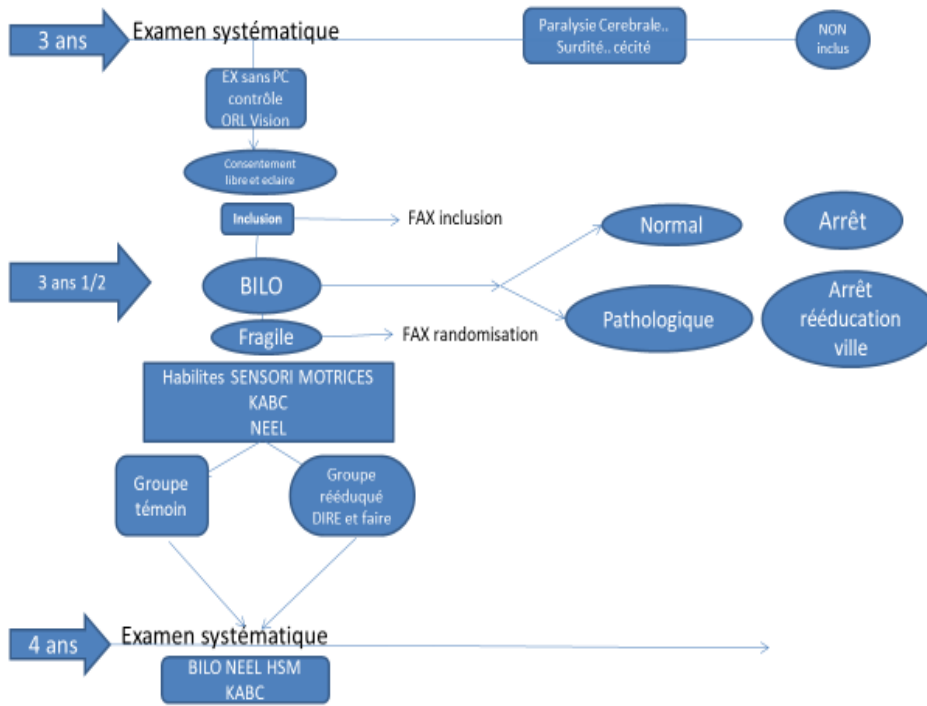
Laëtitia SOUPELET-FIZET
CHU de Rouen
Direction de la Recherche Clinique et de l'Innovation
1, rue de Germon, 76031 Rouen Cedex
☎ direct : 02 32 88 01 78
☎ secret : 02 32 88 82 65
☎ fax : 02 32 88 82 87
@ : laetitia.souplet-fizet@chu-rouen.fr

AUTRES CONTACTS

✉ Orthophoniste :
Mme Marie-Hélène STUMPF, CHU de Rouen
☎ 02 32 88 20 81
@ : MH.Stumpf@chu-rouen.fr

✉ Psychologue :
Mme Marie LEMARCHAND, CHU de Rouen
☎ 02 32 88 20 84
@ : marie.lemarchand@chu-rouen.fr

PROTOCOLE Enfants < 33SA



Annexe 6 Bilan Informatisé de Langage Oral cycle 2. Evaluation des Contraintes EC2 Khomsi, J. Khomsi, F. Pasquet & A. Parbeau-Gueno Editeur/publication, 2007. ECPA (Editions Centre de Psychologie Appliquée),

BILO2 BILAN INFORMATISÉ DE LANGAGE ORAL – CYCLE 2

OBJECTIFS

- Analyse du fonctionnement langagier avant ou après l'entrée dans l'écrit
- Identification des fragilités éventuelles pour entrer dans l'écrit

AGE : enfants à partir de la grande section de maternelle jusqu'au CE1
DUREE : 30 mn ; correction instantanée
ETALONNAGE : GSM, CP, CE1

LES ÉPREUVES DE BILO 2


LANGAGE ORAL

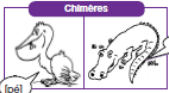

- Lexique en Réception :** précision des représentations sémantiques et phonologiques
- Compréhension Orale :** efficacité des stratégies de compréhension
- Répétition de Mots :** qualité de la phonologie en production
- Lexique en Production :** disponibilité de noms et de verbes
- Production d'Énoncés :** habileté morphosyntaxique en production


INDICATEURS D'ENTRÉE DANS L'ÉCRIT

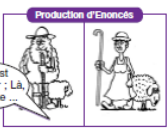
- Chimères :** segmentation syllabique et assemblage
- Lecture pour Apprentis Lecteurs :** reconnaissance de lettres, syllabes et mots

Lexique en Réception
 Montre-moi l'image où il y a "anna"


Compréhension Orale
 Victoire ouvre son garage


Chimères
 [pé]  [dile]
 [pédille]

Lexique en Production
 Qu'est-ce que c'est ?


Production d'Énoncés
 Ici c'est un berger ; Là, c'est une...


Lecture pour Apprentis Lecteurs
 papa panda
 tuba
 montre-moi où est écrit papa
 paris épée

EC2 EVALUATION DES CONTRAINTES – CYCLE 2 . . . **Nouveauté**
 complément d'informations du bilan de langage

OBJECTIFS

- Explorer les contraintes cognitives et pratiques qui modèlent et peuvent freiner l'acquisition du langage oral et l'apprentissage de la lecture
- Repérer des zones de difficultés mais aussi les zones de ressources pour compléter et/ou moduler la prise en charge

AGE : enfants à partir de la grande section de maternelle jusqu'au CE1
DUREE : 30 mn ; correction instantanée
ETALONNAGE : GSM, CP, CE1

Annexe 7 Bilan Informatisé de Langage Oral : BILO (Khomsis 2006)

Bilan Informatisé Langage Oral Petits

➤ Lexique en Réception (LexR)



➤ Compréhension Orale (CO)



➤ Lexique en Production (LexP)

➤ Répétition de Mots (RepM)

➤ Bateau ...chapeau ...

➤ Production d'énoncés (ProdE)



Annexe 7a : Résultats des paramètres testés : Randomisation

Résultats BILO Petits

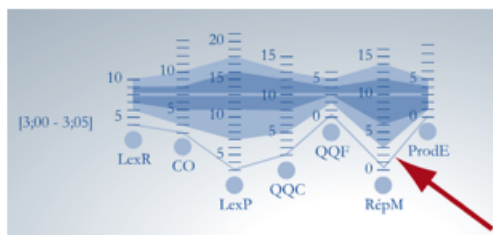
BILO Petit,

l'enfant faisait partie du groupe « fragile »,

soit 2 items $\leq C25$ mais $\geq C3$,

soit 1 item $\leq C10$ mais $\geq C3$ ou

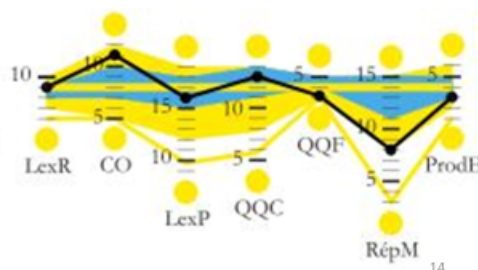
soit uniquement ProdE=0 qui est C3



Groupe « normal » : score d'au moins quatre items sur cinq supérieures au 25e percentile lors de la passation du BILO petits et le 5ème critère ≥ 10 ème percentile

[4;00 - 4;05]

Groupe "pathologique": au moins un critère < 3 ème percentile

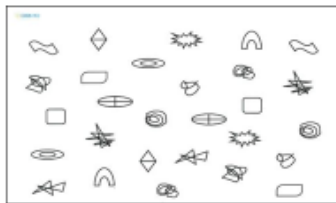


Annexe 8 COSMO Contraintes Sensori Motrices : Praxies Bucco Faciales et transfert de Modalités

Résultats COSMO

▪ Profil de Contraintes Sensori Motrices Langage ...

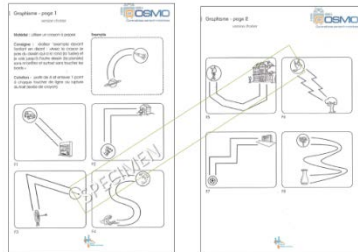
âge 4.0-4.5	C3	C10	C25	C50	C75	C90	C97
PRAXIES	3	10	12	14	17	18	19
DYN	0	5	6	5	8	9	10
STAT	0	4	5	7	8	9	9
DAUD	6	7	8	10	13	15	16
DTAC	6	8	9	10	10	10	10
DTACD	3	4	4,5	5	5	5	5
DTACG	3	4	4	5	5	5	5
ATTV	3	4	6	9	10	12	12
TMS/10	4	4	6	7	8	9	10
GRAPH	14	20	23	26	28	30	31



- Main enfort posée à plat paume contre table
- Main cachée
- On effleure deux fois de la deuxième phalange avec un trombone
- Ordre de passation pour chaque main
 - Pouce
 - Annulaire
 - Auriculaire
 - Majeur
 - Index

15

Epreuve de Graphisme

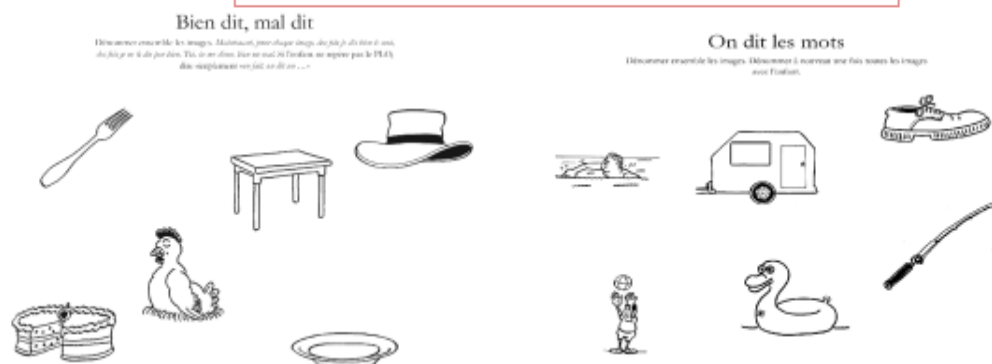


31

Annexe 9 Dire et Faire (Khomsî 2006)

BRAS avec Remédiation : 20 séances + pioches maison

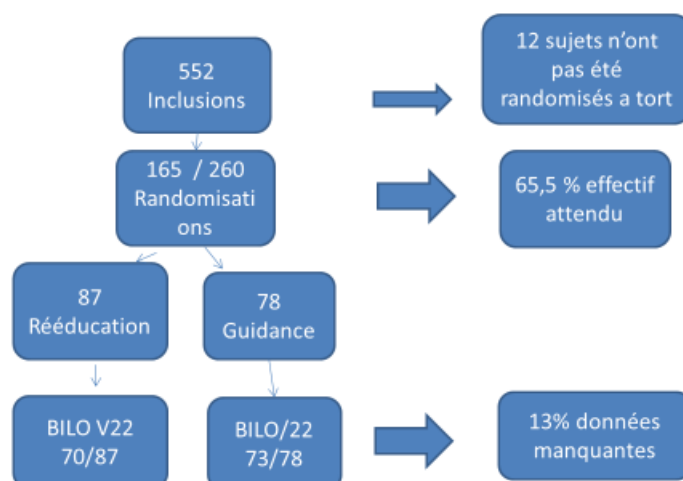
Protocole de rééducation « Dire & Faire » Khomsî & al, ecpa



une fourchette
une sable
une coule
une tassiette
un chapeau
un gâteau

Annexe 10 Résultats LAMOPRESCO Inclusions / randomisations

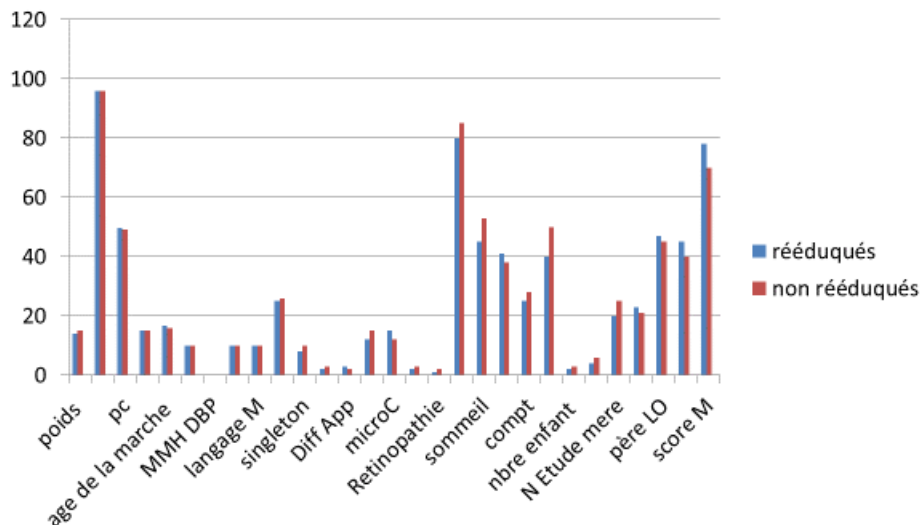
DIAGRAMME de FLUX



Annexe 11 Résultats LAMOPRESCO Deux bras Randomisés ne diffèrent pas par les caractéristiques

RESULTATS

Caractérisation population identique dans les deux bras



Annexe 12 Résultats LAMOPRESCO. Score de phonologie : Critère de Jugement Principal

RESULTATS

Score de Phonologie NS : Analyse de sensibilité

Données réelles : sans attribuer de valeur de jugement principal (n=143).

	Delta Sco RepM sensibilité	P	différence de moyennes entre les deux bras
• Avec rééducation (n=70)			
• Moyenne [écart-type]			
• Médiane [min ; max]	4 [3,1]	0,21	0,67
• Sans rééducation (n=73)			
• Moyenne [écart-type]	3 [3,4]		
• Médiane [min ; max]	3 [-5 ; 11]		

Les enfants ayant eu des séances de rééducation ont une différence de **variation moyenne plus importante** (augmentée de 0,67) que les enfants n'ayant pas eu de rééducation.

PHONOLOGIE avec imputabilité: intention de traiter
Les enfants ayant eu des séances de rééducation ont une différence de variation moyenne plus importante (augmentée de 0,57) que les enfants n'ayant pas eu de rééducation.

	Delta Sco RepM moyenne	p	différence de moyennes entre les deux bras
Avec rééducation (n=87)			
• Moyenne [écart-type]	3,9 [2,7]	0,07	0,57
• Médiane [min ; max]	4 [-2 ; 10]		
Sans rééducation (n=78)			
• Moyenne [écart-type]	3,3 [3,3]		
• Médiane [min ; max]	3 [-5 ; 11]		

Annexe 13 Résultats LAMOPRESCO. Score significatifs Critères de Jugements secondaires

RESULTATS Critères de Jugement secondaires Lexique en Production : S

	n	Delta So LexP n=143	p
• Rééducation			
• Avec			
• Moyenne [écart-type]			
• Médiane [min ; max]	70	4.8 [2.4 ; 5 [-1 ; 12]	<0.0001
• Sans (= ref)			
• Moyenne [écart-type]	73		
• Médiane [min ; max]		2.9 [2.8] ; [3 ; 9]	

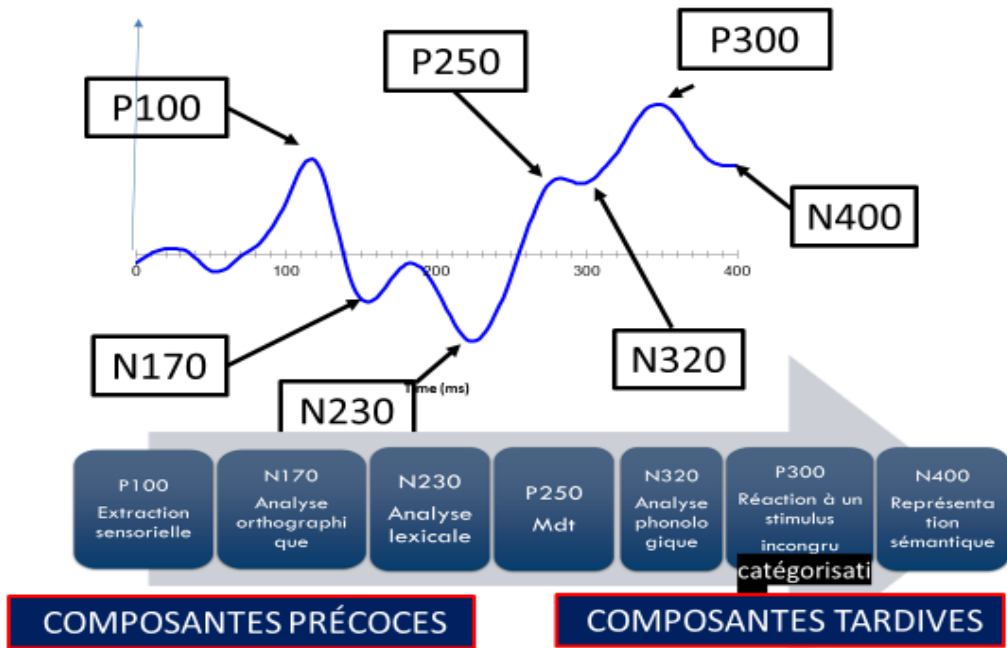
RESULTATS Critères de Jugement secondaires Lexique en Réception

	n	Delta So LexR n=143	p	différence de moyennes
• Rééducation				
• Avec				
• Moyenne [écart-type]				
• Médiane [min ; max]	70	1.4 [1.6] 1 [2 ; 4]		
• Sans (= ref)				
• Moyenne [écart-type]	73	0.8 [1.8] 1 [-1 ; 5]	0.0272	0.61
• Médiane [min ; max]				

Variation du Lexique en production analyse Univariée Qualitative (O/N)

- IMC p<0,00001
- Anti épileptique p< 0,00001
- Nombre d'enfants vivants au foyer p=0,02
- Fragilités auditives p=0,011

Pattern lecture : hypothèses de processus associés



Annexe 16 Tests de leximétrie. Vitesse de Lecture Oralisée en Une Minute. LUM (Khomsi,1999).

Lecture en une minute

il	coup	merveilleux
un	chorale	odeur
le	bruit	plongeant
lui	monsieur	parent
nu	agir	idéal
os	cousin	obéir
et	unir	griller
fil	naïf	travail
bol	curieux	yacht
tous	venir	animal
mur	départ	surprise
sac	écho	doigt
clé	devient	sommeil
est	mardi	réunir
rue	drôle	briller
petit	histoire	guêpe
camion	glacé	feuillage
nom	derrière	gymnastique
acide	coloquinte	fauteuil
film	stylo	obtenir
grand	magasin	jusque
mars	cueillir	expliquer
jaune	compagnon	magnifique
parc	chronomètre	spécial
sept	continuent	fenouil
bloc	soleil	gourmand
faim	pharmacie	chirurgien
compter	enveloppe	prévenir
poisson	éléphant	assiette
herbe	trésor	dangereux
pied	choc	observer
chemin	fier	obscurité
joie	nouveau	descendre
phare	expert	installeront
ciel	sportif	inquiétude

Annexe 17 Test de Leximétrie Silencieuse. VL (Khomsi et al., 2005)

Vitesse en Lecture
A. Khomsi, F. Psaquet, I. Nanty et A. Parbeau-Guéro

Renseignements biographiques				Récapitulatif des notes			
Nom :		Classe :		DI =		C' =	
Prénom :		Sexe :		PLE =		HP =	
Nom de l'examineur :				VL =		VL' =	
Date de passation		Année		Mois		Jour	
Date de naissance		Année		Mois		Jour	
Age		Année		Mois		Jour	

Consigne :
Tu dois lire, dans ta tête, les mots ligne par ligne et barrer ceux qui sont mal écrits, comme dans les exemples. Il faut faire cet exercice le plus rapidement possible, mais sans faire d'erreurs. Si tu te trompes, il faut entourer le mot que tu as barré par erreur. Regarde bien les exemples. Tu vois, ici, tu disposes d'un exemple où les mots mal écrits ont été barrés. Tu devras faire la même chose. Au "top", tu auras deux minutes.

Exemples :

fou	maison	lever	petit	pays
canoë	lavabo	lire	nuit	fromage
prépa	marche	capard	gate	mouche

Copyright © 2005 par Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée - 25 rue de la Plaine 75980 Paris Cedex 20 - FRANCE. Tous droits réservés.

DI :	C :	C' :
PLE :	HP :	

moment	enfant	amical	alcr	eau
ferêdec	fanzone	couleur	chotolat	defant
fêre	parabolo	cheval	entandre	desous
chemin	fame	jamé	chien	oiseau
tonjours	gerçon	montagne	terre	jardin

repasser	travail	escageot	seigneur	table
branche	demn	scat	docteur	chêze
flette	voiture	liêre	furiu	cruf
mâcle	marcher	paiche	éléphant	minode
minacule	coçillage	roure	maïque	ceillr

magnifique	habit	pomme	mésage	farmacien
champ	jolleux	enrumer	jardgnier	allumage
inoçtant	éfort	direction	plechoic	empereur
éan	musique	lumette	libricie	épe
aiguille	lapain	bibliozique	exempte	yarout

arc en ciel	fruit	lid	onion	matin
escalier	doner	dermoisselle	plafont	éssaine
invistible	royal	hechie	anniversaire	déseption
élasique	autrefois	magazin	intéressant	tracteur
hipopotame	éventel	fusil	beauté	fontêne

arrossoir	broussalle	ordnatcur	hancre	girlande
caoutchouc	jeunaisse	sitron	alor	nerf
gymnastique	enthousiasme	silouette	heille	gruyère
gendarme	sérure	giralle	album	labyrinthe
paume	divant	électricité	centimètre	trionfe

aviateur	soupson	mélotie	manœuvre	bale
chapau	aspirateur	toboggan	nénufar	livêre
inpôt	hodoche	jonquille	insende	champignon
métamorphose	abat-jour	tanbour	chevalie	aquarium
oasis	bizarre	beancare	vanille	oxygène

Annexe 18 Subtest des codes de l'échelle de Weschler

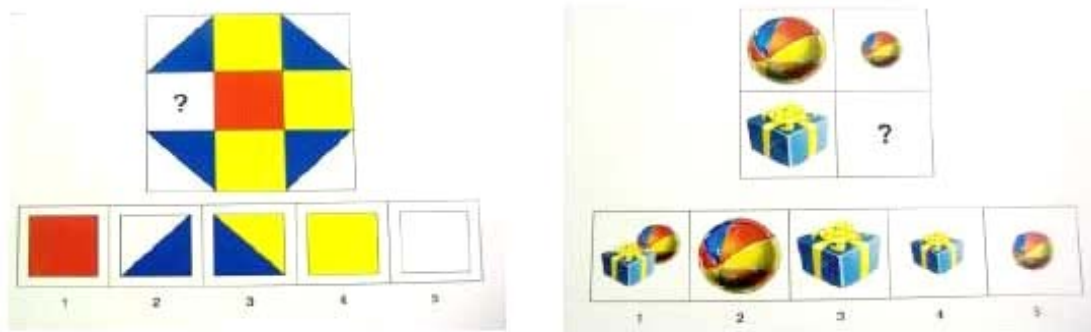
Code B
Age 8-16 ans

1	2	3	4	5	6	7	8	9
÷)	+	-		V	C	-	-

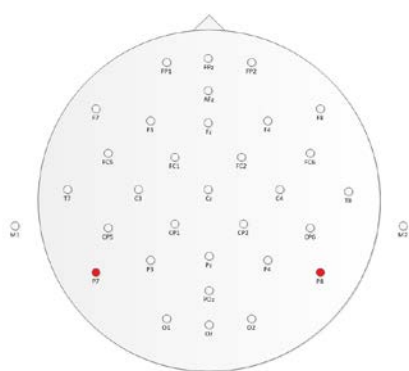
ITEMS D'EXEMPLE

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

Annexe 19 Exemples de Subtests des Matrices. WISC IV. (Weschler, 2005).



Annexe 20 Système International norme 10/20 JASPER Nomenclature des électrodes selon le système 10-20.



Annexe 21 Liste des Mots fréquents et pseudo mots pour la Décision Lexicale 1^{ère} Expérimentation

Mots fréquents	Pseudomots
ARMURE	BOITRU
BARQUE	CAFOTI
BILLET	TARAMI
BOUTON	BUILOI
CAHIER	CRAFFI
CAISSE	MAIFRO
CAMION	TINCRI
CARNET	NOICRU
MEMBRE	SODRIN
MENTON	DIRRUN
MIROIR	PLUTRA
PATRON	FOUTIN
POLICE	LOTTRU
POUDRE	MIDOIN
PRISON	ROIDAU
RACINE	TOILON
REFUGE	MOURAU
RIDEAU	TONROU
NAVIRE	MONTAR
Mots fréquents de CM1 (Manulex)	VALISE
	CARDEL

Annexe 22 : Liste de mots pour OddBall pour 1^{ère} Expérimentation

	MOTS CIBLES 1	MOTS STANDARDS	MOTS CIBLES 2
Mots	PENTE	VENTE	FENTE
	FOULE	POULE	BOULE
	CORSE	CORDE	CORNE
	DELIT	DEBIT	DEPIT
	JAUNE	ROUGE	(items contrôles)

fréquents pour CM2 (Manulex). Mots Standards (80%) Mots Cibles 1 Visèmes proches et Mots cibles 2 morphèmes proches : (20%).

Annexe 23 : Test d'Olfield et d'Edimburg détermine la Latéralisation.

	GAUCHE	DROITE
Avec quelle main écrivez-vous ?		
Avec quelle main dessinez-vous ?		
Avec quelle main lancez-vous une balle ?		
Avec quelle main utilisez-vous une paire de ciseaux		
Avec quelle main manipulez-vous un couteau (seul)		
Quand vous vous servez d'une cuillère, quelle main utilisez-vous ?		
Quelle main utilisez-vous lorsque vous balayé (la main du haut) ?		
De quelle main frottez-vous une allumette ?		
Quand vous ouvrez un pot, quelle est la main qui tient le couvercle ?		
Avec quel pied préférez-vous tirer ?		
Quel œil utilisez-vous lorsque vous n'en utilisé qu'un seul ?		
	TOTAL	

La consigne pour le test d'Olfield et d'Edinburg (1971) est la suivante : « Indiquez vos préférences dans l'utilisation des mains pour les activités suivantes, en inscrivant un X dans la colonne appropriée. Pour une activité donnée, la préférence manuelle peut-être exclusive (XX), préférentielle (X) ou partagée entre les deux mains (dans ce cas, inscrire une X dans les deux colonnes). Essayez de répondre à toutes les questions posées et ne laissez un blanc que si vous n'avez aucunes expériences de l'objet ou de l'activité en question. » Le coefficient de latéralisation se calcule de la manière suivante :

$(\text{Total D} - \text{Total G}) \cdot 100$

$(\text{Total D} + \text{Total G})$

Annexe 24 Formulaire de Consentement de participation à une recherche biomédicale pour les titulaires de l'autorité parentale sur un enfant

Titre de la recherche biomédicale : Etude de la lecture chez les enfants : approche neurophysiologique et comportementale

Investigateur coordonnateur : Dr Aude Charollais

Pr M Rebai

Service Pédiatrie néonatale et Réanimation pédiatrique

Laboratoire ICONES

Hôpital Charles Nicolle CHU-Hôpitaux de Rouen 1, rue de Germont, 76031 ROUEN Cedex N° tél : 0232885693

Promoteur : CHU-Hôpitaux de Rouen Direction de la Recherche et de l'Innovation 1, rue de Germont 76031 ROUEN Cedex Tél. : 02 32 88 82 65, Fax : 02 32 88 82 87

Avis favorable du Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest AVIS favorable du CERNI le 5 09 2015

Autorisé par l'Autorité Compétente (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé ou DGS) le :

Nous, soussignés, M^e, M^{lle}, M. (nom, prénom)père, mère, titulaire de l'autorité parentale*) Et M^e, M^{lle}, M. (nom, prénom)(père, mère, titulaire de l'autorité parentale*) Acceptons librement et volontairement que notre enfant : (nom,prénom, date de naissance) **participe à la recherche biomédicale intitulée :** Etude de la lecture chez les enfants : approche neurophysiologique et comportementale. dont le CHU - Hôpitaux de Rouen, 76031 ROUEN Cedex, (Tél. : 02 32 88 56 93) est le promoteur et qui m'a été proposée par le Docteur Aude Charollais, médecin dans cette recherche.

Il m'a clairement été précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser que mon enfant participe à cette recherche. Je connais la possibilité qui m'est réservée de refuser de participer à l'étude ou de retirer mon consentement à tout moment, sans que cela retentisse sur la qualité des soins qui seront donnés à mon enfant.

J'ai été averti de la nature de la recherche. J'ai reçu une note d'information écrite précisant les modalités de déroulement de cette étude biomédicale. J'ai bien lu et compris les informations décrivant cette étude et j'ai eu la possibilité de poser toutes les questions qui me paraissaient utiles et de recevoir des réponses claires et précises. J'ai disposé d'un délai de réflexion avant de prendre ma décision.

J'ai pris note qu'il m'est demandé de bien vouloir consulter au moindre problème le médecin responsable du protocole pendant la durée de l'étude, et notamment de le prévenir si mon médecin traitant ou moi-même souhaitons instaurer un nouveau traitement.

J'ai bien noté que si j'acceptais que mon enfant participe à l'étude, les informations obtenues grâce à sa participation seraient traitées de façon CONFIDENTIELLE et anonyme. Elles seront informatisées et feront l'objet d'un rapport final rendant compte des résultats observés. De par la loi « Informatique et Libertés », j'aurai néanmoins la possibilité d'exercer mon droit de rectification auprès de l'un des investigateurs de l'étude. Les données recueillies demeureront confidentielles et ne pourront être consultées que par l'équipe médicale et les personnes dûment mandatées par le promoteur de la recherche ou par le représentant des autorités administratives.

J'ai bien noté que toutes les dispositions avaient été prises pour respecter les droits et la protection de mon enfant, conformément à la loi 88-1138 (Loi Huriet-Sérusclat) du 20 Décembre 1988 (modifiée par la loi 94-630 du 25 Juillet 1994) et à la loi n° 2004-806 du 9 Août 2004 relative à la politique de Santé Publique. Les procédures médicales de cette étude sont conformes aux recommandations les plus récentes de l'Assemblée Médicale Mondiale (Déclaration d'Helsinki de 1964, amendée en 1989, Bonnes Pratiques Cliniques, ICH) et à la réglementation française (Décision du 24 Novembre 2006 fixant les règles de Bonnes Pratiques Cliniques pour les recherches biomédicales portant sur les médicaments à usage humain).

J'ai noté que les modalités de cette recherche avaient été étudiées et approuvées par le Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest I. Ce comité a émis un avis favorable en date du

Si je suis d'accord pour que mon enfant participe à cette étude, il m'est maintenant demandé de donner mon consentement écrit, conformément à la loi du 20 Décembre 1988, et de dater puis signer ce formulaire. J'ai noté que cette signature ne dégage en rien le médecin de ses responsabilités; elle atteste simplement que j'ai été informé(e) de cette étude et que j'y participe librement. Le promoteur de cette recherche est le CHU de Rouen.

Conformément à la loi, il a souscrit un contrat d'assurance couvrant les préjudices éventuels liés à cette étude. Ce contrat peut être consulté à la Direction de la Recherche et de l'Innovation, Hôpital Charles Nicolle, CHU-Hôpitaux de Rouen, 1 rue de Germont, 76031 ROUEN Cedex (Tél. : 02 32 88 82 65).

Les résultats globaux de la recherche pourront m'être communiqués à la fin de l'étude (Loi du 4 mars 2002 relative aux Droits des Malades)

Je pourrai à tout moment demander toute information complémentaire que je jugerai nécessaire au Dr Aude Charollais Service de pédiatrie néonatale et de réanimation pédiatrique, CHU / Hôpital de Rouen.Téléphone : 02 32 88 56 93

J'accepte librement et volontairement que mon enfant participe à cette recherche décrite dans les conditions ci-dessus.

Fait à _____, le :	Fait à _____, le :
Nom, prénom (père, mère, titulaire de l'autorité parentale*): <u>Signature</u>	Nom, prénom (père, mère, titulaire de l'autorité parentale*): <u>Signature</u>

*rayer la mention inutile

Signature du médecin qui atteste avoir pleinement expliqué à la personne signataire le but, les modalités ainsi que les risques potentiels de la recherche.
Date : _____ <u>Signature</u>

Ce document est à réaliser en 3 exemplaires originaux, dont le premier doit être gardé 15 ans par l'investigateur, un autre remis à la personne donnant son consentement et le troisième transmis au promoteur.

Annexe 26 Synthèse des effets globaux : Adultes versus enfants

Tâche décision lexicale						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet de population	Amplitude P1	425,272	1	425,272	13,06407	0,00102
	Latence P1	1159,6	1	1159,6	3,651	0,065025
	Amplitude N170	18,981	1	18,981	0,60239	0,443367
	Latence N170	2851	1	2851	2,496	0,124006
	Amplitude N230	0,008	1	0,008	0,00016	0,989973
	Latence N230	6322	1	6322	3,911	0,056623
Effet d'item	Amplitude P1	0,004	1	0,004	0,00485	0,944939
	Latence P1	0	1	0	0,001	0,98202
	Amplitude N170	0,795	1	0,795	0,74578	0,394241
	Latence N170	20	1	20	0,191	0,664839
	Amplitude N230	5,086	1	5,086	2,92348	0,096981
	Latence N230	52	1	52	0,312	0,580163
Effet d'interaction Item*population	Amplitude P1	0,021	1	0,021	0,02919	0,865413
	Latence P1	37,4	1	37,4	0,399	0,531903
	Amplitude N170	1,273	1	1,273	1,19515	0,282455
	Latence N170	41	1	41	0,392	0,535628
	Amplitude N230	0,61	1	0,61	0,35078	0,557833
	Latence N230	79	1	79	0,48	0,493418
Tâche Oddball						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet de population	Amplitude P1	392,584	1	392,584	16,8324	0,000262
	Latence P1	1255,5	1	1255,5	3,415	0,073883
	Amplitude N170	1,962	1	1,962	0,05507	0,81596
	Latence N170	4035	1	4035	5,338	0,027468
	Amplitude N230	48,901	1	48,901	1,89325	0,17839
	Latence N230	602	1	602	0,507	0,481623
Effet d'item	Amplitude P1	1,871	1	1,871	1,6482	0,20842
	Latence P1	56,5	1	56,5	0,788	0,381407
	Amplitude N170	19,428	1	19,428	3,03773	0,090953
	Latence N170	210	1	210	3,23	0,081725
	Amplitude N230	47,3068	1	47,3068	16,05405	0,000344
	Latence N230	301	1	301	1,326	0,258043
Effet d'interaction Item*population	Amplitude P1	2,456	1	2,456	2,1634	0,151099
	Latence P1	23,7	1	23,7	0,331	0,569297
	Amplitude N170	1,046	1	1,046	0,16361	0,688549
	Latence N170	2	1	2	0,028	0,868706
	Amplitude N230	0,048	1	0,048	0,01629	0,89924
	Latence N230	546	1	546	2,402	0,131016
Résultat comportementaux						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet de populatio	Taux bonnes réponses Oddball	0,00061	1	0,00061	0,16	0,693188
Effet d'item		0,15151	1	0,15151	41,46	0
Item*population		0,00039	1	0,00039	0,11	0,745744
Effet de population (ANOVA à un facteur)	VL	2215,1	1	2215,1	16,5893	0,000285
	PLE	465,57	1	465,57	22,218	0,000046
	HP	603,88	1	603,88	10,7621	0,002505
	PL	317,7	1	317,7	15,38	0,000436
	LUM	604,4	1	604,4	12,592	0,001221
	Matrices	8,207	1	8,207	1,0523	0,312663
	Code	0	1	0	0	0,997556

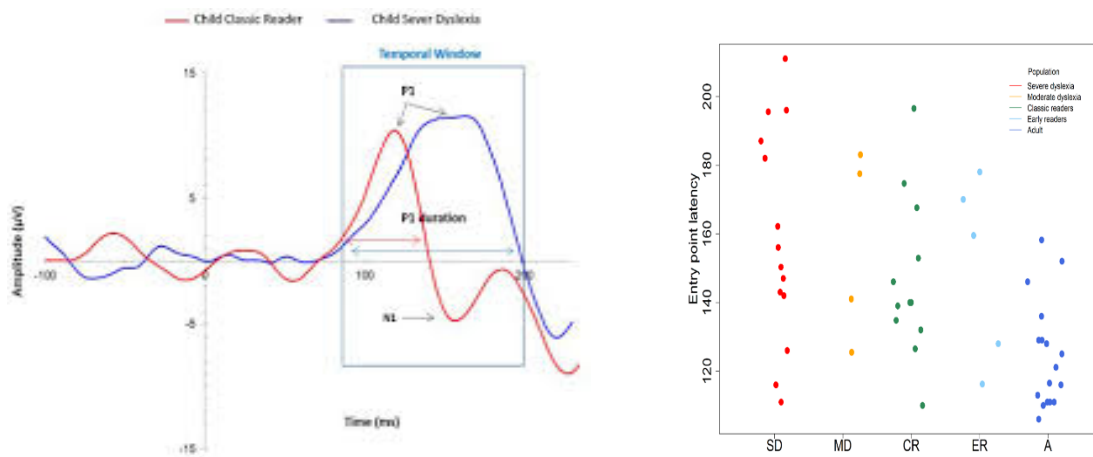
Annexe 27 : Synthèse des effets globaux : enfants

Tâche décision lexicale						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet d'item	Amplitude P1	0,019	1	0,019	0,01649	0,899654
	Latence P1	15,6	1	15,6	0,486	0,497003
	Amplitude N170	1,8253	1	1,8253	1,351765	0,264406
	Latence N170	53,3	1	53,3	0,4504	0,513051
	Amplitude N230	0,972	1	0,972	0,34107	0,568504
	Latence N230	116	1	116	0,809	0,383565
Tâche Oddball						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet d'item	Amplitude P1	0,018	1	0,018	0,01253	0,912455
	Latence P1	3,1	1	3,1	0,251	0,62418
	Amplitude N170	5,1253	1	5,1253	3,755871	0,073058
	Latence N170	112,1	1	112,1	0,916	0,354769
	Amplitude N230	22,5333	1	22,5333	6,26589	0,025311
	Latence N230	16	1	16	0,087	0,772044

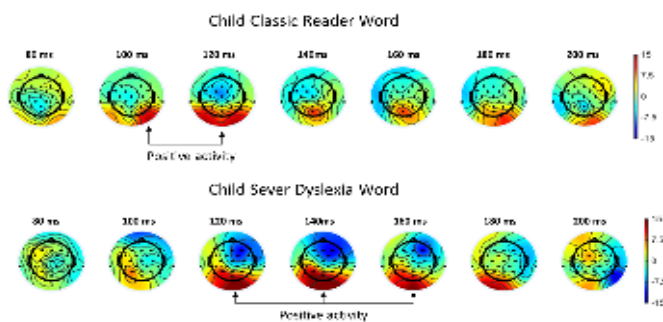
Annexe 28: Synthèse des effets globaux : adultes

Tâche décision lexicale						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet d'item	Amplitude P1	0,0042	1	0,0042	0,01042	0,919825
	Latence P1	22,7	1	22,7	0,161	0,693314
	Amplitude N170	0,0318	1	0,0318	0,03772	0,848172
	Latence N170	2,1	1	2,1	0,0224	0,882777
	Amplitude N230	5,2244	1	5,2244	5,96262	0,025163
	Latence N230	2	1	2	0,0092	0,924591
Tâche Oddball						
		SC	Degré de - Liberté	MC	F	p
Effet d'item	Amplitude P1	4,8817	1	4,8817	5,33043	0,033036
	Latence P1	87	1	87	0,7381	0,40158
	Amplitude N170	16,7116	1	16,7116	1,62119	0,219125
	Latence N170	97,9	1	97,9	4,821	0,041458
	Amplitude N230	25,1266	1	25,1266	10,29112	0,004876
	Latence N230	940	1	940	3,611	0,073528

Annexe 29 Exemple de mesure du décours temporel de P100 (ou point d'entrée dans la négativité). En rouge les enfants normo lecteurs et en bleu les enfants avec une dyslexie sévère. Fenêtre temporelle de 80 à 200ms. A droite, la distribution des mesures de ce décours temporel. En bleu foncé les adultes, en bleu clair les enfants précoces, en vert les enfants corrects, en jaune les dyslexiques modérés et en rouge les dyslexiques sévères.



Annexe 30 Cartographie des enfants normo lecteurs et des enfants dyslexiques sévères. L'activité positive est plus tardive mais plus ample (intense) chez les dyslexiques que chez les normaux lecteurs pour la lecture de mots simples en Décision Lexicale. L'activité positive et négative est plus précoce et moins ample chez l'enfant normo lecteur (effet tuning).



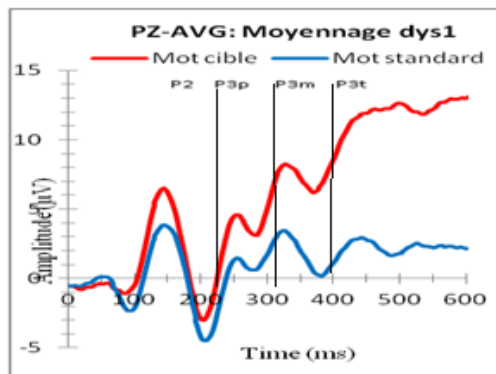
DS	point d'entrée mot P7	point d'entrée pm P7	point d'entrée mot p8	point d'entrée pm P8	VL
LUM	0,370338	0,402871	0,298681	0,377603	-0,332045
VL	-0,644489	-0,640673	-0,225841	-0,254463	1,000000
HP	-0,278281	-0,329304	-0,108884	0,010739	0,672869
PLE	-0,455610	-0,412925	-0,203325	-0,312622	0,689021
PL	-0,364009	-0,448407	0,165098	0,064920	0,377505
Code	0,514262	0,421781	-0,108717	0,046898	-0,036902
Matrice	-0,123762	-0,100960	0,277068	0,391712	0,591337
DM	point d'entrée mot P7	point d'entrée pm P7	point d'entrée mot p8	point d'entrée pm P8	VL
LUM	-0,536052	-0,405145	-0,388439	-0,371884	0,915249
VL	-0,432901	-0,514018	-0,470904	-0,451378	1,000000
HP	0,554557	0,859304	0,848307	0,852008	-0,160128
PLE	-0,846121	-0,979369	-0,966564	-0,960561	0,676753
PL	-0,241205	0,260752	0,211341	0,210374	0,038547

**Annexe 31 Resultats
statistiques de
corrélacion entre VL
et le décours
temporel P1N1**

Code	-0,341678	-0,754427	-0,703427	-0,694319	0,570352
Matrice	-0,366618	-0,777881	-0,741795	-0,739393	0,316862
EC	point d'entrée mot P7	point d'entrée pm P7	point d'entrée mot p8	point d'entrée pm P8	VL
LUM	0,271774	0,481563	0,215162	0,316399	0,327164
VL	0,656175	0,612120	0,178739	0,302994	1,000000
HP	0,562607	0,604768	0,101401	0,201678	0,485837
PLE	0,307896	0,226763	0,123089	0,186127	0,750278
PL	0,490320	0,471944	0,482874	0,654914	0,584865
Code	-0,091512	-0,183157	0,030344	0,052950	-0,113270
Matrice	0,461357	-0,094884	0,338693	0,323653	0,399252
EC	point d'entrée mot P7	point d'entrée pm P7	point d'entrée mot p8	point d'entrée pm P8	VL
LUM	-0,848902	-0,956395	0,047999	-0,424179	0,144312
VL	-0,366673	-0,260438	0,396669	0,600316	1,000000
HP	-0,853839	-0,839958	0,374562	0,066554	0,739757
PLE	0,545901	0,683443	0,104855	0,792275	0,523333
PL	-0,024582	-0,194070	0,060406	0,572329	0,476544
Code	-0,284827	-0,129871	0,541880	0,603703	0,946582
Matrice	0,491075	0,541489	-0,755654	-0,510223	-0,764452
AD	point d'entrée mot P7	point d'entrée pm P7	point d'entrée mot p8	point d'entrée pm P8	VL
LUM	0,192373	-0,105927	0,370743	0,406220	0,252277

VL	-0,083995	-0,400186	0,192283	0,234141	1,000000
HP	-0,138394	-0,265274	0,182273	0,241314	0,947648
PLE	-0,035018	-0,168980	0,239426	0,268734	0,951121
PL	0,189012	-0,119807	0,323177	0,484599	0,485673
Code	-0,565978	-0,229843	0,000404	0,027162	0,177233
Matrice	-0,131173	-0,044586	0,071868	-0,008875	0,244502

Annexe 32 Analyse de l'amplitude des différentes temporelles de P3 précoce P3p, P3m, P3t



Annexe 33 Les calculs et recherches de corrélation entre les différences d'amplitude par fenêtre et des items lexicaux ont montré différents résultats avec des items de précision orthographique (PL). Le faible nombre d'enfants dyslexiques modérés ne nous permet pas de conclure. Les aires totales de P3 chez les enfants dyslexiques est corrélé à leurs scores de précision de Lecture. PL

Variable	Corrélations (CorrélationsOdd) Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=18 (Observations à VM ignorées)						
	LUM	VL	PLE	HP	PL	Code	Matrice
Aire tot + cible	0,283783	0,429538	0,507767	0,308055	0,768909	0,066790	0,140421
Aire tot + standard	0,127685	0,214136	0,430253	0,039377	0,675398	0,094699	0,039688
Aire tot - cible	-0,361525	-0,426757	-0,556158	-0,286593	-0,694423	-0,117901	-0,244527
Aire tot - standard	-0,137137	-0,214661	-0,439260	-0,032064	-0,675278	-0,109896	-0,032298

Les aires totales de P3 chez les enfants Normo lecteurs sont corrélées au score de Matrice

Variable	Corrélations (CorrélationsOdd) Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=14 (Observations à VM ignorées)						
	LUM	VL	PLE	HP	PL	Code	Matrice
Aire tot + cible	-0,337580	0,399067	0,359045	0,376141	0,327632	-0,113289	0,768491
Aire tot + standard	0,120361	-0,315920	-0,121124	-0,379677	-0,199209	-0,191071	-0,231118
Aire tot - cible	0,126808	-0,261699	-0,177850	-0,275590	-0,231747	-0,412680	0,120919
Aire tot - standard	-0,075266	0,140607	0,102300	0,144684	0,166691	0,304247	-0,108981

Les aires totales de P3 ne sont corrélées avec aucun paramètre testé chez les adultes normo lecteurs. effet de la maturation sur une épreuve facile.

Variable	Corrélations (CorrélationsOdd) Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=19 (Observations à VM ignorées)						
	LUM	VL	PLE	HP	PL	Code	Matrice
Aire tot + cible	0,157450	0,198836	0,175737	0,161837	0,194684	0,199992	0,192250
Aire tot + standard	-0,114199	0,198981	0,139051	0,150716	-0,037718	0,220050	-0,062159
Aire tot - cible	-0,136471	-0,256701	-0,173082	-0,237265	-0,081656	0,161860	0,020214
Aire tot - standard	0,115407	-0,142815	-0,117500	-0,091345	-0,000209	-0,371482	-0,026315

Annexe 34 Variables et plans expérimentaux des 4 populations de la 1ere experimentation .

Variable dépendante :

<i>Groupe</i>	4 modalités	Enfant dyslexique, enfant normo-lecteurs, enfant prématuré, adulte
<i>Condition</i>	2 conditions	Mot fréquent et pseudo mot.
<i>Electrodes</i>	32 modalités	Choix : P7 (Hémisphère gauche) et P8 (hémisphère droit) au niveau temporo-spatiale. Zone impliquée dans la lecture.

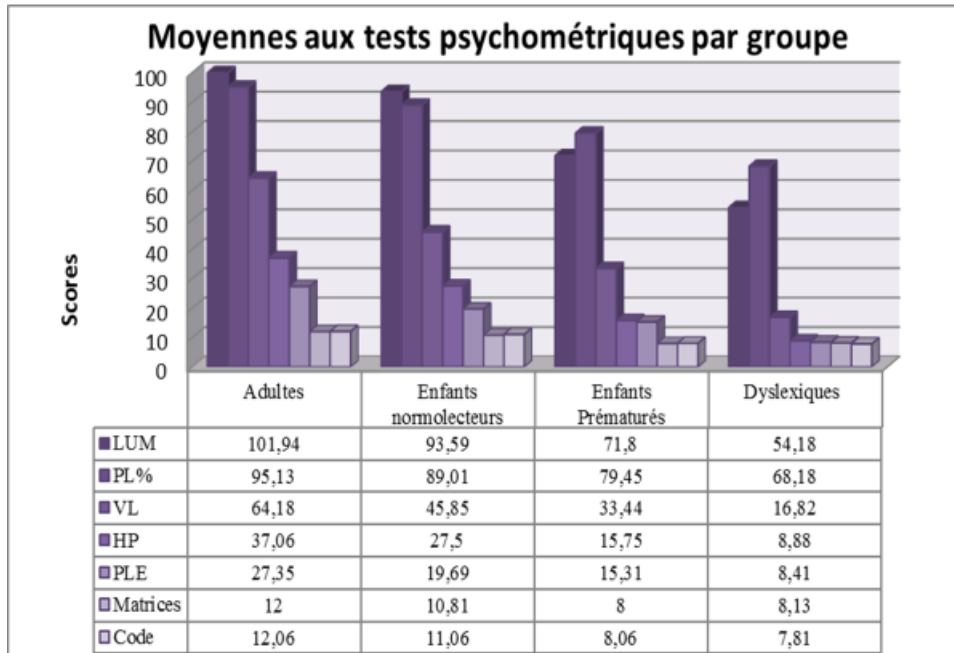
Variable indépendante :

<i>Données électrophysiologiques</i>	Amplitude, latence, décours et aire
<i>Test psychométrie et de lecture</i>	VL (VL, PL, PLE, HP) / code et matrice.

→ Plans expérimentaux : $S < G4 > C2 * E32 / T$ et $S < G4 > Q3$

Annexe 35 Résultats Cliniques des 4 Populations 1^{ère} Expérimentation

Résultats: données psychométriques



Annexe 36

Test HSD de Tukey ; variable LUM (Comparaison tests neuropsychologiques intergroupes) Probabilités Approximatives des Tests Post Hoc Erreur : MC Inter = 305,02, dl = 66,000					
Cellule N°	Population	{1}	{2}	{3}	{4}
		102,16	93,667	57,263	71,106
1	Adulte		0,499235	0,000152	0,000158
2	Enfant	0,499235		0,000153	0,002991
3	Dys	0,000152	0,000153		0,092247
4	Préma	0,000158	0,002991	0,092247	

Annexe 37 : Caractérisations des Sous- groupes de populations enfants 1^{ère} Expérimentation

POPULATION	DIFFERENCE INTRAGROUPE	COMPETENCE EN LECTURE
ADULTE	<i>Groupe homogène</i>	<i>VL>50</i>
NORMOLECTEURS	<i>Deux sous-groupes</i>	→ <i>Les enfants classiques (EC) = 32<VL<50</i> → <i>Les enfants précoces en lecture (EP)= VL>50</i>
DYSLEXIE	<i>Deux sous-groupes</i>	→ <i>Les dyslexiques modérés (DM)= VL>20</i> → <i>Les dyslexiques sévères (DS)= VL<20</i>
PREMATURE	<i>Deux sous-groupes</i>	→ <i>Les prématurés sans un trouble de la lecture (Préma LE classique)= VL>32</i> → <i>Les prématurés avec un trouble de la lecture (Préma LE faible) = VL<32.</i>

Annexe 38 : Résultats statistiques des paramètres psycholinguistiques des 7 sous-groupes étudiés en fonction de leur score à VL.

Annexe 39 : Comparaison 2 à 2 des scores de VL déterminant nos sous groupes .

MOYENNE						
sous groupes	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES
adultes	64,17647	27,35294	37,05882	95,47059	12,05882	12,00000
prémas LE faible	29,33333	13,00000	12,00000	74,38556	7,00000	8,44444
prémas LE correct	38,71429	18,28571	20,57143	85,97143	9,42857	7,42857
dyslexie modérée	31,25000	14,50000	17,25000	80,87500	8,25000	8,25000
dyslexie sévère	13,84615	7,38462	6,92308	65,20000	7,61538	7,92308
Normo classiques	41,09091	17,72727	23,36364	87,46364	10,36364	10,09091
Normo précoces	60,60000	24,00000	36,60000	92,40000	13,00000	12,40000

écart-type						
sous groupes	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES
adultes	2,551259	0,854038	1,259094	1,831179	0,774100	0,654548
prémas LE faible	3,506370	1,173763	1,730459	2,516715	1,063898	0,899590
prémas LE correct	3,975850	1,330923	1,962156	2,853687	1,206347	1,020040
dyslexie modérée	5,259556	1,760645	2,595689	3,775073	1,595847	1,349386
dyslexie sévère	2,917477	0,976630	1,439829	2,094034	0,885217	0,748505
Normo classiques	3,171631	1,061709	1,565259	2,276455	0,962332	0,813710
Normo précoces	4,704290	1,574769	2,321655	3,376528	1,427369	1,206927

Comparaison deux à deux : VL							
Test LSD ; variable VL (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 110,65, dl = 59,							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,000000	0,000001	0,000001	0,000000	0,000000	0,506546
prémas LE faible	0,000000		0,081959	0,762795	0,001232	0,015738	0,000002
prémas LE correct	0,000001	0,081959		0,262165	0,000005	0,642011	0,000756
dyslexie modérée	0,000001	0,762795	0,262165		0,005328	0,114436	0,000105
dyslexie sévère	0,000000	0,001232	0,000005	0,005328		0,000000	0,000000
Normo classiques	0,000000	0,015738	0,642011	0,114436	0,000000		0,001079
Normo précoces	0,506546	0,000002	0,000756	0,000105	0,000000	0,001079	

Comparaison deux à deux : PLE							
Test LSD ; variable PLE (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 12,399, dl = 59,							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,066216
prémas LE faible	0,000000		0,004198	0,481194	0,000511	0,004101	0,000001
prémas LE correct	0,000000	0,004198		0,091547	0,000000	0,744066	0,007454
dyslexie modérée	0,000000	0,481194	0,091547		0,000803	0,121835	0,000166
dyslexie sévère	0,000000	0,000511	0,000000	0,000803		0,000000	0,000000
Normo classiques	0,000000	0,004101	0,744066	0,121835	0,000000		0,001630
Normo précoces	0,066216	0,000001	0,007454	0,000166	0,000000	0,001630	

Effets globaux					
Effet	Tests Univariés de Significativité de CODE (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	4951,135	1	4951,135	492,8689	0,000000
sous groupes	283,447	6	47,241	4,7027	0,000553
Erreur	602,732	60	10,046		
Effet	Tests Univariés de Significativité de MATRICES (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	4757,209	1	4757,209	653,1607	0,000000
sous groupes	227,812	6	37,969	5,2131	0,000232
Erreur	429,719	59	7,283		

Comparaison deux à deux : MATRICES							
Test LSD ; variable MATRICES (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 7,2834,							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,002240	0,000378	0,015204	0,000128	0,072590	0,771817
prémas LE faible	0,002240		0,458068	0,904972	0,657580	0,179843	0,010938
prémas LE correct	0,000378	0,458068		0,629043	0,697316	0,045798	0,002593
dyslexie modérée	0,015204	0,904972	0,629043		0,832944	0,247393	0,025471
dyslexie sévère	0,000128	0,657580	0,697316	0,832944		0,054635	0,002546
Normo classiques	0,072590	0,179843	0,045798	0,247393	0,054635		0,118008
Normo précoces	0,771817	0,010938	0,002593	0,025471	0,002546	0,118008	

Effets globaux					
Effet	Tests Univariés de Significativité de HP (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	25559,63	1	25559,63	964,4662	0,00
sous groupes	9123,00	6	1520,50	57,3745	0,00
Erreur	1590,08	60	26,50		
Effet	Tests Univariés de Significativité de PLE (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	16128,58	1	16128,58	1319,581	0,00
sous groupes	3543,07	6	590,51	48,313	0,00
Erreur	733,35	60	12,22		
Effet	Tests Univariés de Significativité de VL (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	83941,62	1	83941,62	753,3521	0,00
sous groupes	23021,99	6	3837,00	34,4360	0,00
Erreur	6796,87	61	111,42		
Effet	Tests Univariés de Significativité de PL % (statistica classeur p1.sta)				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord.Orig.	366453,9	1	366453,9	6455,035	0,000000
sous groupes	8249,5	6	1374,9	24,219	0,000000
Erreur	3406,2	60	56,8		

Annexe 40 : effet global de VL HP PLE et PL entre les 7 sous groupes

Comparaison deux à deux : HP							
Test LSD ; variable HP (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 26,950, dl = 59							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,862677
prémas LE faible	0,000000		0,001764	0,097681	0,027839	0,000009	0,000000
prémas LE correct	0,000000	0,001764		0,311534	0,000001	0,270464	0,000002
dyslexie modérée	0,000000	0,097681	0,311534		0,000952	0,048257	0,000001
dyslexie sévère	0,000000	0,027839	0,000001	0,000952		0,000000	0,000000
Normo classiques	0,000000	0,000009	0,270464	0,048257	0,000000		0,000015
Normo précoces	0,862677	0,000000	0,000002	0,000001	0,000000	0,000015	

Comparaison deux à deux : PL							
Test LSD ; variable PL % (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 57,005, dl = 59							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,000000	0,006868	0,000953	0,000000	0,008101	0,427265
prémas LE faible	0,000000		0,003474	0,157901	0,006792	0,000289	0,000070
prémas LE correct	0,006868	0,003474		0,285889	0,000000	0,684186	0,151210
dyslexie modérée	0,000953	0,157901	0,285889		0,000592	0,140352	0,026522
dyslexie sévère	0,000000	0,006792	0,000000	0,000592		0,000000	0,000000
Normo classiques	0,008101	0,000289	0,684186	0,140352	0,000000		0,230269
Normo précoces	0,427265	0,000070	0,151210	0,026522	0,000000	0,230269	

Comparaison deux à deux : CODE							
Test LSD ; variable CODE (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 10,187, dl =							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,000298	0,071543	0,035880	0,000369	0,175078	0,564374
prémas LE faible	0,000298		0,136414	0,517106	0,658208	0,022426	0,001329
prémas LE correct	0,071543	0,136414		0,558018	0,230424	0,546879	0,060865
dyslexie modérée	0,035880	0,517106	0,558018		0,729266	0,261298	0,030379
dyslexie sévère	0,000369	0,658208	0,230424	0,729266		0,039847	0,002175
Normo classiques	0,175078	0,022426	0,546879	0,261298	0,039847		0,131001
Normo précoces	0,564374	0,001329	0,060865	0,030379	0,002175	0,131001	

Annexe 41 : tableaux statistiques de quelques items psycho linguistiques

Moyenne des aires				
	Aires positives		Aires négatives	
sous groupes	P7 aire plus	P8 aire plus	P7 aire moins	P8 aires moins
adultes	27,26471	35,00000	-34,73529	27,00000
Normo précoces	40,30000	48,50000	-18,30000	13,50000
Normo classiques	38,25000	45,16667	-23,75000	17,45833
prémas LE correct	37,35714	42,64286	-24,64286	19,35714
dyslexie modérée	43,75000	49,87500	-18,25000	14,37500
prémas LE faible	43,66667	49,33333	-18,33333	12,61111
dyslexie sévère	42,14286	41,75000	-19,85714	20,42857

écart-type des aires				
sous groupes	P7 aire plus	P7 aire moins	P8 aire plus	P8 aire moins
adultes	2,921742	2,885041	3,176591	3,191432
prémas LE faible	4,015550	3,965110	4,365807	4,386204
prémas LE correct	4,553206	4,496012	4,950359	4,973487
dyslexie modérée	6,023326	5,947665	6,548710	6,579305
dyslexie sévère	3,219603	3,179160	3,500433	3,516787
Normo classiques	3,477569	3,433886	3,780899	3,798564
Normo précoces	5,387426	5,319753	5,857344	5,884710

Annexe 42 Résultats des différentes corrélations de calcul d'aire sous les courbes

Comparaison deux à deux Aires négatives							
Test LSD ; variable VD_1 (statistica classeur p1.sta) Probabilités des Tests Post-Hoc Erreur : MCE Inter = 254,86, dl = 61							
sous groupes	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
adultes		0,001577	0,085283	0,023690	0,010723	0,018915	0,011488
prémas LE faible	0,001577		0,255665	0,901824	0,336657	0,306618	0,946055
prémas LE correct	0,085283	0,255665		0,424608	0,723516	0,795743	0,359710
dyslexie modérée	0,023690	0,901824	0,424608		0,551721	0,512696	0,956736
dyslexie sévère	0,010723	0,336657	0,723516	0,551721		0,917606	0,473397
Normo classiques	0,018915	0,306618	0,795743	0,512696	0,917606		0,436719
Normo précoces	0,011488	0,946055	0,359710	0,956736	0,473397	0,436719	

Effet globaux Aires négatives					
Effet	Analyse de Variance avec Mesures Répétées (statistica classeur p1.				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord. Orig.	43519,02	1	43519,02	170,7597	0,000000
sous groupes	4214,35	6	702,39	2,7560	0,019514
Erreur	15546,18	61	254,86		
H	598,42	1	598,42	10,0082	0,002430
H*sous group	294,91	6	49,15	0,8220	0,557237
Erreur	3647,34	61	59,79		

Effet globaux aires Positives					
Effet	Analyse de Variance avec Mesures Répétées (statistica classeur p1.				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord. Orig.	174202,3	1	174202,3	657,8307	0,000000
sous groupes	4336,0	6	722,7	2,7290	0,021193
Erreur	15094,4	57	264,8		
HEM	882,3	1	882,3	13,5126	0,000526
HEM*sous gr	343,6	6	57,3	0,8772	0,517476
Erreur	3721,6	57	65,3		

Annexe 43 : Analyse corrélacionnelle entre les paramètres psycholinguistiques et l'amplitude des aires positives dans l'hémisphère droit et gauche au cours du décours temporel de P1N1.

*Npoint = Point d'entrée dans la négativité

Effet globaux P8					
Effet	Tests Univariés de Significativité de P8 aire plus (statistica classeur				
	SC	Degré de	MC	F	p
Ord. Orig.	99939,50	1	99939,50	562,7843	0,000000
sous groupes	1946,47	6	324,41	1,8268	0,109985
Erreur	10122,09	57	177,58		

Enfant dyslexiques toutes sévérités confondus N= 16									
Variable	Corrélacions (statistica classeur p1.sta)Corrélacions significatives marquées à p < ,05000N=20 (Observacions à VM ignorées)								
	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES	N1 +/-	Npoint P7	Npoint P8
P7 aire plus	-0,130142	-0,076874	-0,175778	-0,215440	0,259961	-0,303109	-0,834046	0,908401	0,448836
P7 aire moins	0,130142	0,076874	0,175778	0,215440	-0,259961	0,303109	0,834046	-0,908401	-0,448836
P8 aire plus	-0,103393	-0,043103	-0,162734	-0,056961	-0,107595	-0,123761	-0,257269	0,594070	0,743199
P8 aire moins	0,172514	0,094139	0,247574	0,135224	0,104782	0,103565	0,253334	-0,613635	-0,777680
VL	1,000000	0,890304	0,935780	0,740438	0,210102	0,295628	0,301893	-0,286947	-0,230829
N1 +/-	0,301893	0,290380	0,241028	0,356875	-0,170935	0,426135	1,000000	-0,809867	-0,168327
Npoint P7	-0,286947	-0,101408	-0,375132	-0,196106	0,182742	-0,339981	-0,809867	1,000000	0,535579
Npoint P8	-0,230829	-0,023390	-0,374506	0,064192	-0,251945	-0,023575	-0,168327	0,535579	1,000000

Population né à terme N=46									
Variable	Corrélations (statistica classeur p1.sta)Corrélations significatives marquées à p < ,05000N=46 (Observations à VM ignorées)								
	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES	N1 +/-	Npoint P7	Npoint P8
P7 aire plus	-0,372757	-0,430145	-0,328400	-0,370850	-0,227543	-0,250591	-0,678981	0,855617	0,499391
P7 aire moins	0,372757	0,430145	0,328400	0,370850	0,227543	0,250591	0,678981	-0,855617	-0,499391
P8 aire plus	-0,130509	-0,193528	-0,090461	-0,136210	-0,143408	-0,120446	-0,223706	0,507957	0,762172
P8 aire moins	0,119182	0,177960	0,083977	0,134141	0,135497	0,108094	0,225405	-0,498300	-0,783106
VL	1,000000	0,977477	0,989849	0,902151	0,555110	0,604610	0,252912	-0,454547	-0,249484
N1 +/-	0,252912	0,270187	0,232182	0,267138	0,110318	0,291214	1,000000	-0,628195	-0,242872
Npoint P7	-0,454547	-0,477917	-0,426919	-0,417391	-0,246816	-0,274646	-0,628195	1,000000	0,512138
Npoint P8	-0,249484	-0,266020	-0,237783	-0,166991	-0,255362	-0,111981	-0,242872	0,512138	1,000000

Toute population N=62									
Variable	Corrélations (statistica classeur p1.sta)Corrélations significatives marquées à p < ,05000N=62 (Observations à VM ignorées)								
	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES	N1 +/-	Npoint P7	Npoint P8
P7 aire plus	-0,306560	-0,394044	-0,351398	-0,316030	-0,291523	-0,186936	-0,657912	0,867367	0,586608
P7 aire moins	0,306560	0,394044	0,351398	0,316030	0,291523	0,186936	0,657912	-0,867367	-0,586608
P8 aire plus	-0,117053	-0,210018	-0,159427	-0,160447	-0,299828	-0,103923	-0,299061	0,558569	0,819743
P8 aire moins	0,110479	0,198859	0,158293	0,159991	0,297538	0,097494	0,301657	-0,554466	-0,837041
VL	1,000000	0,932835	0,926417	0,836145	0,490666	0,569288	0,242151	-0,376815	-0,221771
N1 +/-	0,242151	0,246962	0,218026	0,249116	0,183224	0,254297	1,000000	-0,615903	-0,328464
Npoint P7	-0,376815	-0,428766	-0,447205	-0,351423	-0,318697	-0,225479	-0,615903	1,000000	0,587870
Npoint P8	-0,221771	-0,285128	-0,307686	-0,199891	-0,409043	-0,134131	-0,328464	0,587870	1,000000

Enfant normo-lecteurs quelque soit le niveau N=13									
Variable	Corrélations (statistica classeur p1.sta)Corrélations significatives marquées à p < ,05000N=20 (Observations à VM ignorées)								
	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES	N1 +/-	Npoint P7	Npoint P8
P7 aire plus	0,237978	-0,157632	0,430469	0,199096	-0,402309	0,096803	-0,571013	0,778909	0,430919
P7 aire moins	-0,237978	0,157632	-0,430469	-0,199096	0,402309	-0,096803	0,571013	-0,778909	-0,430919
P8 aire plus	0,035289	-0,378794	0,282533	-0,217477	-0,402639	-0,198198	-0,147347	0,514926	0,615280
P8 aire moins	-0,043568	0,363313	-0,284607	0,207848	0,432702	0,219033	0,172012	-0,468690	-0,660275
VL	1,000000	0,778325	0,922356	0,591124	0,326226	0,504822	-0,296309	0,492787	0,067463
N1 +/-	-0,296309	-0,224927	-0,276808	-0,546125	0,214438	0,016109	1,000000	-0,331696	-0,233016
Npoint P7	0,492787	0,032952	0,670257	0,340382	-0,022143	0,395044	-0,331696	1,000000	0,270630
Npoint P8	0,067463	-0,278253	0,265752	0,053838	-0,549835	-0,021036	-0,233016	0,270630	1,000000

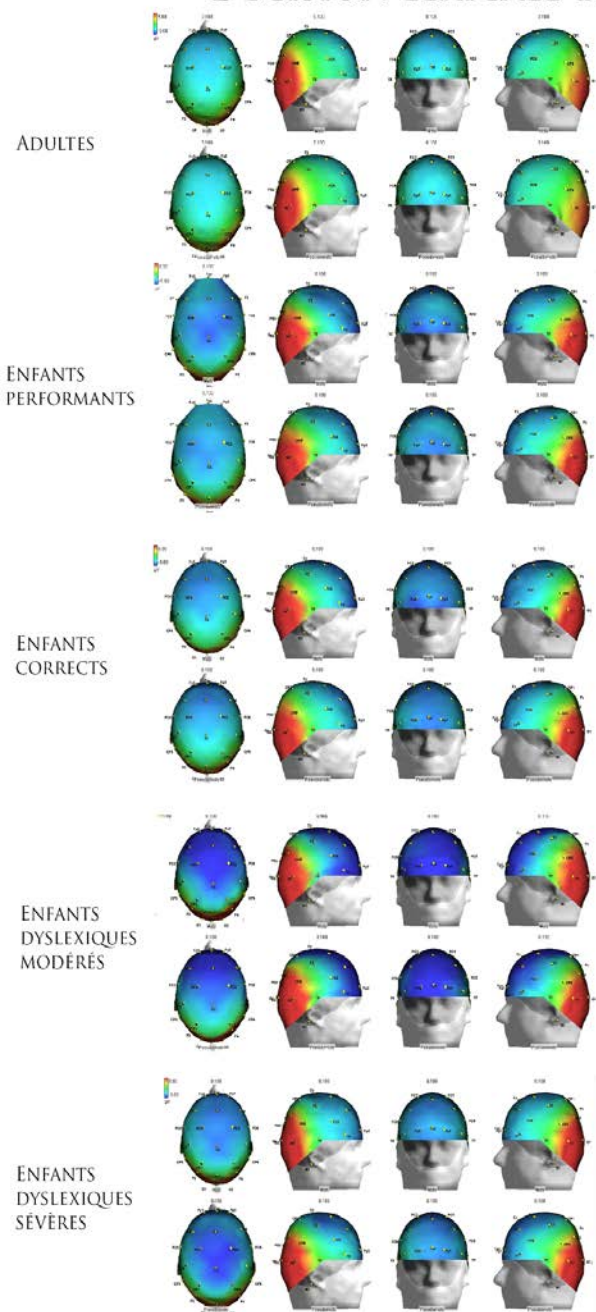
Enfant né prématurément N=16									
Variable	Corrélations (statistica classeur p1.sta)Corrélations significatives marquées à p < ,05000N=20 (Observations à VM ignorées)								
	VL	PLE	HP	PL %	CODE	MATRICES	N1 +/-	Npoint P7	Npoint P8
P7 aire plus	0,184636	0,025407	-0,266516	-0,006009	-0,360812	0,386937	-0,604597	0,900895	0,814242
P7 aire moins	-0,184636	-0,025407	0,266516	0,006009	0,360812	-0,386937	0,604597	-0,900895	-0,814242
P8 aire plus	0,151692	-0,129986	-0,229690	-0,131090	-0,684098	0,292376	-0,405109	0,620077	0,987084
P8 aire moins	-0,150210	0,130128	0,232043	0,129204	0,683751	-0,297386	0,403161	-0,622410	-0,987143
VL	1,000000	0,563405	0,414775	0,518679	0,020463	0,217409	0,124431	0,155716	0,175017
N1 +/-	0,124431	0,095050	-0,028722	0,146203	0,231697	0,000000	1,000000	-0,553097	-0,412955
Npoint P7	0,155716	0,059704	-0,276633	-0,008383	-0,313473	0,364328	-0,553097	1,000000	0,660989
Npoint P8	0,175017	-0,161724	-0,248823	-0,150828	-0,688611	0,287040	-0,412955	0,660989	1,000000

cible (mots)	pseudomots : phonèmes proches	pseudomots: visèmes proches
aider	aiter	aiber
aimer	aiber	ainer
arbre	arpre	arqre
avant	afant	anant
avion	afion	anion
avoir	afoir	anoir
carte	carde	carfe
danser	tanser	banser
filet	vilet	tilet

ANNEXE 44 Liste de stimuli mots pour la Décision Lexicale. 2ème Expérimentation.

Mots fréquents pour le CM2 selon Manulex. Pseudomots phonèmes proches et pseudomots visèmes proches.

DÉCISION LEXICALE 100 MS



Annexe : Pattern électrophysiologique, toutes électrodes confondues lors de la présentation d'un mot

ABREVIATIONS

AVW : area visual word. Zone spécialisée de lecture des mots

BILO : Bilan Informatisé du Langage Oral

CNV : Variation Contingente Négative

DL : Décision Lexicale

DSM 5: 5^{ème} édition du Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders

EPIPAGE : Etude Epidémiologique sur les Petits Ages Gestationnels

ERP : Event Related Potentiel. Potentiels Evoqués Provoqués.

EEG : électroencéphalogramme

IFDC : Inventaire Français Développement Communication

INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale

IRM : Imagerie Résonance Magnétique

KABC : test psychologique de Kaufman and Kaufman

LAMOPRESCO : Langage et Motricité de l'enfant né Pré-maturé en âge Pré SCOLAIRE

LMPV : Leucomalacie Peri Ventriculaire

NGP : Né Grand Pré-maturé

NSE : Niveau Socio Economique

OB : OddBall

OMS : Observatoire Mondiale de la Santé

PC : paralysie cérébrale

PE : Potentiels Evoqués

PEVc : Potentiel Evoqués Visuels Cognitif

PHRC : Programme Hospitalier Recherche Clinique

SA : Semaine d'Aménorrhée

TDAH : Trouble Déficitaire de l'Attention et Hyperactivité

TDI : Trouble du Développement Intellectuel selon DSM5 (5^{ème} édition du Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders)

WISC : Weschler Intellectuel Score

RESUME

Les populations d'enfants nés grands prématurés représentent 7% des naissances, soit 15 millions de bébés par an. Si le taux de mortalité et de paralysie cérébrale diminue dans les pays occidentaux, en France près de 40 % vont présenter des troubles neurodéveloppementaux. Au cœur de leurs difficultés, les échecs scolaires sont surreprésentés par rapport à des enfants nés à terme. Les apprentissages académiques sont souvent difficiles et la lecture est très souvent atteinte. Nous avons proposé, au sein d'un travail longitudinal en trois parties, d'analyser leur lecture par les potentiels évoqués. La lecture s'acquiert sur des compétences langagières et visuo-attentionnelles. Nous avons émis l'hypothèse qu'ils présenteraient des troubles moteurs à minima, qui selon la théorie motrice de la perception de la parole, gêneraient le développement de la phonologie. Nous avons, dans une première partie, au sein d'un PHRC national, inclus des enfants nés grands prématurés de 3 ans pour caractériser et stimuler leur langage oral. Nous les avons randomisés en un groupe rééduqué (n=87) et un bras groupe non rééduqué (n= 78) (LAMOPRESCO 1). Les résultats ont montré l'efficacité de la stimulation courte et protocolisée sur des aspects sensorimoteurs du langage à 4 ans. Les enfants rééduqués ont une meilleure progression de leur score en phonologie (p=0.07), et des scores significativement améliorés en lexique de réception (p=0.027) et de production (p<0.01), et en compréhension (p<0.01). Les scores de phonologie étaient corrélés à des scores moteurs, motricité fine et de latéralité (p=0.019). Nous avons au cours d'une seconde partie développé une méthodologie de PEV en lecture, avec des stimuli mots simples et contrastés dans l'hypothèse de distinguer la voie phonologique (« motrice ») de la voie visuelle. Les résultats de nos deux paradigmes de Décision Lexicale et d'Oddball, de notre population normative adulte (n=19) et enfants normo lecteurs de 12 ans (n=16), questionnent l'onde N170. Ce paramètre de choix, signant l'automatisation de la lecture nous permet de confirmer l'effet tuning et de considérer l'importance des stimuli. La population d'enfants appariés dyslexiques (n=16) enregistrée a permis de confirmer les fluctuations maturationnelles de l'onde N170 et de sa co-construction avec l'onde P100 attentionnelle. Le couple P1N1 semble être un marqueur neuro développemental précoce avant l'automatisation de la N170. Le décours temporel positif de P1N1 est corrélé (p=-0.51) pour l'ensemble des populations (n=48) de normo lecteurs et de dyslexiques à notre paramètre de leximétrie (VL). Au décours de cette deuxième partie, la N170, apparaît bien être la spécialisation et l'automatisation de la lecture experte, mais le couple P1N1 nous renseigne sur sa construction neurodéveloppementale par le biais d'un probable effet top down maturationnel sur la P100. La position de la N170, est positive chez 56% des enfants nés grands prématurés appariés (n=18) alors qu'on la retrouve chez 39% des enfants dyslexiques. En Oddball, la latence de la P300 mots cibles est corrélée à la leximétrie VL (r=-0.39) dans toutes nos populations étudiées. Ce résultat complémentaire, nous orientent vers l'importance de l'attention visuelle et la mémoire de travail particulièrement chez les enfants nés grands prématurés au cours de la spécialisation des neurones en lecture. Pour réaliser notre troisième partie qui est l'enregistrement par les PEVc de nos enfants de la première partie, maintenant âgés de 8 ans, nous avons simplifié nos stimuli mots. Nous avons enregistré de nouvelles populations normatives : adultes normo lecteurs (n=25), enfants appariés de 8 ans normo lecteurs (n=22) et enfants dyslexiques (n=11). Ils se différencient tous, par les paramètres hétérogènes de la N170. Dans le test de lecture en une minute (LUM), les enfants dyslexiques ont de moindres performances que les enfants nés prématurés (n=18) (p=.01), eux même différents des normo lecteurs. En DL, le taux de bonnes réponses (TBR) et le temps de réponse (TR) différencient les enfants nés prématurés des enfants dyslexiques (p=.01). En Oddball, les enfants nés grands prématurés rééduqués (n=8) se distinguent des enfants nés grands prématurés non rééduqués (n=9) sur le plan comportemental par de meilleurs TBR et des TR plus longs (p=.01). Les enfants non rééduqués ont une absence d'effet OB. Nous démontrons l'effet d'une rééducation à 4 ans en langage oral à court terme qui modifie les stratégies de lecture à 8 ans. Ces résultats devraient permettre de proposer des stimulations courtes et spécifiques en langage oral aux enfants nés prématurés, et d'analyser et suivre leurs acquisitions par les PEVc sur un plus grand effectif pour poursuivre notre compréhension intégrative du neurodéveloppement de la lecture.

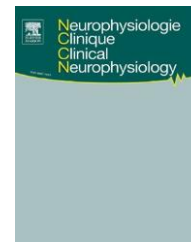
Mots clés : prématurés, langage oral, PEV lecture, dyslexie, rééducation



Disponibles en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM consulte
www.em-consulte.com/en



LETTER TO THE EDITOR / LETTRE À LA RÉDACTION

ERP variabilities as a function of reading maturation

Variabilité des ERP en fonction de la maturation de la lecture

Dear editor,

In normal adults and children, event-related potentials (ERP) may assess the build-up of a progressive pattern of reading with more or less specific components [2]. Although ERP amplitudes and latencies are used as markers of maturation and specialization in children [5], the question of heterogeneity and variability as a function of reading task is rarely discussed. Nevertheless, the literature indicates the significance of different components corresponding to different stages. If P1 positive components up to 100 msec and later onset P2 and P3 components are related to selective attention, N170, N230, and N320 waves are more specific markers of encoding stages. The N170 component may be the best marker of maturational specialization. It is bilateralized in an anterior position during childhood and then localized at P7 during reading expertise. Its significance in the suborthographic encoding stage is followed by the N230 wave reflecting the sublexical stage. We wished to investigate the significance of neurophysiologic markers during very simple reading tasks to differentiate neurologic maturation and the treatment of specific and automatic encoding. Normal adult and child readers experience no difficulty in reading and understanding simple words and so were more specifically evaluated as a function of speed. To explore the initial stages in the specific encoding of phonoalphabetic material, we presented very simple words and visually similar pseudo-words or closely linked morphemes and evaluated subjects in lexical decision and oddball tasks. We hypothesized that N170 characteristics representing a suborthographic stage and N230 characteristics representing a sublexical stage distinguish the two groups only in terms of latencies as a marker of neurologic maturation. The oddball effect will permit us to test whether discriminations of closely linked visual and phonetic stimuli reach the same level in our two populations possessing expertise in simple reading.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2015.12.004> 0987-7053/©2016 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Our sample included 17 normal child readers born between 1999 and 2001 (mean age: 13 years 4 months \pm 2 years, 7 girls) and 19 adult readers (mean age: 22 years 4 months \pm 9 years “9 women”). The children had normal schooling and our adult population had or were in the process of obtaining higher-level education. All participants had normal or corrected vision and were exempt from organic, genetic, or neuropsychiatric pathologies. They were righthanded according to the Oldfield Edinburgh handedness inventory. The adults and the legal representatives of the children gave their informed consent in written form. The children also gave their consent and each was informed that he or she could withdraw from the study at any time. The nature of ERPs was explained and specified.

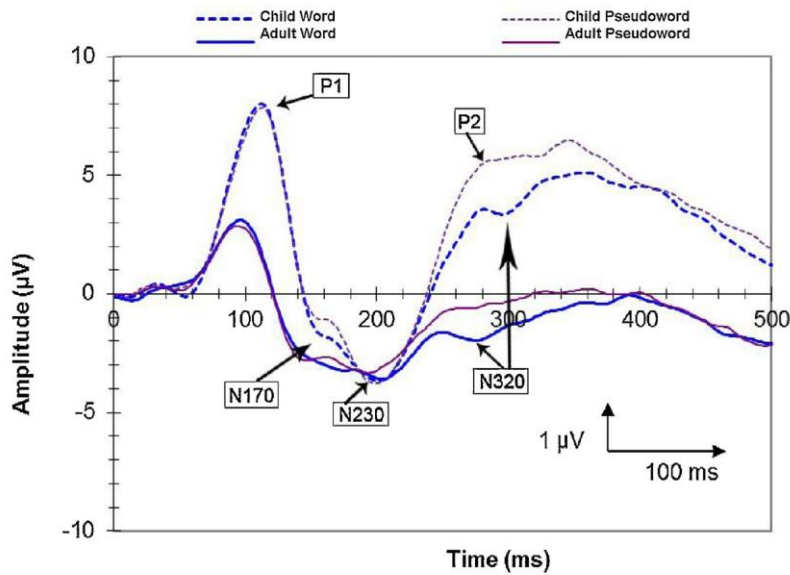
The homogeneity of the population was controlled by psychometric and reading tests. The revised version of the “*Lecture de mots et compréhension*” test (LMC-R, © A. Khomsi) was used to measure reading speed and the orthographic judgment. This latter test, normalized for the ages of 7 to 18, consists of drawing a line on badly spelled words with a maximal running time of 2 min. In terms of general skills, coding and matrix reasoning subtests of the Wechsler intelligence test for children (WISC IV) or the Wechsler intelligence test for adults (WAIS-IV) were administered. During ERP recordings, the lexical decision task consisted of determining whether quickly presented (1 sec) stimuli were words or pseudo-words, each containing 6 letters and 2 syllables. The words were considered as frequent according to common French usage in the Lexique 3 database. Pseudowords could easily be pronounced but did not exist as real words in French or any other language but were similar to words otherwise. A keyboard recorded responses by pressing the “enter” or “control” keys. Using a randomly selected choice of key type for each response counterbalanced a possible motor effect. Responses shorter than 250 msec and longer than 3 sec were excluded from analyses. Each of the 40 words was randomly repeated 4 times for a total of 10 min, excluding pauses between each block.

The oddball paradigm consisted of identifying a change between two stimuli, permitting the appearance of the P3 wave. Five-letter phonologically linked words were discriminated by a change in a single letter. Each presentation was paired, for example “*vente/pente*” for the initial letter or “*corse/corde*” for the final syllable. One of the words was

Please cite this article in press as: Charollais A, et al. ERP variabilities as a function of reading maturation. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucli.2015.12.004>

Letter to the editor / Lettre à la rédaction

A. Lexical decision task (frequent words and pseudowords)



B. Oddball task (repeated words: standard 80% and target 20%)

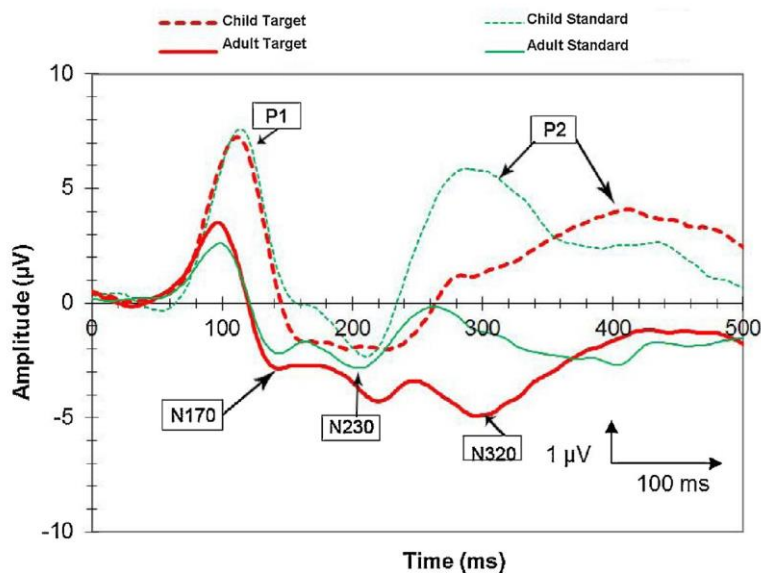


Figure 1 ERP recordings (Cz electrode).

presented randomly 80% of the time and the target 20% of the time. The word to be detected was shown at the start of each block. The participants had to press on the “space” bar with both index fingers when he or she saw that word. The order of the 9 blocks was randomized. The duration of each block ended in 4 min, so that the entire task lasted 40 min excluding time-outs. The data from two children were removed from analysis because of subnormal values in reading scores, leaving 15 children and 19 adults, each with normal-looking signals on grand averaging. Electrophysiological patterns are presented for lexical decision and oddball tasks (Fig. 1).

HSD, $P = 0.001$), interpreted as a higher need of attentional resources. P1 latencies only displayed a tendency towards significance in lexical decision and oddball tasks ($P = 0.06$ and 0.07 , respectively). In the oddball task, only adults ($F(1,18) = 5.33$, $P = 0.03$; Tukey $P = 0.033$), not children ($F(1,14) = 0.01$; Tukey $P = 0.91$), discriminated between the target and the standard, the former being Letter to the editor/Lettre à la rédaction

higher. N170 latencies were delayed in children by 20 ms ($F(1,32) = 5.33$, $P = 0.027$; Tukey $P = 0.027$). On the contrary, N170 latencies did not differ between the groups in either task ($F(1,32) = 3.04$, $P = 0.09$; Tukey $P = 0.14$). In children, there was a tendency towards higher N170 amplitudes in differentiating words from pseudo-words but the overall effect was not significant. Nor was there any effect on N230 amplitudes. However, the P2 component showed an intergroup difference for amplitudes but not latencies. The suborthographic N170,

Please cite this article in press as: Charollais A, et al. ERP variability as a function of reading level between the groups in the task Clinique/Clinical Neurophysiology (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2016.05.001>

The amplitudes and latencies of the components were studied by repeated-measure analysis of variance (ANOVA) with Statistica© software. P1 amplitudes in lexical decision ($P = 0.01$) and oddball ($P = 0.03$) tasks revealed a significant age effect, those of children being higher by 4 V irrespective of items (Tukey

sublexical N230, and phonologic N320 components varied as expected for both tasks. The N170 wave varied as a function of tasks and frequency of stimulus presentations, as reported [3]. In presenting simple words phonetically near or far, a reading mechanism of two syllables was set up at 7 years of age and more so in adults with all three negative waves appearing specialized and superimposable. These results may explain controversies regarding the N170 [1,4]. The exploration of ERPs in reading processes must take into account the number of syllables and the relation between viseme and grapheme as in “vente/fente”, the initial principle of phonoalphabetic encoding as well as the place of the letter change. This neurolinguistic aspect integrated with oral language is essential since ERPs permit us to explore early difficulties in reading acquisition and its automatization.

In conclusion, phonoalphabetic encoding is already established at 13 years of age, as measured by N170 and N230 amplitudes. The oddball task reveals different levels of maturation as a function of even simplest reading. Our results question the significance of the N170 component, perhaps a precocious suborthographic marker already in place but evolving as a function of task difficulty. These are major elements to analyze for understanding learners of reading and vulnerable children (those born prematurely and those with dyslexia).

Disclosure of interest The authors have not supplied their declaration of competing interest.

References

- [1] Bentin S, Mouchetant-Rostaing Y, Giard MH, Echallier JF, Pernier J. ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *J Cogn Neurosci* 1999; 11: 235–60.
- [2] Brem S, Bucher K, Halder P, Summers P, Dietrich T, Martin E, et al. Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence. *Neuroimage* 2006; 29: 822–37.
- [3] Hauk O, Pulvermüller F. Effects of word length and frequency on the human event-related potential. *Clin Neurophysiol* 2004; 115: 1090–103.
- [4] Simon G, Bernard C, Largy P, Lalonde R, Rebai M. Chronometry of visual word recognition during passive and lexical decision tasks: an ERP investigation. *Int J Neurosci* 2004; 114: 1401–32.
- [5] Spironelli C, Angrilli A. Developmental aspects of automatic word processing: language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-aged subjects. *Biol Psychol* 2009; 80: 35–45.

Aude Charollais^{a,*},^b

Aurélien Lempereur^b

Virginie Simon^b

Corentin Seraffin^b

Robert Lalonde^b

Marie-Hélène Stumpf^a

Mohamed Rebai^b

Dorian Bannier^b

^a CHU Charles-Nicolle Rouen, Department
neuropaediatrics, Reference Center for Language
Disorders, 76033 Rouen, France

^b ICONES Laboratory, EA 4966, université de Rouen, 76821
Mont-Saint-Aignan, France *Corresponding author.

E-mail address: aude.charollais@chu-rouen.fr (A. Charollais)

Received 25 August 2015

Research Article

Comparative Electrophysiological Study of Word Reading in French: Does the P1-N1 Temporal Window Reveal a Neurodevelopmental Anomaly?

Charollais A^{1,2*}, Meyer S², Ponty C², Lempereur A², Stumpf MH¹, Berquin P³, Bannier D², Laudénbach V⁴, Lalonde R² and Rebaï M²

¹Reference Center for Language and Learning Disorders and Neuropediatrics, Charles Nicolle University Hospital of Rouen, 1, rue de Germont, F-76031 Cedex, Rouen, France

²CRFDP (Centre de Recherche sur les Fonctionnement et les Dysfonctionnements Psychologiques), University Team EA 4699, University of Rouen, 1 Place Emile Blondel, F-76821 Mont Saint Aignan Cedex, France

³Department of Neuropediatrics, Amiens University Hospital, France

⁴Rouen Regional Center of Pharmacovigilancy, University Hospital of Rouen, France

*Corresponding author: Charollais Aude, University Charles Nicolle, 1 rue de Germont Rouen 76031, Cedex, France

Received: April 14, 2017; Accepted: June 01, 2017;

Published: June 09, 2017

Abstract

Background: Event-Related Potentials (ERPs) permit to study neuronal specialization during reading acquisition. The N170 wave was previously shown to be a surrogate of the fine tuning of reading in adults and adolescents as well.

Aim: We analyzed and described the variations of the N170 wave as a function of French words with visual or phonetical similarities in 12 to 14 year-old dyslexic patients. We tested the validity and modulation of this effect by comparing different populations of normal and dyslexic patients of various severity.

Methods: ERPs were recorded in seventeen dyslexic children with the same method as in normative populations in lexical decision. Stimuli consisted of frequent words chosen on the basis of near or far visemes and morphemes. Dyslexic children were compared to two control (i.e. normal readers) groups, one group of the same age (N=15) and one group of adults (N=17). N170 and P100 waves were analyzed, as well as interactions between both (i.e. P1N1) searched. Psychometric and language tests were also performed. Results were analyzed by ANOVA.

Results: The results of sixteen patients are presented. All sixteen showed significant differences on all psycholinguistic items when compared to the two control groups. All groups (patients and controls) significantly differed from each other for all tests ($F(4;42)=119, 2; p<0.001$). However, the heterogeneity of the ERP patterns in the dyslexic group rendered group averaging irrelevant. The N170 wave sometimes overlapped with the P100 wavelength, but was also found to be negative or absent in some patients. In the course of development, N170 variations seem dependent on characteristics of the P100. No correlation was found between the variations of the N170 and clinical measures. Analysis of the P1-N1 temporal course showed a tendency to correlate with reading speed for the entire study population, yet not reaching statistical significance.

Interpretation: N170 variations during development and dyslexic pathologies are associated with P100 variations. The P1-N1 time course could reflect silent reading speed. The P1-N1 temporal course was linked with clinical measures in all three groups, which could reflect neurodevelopmentally-related variations of the heterogeneity of the N170 as well as a developmental pathology. Verbal stimuli permit us to test the N170 physiological heterogeneity during development but variations in response to easy tasks show low sensitivity of N170 as a marker of dyslexia.

Keywords: Event-related potentials; Reading; Children; Adolescent; P100; N170; P1-N1 wave

What this Paper Adds-Bullet Points

1. The P1-N1 temporal course appears as a better marker for development and reading automatization than N1 alone.
2. The level of complexity of visual stimuli is of critical importance for a good interpretation of N170 characteristics.
3. The P1-N1 temporal course may be associated with silent reading speed.

4. Our results question the usefulness of exploring the N1 wave alone and add new perspectives on the monitoring of learning abilities in dyslexic children.

Introduction

Reading is a human activity that develops as a consequence of genetic predispositions and a stimulating environment. In electrophysiology, variations in certain Event-Related Potentials (ERPs) in response to reading occur as a function of the paradigm

used. Waves may then reflect, allow to decompose or un-mask verbal and visual networks necessary for reading specialization [1]. The N170 wavelength appears as a marker of left-side lateralization as the organism matures and acquires reading competence [2]. Its characteristics depend on the reading expertise of the subject and are sensitive to phonological remediation [3]. Its latency, amplitude, and topography also vary as a function of reading exercises. Importantly, it shows inter-individual variability in every language tested [4].

During grapheme-phoneme conversion when learning the alphabet, the left hemisphere specializes in word recognition. This specialization appears refined when comparing ERPs elicited by words and consonant strings (pseudo-words).

N170 varies as a function of the quantity of lexical storage [5]. However, with augmenting lexical storage, N170 amplitudes increase only for long or more complex words. The amplitude of N170 varies also as a function of the expertise required to encode phono-alphabetic stimuli, which differentiates adult dyslexics from poor readers [6]. The stability of the N170 is highly dependent on methodological factors and the type of stimuli used, which renders its interpretation tricky.

In dyslexic children, neural tuning appears delayed and variations in amplitudes and latencies occur. Indeed, N170 characteristics of normal readers at 8 years of age were found in 11-year old dyslexic children [7]. For the least disabled, a certain form of cognitive economy was possible for frequent words, not different from normal readers but anomalies occurred for decoding processes depending on word length, word frequency and phonological regularity [8]. These results may depend on methodological factors such as the type of task used and the nature of the stimuli, even considering that acquisition and automatization of phono-alphabetic coding is dependent on bimodal invariance as proposed by Hebb's law [1]. Also, interindividual variability may be the result of the specialization of neural networks subtending visual selective attention required for reading and linked to those of oral language and sound representations [9]. In other words, it may reflect different neurodevelopmental stages reached by the children before they learn to read.

We previously demonstrated that the N170 response to simple visual stimuli occurred as a function of age [10]. In particular, while P100, P200, and P300 components of ERPs were much larger in adolescent than normal adult readers, no difference was observed for N170 and N230 wavelengths, perhaps due to the fact that the underlying neural tuning has already occurred before adolescence or to the relative easiness of the reading task [10]. Here, we describe the N170 variability in dyslexic adolescents (as compared to normal controls) with the same simple approach, aiming to identify specific N170 variations (as compared to P100, P200 and P300).

Methods

The project was approved by the local ethics committee. Experiments were undertaken at the Regional Center for Learning Disorders. The children were recruited among those consulting for learning problems. An informed consent form was signed by at least one parent. Seventeen dyslexic children were evaluated according to the same procedure as reported previously [10]. Fifteen controls were taken from the general population.

Experiments took place in a dedicated room. The lexical decision task was utilized. Tasks measured by EEG occurred in the dark to fixate the subject's attention on the computer screen. EEG electrodes were connected to an amplifier provided by tMSI (Oldenzaal, the Netherlands). ERPs were recorded with a flexible headset containing 32 electrodes distributed on the scalp according to the international 10-20 system first formulated by Jasper [11]. There were two IBM-compatible computers, one to provide stimuli and the other for data acquisition. The first sent and recorded stimuli via IPRIME software (version 2) and the second collected electrophysiological data or EEG amplified by an amplifier via ASA software (ASA 4.6, ANTNeuro, Enschede, the Netherlands). The impedance of each electrode was verified on ASA software.

For the lexical decision task paradigm, a list of words was presented to the subject as previously reported [10]. The list included words and pseudo-words such as Homo-Phones (HPs) and Written Pseudo-Logatoms (WPLs). HPs are pseudo-words that sound like a real word (e.g. in French « demin » instead of « demain » i.e. « tomorrow »). WPLs are pseudo-words that do not sound like a real word (e.g. « maisson » instead of « maison », i.e. « house »). HPs require an orthographic analysis and WPLs a phonologic analysis. Subjects silently read for 2 min while barring 6 misspelled words. The task consisted of deciding whether a word is real or not among 2-syllable 6-letter words and pseudo-words adapted by us from real words at the following site: www.manulex.org/fr/home.html. Reading speed and reading precision were measured.

Digit Symbol - Coding and Matrix Reasoning subtests of the Wechsler Intelligence Scale for Children-IV were also administered. During Digit-Symbol Coding, subjects copied symbols corresponding to numbers for 2 min, a measure of selective attention and information processing speed. During Matrix Reasoning, a partially filled grid was presented, which had to be completed in a logical manner, a measure of fluid intelligence.

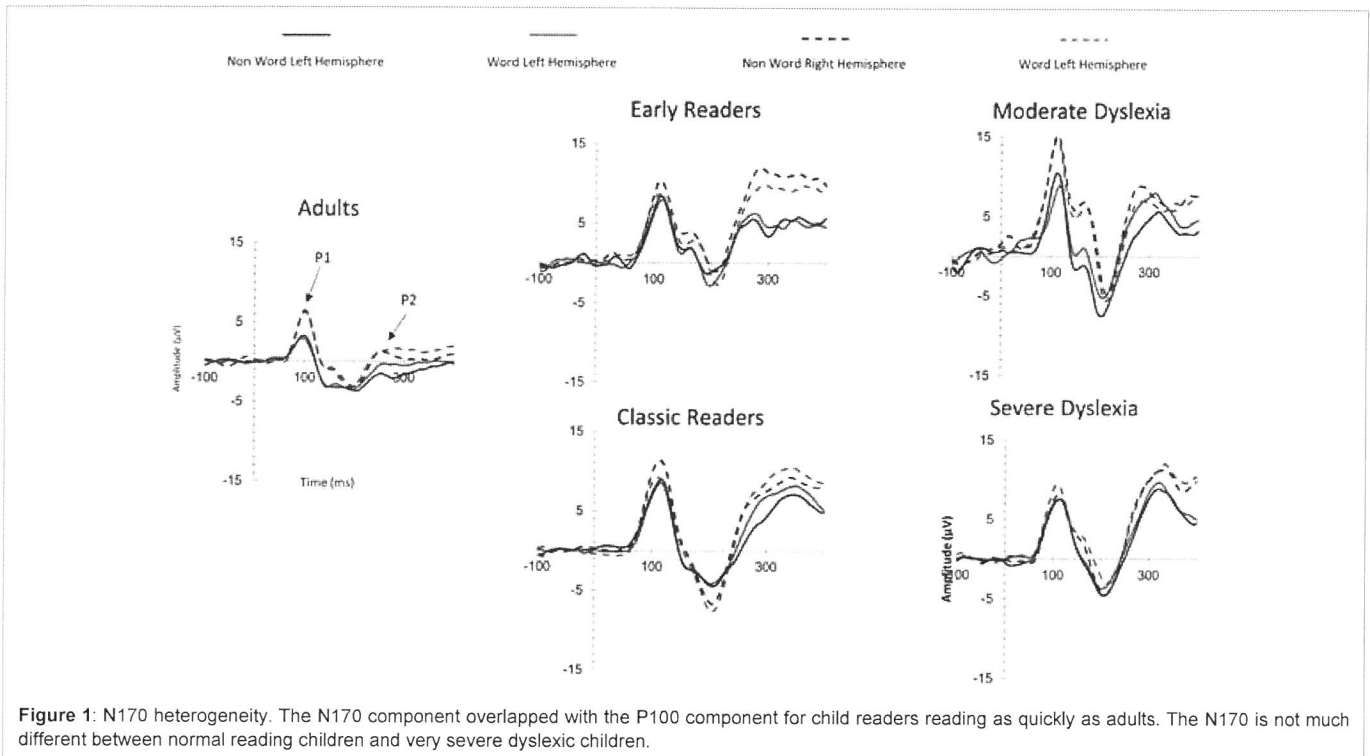
There were 40 blocks of verbal stimuli and a pause every 20 min. Recording and stimulus presentation started at 500 msec, the exposure time was 1 sec, and the maximal allowed time for responding 2 sec.

Statistical analysis

Statistics were run using the Statistica software (Statsoft, Tulsa, CA, US). Comparisons between psycholinguistics (matrices, codes, reading speed, reading precision, leximetry VL) was performed by ANOVA followed by post hoc analysis by Fischer exact test. A correlation between N170 value and reading speed was searched using Pearson's test.

Results

The results of sixteen dyslexic patients, 12,6±1 years-old (mean±SD), 8 boys, 8 girls, born at term, presenting with a mixed form of dyslexia, predominantly of the phonological type, at various levels of severity were exploited. Subject 17 was maintained in the analysis for all tests except the lexical decision task due to an incomplete compliance with the correct protocol. The group was compared with 15 normal readers (9 boys, 6 girls) controlled for age (13.4±1 years-old (mean±SD) and 17 normal-reading adults (22.8±2 years-old (mean±SD) 10 men, 7 women). Based on reading speed, subjects were subdivided into a severe form of dyslexia with 3 years



of schooling ($n=12$, 15.6 ± 1.88 years-old), a moderate form with 4 years of schooling ($n=4$, 31.25 ± 3.66 years-old), a standard form corresponding to their age level with 8 years of schooling ($n=10$, mean: 41.6, SD:2.06), a precocious form with 8 years of schooling ($n=5$, mean:60.6, SD:4.85), and an adult form with 11 years of schooling ($n=17$, mean: 67.31, SD:2.71). ANOVA revealed a global effect ($F(4;42)=119.2$; $p<0.001$) and paired comparisons revealed that each group differed from each ($p<0.01$) (Table 1) other except the precocious versus the adults at borderline level ($p<0.051$). Dyslexic subjects were at the lower standard level for the two WISC-IV subtests (Digit-Symbol Coding mean: 10 SD:1.5; Matrix Reasoning mean: 10 SD:1.5; For Matrix Reasoning (mean:12.4, SD:1.2) and Digit-Symbol Coding (mean:13, SD:1.44), precocious children were at the 75th percentile, at the adult level, whereas standard children were at the average level. As a whole, dyslexic subjects were inferior to precocious and adult subgroups but similar to standard children, as expected from the definition of the anomaly by the World Health Organization.

After eliminating artifacts ($-75\mu\text{V}$ to $+75\mu\text{V}$) and using grand averaging, we noticed patterns of interest at P7 (left temporo-parietal) and P8 (right temporo-parietal) electrodes during the lexical decision task for each participant. Irrespective of reading speed, patterns for children contained more positive components than those of adults. The N170 component was absent in severe dyslexia and overlapped the P100 component in some children irrespective of reading speed. The N230 component was always present between 200 and 230 ms. We observed heterogeneity of the N170 component in all groups (Figure 1). No significant difference was detected between N170 patterns in dyslexics and normal readers. Nevertheless, qualitative differences are observable in ERP

amplitudes and latencies as well as quantitative differences reflected in inter-individual patterns. We analyzed the positive and negative time course in the 80 to 200 msec range to understand heterogeneity of N170 characteristics (Figure 2). The deviation of the N170 wavelength amid the P100 in all groups performing lexical decisions indicated an association with reading speed in correlation analysis of Pearson test ($r=-0.48$). The point distribution shows variability in the latency of negativity within the 80-200 ms window in all groups but all the more late as the reading speed (VL) is low. In terms of reading expertise differentiating the groups, the latency distribution before onset of negativity is wider (Figure 3). These results are consistent with the presence of the N170 being superimposed on the P100 in all groups (inter-individual heterogeneity), more so in children. But topographic activity at the 80-200 ms temporal window was more informative in regard to reading activities (Figure 4). The activity of P1-N1 in the 80-200 msec window differentiated normal reading from dyslexic children. In sum, positive and negative activities appeared later and ampler in dyslexic than normal readers for reading simple words in the lexical decision task. The earlier-appearing and less ample positive and negative activities in normal reading children represent a tuning effect.

Discussion

In our entire sample, we report an association between reading speed and the P100-N170 time course as well as reading precision on ERPs, all the more so in dyslexic subjects. The N170 component was variable in these dyslexic subjects, as previously described [12]. Variations were masked by the grand averaging method even in normal samples. In non-dyslexic subjects with normal values for reading speed, there was overlap between P100 and N170 wavelengths. Our revealing the P1-N1 interaction may have been due to the fact

Table 1: Overall statistical results and two to two effect of the population for each test.

TEST	SC	Degré de	MC	F	p
VL	20378,78	4	5094,69	119,244	0,00
HP	3115,95	4	778,99	84,880	0,00
PLE	7022,40	4	1755,60	73,3525	0,00
PL	6691,3	4	1672,8	54,745	0,000000
LUM	21618,6	4	5404,7	45,798	0,000000
Code	135,872	4	33,968	4,5521	0,003817
Matrice	143,021	4	35,755	4,9172	0,002417
COMPARISON 2/2					
VL / silent Read speed					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,000004	0,000000	0,000000	0,010565
EP	0,000004		0,051506	0,000000	0,000000
AD	0,000000	0,051506		0,000000	0,000000
DS	0,000000	0,000000	0,000000		0,000169
DM	0,010565	0,000000	0,000000	0,000169	
LUM/ Oral Reading speed					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,628517	0,140724	0,000000	0,001362
EP	0,628517		0,096078	0,000000	0,011947
AD	0,140724	0,096078		0,000000	0,000027
DS	0,000000	0,000000	0,000000		0,000443
DM	0,001362	0,011947	0,000027	0,000443	
PLE/ Non- word					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,000557	0,000000	0,000000	0,072652
EP	0,000557		0,006590	0,000000	0,000030
AD	0,000000	0,006590		0,000000	0,000000
DS	0,000000	0,000000	0,000000		0,000513
DM	0,072652	0,000030	0,000000	0,000513	
HP/ Homophone					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,000008	0,000000	0,000000	0,020599
EP	0,000008		0,424810	0,000000	0,000000
AD	0,000000	0,424810		0,000000	0,000000
DS	0,000000	0,000000	0,000000		0,001408
DM	0,020599	0,000000	0,000000	0,001408	
COMPARISON 2/2					
PL / reading precision					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,066692	0,000145	0,000000	0,082115
EP	0,066692		0,209133	0,000000	0,003374
AD	0,000145	0,209133		0,000000	0,000015
DS	0,000000	0,000000	0,000000		0,000028

DM	0,082115	0,003374	0,000015	0,000028	
CODE					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,199587	0,300180	0,083002	0,205740
EP	0,199587		0,573129	0,008322	0,033544
AD	0,300180	0,573129		0,003464	0,040257
DS	0,083002	0,008322	0,003464		1,000000
DM	0,205740	0,033544	0,040257	1,000000	
MATRICE/ Matrices					
Reading level	EC Standard childs	EP Precocious Childs	AD Adults	DS severe Dyslexia	DM moderate dyslexia
EC		0,035989	0,011784	0,501212	0,554709
EP	0,035989		0,808200	0,008202	0,026847
AD	0,011784	0,808200		0,000992	0,015277
DS	0,501212	0,008202	0,000992		0,915257
DM	0,554709	0,026847	0,015277	0,915257	

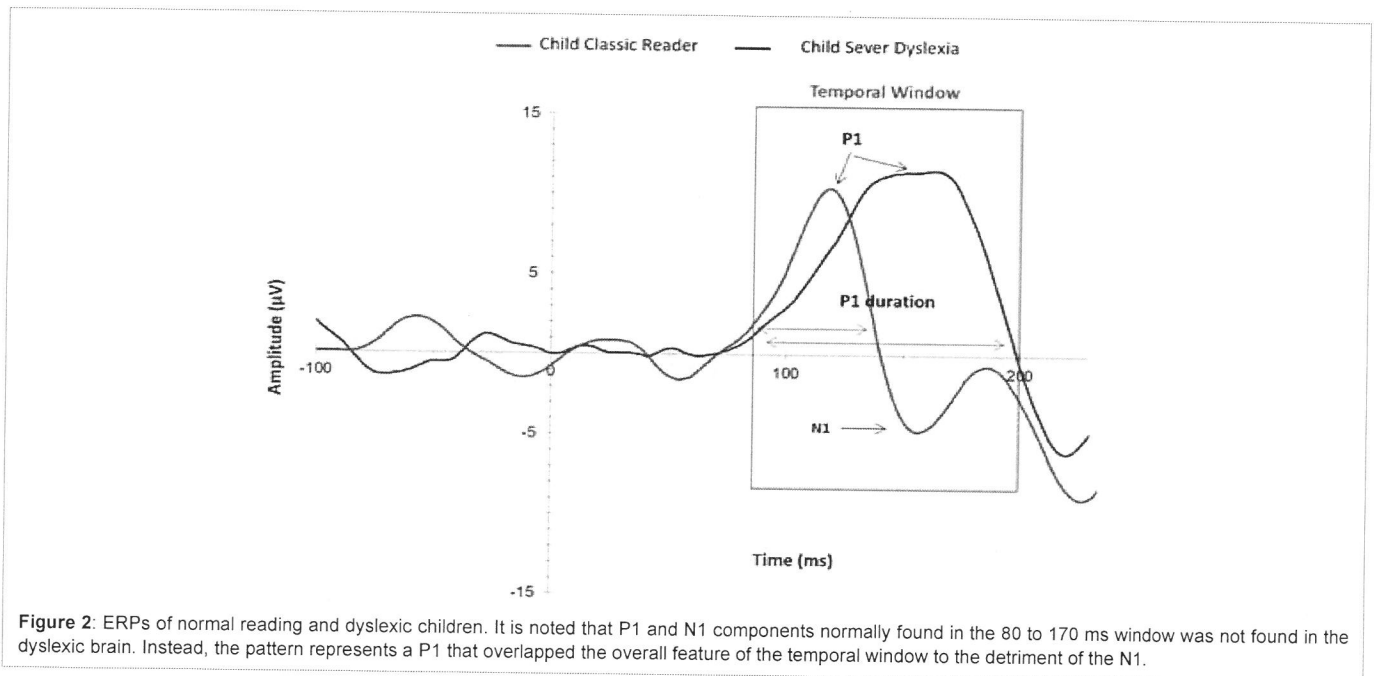


Figure 2: ERPs of normal reading and dyslexic children. It is noted that P1 and N1 components normally found in the 80 to 170 ms window was not found in the dyslexic brain. Instead, the pattern represents a P1 that overlapped the overall feature of the temporal window to the detriment of the N1.

that stimuli were easy to read even in 7-year-olds. The interaction seems age-related and linked with reading speed and possibly other functional variables. Hasko S showed a diminished area under the curve for the N170 component in developmental dyslexia only for words with false contrasts, interpreted as less efficient encoding relative to normal readers [13]. Our data take into account inter-subject N170 variability and agree with the hypothesis that the N170 wavelength varies along with the P100 wavelength and depends on the nature of verbal stimuli.

In addition to these two components, we observed the N230 in all our samples. The N230 wavelength is usually considered to reflect a sub-lexical encoding stage, its presence being explained by the use of our simple stimuli and the schoolwork accomplished by all subjects, including the severely dyslexic group, capable of retrieving common

words despite the P1-N1 variability. These results accord with the idea that the P1-N1 relation serves as a dynamic stimulus-dependent variable dependent on maturation. The use of homophones and pseudo-logatons is relevant in view of previous results presented by Eberhard-Moscicka *et al.* [14] who emphasized the importance of the use of homophones in lexical storage, utilizing a rapid lexical tract as well as phonologic sub-orthographic abilities, a top-down effect [15]. In this view, word learning is facilitated by sub-orthographic representations but also by a sufficient lexical storage [16].

The P1-N1 interaction likely develops with time, the P100 reflecting selective attention to visually specific stimuli along with a large N170 component, both diminishing in amplitude with age [17]. The N170 is identical for persons reading automatically accessible words and so does not vary as a result of selective attention. However,

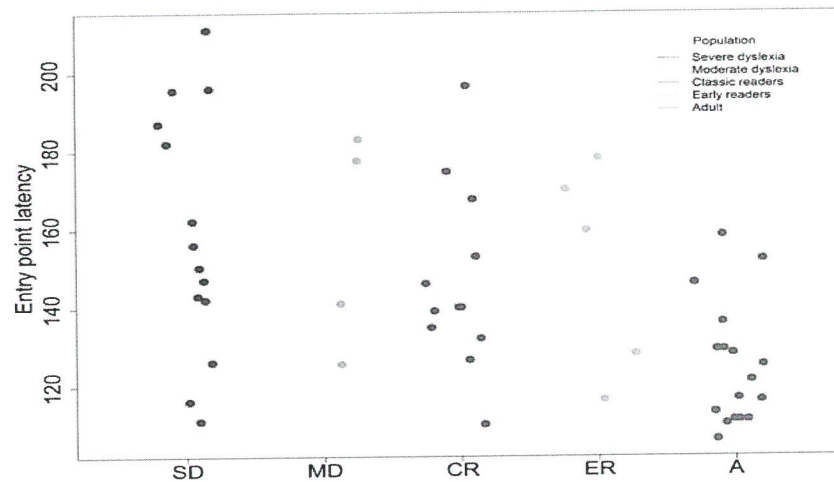


Figure 3: This point distribution shows a variability in the latency of negativity within the 80-200 msec window in all groups. There is an inverse correlation trend with reading speed. These results are consistent with the presence of the N170 being superimposed on the P100 in all groups (inter-individual heterogeneity), even more so in children.

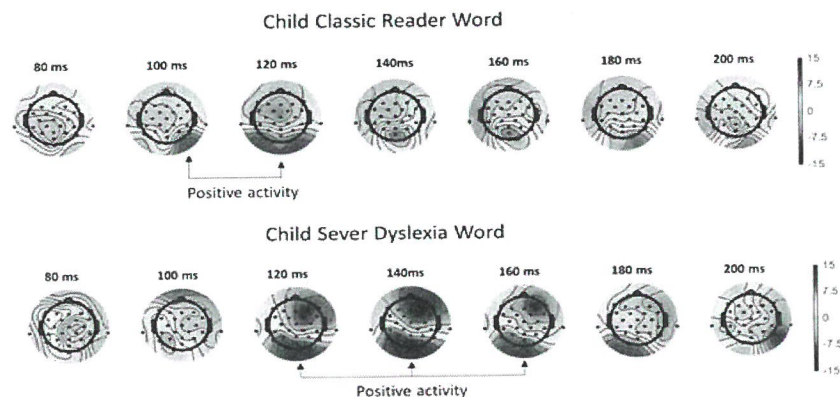


Figure 4: Positive and negative activities appeared later and ampler in dyslexic than normal readers for reading simple words in the lexical decision task. The earlier-appearing and less ample positive and negative activities in normal reading children represent a tuning effect.

it varies as a function of type of task used, so that the process of automatization may require both components acting together. This idea explains why the N170 wavelength may be mitigated or overlaps the P100 wavelength in slowly developing readers and why dyslexic subjects have a too ample N170 while reading.

The temporal course showed a tendency to be correlated with reading speed, including homophones and written pseudo-logatons. The natural evolution of the N170, specializing in automatic reading, always diminishes in amplitude and latency with age. Nevertheless, it seems independent of reading quality but rather dependent on early visual extractions underlying the P100 [18]. Thus, simple word reading in our three groups exposes a neurodevelopmental equilibrium between the P100 and the N170 to acquire automatization. These results should of course be evaluated with a larger sample of subjects as well as younger children with different types of reading problems, since the relatively small number of subjects per group limits our study as well as the small number of studies in which French-speaking subjects read very simple words. P1-N1 coupling may thereby serve as a neurodevelopmental marker of the quality of early reading skills independently of age and pathology. Some reports also indicate the

interdependence of P1-N1 coupling during reading exercises [19].

Conclusion

Simple word reading during lexical decisions revealed heterogeneous P1-N1 wavelengths on the EEG in phonetic dyslexic subjects that were associated with reading speed, as were normal young and adult readers. The P1-N1 temporal course provides the best estimate of superimposed neural activity and its dynamic relation with a neurodevelopmental disorder. P1-N1 coupling may explain in part inter-individual variability of the N170 by revealing its construction. This early temporal window permits us to test very quickly early visual extraction from words. Precocious children do not have adult ERPs but instead an N170 overlapping the P100. This original result should permit us to test the hypothesis whether simple words provide a strong contrast to unmask specialization of neural networks underlying the reading process. P1-N1 coupling may be seen as a neurodevelopmental marker of reading skill, since it appears at an early age (7/8 years) and occurs rapidly (<200 msec). The correlation between P1-N1 components reflects a top-down pattern during reading automatization. Analysis of this marker may

be extended to other populations such as pre-term subjects to explore neural tendencies during reading acquisition.

References

- Goswami U, Ziegler JC, Richardson U. The effects of spelling consistency on phonological awareness: a comparison of English and German. *J Exp Child Psychol.* 2005; 92: 345-365.
- Maurer U, Bucher K, Brem S, Benz R, Kranz F, Schulz E, *et al.* Neurophysiology in preschool improves behavioral prediction of reading ability throughout primary school. *Biol Psychiatry.* 2009; 66: 341-348.
- Jucla M, Nenert R, Chaix Y, Demonet JF. Remediation effects on N170 and P300 in children with developmental dyslexia. *Behav Neurol.* 2010; 22: 121-129.
- Yum YN, Law SP, Su IF, Lau KY, Mo KN. An ERP study of effects of regularity and consistency in delayed naming and lexicality judgment in a logographic writing system. *Front Psychol.* 2014.
- Perfetti C. Reading Ability: Lexical Quality to Comprehension. *Journal Scientific Studies of Reading.* 2007; 4: 357-383.
- Mahé G, Bonnefond A, Doignon-Camus N. Is the impaired N170 print tuning specific to developmental dyslexia? A matched reading-level study with poor readers and dyslexics. *Brain Lang.* 2013; 127: 539-544.
- Maurer U, Brem S, Bucher K, Kranz F, Benz R, Steinhausen HC, *et al.* Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain.* 2007; 130: 3200-3210.
- Mahé G, Doignon-Camus N, Dufour A, Bonnefond A. Conflict control processing in adults with developmental dyslexia: an event related potentials study. *Clin Neurophysiol.* 2014; 125: 69-76.
- Dehaene S, Cohen L, Morais J, Kolinsky R. Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nat Rev Neurosci.* 2015; 16: 234-244.
- Charollais A, Lempereur A, Simon V, Seraffin C, Lalonde R, Stumpf MH, *et al.* ERP variabilities as a function of reading maturation. *Neurophysiol Clin.* 2016; 46: 313-315.
- Klem GH, Luders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl.* 1999; 52: 3-6.
- Maurer U, Brem S, Bucher K, Brandeis D. Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *J Cogn Neurosci.* 2005; 17: 1532-1552.
- Hasko S, Groth K, Bruder J, Bartling J, Schulte-Körne G. What does the brain of children with developmental dyslexia tell us about reading improvement? ERP evidence from an intervention study. *Front Hum Neurosci.* 2014; 8: 441.
- Eberhard-Moscicka AK, Jost LB, Raith M, Maurer U. Neurocognitive mechanisms of learning to read: print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology. *Dev Sci.* 2015; 18: 106-118.
- Jost LB, Eberhard-Moscicka AK, Frisch C, Dellwo V, Maurer U. Integration of spoken and written words in beginning readers: a topographic ERP study. *Brain Topogr.* 2014; 27: 786-800.
- Gonzalez-Garrido AA, Gómez-Velázquez FR, Rodríguez-Santillán E. Orthographic recognition in late adolescents: an assessment through event-related brain potentials. *Clin EEG Neurosci.* 2014; 45: 113-121.
- Hasko S, Groth K, Bruder J, Bartling J, Schulte-Körne G. The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study. *Front Hum Neurosci.* 2013; 7: 570.
- Breznitz Z, Misra M. Speed of processing of the visual-orthographic and auditory-phonological systems in adult dyslexics: the contribution of "asynchrony" to word recognition deficits. *Brain Lang.* 2003; 85: 486-502.
- Cao F, Rickles B, Vu M, Zhu Z, Chan DH, Harris LN, *et al.* Early stage visual-orthographic processes predict long-term retention of word form and meaning: a visual encoding training study. *J Neurolinguistics.* 2013; 26: 440-461.

RESUME

Les populations d'enfants nés grands prématurés représentent 7% des naissances, soit 15 millions de bébés par an. Si le taux de mortalité et de paralysie cérébrale diminue dans les pays occidentaux, en France près de 40 % vont présenter des troubles neurodéveloppementaux. Au cœur de leurs difficultés, les échecs scolaires sont surreprésentés par rapport à des enfants nés à terme. Les apprentissages académiques sont souvent difficiles et la lecture est très souvent atteinte. Nous avons proposé, au sein d'un travail longitudinal en trois parties, d'analyser leur lecture par les potentiels évoqués. La lecture s'acquiert sur des compétences langagières et visuo-attentionnelles. Nous avons émis l'hypothèse qu'ils présenteraient des troubles moteurs à minima, qui selon la théorie motrice de la perception de la parole, gêneraient le développement de la phonologie. Nous avons, dans une première partie, au sein d'un PHRC national, inclus des enfants nés grands prématurés de 3 ans pour caractériser et stimuler leur langage oral. Nous les avons randomisés en un groupe rééduqué (n=87) et un bras groupe non rééduqué (n= 78) (LAMOPRESCO 1). Les résultats ont montré l'efficacité de la stimulation courte et protocolisée sur des aspects sensorimoteurs du langage à 4 ans. Les enfants rééduqués ont une meilleure progression de leur score en phonologie ($p=0.07$), et des scores significativement améliorés en lexique de réception ($p=0.027$) et de production ($p<0.01$), et en compréhension ($p<0.01$). Les scores de phonologie étaient corrélés à des scores moteurs, motricité fine et de latéralité ($p=0.019$). Nous avons au cours d'une seconde partie développé une méthodologie de PEV en lecture, avec des stimuli mots simples et contrastés dans l'hypothèse de distinguer la voie phonologique (« motrice ») de la voie visuelle. Les résultats de nos deux paradigmes de Décision Lexicale et d'Oddball, de notre population normative adulte (n=19) et enfants normo lecteurs de 12 ans (n=16), questionnent l'onde N170. Ce paramètre de choix, signant l'automatisation de la lecture nous permet de confirmer l'effet tuning et de considérer l'importance des stimuli. La population d'enfants appariés dyslexiques (n=16) enregistrée a permis de confirmer les fluctuations maturationnelles de l'onde N170 et de sa co-construction avec l'onde P100 attentionnelle. Le couple P1N1 semble être un marqueur neuro développemental précoce avant l'automatisation de la N170. Le décours temporel positif de P1N1 est corrélé ($p=-0.51$) pour l'ensemble des populations (n=48) de normo lecteurs et de dyslexiques à notre paramètre de leximétrie (VL). Au décours de cette deuxième partie, la N170, apparaît bien être la spécialisation et l'automatisation de la lecture experte, mais le couple P1N1 nous renseigne sur sa construction neurodéveloppementale par le biais d'un probable effet top down maturationnel sur la P100. La position de la N170, est positive chez 56% des enfants nés grands prématurés appariés (n=18) alors qu'on la retrouve chez 39% des enfants dyslexiques. En Oddball, la latence de la P300 mots cibles est corrélée à la leximétrie VL ($r=-0.39$) dans toutes nos populations étudiées. Ce résultat complémentaire, nous orientent vers l'importance de l'attention visuelle et la mémoire de travail particulièrement chez les enfants nés grands prématurés au cours de la spécialisation des neurones en lecture. Pour réaliser notre troisième partie qui est l'enregistrement par les PEVc de nos enfants de la première partie, maintenant âgés de 8 ans, nous avons simplifié nos stimuli mots. Nous avons enregistré de nouvelles populations normatives : adultes normo lecteurs (n=25), enfants appariés de 8 ans normo lecteurs (n=22) et enfants dyslexiques (n=11). Ils se différencient tous, par les paramètres hétérogènes de la N170. Dans le test de lecture en une minute (LUM), les enfants dyslexiques ont de moindres performances que les enfants nés prématurés (n=18) ($p=.01$), eux même différents des normo lecteurs. En DL, le taux de bonnes réponses (TBR) et le temps de réponse (TR) différencient les enfants nés prématurés des enfants dyslexiques ($p=.01$). En Oddball, les enfants nés grands prématurés rééduqués (n=8) se distinguent des enfants nés grands prématurés non rééduqués (n=9) sur le plan comportemental par de meilleurs TBR et des TR plus longs ($p=.01$). Les enfants non rééduqués ont une absence d'effet OB. Nous démontrons l'effet d'une rééducation à 4 ans en langage oral à court terme qui modifie les stratégies de lecture à 8 ans. Ces résultats devraient permettre de proposer des stimulations courtes et spécifiques en langage oral aux enfants nés prématurés, et d'analyser et suivre leurs acquisitions par les PEVc sur un plus grand effectif pour poursuivre notre compréhension intégrative du neurodéveloppement de la lecture.

Mots clés : prématurés, langage oral, PEV lecture, dyslexie, rééducation