



HAL
open science

Impact d'un accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal (AVCian) sur le développement de la lecture. Étude rétrospective de la cohorte AVCnn7ans

Anaïs Ridel

► To cite this version:

Anaïs Ridel. Impact d'un accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal (AVCian) sur le développement de la lecture. Étude rétrospective de la cohorte AVCnn7ans. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-02903499

HAL Id: dumas-02903499

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02903499>

Submitted on 21 Jul 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.



Normandie Université

MEMOIRE

Pour l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie

Préparé au sein du Département d'Orthophonie,

UFR Santé, Université de Rouen Normandie

Impact d'un accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal (AVCian)
sur le développement de la lecture :

Etude rétrospective de la cohorte AVCnn^{7ans}

Présenté et soutenu par

Anaïs RIDEL

Mémoire de recherche

Mémoire soutenu publiquement le 26 juin 2020

devant le jury composé de

DRUTEL Laure	Orthophoniste, Centre national de référence de l'AVC de l'Enfant, <i>Angers</i>	Directrice de Mémoire
RONDEAU Stéphane	Neuropédiatre, CHU Charles-Nicolle, <i>Rouen</i>	Président du Jury
GAILLARD Marie-José	Orthophoniste, Institut St Pierre, Palavas-les-Flots	Membre du Jury

Mémoire dirigé par Laure Drutel, Orthophoniste



REMERCIEMENTS

Ce mémoire représente l'aboutissement d'un travail de réflexion et de recherche qui a pu voir le jour grâce à l'investissement et la participation de nombreuses personnes auxquelles je souhaite adresser mes sincères remerciements.

Je remercie tout d'abord ma maîtresse de mémoire, *Laure Drutel*, pour le temps consacré à ce projet, pour son engagement et sa disponibilité, ses conseils éclairés et ses relectures avisées jusqu'à la toute fin.

Je remercie le *Professeur Stéphane Chabrier, Cyrille Renaud*, et les membres de l'étude AVCnn pour m'avoir accordé leur confiance dans le traitement de ces données. Merci pour le partage et les échanges constructifs dès ma première prise de contact.

Je remercie également le *Docteur Stéphane Rondeau et Marie-José Gaillard* d'avoir accepté de participer à mon jury de soutenance mais aussi de l'intérêt qu'ils ont porté à mon sujet.

Merci à *Madame Thill et Monsieur Gillibert* pour leurs réponses à mes questionnements méthodologiques et statistiques, et ce, même à distance.

Merci à mes maîtres de stage pour la transmission de leur passion, de leur savoir-faire et de leur savoir être au cours de ce cursus : Je remercie *Sylvie Clavier* qui s'est montrée très à l'écoute et compréhensive lors de cette année décisive.

Je remercie *Faustine, Léonore et Lucile* pour leur présence à mes côtés depuis la L1 ; et toute la promotion 2015 qui aura su rester soudée jusqu'au bout. Enfin, merci à mes proches et mes amis pour leur soutien infailible tout au long de ces 5 années.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Suivi de la cohorte AVCnn (Chabrier et al., 2016)	31
Figure 2: Co-occurrence des déficits (Chabrier et al., 2016).....	33
Figure 3 : Répartition des enfants selon leurs niveaux scolaires	40
Figure 4 : Appréciation des niveaux scolaires des enfants	40
Figure 5 : Profils de lecture à 7 ans	41
Figure 6 : Répartition des profils de lecture selon le sexe	41
Figure 7 : Répartition des profils de lecture selon le profil en langage oral	42
Figure 8 : Répartition des profils de lecture selon les performances en métaphonologie	42
Figure 9 : Répartition des profils de lecture selon la latéralisation de la lésion	43
Figure 10 : Répartition des profils de lecture selon le territoire.....	44
Figure 11 : Répartition des profils selon la présence d'épilepsie à 7 ans	44
Figure 12: Appréciation du niveau socio-économique en fonction du profil de lecture.....	45
Figure 13 : Profils de lecture après 10 mois minimum d'apprentissage.....	47

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des profils de lecture selon la localisation de la lésion	43
Tableau 2 : Paramètres de position du score NSE en fonction du groupe	45
Tableau 3 : Facteurs influençant l'accès à la lecture de texte	46
Tableau 4 : Facteurs influençant les performances en lecture des enfants ayant reçu un apprentissage	48

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
TABLE DES FIGURES.....	3
TABLE DES TABLEAUX.....	3
TABLE DES MATIERES	4
INTRODUCTION	8
PARTIE THEORIQUE	9
I - La lecture	9
1. Les mécanismes de la lecture	9
1.1 L'œil : point de départ du processus.....	9
1.2 Identification du mot écrit	9
1.3 Accès au sens	10
2. L'acquisition de la lecture	10
2.1 Un apprentissage explicite.....	10
2.2 Les modèles théoriques	11
2.2.1 La « Dual-Route Cascaded » Coltheart (2001)	11
2.2.2 Le modèle CDP et l'auto-apprentissage (Ziegler et al., 2013)	12
2.3 Facteurs de risque et de protection.....	12
3. L'organisation cérébrale du langage écrit.....	13
3.1 Le réseau cérébral de la lecture.....	13
3.2 VWFA et théorie du recyclage neuronal	15
3.3 Modifications secondaires à l'apprentissage de l'écrit	16
II - L'accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal	17
1. Présentation et caractéristiques de l'AVCian	17
1.1 Epidémiologie	17
1.2 Localisation	17
1.3 Diagnostic	18
1.4 Facteurs de risque	18
2. Les conséquences de l'AVCian	19

2.1	Epilepsie	19
2.2	Répercussions sur le plan moteur.....	19
2.3	Répercussions sur le fonctionnement cognitif.....	20
2.4	Conséquences langagières.....	21
2.5	Répercussions sur les fonctions visuelles.....	22
2.6	Conséquences sur le développement du langage écrit.....	22
3.	Une réorganisation du cerveau en développement.....	24
3.1	La plasticité cérébrale.....	24
3.2	L'âge : facteur protecteur ou de vulnérabilité	25
3.3	Réorganisation cérébrale du langage après une lésion précoce.....	25
3.4	Les effets de la plasticité sur le langage écrit et fonctions associées.....	27
III -	Problématique & hypothèses.....	29
METHODE	31
I -	Présentation de la cohorte AVCnn ^{7ans}	31
1.	Population de la cohorte AVCnn ^{7ans}	31
2.	Méthodologie de la cohorte AVCnn ^{7ans}	32
3.	Premiers résultats de la cohorte AVCnn ^{7ans}	33
II -	Poursuite du traitement des données.....	34
1.	Population.....	34
2.	Matériel.....	35
3.	Procédure.....	37
4.	Analyse des données.....	38
RESULTATS	40
I -	Résultats pour la cohorte (N=72)	40
1.	Scolarisation des enfants	40
2.	Niveau de lecture à 7 ans.....	41
3.	Association entre le profil de lecture et le sexe	41
4.	Lien entre le profil de lecture et le profil de langage oral	42

5.	Liens entre les performances en métaphonologie et le profil de lecture	42
6.	Lien entre le profil de lecture et les caractéristiques lésionnelles	43
6.1	Lecture et latéralisation hémisphérique	43
6.2	Lecture et localisation de la lésion	43
6.3	Lecture et territoire atteint	44
7.	Association entre le profil de lecture et la présence d'épilepsie	44
8.	Lien entre le profil de lecture et le niveau socio-économique	45
II -	Profil des non-lecteurs	46
III -	Contrôle du paramètre « apprentissage »	47
1.	Profil des enfants ayant reçu 10 mois d'apprentissage de la lecture	47
2.	Facteurs influençant les performances en lecture après apprentissage	48
	DISCUSSION	50
I -	Discussion des hypothèses au regard des résultats	50
1.	Niveau de lecture des enfants ayant subi un AVCian	50
2.	Le sexe : facteur de risque ?	51
3.	Corrélation entre le niveau de langage oral et le profil en lecture	52
4.	Association entre les scores en métaphonologie et le profil de lecture	53
5.	Corrélations entre les données lésionnelles et le profil de lecture	54
5.1	Impact de la latéralisation de la lésion	54
5.2	Impact de la localisation de la lésion	56
5.3	Influence du territoire lésé	56
6.	Corrélation entre la présence d'épilepsie et le niveau de lecture à 7 ans	57
7.	Le niveau socio-économique : facteur de risque ou de protection ?	58
8.	Validation de notre hypothèse principale	59
II -	Limites et apports de notre étude	61
1.	Les limites de notre projet	61
1.1	Limites liées à la population	61

1.2	Limites liées au matériel	61
1.3	Limites liées aux facteurs recherchés	62
2.	Apports de notre étude	63
2.1	Plus-value de notre étude.....	63
2.2	Apport pour la clinique	63
2.2.1	Accompagnement précoce	63
2.2.2	Suivi sur le long terme	64
2.3	Perspectives et ouverture.....	64
	CONCLUSION	67
	ANNEXES.....	79
I -	ANNEXE A : DRC : Dual Route Cascaded model : Modèle de lecture à double voie – (Coltheart et al., 2001)	79
II -	ANNEXE B : Illustration du modèle « Connectionist Dual Process » : décodage phonologique et mécanisme d’auto-apprentissage. (Ziegler et al., 2013)	80
III -	ANNEXE C : Architecture cérébrale de la lecture – (Dehaene, 2015).....	81

INTRODUCTION

L'Accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal qui est l'objet de notre étude est une pathologie rare qui vient interrompre brutalement le processus développemental en venant impacter la maturation du cerveau « en construction ». Alors que l'AVC chez l'adulte est largement documenté, la recherche sur l'AVC pédiatrique et néonatal reste en comparaison peu développée. Si des études se sont intéressées au devenir moteur et cognitif de ces enfants, peu ont cherché à investiguer le développement de la lecture, une fonction déterminante dans le parcours scolaire et l'évolution cognitive de l'individu.

Par ailleurs, l'étude d'une population ayant subi une atteinte cérébrale précoce permet d'explorer l'étendue et les limites de la plasticité cérébrale sur un cerveau immature et vulnérable, mais capable de s'adapter pour préserver certaines fonctions. Mais ce phénomène de plasticité cérébrale peut-il profiter aux fonctions du langage écrit qui émergent et se développent à distance de l'AVC ?

Le projet AVCnn^{7ans} est un protocole national de recherche mené par l'équipe du Pr. Chabrier du Centre de référence national de l'AVC de l'enfant qui a pour objectif d'observer l'évolution des compétences motrices, cognitives et la qualité de vie sur le long-terme de 100 nouveau-nés ayant subi un AVCian. Nous avons, au cours de notre étude rétrospective, analysé les performances en lecture de ces enfants à l'âge de 7 ans.

Dans une première partie théorique, nous aborderons la lecture, ses mécanismes, les étapes de son acquisition et l'organisation cérébrale de cette fonction, puis nous évoquerons les caractéristiques de l'AVCian, ses répercussions dans les différents domaines et les phénomènes de réorganisation cérébrale pouvant intervenir suite à cet incident. Dans une seconde partie pratique, nous analyserons les compétences en lecture des enfants de la cohorte AVCnn^{7ans} et les différentes variables neuro-développementales corrélées à ces performances. Enfin, nous discuterons ces résultats au regard de la théorie afin de répondre à notre problématique et d'envisager des perspectives pour le suivi de ces enfants.

PARTIE THEORIQUE

I - LA LECTURE

L'entrée dans le langage écrit nécessite l'apprentissage d'un nouveau code qui entretient des relations étroites avec le code oral. Alors que le langage oral s'acquiert par immersion et au gré des interactions et des sollicitations environnementales grâce à un héritage phylogénétique issu de notre évolution, le langage écrit nécessite un enseignement et un apprentissage explicite.

1. Les mécanismes de la lecture

1.1 L'œil : point de départ du processus

Le traitement visuel constitue le premier niveau de traitement pour la lecture : au niveau de l'œil, seule la fovéa, au centre de la rétine, est impliquée dans la lecture car elle est sensible aux détails des lettres. C'est une région étroite, l'information visuelle est ainsi acquise au cours de brèves périodes de fixation séparées par de petits mouvements oculaires discrets, les saccades. Chez le lecteur expert, 7 à 9 lettres sont perçues par fixation oculaire. Un traitement cérébral des informations sera ensuite nécessaire pour reconnaître la chaîne de lettres et lui associer le code correspondant. L'œil est organisé de manière à ce que la taille des caractères n'influence pas la discrimination et la performance en lecture (Kliegl et al., 2006).

1.2 Identification du mot écrit

Une fois analysé visuellement, le mot est ensuite traité pour être identifié. L'étape de décodage permet de décomposer l'item visuel en sous-unités de tailles variables et d'associer ces segments à des formes sonores. Les lettres sont transformées en sons qui sont ensuite associés pour accéder au sens du mot lu. Plus le lecteur est confronté à l'écrit, plus la reconnaissance du mot est rapide. Au début de l'apprentissage, l'enfant applique les correspondances lettres-sons de façon explicite, une par une, à la lecture d'un mot. Cette lecture est dite « sérielle ». Par la suite, le décodage s'automatise et le lecteur s'appuie sur des connaissances implicites, rapides et non-conscientes. C'est la lecture « parallèle ». Toutes

les lettres des mots sont traitées simultanément ce qui donne l'illusion d'une lecture globale (Cohen et al., 2008).

1.3 Accès au sens

L'activité de lecture peut être résumée à l'équation suivante : Lecture = Identification x Compréhension (Gough et al., 1986). L'accès au sens représente la finalité de l'acte de lecture. La compréhension est une activité complexe de haut niveau qui nécessite que les tâches de « bas niveau » de déchiffrage soient automatisées pour libérer des ressources cognitives et notamment attentionnelles. Pour comprendre ce qu'il lit, le lecteur doit mobiliser des connaissances antérieures, particulièrement au niveau lexical, ainsi que ses capacités mnésiques, attentionnelles et exécutives pour traiter les informations explicites et implicites contenues dans un texte. Des capacités de raisonnement sont également nécessaires pour les traitements langagiers plus complexes (Fayol, 2017). Pour parvenir à cela, le lecteur expert peut moduler sa vitesse de traitement et mobiliser des stratégies (relecture, retour en arrière) pour assurer sa compréhension.

2. L'acquisition de la lecture

L'acquisition de la lecture repose sur certains prérequis tels que le contrôle attentionnel du traitement de l'information visuelle, les capacités oculo-motrices, la mémoire de travail, la compréhension du principe alphabétique, la conscience phonologique, et les compétences en langage oral, avec notamment la richesse du vocabulaire (Verhoeven et al, 2011).

2.1 Un apprentissage explicite

Dans nos cultures occidentales, les enfants sont dès leur plus jeune âge, confrontés à l'écrit par le biais des enseignes de publicité, des journaux, des livres. A 4 ans, ils comprennent que l'écrit est linéaire et qu'il se lit de gauche à droite pour le système francophone. Ils savent rapidement qu'il est constitué de lettres séparées par des espaces. Les enfants découvrent également seuls la relation entre une forme écrite et un référent. En revanche, le principe alphabétique nécessite un enseignement explicite avec l'apprentissage des correspondances lettres-sons : l'enfant non-lecteur doit intégrer que l'écrit ne code pas directement le sens mais l'oral, les sons. Progressivement, avec la pratique et l'instruction, l'enfant prend

conscience de l'ensemble des phonèmes de sa langue et de leurs associations avec les graphèmes de son système orthographique (Fayol, 2017).

Dans un guide publié en 2019, le Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse explique que l'enfant doit être capable, en fin de CP, de discriminer les phonèmes de sa langue et de réaliser des manipulations simples sur les syllabes et les phonèmes (retrait, ajout, substitution, déplacement...). Par ailleurs, l'élève doit « parvenir à un déchiffrage aisé et à une réelle automatisation de l'identification des mots à la fin du CP », suite à un apprentissage du décodage phono-alphabétique. Cela représente « la condition indispensable à la bonne compréhension d'un texte » (BO n°3, 3 avril 2018).

2.2 Les modèles théoriques

2.2.1 *La « Dual-Route Cascaded » Coltheart (2001)*

L'hypothèse de la double voie rend compte du fonctionnement de l'identification des mots écrits (Annexe A). Selon cette conception, 2 modalités de traitement coexistent : la voie indirecte ou d'assemblage, permet de décomposer l'item visuel en sous-unités pour les associer à des sons puis de les assembler pour aboutir à la forme sonore du mot ou du pseudo-mot. Cette voie permet notamment de déchiffrer des mots réguliers et est principalement utilisée dans l'identification des mots-nouveaux. La voie directe, lexicale ou d'adressage, permet quant à elle de mettre en correspondance la chaîne de lettres présentée visuellement avec une forme abstraite récupérée en mémoire au sein d'un lexique orthographique, pour accéder au sens. Ce lexique orthographique contiendrait les informations orthographiques, phonologiques et sémantiques relatives aux mots et serait organisé en fonction de leur fréquence d'apparition (Coltheart, 2005). Cependant, l'idée d'une utilisation préférentielle de l'une des deux voies de lecture en fonction du type de mot ou la successivité de leur acquisition fait débat. En effet, pour certains, une médiation phonologique serait obligatoire, le langage écrit étant un sous-système du langage oral. Pour d'autres, le passage par le décodage phonologique est caractéristique du lecteur débutant alors que la voie directe serait utilisée de façon privilégiée par le lecteur expert. Un consensus se dégage désormais : les deux voies de lecture existent mais seraient activées simultanément chez le lecteur expert.

Si ce modèle permet une bonne compréhension des mécanismes impliqués dans la lecture, des modèles connexionnistes sont aujourd'hui plus largement documentés dans la littérature scientifique et permettent de modéliser le fonctionnement cérébral pour rendre compte du processus d'acquisition de la lecture.

2.2.2 Le modèle CDP et l'auto-apprentissage (Ziegler et al., 2013)

Perry, Zorzi et Ziegler ont proposé le modèle CDP (connectionnist dual process) qui reprend les principaux composants des conceptions connexionnistes dites « computationnelles » plus anciennes : il comprend un processeur non-lexical associant les graphèmes et les phonèmes et un processeur lexical qui active un réseau interactif entre la représentation phonologique et orthographique (Annexe B).

Dans un premier temps, l'enfant dispose, du fait de ses compétences en langage oral, de représentations phonologiques associées à des représentations sémantiques. Le développement de la lecture commence par l'apprentissage explicite des correspondances grapho-phonémiques. En décodant le mot, le lecteur va le prononcer et activer sa représentation phonologique, une connexion directe s'établit alors entre celle-ci et la représentation orthographique. La mise en lien avec une représentation signifiante disponible dans son lexique, permettra ensuite au lecteur d'accéder au sens de ce qu'il a déchiffré. En retour, les représentations phonologiques du mot lu seront reprécisées, permettant d'améliorer les mécanismes du processeur non-lexical. Cette boucle d'auto-apprentissage permet, selon l'hypothèse du « phonological decoding self-teaching » (PDST), le développement du lexique et de l'orthographe. Un nombre relativement faible d'expositions pourrait être suffisant pour acquérir les représentations orthographiques des mots. Une fois que le décodage est automatisé, tous les mots lus vont créer une entrée au sein du lexique orthographique qui sera renforcée à chaque rencontre du même mot. Il est donc important que les enfants traitent les mots dans différents contextes.

2.3 Facteurs de risque et de protection

La prévalence des troubles du langage écrit en France est estimée entre 6 et 8% selon les données de l'INSERM en 2007. Fluss et collaborateurs, en 2008, ont quant à eux mis en

évidence un taux de 12,7% d'enfants présentant un retard dans l'apprentissage du langage écrit en début de cycle élémentaire. Certains prédicteurs, identifiables dès la maternelle, comme l'identification des lettres, la conscience phonologique ou encore les capacités de dénomination rapide (Castel et al., 2008 ; Alonzo et al., 2020) renseignent sur la probabilité de réussite dans l'acquisition de la lecture ultérieure. Plusieurs facteurs pouvant influencer le niveau en lecture sont décrits dans la littérature.

Le langage écrit est considéré comme un système second du langage oral. Comme vu précédemment, l'acte de lecture consiste en la mise en correspondance d'un symbole visuel avec une représentation phonologique et sémantique. Son acquisition est donc fortement liée à la maîtrise du langage oral notamment l'étendue du vocabulaire et la qualité des connaissances phonologiques. Les représentations phonologiques de l'enfant doivent être suffisamment précises pour faciliter la mise en place des correspondances graphèmes-phonèmes (Zesiger et al., 2004).

D'autres facteurs socio-environnementaux peuvent influencer le niveau de lecture tels que la méthode d'enseignement ou le niveau socio-économique et culturel. « Les risques de troubles de l'apprentissage de la lecture sont environ 10 fois plus élevés chez les enfants des zones défavorisées par rapport à ceux des zones favorisées » (Fluss et al., 2009). L'INSERM en 2007 se base sur les études épidémiologiques pour rapporter que les difficultés en lecture seraient 1,5 à 3 fois plus fréquentes chez les garçons que chez les filles. Le CNESCO lors de la conférence de consensus « Lire, comprendre, apprendre » de 2016 rapporte de meilleurs résultats en lecture pour les filles et ce, tout au long de leur scolarité.

Des facteurs individuels, sensoriels, cognitifs, développementaux et environnementaux peuvent donc influencer les performances en lecture.

3. L'organisation cérébrale du langage écrit

3.1 Le réseau cérébral de la lecture

Dans un premier temps, la vision d'un mot écrit active les régions occipitales bilatérales associées aux étapes précoces de la vision. Le cortex occipital reçoit les afférences des aires

visuelles primaires. Le cortex pariétal postérieur assure l'intégration visuo-motrice de l'objet dans l'espace alors que le cortex préfrontal mémorise, inhibe et anticipe les saccades pour amener la partie du mot à identifier sur la fovéa. Tous les stimuli doivent, après le traitement visuel cortical être transférés dans l'hémisphère gauche, siège du processus d'identification des mots écrits. Pour les stimuli présentés dans l'hémichamp gauche et traités par le cortex occipital droit, leur identification nécessite un corps calleux intègre pour le transfert des informations (Cohen et al., 2000). L'information écrite va ensuite être identifiée par une région, commune à tous les êtres humains lettrés, l'aire de la forme visuelle des mots ou VWFA, située sur le flanc du sillon occipito-temporal, dans l'hémisphère gauche. Elle s'active systématiquement au cours de la lecture et joue un rôle clé pour reconnaître les mots.

Pour transformer les lettres en sons, les régions supérieures du lobe temporal gauche, impliquées dans l'analyse des sons de la parole, ainsi que le cortex frontal inférieur et précentral gauche qui intervient dans l'articulation, sont sollicités. Le planum temporale, région supérieure du lobe temporal, « apprend » progressivement à reconnaître les correspondances entre la sonorité et l'apparence des lettres. La conversion de chaînes de lettres plus complexes requiert un traitement sériel, lettre après lettre ou syllabe après syllabe mobilisant la région pariétale inférieure et précédant l'activation d'une partie de l'aire de Broca. Ce circuit s'active lorsque nous prononçons mentalement les mots. Cette boucle articulaire interne pourrait jouer un rôle essentiel.

Lorsque l'enfant apprend à lire et applique les correspondances graphème-phonème, il emploie une lecture sérielle. Lors de cette phase de décryptage des lettres une à une, une région du cortex pariétal est activée et va jouer un rôle transitoire dans le recrutement des ressources attentionnelles pour l'apprentissage de la lecture. A mesure que le décodage s'automatise, l'enfant va s'appuyer sur des connaissances implicites, rapides et non conscientes correspondant à une lecture parallèle. La VWFA est assez efficace pour permettre à l'enfant de reconnaître l'organisation de lettres en parallèle quel que soit leur nombre, ce qui donne l'impression d'une lecture globale. Le temps de lecture est de moins en moins dépendant du nombre de lettres des mots (Cohen et al., 2008).

L'analyse du sens des mots emprunte un réseau distinct. Ce circuit n'est pas spécifique au traitement des mots écrits mais est également sollicité lors de tâches sémantiques à l'oral. Il

repose sur un vaste réseau de neurones distribués dans les régions temporales moyennes et frontales gauches.

3.2 VWFA et théorie du recyclage neuronal

L'aire de la forme visuelle des mots VWFA, aussi appelée « boîte aux lettres » est une région du cortex visuel ventral gauche située en profondeur du cortex occipito-temporal. Elle est entourée d'une mosaïque de régions spécialisées dans la reconnaissance des objets, des visages, des lieux, ou encore des outils, ce qui explique sa sensibilité pour le traitement visuel fin et son rôle clé dans la reconnaissance invariante des lettres et des graphèmes : elle permet de dire que deux représentations graphiques (lettre, mot), variant sur la forme, correspondent au même concept. Cette aire est sensible à l'agencement des lettres et aux régularités orthographiques en internalisant la fréquence d'apparition des graphèmes de façon conjointe. La VWFA concentre donc l'ensemble des connaissances nous permettant de reconnaître très rapidement les mots (Vinckier et al., 2007).

Cette aire est identifiable grâce à l'IRM au même endroit, chez tous les lecteurs, dans toutes les cultures, et apparaît sur les imageries après apprentissage de la lecture. Avec l'acquisition de la littéracie, la VWFA recycle ainsi un site initialement dévolu à d'autres fonctions ce qui les force à se développer par la suite dans l'hémisphère controlatéral (Monzalvo et al., 2012 ; Dehaene-Lambertz et al., 2018). Elle émerge immédiatement à sa localisation finale et est latéralisée très rapidement, dans les 2 à 4 premiers mois de scolarisation chez 8 enfants sur 10 (Dehaene-Lambertz et al., 2018). La vitesse à laquelle les réponses spécifiques aux mots émergent chez des enfants de 6 ans indiquerait un fort degré de plasticité au sein du cortex visuel ventral occipito-temporal chez l'enfant. Cette région est en maturation jusqu'à l'enfance tardive.

La localisation systématique de la VWFA dans cette région pourrait être liée à sa proximité avec les aires du langage situées dans l'hémisphère gauche afin de favoriser le développement d'un vaste réseau de langage (Saygin et al., 2016).

3.3 Modifications secondaires à l'apprentissage de l'écrit

La littéracie améliore également l'organisation des cortex visuels. L'exposition à l'écrit permet, en plus de l'activation de la VWFA, une augmentation des réponses visuelles primaires dans le cortex occipital (Dehaene et al., 2010). Elle vient également affiner le traitement du langage oral en activant le réseau associé à sa production et en renforçant le planum temporale qui est impliqué dans le codage phonologique de la parole. D'un point de vue structurel, cette région est asymétrique, sa surface étant plus étendue dans l'hémisphère gauche que dans l'hémisphère droit. L'activation du planum temporale est réduite chez les sujets dyslexiques, ce qui peut signifier la conséquence d'une acquisition anormale de la lecture (Dehaene et al., 2010). L'alphabétisation permet ainsi de mieux prendre conscience des phonèmes. Les compétences phonologiques sont donc re-spécifiées grâce à l'entrée dans l'écrit.

A l'inverse, la VWFA peut être activée pendant le traitement de la parole même dans une tâche de décision lexicale qui ne requiert pas de processus orthographique. Un code orthographique peut être activé à l'écoute d'un mot : nous visualisons la forme orthographique de ce que nous percevons auditivement (Dehaene et al., 2010).

Enfin la lecture semble modifier structurellement les connexions cérébrales telles que le faisceau arqué gauche qui relie le gyrus frontal inférieur (aire de Broca) et le gyrus temporal supérieur (aire de Wernicke), et qui apparaît mieux structuré chez les lecteurs (Thiebaut de Schotten, et al., 2014).

Ainsi, la lecture apparaît comme une fonction complexe, qui nécessite de bonnes capacités visuelles, visuo-spatiales, phonologiques, lexico-sémantiques, attentionnelles, mnésiques ou encore exécutives, sous-tendue par un réseau cérébral étendu (Annexe C). En cas d'atteinte cérébrale précoce, en quoi le développement de cette fonction peut-il être impacté ? La seconde partie ciblera les caractéristiques de l'accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal, les mécanismes de neuroplasticité mis en œuvre dans la récupération de cette lésion cérébrale et ses conséquences sur le développement de la lecture.

II - L'ACCIDENT VASCULAIRE CEREBRAL ISCHEMIQUE ARTERIEL NEONATAL

1. Présentation et caractéristiques de l'AVCian

L'AVC ischémique artériel néonatal ou AVCian est une pathologie rare qui survient à la suite de l'occlusion d'une artère cérébrale entre la naissance et le 28^e jour post-natal. C'est un type particulier d'AVC périnatal, ce dernier étant la forme la plus fréquente d'AVC chez l'enfant.

1.1 Epidémiologie

Une méta-analyse effectuée par la société française de néonatalogie et le Centre national de référence de l'AVC de l'enfant, estime la prévalence de l'AVCian à approximativement 1 pour 5000 naissances en incluant uniquement les nouveau-nés à terme ou proches du terme (Saliba et al., 2017). L'incidence de l'AVC néonatal reste sous-estimée en raison de la variété des tableaux cliniques et de la difficile pose de diagnostic. Le taux de mortalité néonatale est d'environ 2% (Kirton et al., 2011) mais il n'existe pas de lien causal directement lié à l'AVC. La récurrence après un AVCian est estimée à environ 1 à 2% et affecte principalement les nouveau-nés sujets à des facteurs de risques tels qu'une maladie cardiaque congénitale.

1.2 Localisation

Les études portant sur une population d'enfants ayant subi un AVCian démontrent des incidences similaires concernant la localisation cérébrale de la lésion. 68 à 70% des lésions seraient isolées. 21 à 24 % des enfants ont des lésions bilatérales. On retrouve pour plus de la moitié une atteinte préférentielle de l'hémisphère gauche (47 à 51%) (Grunt et al., 2015) alors que 25 à 32% des enfants présentent une lésion circonscrite à l'hémisphère droit (Kirton et al., 2011 ; DeVeber et al., 2017). L'artère cérébrale moyenne (ACM) est principalement touchée, dans 90% des cas pour l'étude de Wagenaar et collaborateurs en 2018, avec une importante proportion d'atteintes dans la région postérieure au sillon central (Stephane-Otto et al., 2017). Les AVC « perforateurs » affectant les structures profondes du cerveau sont plus rares mais probablement sous-diagnostiqués. Plus fréquemment associés à une atteinte corticale, ces lésions mixtes donnent lieu à un pronostic défavorable (Fluss et al., 2019).

1.3 Diagnostic

L'AVCian se manifeste classiquement par l'apparition de crises cloniques monofocales, répétitives et unilatérales, entre le 1^{er} et le 3^e jour de vie d'un enfant sans autre symptôme clinique apparent (Fluss et al., 2019. ; Cneude et al., 2017). Des manifestations très atypiques sont également décrites : mouvements moteurs automatiques oro-bucco-linguaux, mouvements oculaires anormaux, manifestations végétatives (Saliba, et al. 2017). Kirton et son équipe (2011) recensent d'autres symptômes cliniques tels que des anomalies du tonus ou des troubles de la conscience. Des signes d'encéphalopathie comme la léthargie, l'hypotonie, ou des difficultés alimentaires peuvent également être présents. Ces symptômes imposent le plus souvent une hospitalisation en unité de soins intensifs ou de réanimation néonatale. Pour que le diagnostic soit posé, des changements caractéristiques d'une lésion vasculaire doivent être observables sur une imagerie cérébrale. Néanmoins, certains nouveau-nés ne manifestent pas de symptôme conduisant à la réalisation d'une imagerie ou les imageries réalisées peuvent ne pas être assez sensibles pour détecter un AVC ischémique aigu, ce qui complique le diagnostic. L'utilisation de l'IRM est ainsi fortement recommandée pour identifier l'AVCian le plus tôt possible et évaluer l'étendue de la lésion.

1.4 Facteurs de risque

La plupart des études convergent vers une origine multifactorielle de l'AVCian. L'analyse de 6 études de cas-contrôle recueillant 22 observations d'AVCian a permis de décrire 4 groupes de facteurs de risque qui ressortaient avec une forte homogénéité (Saliba et al., 2017) : le sexe masculin, certaines caractéristiques obstétricales telles que la primiparité ou une césarienne, l'hypoxie per partum et les infections materno-fœtales ou néonatales telles que les méningites bactériennes. Les troubles de la coagulation (thrombophilie) parfois consécutifs à certaines infections chez la mère ou le nouveau-né peuvent être associés à un risque plus accru de thrombose pendant la grossesse (Lynch, 2009). Les complications liées à la grossesse et l'accouchement ne sont pas rares chez les mères des enfants ayant subi un AVC néonatal (Fluss et al., 2019). Les troubles cardiaques sont décrits comme des facteurs de risque d'AVC ischémique chez les nouveau-nés puisqu'ils peuvent mener au développement d'un thrombus intracardiaque pouvant migrer jusqu'au cerveau. Les nouveau-nés présentant une maladie

cardiaque congénitale sont à risque de faire un AVC avant ou après la chirurgie réparatrice. Le risque est accru lorsque les facteurs et les événements per-partum sont cumulatifs.

2. Les conséquences de l'AVCian

Les déficits décrits dans les études sont variables en fonction du type d'AVC, de la taille et de la durée de suivi des cohortes étudiées. Toutes les fonctions neurologiques peuvent être impactées par l'AVCian. Ces conséquences peuvent être directement liées aux territoires lésés ou secondaires à un manque d'expérimentation sensori-motrice pouvant contraindre le développement des fonctions cognitives (Vuillerot et al., 2017). La littérature ciblant les AVCian étant peu étoffée, notre recherche a été étendue aux AVC ischémiques artériels périnataux lorsque cela était nécessaire.

2.1 Epilepsie

Le risque d'épilepsie est majoré après un AVC périnatal et serait encore plus élevé pour les enfants ayant subi une lésion ischémique. L'étude de Kirton et de Veber en 2013 fait état d'un taux pouvant varier entre 15 et 54%. Ce taux est plus faible d'après les dernières études de cohorte spécifiquement centrées sur les AVCian avec un pourcentage de 9% à 2 ans pour le Swiss Neuropaediatric Stroke Registry (Grunt et al., 2015) et de 11 % à 7 ans pour la cohorte française AVCnn (Chabrier et al., 2016). L'apparition de séquelles cognitives, notamment sur des mesures de QI et de langage, est corrélée à la présence d'épilepsie (Ballantyne et al., 2008 ; Chabrier et al., 2016 ; Wagenaar et al., 2018). Elle viendrait altérer de façon significative le développement cognitif et limiter les effets de la plasticité.

2.2 Répercussions sur le plan moteur

L'AVCian est une cause majeure de développement d'une paralysie cérébrale unilatérale, dont on estime la prévalence entre 25 et 50 % (Kirton et al., 2013).

Les troubles moteurs sont cependant moins fréquents après un AVCian comparé à d'autres AVC périnataux. Pour l'AVC néonatal, les symptômes concernent majoritairement les membres supérieurs et sont corrélés à la topographie de la lésion. Ces déficits moteurs apparaissent généralement au cours de la première année. Une asymétrie est alors observable

lorsque l'enfant commence à attraper et utilise préférentiellement un membre plutôt que l'autre. Une atteinte des régions sous-corticales, notamment au niveau du faisceau cortico-spinal (CST) est un facteur de risque majeur de déficit moteur après un AVCian (Dinomais et al., 2015). L'étendue de la lésion est un facteur prédictif des compétences motrices.

2.3 Répercussions sur le fonctionnement cognitif

Des difficultés cognitives sont relevées dans la majorité des études s'intéressant à l'AVCian. Toutefois, les troubles ne sont pas sévères et la déficience intellectuelle reste relativement faible avec une prévalence estimée entre 7 et 11% (Chabrier et al., 2016). Il n'est pas rare de constater une émergence des difficultés cognitives à mesure que les exigences scolaires ou environnementales augmentent. A un âge pré-scolaire, les capacités intellectuelles des enfants ayant subi un AVCian peuvent être comparables à celles des sujets témoins. A partir de 6 ans, des difficultés cognitives peuvent émerger sur le plan du raisonnement non verbal, de la mémoire de travail, de la vitesse de traitement ainsi que de la coordination oculo-motrice. Les capacités verbales seraient également plus faibles (Westmacott et al., 2009). D'autres auteurs, rapportent une stabilité des performances cognitives dans le temps, sans déclin cognitif évident en cas d'AVC ischémique périnatal unilatéral (Ballantyne et al., 2008).

Les fonctions exécutives telles que l'attention, l'inhibition, la flexibilité, la planification et la fluence verbale peuvent être impactées chez des enfants après lésion ischémique artérielle périnatale (Bosenbark et al., 2017). Celles-ci seraient cependant plus rarement atteintes en cas d'AVCian, possiblement en lien avec la localisation de l'infarctus qui implique rarement les structures préfrontales, comme le suggère Kolk et ses collaborateurs en 2011.

L'addition de facteurs tels que l'épilepsie ou la paralysie cérébrale augmente le risque de difficultés cognitives à un âge plus avancé. Les lésions plus diffuses représentent également un facteur de risque important de trouble cognitif notamment en ce qui concerne les fonctions qui requièrent une récupération rapide de l'information et un contrôle attentionnel mobilisant un réseau neuronal plus étendu (Bosenbark, et al. 2017). Le pronostic cognitif serait également défavorable pour les lésions sous-corticales (Westmacott et al., 2009).

2.4 Conséquences langagières

Les troubles du langage après un AVC néonatal sont très différents des troubles décrits après AVC à un âge plus avancé. Les enfants ne présentent pas d'aphasie comme cela peut être décrit dans la symptomatologie adulte. La trajectoire développementale du langage oral peut être légèrement impactée chez les enfants ayant subi un AVCian, toutefois, l'accès au langage est le plus souvent assuré (Chilosi et al., 2005 ; Dick et al., 2013 ; Levine et al., 2016).

Après un AVC ischémique artériel périnatal, les enfants présentent en moyenne des performances langagières plus faibles que les sujets sains en expression et compréhension, avec toutefois des écarts à la norme plus importants en expression ; la majorité présentant des déficits mixtes (Lõo et al., 2018 ; Ballantyne et al., 2008). Dans une étude de Kolk et al. en 2011, les enfants ayant présenté un AVC néonatal avaient des performances plus faibles que les contrôles sur des tâches de compréhension, de dénomination rapide et de fluence verbale sémantique et phonémique aux tests réalisés entre 3 et 12 ans. Un retard lexical, notamment dans la production de mots, est aussi régulièrement observé chez des enfants ayant subi une atteinte focale précoce (Vicari et al., 2000 ; Chilosi et al., 2005). Cette différence ne serait visible qu'à partir de 2 ans (Trauner et al., 2015) et le décalage initial serait rapidement comblé avec un processus de récupération qui aurait lieu entre 1 et 5 ans. Des déficits langagiers peuvent apparaître plus tardivement et persister à l'adolescence, avec des erreurs morphologiques, une syntaxe moins complexe et diversifiée chez les enfants ayant subi un AVC périnatal notamment en cas de lésion gauche (Reilly et al., 2013). De manière générale, les capacités discursives sont plus faibles chez les enfants ayant subi une lésion cérébrale précoce comparé aux enfants tout-venants.

La plupart des études démontrent que la latéralisation de l'atteinte n'est pas un facteur prédicteur des difficultés langagières (Ballantyne et al., 2008 ; Trauner et al., 2015) mais d'autres auteurs ont mis en évidence des déficits plus marqués pour une atteinte de l'hémisphère gauche notamment en cas d'atteinte de la substance blanche (Northam et al., 2018). Une lésion de la voie dorsale serait associée à des déficits spécifiques dans la répétition de non-mots et de phrases. Une lésion précoce de l'hémisphère droit peut également impacter la sphère langagière et notamment la production d'expressions faciales et langagières à valeur émotionnelle (Lai et al., 2015).

Les séquelles langagières sont donc fréquentes mais rarement sévères au sein de la population d'enfants présentant une lésion cérébrale périnatale dont les AVCian. Pour certains, le retard initial est rapidement comblé grâce aux effets de la plasticité cérébrale. Pour d'autres, cette plasticité présente des limites et des déficits peuvent apparaître notamment lorsque les exigences scolaires et environnementales augmentent. Dans la plupart des études, langage et cognition sont fortement corrélés. L'épilepsie et le niveau socio-économique sont des facteurs de risque supplémentaires de faiblesses langagières (Chabrier et al., 2016).

2.5 Répercussions sur les fonctions visuelles

La modalité visuelle peut être perturbée en cas d'AVC périnatal et notamment d'AVCian. Le QI verbal est généralement supérieur au QI performance chez les enfants présentant une lésion cérébrale unilatérale périnatale. Les processus perceptifs et attentionnels sont perturbés en modalité visuelle (Vuillerot et al., 2017).

Le champ visuel peut être altéré en cas d'infarctus cérébral néonatal, notamment lorsque les lésions sont étendues et impliquent la branche principale de l'artère cérébrale moyenne ou l'artère cérébrale postérieure. Les anomalies du fonctionnement visuel peuvent aller jusqu'à l'hémianopsie et la quadranopsie dans les cas les plus sévères (Mercuri et al., 2003 ; Van der AA et al., 2013 ; Koenraads et al., 2016). Les troubles du champ visuel semblent plus fréquents lorsque les enfants présentent une paralysie cérébrale (Wagenaar et al., 2018).

Les fonctions visuo-spatiales peuvent également être altérées suite à une lésion précoce : exploration et attention visuelle, organisation et représentation dans l'espace, reconnaissance visuelle ou encore coordination visuo-motrice (Kolk et al., 2011 ; Ilvès et al., 2014). Des déficits de l'attention spatiale et une négligence, visuelle et tactile, peuvent persister après un AVC périnatal (Trauner, 2003 ; Thareja et al., 2012).

2.6 Conséquences sur le développement du langage écrit

Les recherches bibliographiques menées au cours de ce travail ont rapporté très peu d'études évaluant le langage écrit après un AVC périnatal. De manière générale, les enfants ayant subi une lésion pré- ou périnatale performeraient significativement plus faiblement que les enfants tout-venants sur des tâches de lecture, en décodage et compréhension, tout en restant dans

la norme pour leur âge (Demir et al., 2016 ; Woolpert et al., 2016 ; Guillon et al., 2013). Néanmoins, des difficultés sévères, profondes, et sélectives en lecture et en orthographe peuvent être décrites suite à une lésion cérébrale périnatale focale de l'hémisphère gauche et persister jusqu'à l'adolescence (Daigneault et al., 2002). Par ailleurs, certains déficits peuvent apparaître au cours de la scolarité lorsque les tâches augmentent en complexité (Woolpert et al., 2016).

L'influence de la latéralisation de la lésion fait débat : de plus faibles performances en lecture sont retrouvées chez des enfants avec lésion périnatale droite (Aram et al., 1988 ; Demir et al., 2016) en comparaison avec les enfants tout-venants et de façon moins significative avec les enfants présentant une lésion à gauche. Toutefois, Frith et Vargha en 2001 retrouvent des résultats contraires avec plus de difficultés chez les enfants présentant une lésion gauche. Ballantyne en 2008 ne rapporte pas d'effet de la latéralisation de la lésion.

La taille de la lésion aurait une influence sur les performances en lecture avec plus de difficultés pour les enfants présentant des lésions étendues affectant plusieurs aires corticales ou sous-corticales. (Demir et al., 2016).

Concernant le territoire lésionnel, les lésions sous-corticales de l'hémisphère gauche démontrent un pronostic défavorable dans plusieurs domaines dont le langage écrit. En revanche pour l'hémisphère droit, les lésions corticales étaient synonymes de moins bonnes performances en comparaison avec les lésions sous-corticales. Une lésion corticale à droite impacterait les mécanismes liés à l'apprentissage et à des fonctions cognitives de haut niveau en comparaison avec une lésion sous-corticale. (Aram et al., 1988).

L'étude de Frith et collaborateurs en 2001 rapporte des différences sur les performances en lecture et orthographe en fonction du sexe : les garçons seraient plus impactés en cas de lésion droite en comparaison avec les garçons présentant une lésion gauche. De manière générale, les garçons étaient moins performants que les filles.

Enfin, en cas de lésion cérébrale précoce, les capacités phonologiques des enfants (Woolpert et al., 2016) et le niveau socio-économique des parents apparaissent comme des prédicteurs du niveau de lecture.

3. Une réorganisation du cerveau en développement

Le caractère focal, temporel et non évolutif de l'AVC en font de lui un modèle unique d'étude de la plasticité post lésionnelle du cerveau immature (Kirton et al., 2013).

3.1 La plasticité cérébrale

La plasticité cérébrale correspond à l'ensemble des processus de modification et de remodelage du système nerveux et de ses connexions. Elle se développe naturellement en fonction des apprentissages et des interactions avec le monde extérieur. Elle permet aux tissus nerveux de former de nouvelles connexions interneuronales ou synapses (synaptogénèse) mais aussi de remplacer certains neurones non fonctionnels (neurodégénérescence) (Kania et al., 2017). Dans un contexte pathologique, elle permet de restaurer les fonctions altérées après une lésion cérébrale ou un dysfonctionnement neuronal. Celle-ci est présente tout au long de la vie mais ses capacités sont optimisées lors de périodes « critiques » du développement. Trois processus seraient mis en œuvre lors de récupérations « post-lésionnelles » (Baylé et al., 2014) : la réparation des circuits neuronaux par remyélinisation, repousse axonale, neurogénèse ; la « compensation » correspondant au rétablissement progressif du degré de fonctionnement « normal » de structures transitoirement inhibées (levée de la pénombre ou du diaschisis) ; et les phénomènes de substitution activant des systèmes normalement non utilisés ou sous-utilisés. Trois formes de réorganisation cérébrale à la suite d'un AVC ont été décrites (Hara, 2015) :

- Une augmentation de l'activation fonctionnelle et de l'excitabilité des neurones dans des régions corticales distantes mais connectées au noyau de la lésion qui diminue au bout de quelques mois.
- Une baisse de la latéralisation de l'activation et une augmentation de l'activité dans l'hémisphère contralésionnel : ce phénomène peut être lié à une réduction de l'inhibition par l'hémisphère controlatéral. (Grafman, 2000).

Ces deux mécanismes sont liés à la récupération spontanée : on observe généralement une augmentation de ces phénomènes dans les premières semaines qui suivent l'accident puis une baisse quelques mois après l'AVC. Cette décroissance est plus marquée chez les patients qui récupèrent davantage alors que la hausse de l'activité au sein des deux hémisphères persiste chez les patients présentant une plus faible récupération et de moins bons résultats.

- Le « cross-modal reassignment » (Grafman, 2000) implique que les structures corticales intactes (notamment dans les zones péri-lésionnelles), dédiées au traitement d'une fonction ou d'une modalité sensorielle spécifique sont réaffectées pour prendre le relai des fonctions qui ont été affectées par l'événement ischémique.

3.2 L'âge : facteur protecteur ou de vulnérabilité

L'âge de la lésion serait un facteur influençant la plasticité cérébrale, notamment en ce qui concerne les performances langagières (Hertz-Pannier et al., 2002). Le « principe de Kennard » (Kennard, 1936) stipule que plus une lésion apparaît de façon précoce, pendant que le système nerveux central est encore immature, plus les mécanismes de compensation peuvent se mettre en place, ce qui donnerait lieu à une meilleure récupération fonctionnelle. En 2014, Ilves met en avant des différences langagières significatives entre les enfants ayant subi un AVC dans l'enfance et des sujets sains alors que ces différences ne sont pas significatives pour les enfants ayant subi un AVC périnatal. Cette étude suggère une meilleure plasticité cérébrale à un âge précoce et notamment avant l'âge de 2 ans. D'autres auteurs ont cependant défendu la théorie adverse. En 2010, Max et collaborateurs démontrent que les enfants ayant subi un AVC avant l'âge de 1 an avaient des performances plus faibles dans les différentes mesures (langage, mémoire visuelle et verbale, fonctions visuo-spatiales, performances académiques) en comparaison avec les enfants présentant des lésions plus tardives. Ces résultats sont en faveur de la théorie de la « vulnérabilité » selon laquelle une lésion à un âge précoce prédirait des performances cognitives plus faibles (Anderson et al., 2005).

Un modèle non-linéaire des liens entre l'âge de la lésion et les répercussions à long terme a été développé en 2011 par Allman et Scott : lorsque la lésion survient avant l'âge de 1 an alors que le cerveau est encore immature et vulnérable, les effets de la plasticité sont moindres. Dans le cas d'une lésion tardive, le cerveau est moins vulnérable mais le potentiel de plasticité lui se trouve diminué. Celui-ci s'exprimerait donc davantage lors d'une période critique comprise entre 1 et 6 ans.

3.3 Réorganisation cérébrale du langage après une lésion précoce

La conception anatomo-clinique selon laquelle à chaque région cérébrale correspond une fonction spécifique tend aujourd'hui à être dépassée au profit d'une vision fonctionnelle en réseaux soutenue par le développement des techniques d'imagerie et l'émergence des

modèles connexionnistes. Certes, le langage est majoritairement porté par l'hémisphère gauche (Pinel et al., 2010), mais au-delà des zones de « Broca » et « de Wernicke », la diffusion de l'information entre les différentes aires du langage se ferait selon deux grands axes (Axe et al., 2013). Schématiquement, la voie dorsale classique qui comprend le faisceau arqué serait impliquée dans les processus phonologiques et la voie ventrale serait activée au cours de tâches sémantiques (Hickok, 2009). La fonction « langage » serait donc le résultat de processus simultanés, parallèles et distribués (Duffau, 2008).

Cette latéralisation du réseau neuronal langagier serait soumise à des facteurs génétiques et à des contraintes fonctionnelles et structurelles observées très précocement. En ce sens, des études mettent en avant une asymétrie d'activation cérébrale marquée en faveur du lobe temporal gauche, lors de tâches d'écoute de la parole, chez des nouveau-nés dès 2-3 mois de vie (Dehaene-Lambertz et al., 2004; Peña et al., 2003). Par ailleurs, d'autres études rapportent des asymétries structurelles très précoces avec un planum temporale plus étendu à gauche (Hill et al., 2010) et une asymétrie du faisceau cortico-spinal et du faisceau arqué également retrouvée en faveur de l'hémisphère gauche (Dubois, 2009). Il existerait ainsi une spécialisation hémisphérique « pré-déterminée » c'est à dire déjà présente très précocement.

Néanmoins, les études d'imagerie fonctionnelle ont démontré qu'une lésion précoce du réseau langagier peut être compensée par une réorganisation contralatérale et celle-ci serait plus efficiente pendant la période néonatale (Fluss et al., 2019). Ce transfert à l'hémisphère droit s'effectuerait dans des régions symétriques à celles activées dans l'hémisphère gauche chez des enfants tout-venants (Staudt, 2010 ; Hertz-Pannier et al., 2002 ; François et al., 2019). Cela suggère l'existence d'un circuit « dormant » qui était actif à un stade plus précoce du développement, et qui a été progressivement inhibé. Celui-ci pourrait donc être réactivé pour compenser la perte de la fonction, notamment lorsque les régions de l'hémisphère qui soutient le langage deviennent indisponibles après une lésion précoce (Tillema et al., 2008 ; Ilvès et al., 2014).

Cette réorganisation contralatérale des réseaux langagiers présenterait cependant des limites et ne permettrait pas de compenser totalement l'atteinte initiale. Des études rapportent qu'une activation bilatérale pour le langage serait ainsi synonyme de meilleures performances sur les tests de langage chez les patients ayant subi un AVC pré ou périnatal en comparaison

avec ceux présentant une activation unilatérale. (Raja Beharelle et al., 2010 ; François et al., 2019). Pour Dick et collaborateurs (2013), l'effet protecteur de la réorganisation bilatérale ou controlatérale dépend des régions concernées par cette réorganisation : une bonne récupération repose dans certains cas sur la coopération entre les 2 hémisphères, mais cette connectivité renforcée entre les deux hémisphères peut également affecter négativement les performances langagières en augmentant le nombre de régions impliquées dans le traitement de la tâche.

Il est intéressant de noter que de petites lésions peuvent induire une réorganisation langagière si elles se trouvent sur des sites corticaux stratégiques (Staudt, 2010).

3.4 Les effets de la plasticité sur le langage écrit et fonctions associées

Alors que la fonction langagière peut bénéficier des effets de la réorganisation cérébrale, des déficits dans la sphère visuo-spatiale sont fréquemment observés chez les enfants ayant subi une lésion précoce de l'hémisphère gauche. Les fonctions cognitives comme le langage seraient ainsi relativement mieux préservées que les fonctions sensori-motrices et visuo-spatiales (Lidzba et al., 2006 ; Erverts et al., 2010).

L'hypothèse du « crowding effect » ou de la compétition corticale a été avancée par Rudel et Teuber en 1974 : l'hémisphère droit prendrait le relais des fonctions langagières préférentiellement localisées dans l'hémisphère gauche au détriment des fonctions visuo-spatiales qui lui sont communément attribuées. Ilvès en 2014 a observé cette récupération différentielle entre le langage et les fonctions visuo-spatiales chez des enfants ayant subi un AVC périnatal ou pédiatrique, toutefois, le déficit n'était pas corrélé à la dominance langagière.

Peu d'études ont cherché à étudier les effets de la plasticité sur le langage écrit, qui implique un large réseau neuronal allant du cortex visuel aux aires du langage parlé. Certaines ont cherché à mettre en évidence les possibilités de récupération ou d'acquisition du langage écrit grâce aux phénomènes de réorganisation cérébrale chez des enfants ayant subi des lésions corticales ou des chirurgies réparatrices impliquant le retrait d'une structure cérébrale.

Dans une étude de Cohen et collaborateurs en 2004, un enfant de 11 ans a subi une résection du lobe occipito-temporal gauche à l'âge de 4 ans, après le développement du langage oral mais avant l'acquisition de la lecture. Celle-ci a pu développer une lecture grâce à l'hémisphère controlatéral, comme le montrent les séquences d'IRMf, ce qui suggère l'efficacité de la plasticité cérébrale à son âge : la VWFA peut donc se développer dans l'hémisphère droit et supporter la fonction normalement attribuée à la VWFA gauche en cas de résection précoce. A contrario, toutes les activations liées aux composantes verbales du langage étaient activées à gauche. La lésion ayant eu lieu avant l'acquisition de la lecture, il y a eu une réorganisation sélective réussie vers l'hémisphère droit des composants visuels de la lecture alors que les aspects verbaux restaient l'apanage de l'hémisphère gauche.

L'étude de Daigneault en 2002 présente des résultats différents en exposant le cas d'un patient ayant subi une lésion périnatale focale du cortex occipito-temporal gauche. Pour ce patient, la réorganisation cérébrale a permis de compenser certaines fonctions cognitives mais la lecture est restée déficitaire. L'âge de la lésion pourrait dans ce cas être un facteur de vulnérabilité et aurait un impact sur l'acquisition de la lecture.

A un âge avancé, la plasticité semble moins efficace : l'observation d'une « dyslexie profonde » après hémisphérectomie gauche à l'âge de 15 ans suggère que les composantes de la lecture sont difficilement compensées par des structures hémisphériques droites une fois cette latéralisation établie (Cohen, 2004).

Ainsi, les enfants ayant subi un accident vasculaire cérébral artériel néonatal sont susceptibles de présenter des séquelles à long terme sur le plan cognitif et langagier. Certains déficits peuvent apparaître plus tardivement, notamment pour des fonctions plus complexes mobilisant un réseau cérébral étendu. La lecture est décrite comme telle dans la littérature mais les données concernant l'impact d'une lésion cérébrale précoce sur son développement sont malheureusement limitées.

III - PROBLEMATIQUE & HYPOTHESES

Nous nous sommes intéressés à l'impact d'un AVCian sur le développement de la lecture à 7 ans et aux facteurs pouvant influencer son acquisition. Nous faisons l'hypothèse qu'un AVCian a un impact négatif sur le développement de la lecture à 7 ans, ces difficultés pouvant être mises en lien avec des facteurs lésionnels, environnementaux et le niveau de langage oral. Cela nous amène à formuler les hypothèses opérationnelles suivantes :

- 1) Les enfants ayant subi un AVCian sont plus à risque de présenter des difficultés pour entrer dans la lecture que les enfants « tout-venants ». La proportion d'enfants présentant des difficultés en lecture à 7 ans est plus importante au sein de la cohorte que dans la population globale.
- 2) Le sexe masculin est un facteur de risque de présenter des difficultés en lecture à 7 ans : les garçons sont significativement plus en difficulté pour l'apprentissage de la lecture.
- 3) Le niveau de langage oral est un facteur déterminant pour le niveau de lecture à 7 ans. Les enfants avec un profil de langage oral « atypique » sont plus à risque de présenter des difficultés en lecture.
- 4) Le niveau de lecture est corrélé de manière significative aux résultats aux épreuves de métaphonologie, la conscience phonologique étant un prédicteur du niveau de lecture ultérieur.
- 5) Il existe une corrélation entre les facteurs lésionnels et le niveau de lecture à 7 ans :
 - 5.1. La latéralisation de la lésion est un facteur déterminant pour le niveau de lecture à 7 ans : une atteinte de l'hémisphère gauche est un facteur de risque de présenter des difficultés de lecture à 7 ans, en lien avec la théorie de la spécialisation hémisphérique précoce et la latéralisation préférentielle de la VWFA dans l'hémisphère gauche. Une atteinte bilatérale serait un facteur pronostic péjoratif pour le développement de la lecture à 7 ans.
 - 5.2. La localisation de la lésion est corrélée au niveau de lecture à 7 ans : les enfants présentant une atteinte de l'artère cérébrale moyenne (ACM), qui vascularise les

régions sylviennes impliquées dans le traitement du langage, sont plus à risque de présenter des difficultés en lecture que ceux ayant subi une atteinte de l'artère cérébrale antérieure (ACA) ou postérieure (ACP). Une atteinte mixte de plusieurs artères vasculaires est un facteur de risque pour le développement de la lecture à 7 ans.

5.3. Les performances en lecture à 7 ans sont corrélées au territoire lésé : une atteinte des structures cérébrales profondes donne lieu à un pronostic défavorable pour le développement de la lecture à 7 ans.

- 6) La présence d'épilepsie à 7 ans est un facteur de risque corrélé aux difficultés de lecture à 7 ans.
- 7) Le niveau socio-économique de la famille est corrélé au niveau de lecture à 7 ans : plus le score NSE est bas, plus le risque de présenter des difficultés de lecture à 7 ans est grand.

METHODE

I - PRESENTATION DE LA COHORTE AVCNN^{7ANS}

L'étude AVCnn est une étude nationale multicentrique d'épidémiologie descriptive s'intéressant à une cohorte de 100 enfants nés à terme et concernés par un AVC ischémique artériel néonatal. Le Dr Chabrier est à l'initiative de ce projet débuté en 2003 et porté par le CHU de Saint-Etienne. 39 unités françaises de néonatalogie ont participé à l'établissement de cette cohorte multi-centrique. L'objectif était d'investiguer les facteurs de risque, les mécanismes et les manifestations cliniques de cette pathologie. 7 ans plus tard, une seconde étude s'est intéressée au devenir à long terme de ces mêmes enfants et notamment à l'impact de l'AVCian sur leur développement au niveau moteur, cognitif, langagier, scolaire et médical. Il s'agit de la cohorte AVCnn^{7ans}.

1. Population de la cohorte AVCnn^{7ans}

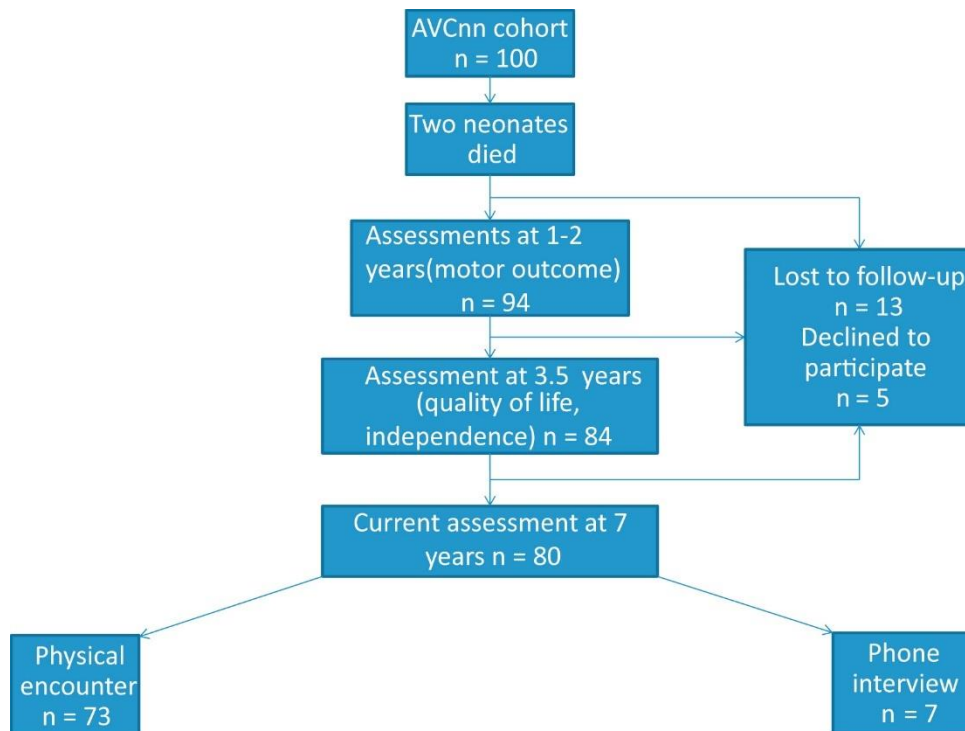


Figure 1 : Suivi de la cohorte AVCnn (Chabrier et al., 2016)

73 enfants ont participé aux évaluations à 7 ans. 72 se sont vu proposer les tests langagiers. Sur ces 72 enfants, on recense 45 garçons pour 27 filles. 45 présentaient une atteinte latéralisée uniquement dans l'hémisphère gauche contre 21 dans l'hémisphère droit et 6 avaient une atteinte bilatérale. L'artère cérébrale moyenne (ACM) était isolément touchée pour 60 enfants, 5 présentaient une atteinte de l'artère cérébrale antérieure (ACA) contre 4 pour l'artère cérébrale postérieure (ACP). 3 présentaient une atteinte mixte de 2 artères.

2. Méthodologie de la cohorte AVCnn^{7ans}

L'évaluation à 7 ans a permis de recueillir des informations concernant l'histoire de l'enfant depuis la période néonatale d'un point de vue médical et le développement de sa scolarité. Des évaluations ont ensuite permis de renseigner le développement des habiletés motrices, le fonctionnement intellectuel global et les compétences langagières. Enfin, l'opinion des parents concernant l'évolution de leur enfant et les éventuelles séquelles de leur AVC a été considérée.

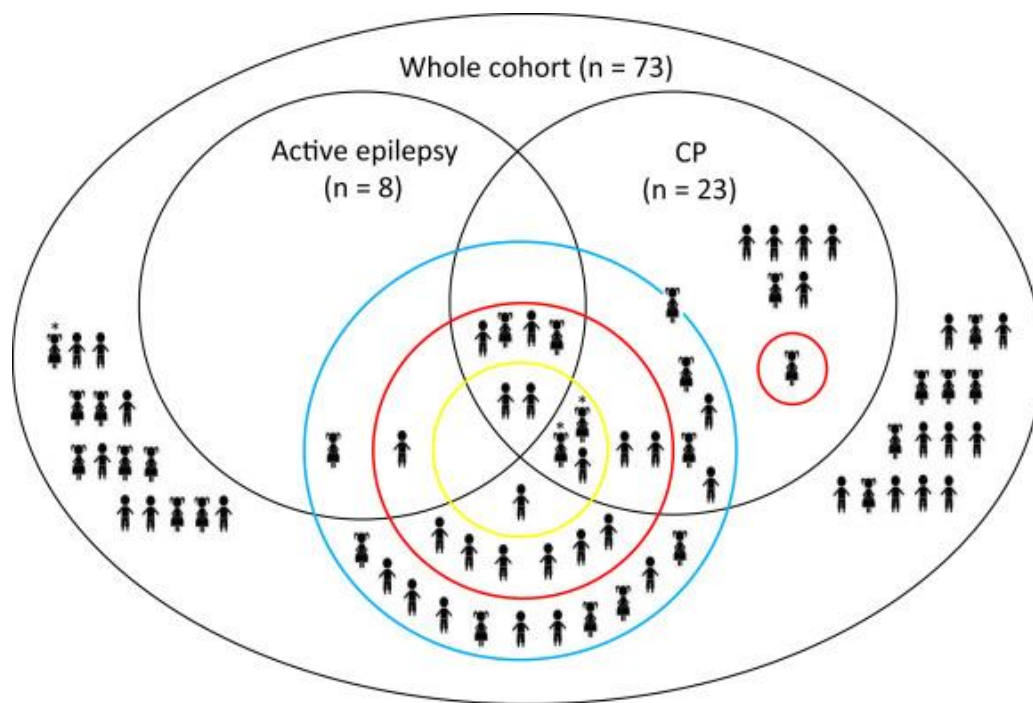
L'évaluation à 7 ans prévoyait une analyse complète du langage oral à partir de la N-EEL « Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage » de Chevrier-Muller et Plaza (2003), une des rares batteries qui, au lancement du protocole, permettait d'avoir un regard global sur le développement du langage oral pour une passation limitée à 2h. Cette évaluation a permis une classification dichotomique des enfants répartis entre 2 groupes : « langage typique » et « langage atypique » établie sur la base de l'analyse des scores étalonnés et de l'analyse clinique des orthophonistes. Au cours de cette évaluation, la lecture a également été testée par le biais d'une épreuve de leximétrie. Les données recueillies n'ayant pas été traitées, leur analyse sera l'objet de ce mémoire.

Le niveau socio-économique (NSE) a été déterminé à partir des 4 facteurs de HollingShead : il s'agit d'un score de statut social qui est calculé en tenant compte du niveau scolaire et de l'emploi des parents. Plus ce score est important, plus le niveau socio-économique est considéré comme « élevé ».

Les caractéristiques lésionnelles à savoir le côté de la lésion (droit, gauche ou bilatéral), le territoire atteint (superficiel, profond, ou les deux), et la localisation (artère cérébrale moyenne, antérieure, postérieure et les différentes combinaisons) ont été déterminées à partir des analyses d'IRM réalisées dans le cadre de l'étude AVCnn. La présence d'épilepsie active à 7 ans a été diagnostiquée par la survenue d'une crise ou la prise d'un traitement dans l'année précédant l'évaluation.

3. Premiers résultats de la cohorte AVCnn^{7ans}

Les premiers résultats concernant ces évaluations ont été publiés par le Dr Chabrier et ses collaborateurs en 2016. Si les altérations sévères restent rares, 59% de ces enfants présentent un déficit dans au moins un domaine parmi le langage, la motricité, la présence d'épilepsie active, les performances scolaires et le niveau intellectuel global.



○ Langage atypique ○ Difficultés scolaires ○ Déf. cognitive globale

Figure 2: Co-occurrence des déficits (Chabrier et al., 2016)

Les données langagières pour le langage oral recueillies lors de cette évaluation ont fait l'objet d'une analyse par les orthophonistes participant à l'étude. Ce traitement des données a

permis de mettre en évidence les résultats suivants : si tous les enfants avaient accès au langage, 49% présentaient un langage décrit comme « atypique ». Aucune association significative n'a été observée entre les facteurs lésionnels et le niveau de langage oral. La présence d'épilepsie était un facteur de risque de présenter des difficultés langagières à 7 ans. Le bilinguisme et le niveau socio-économique des parents étaient également corrélés aux performances des enfants.

II - POURSUITE DU TRAITEMENT DES DONNEES

Notre travail a consisté en une analyse rétrospective des données issues de la cohorte AVCnn^{7ans} concernant l'évaluation de la lecture. Elle a pu être effectuée à partir d'une base de données exhaustive regroupant toutes les variables individuelles et les résultats obtenus aux différentes évaluations pour chaque enfant de la cohorte. L'objectif de ce travail est d'effectuer un état des lieux de l'accès à la lecture à 7 ans au sein de cette population, à travers une analyse descriptive puis une analyse statistique des corrélations entre les profils en lecture et les variables individuelles, cognitives, lésionnelles et environnementales connues pour ces enfants.

1. Population

Nos analyses ont porté sur les données recueillies auprès des 72 enfants de la cohorte AVCnn^{7ans} ayant reçu une évaluation langagière, la description de cette population est exposée précédemment.

Dans un second temps, nous avons centré notre analyse sur le développement de la lecture chez des enfants ayant bénéficié d'un enseignement explicite de 10 mois minimum. Nous avons étudié, de la même façon, les facteurs déterminants de leur évolution. Cette sélection s'est faite en tenant compte de la classe, et de la date de passation de l'évaluation, plutôt que de l'âge. L'objectif est ici de minimiser les biais liés aux effets d'apprentissage. 45 enfants ont donc été retenus et intégrés à l'échantillon sur lequel a porté cette seconde analyse. Au sein de cet échantillon, nous recensons 29 garçons pour 16 filles. 31 enfants présentaient une lésion latéralisée dans l'hémisphère gauche alors que 11 avaient une lésion latéralisée au sein

de l'hémisphère droit. 3 enfants présentaient une atteinte bilatérale. L'artère cérébrale moyenne (ACM) était isolément touchée pour 39 d'entre eux alors que 2 enfants présentaient une atteinte de l'artère cérébrale antérieure (ACA) et 2 autres une atteinte de l'artère cérébrale postérieure (ACP). Un enfant présentait une atteinte mixte de l'ACM et de l'ACA tandis qu'un autre présentait une atteinte combinée des 3 artères.

2. Matériel

Le test de leximétrie, l'Alouette-R, originellement publié par Lefavrais en 1965, et réadapté en 2005 a été choisi au moment de la création du protocole d'expérimentation en 2010. Il est considéré dans la pratique comme un « gold standard », c'est-à-dire un test de référence, qui est utilisé dans de nombreuses recherches pour évaluer le niveau de lecture des enfants et identifier les faibles et bons lecteurs.

Cette épreuve de lecture de texte à voix haute est proposée aux enfants à partir de 7 ans, ayant déjà reçu quelques mois d'apprentissage de la lecture. Ce test évalue les capacités de décodage et d'identification des mots, et donne des indications en termes de précision et de vitesse de lecture par le calcul de différents indices.

Si le lecteur est soupçonné de ne pas savoir lire, la lecture de voyelles et de syllabes est proposée. Si le lecteur est en capacité de lire, le texte de l'alouette est proposé en première intention avec un temps maximal de 3 minutes.

L'ancienne version prévoyait le calcul d'un âge de lecture afin d'apprécier le retard de l'enfant dans l'acquisition de cette compétence. Dans la version révisée, on obtient les indices qualitatifs et quantitatifs suivants :

- M correspond au nombre de mots lus pendant un temps T de 3 minutes. Celui-ci comprend le nombre de mots bien lus, mal lus, sautés isolément et ceux qui n'ont pas été lus dans le laps de temps de 5 secondes. Son maximum est de 265 mots.
- E correspond au nombre d'erreurs ou incorrections de lecture et comprend les mots sautés isolément, les lignes sautées et les mots mal lus. Les erreurs corrigées ou liées à un trouble de parole ne sont pas comptabilisées.

- C correspond au nombre de mots correctement lus ($C = M - E$)
- CM est l'indice de précision correspondant à la formule suivante : $CM = C/M \times 100$. Il correspond au pourcentage de mots correctement lus sur le nombre total de mots lus.
- CTL est l'indice de vitesse et correspond à la formule : $CTL = (C \times 180) / TL$ (où TL correspond au temps de lecture). Il permet de prendre en compte le temps de lecture en plus de l'exactitude de la lecture. Plus cet indice est élevé, meilleure est la performance de l'enfant.

L'étalonnage a porté sur un échantillon de 398 enfants âgés de 6 à 16 ans ayant eu accès à la lecture de texte. La validation de cet outil a été réalisée sur une population d'enfants tout-venants. Différents tableaux de normes sont proposés. Le cotateur peut ainsi positionner l'enfant en fonction de son âge ou de son niveau scolaire à partir des moyennes et écart-types ou des centiles.

Nous avons choisi de ne pas utiliser les moyennes et écart-types de l'échantillon de référence. En effet, il n'est pas conseillé d'y avoir recours si la distribution n'est pas normale, au risque d'avoir une augmentation de faux négatifs ou de faux positifs. N'ayant pas d'information au sujet de la distribution de la population d'étalonnage, nous avons préféré avoir recours aux rangs percentiles pour éviter ces biais.

Un seuil « pathologique » ou « limite » au-delà duquel les performances devraient alerter, est normalement déterminé par les auteurs en fonction des objectifs et des paramètres psychométriques du test, et notamment de la sensibilité et spécificité. Ces informations étant manquantes pour l'Alouette-R nous avons sélectionné le seuil du percentile 10 (P10) pour rendre compte d'une performance « limite inférieure ». Ce choix s'est fait sur la base de ce qui est fréquemment considéré dans la littérature : une performance est considérée comme situant le sujet dans la « limite inférieure » par rapport à l'échantillon de référence lorsqu'elle est comprise entre le percentile 5 et le percentile 16 (Muneaux, 2018). Ce seuil permet de cibler les enfants en difficulté. Il aurait pu être différent si l'objectif avait été de poser un diagnostic, qui ne serait néanmoins pas objectivable par la simple analyse de l'Alouette. A savoir que pour certains indices, nous avons également considéré le percentile 25 (P25), situant le sujet dans la « norme inférieure » par rapport à l'échantillon de référence.

En complément des données de cette évaluation, des informations concernant les capacités de traitement métaphonologique avaient été recueillies lors de la passation de la N-EEL au cours de cette rencontre à 7 ans. Nous avons pu analyser les données issues de 4 épreuves : élision et ajout d'un phonème initial, inversion de phonèmes, élision du phonème final.

3. Procédure

A partir d'un document Excel regroupant toutes les informations relatives aux cohortes AVCnn et AVCnn^{7ans}, nous avons sélectionné les variables pertinentes pour notre analyse. En tenant compte de l'âge réel des enfants, nous avons étudié la correspondance entre le niveau scolaire attendu à 7 ans et leur niveau réel. Dans un second temps, nous avons calculé les indices relatifs aux scores de l'Alouette-R et déterminé les rangs percentiles à partir des données issues de l'étalonnage de référence du test. Dès lors nous avons distingué 3 groupes : les « bons lecteurs » qui ont le niveau de lecture attendu à 7 ans, les « non lecteurs » qui n'ont pas accès à la lecture de texte et se sont vu proposer pour certains une épreuve de lecture de voyelles, et enfin les « faibles lecteurs » qui ont pu lire le texte mais qui présentent un score inférieur ou égal au percentile 10 (P10) aux indices de précision (CM) et de vitesse (CTL). Tous les indices pour la cotation du test ne semblent pas pertinents à prendre en considération de manière isolée. En effet, le nombre d'erreurs seul n'est pas représentatif s'il n'est pas associé au nombre total de mots lus c'est pourquoi nous avons privilégié les indices « CM » et « CTL », sur conseil des éditeurs. Les enfants présentant un score inférieur ou égal à P10 sur d'autres indices et un indice de précision ou de vitesse inférieur à P25 ont également été inclus dans ce groupe.

Nous avons suivi la même procédure pour les épreuves de métaphonologie : sont considérés comme étant en difficulté les enfants présentant un score étalonné inférieur de 2 déviations standards sur au moins 2 épreuves parmi les 4 proposées.

La majorité des variables ont été transformées en variables qualitatives binaires. Seul le « Score NSE » pour le niveau socio-économique apparaît sous la forme d'une variable quantitative.

4. Analyse des données

Nous avons par la suite effectué une analyse sur plusieurs niveaux.

Dans un premier temps, nous avons procédé à une analyse descriptive puis statistique du niveau en lecture au sein de la population générale (N=72) et des facteurs associés. Dans un second temps, nous avons centré notre analyse sur les profils des enfants « non-lecteurs » (N=15) qui n'ont pas pu avoir accès à la lecture de texte, en observant les facteurs influençant précisément les résultats de ce groupe. Enfin, nous avons restreint notre population à un échantillon d'enfants ayant reçu un enseignement explicite de la lecture d'au moins 10 mois (N=45), afin d'analyser les répartitions des profils de lecture et les facteurs d'influence, tout en contrôlant le paramètre « apprentissage ». En effet, l'année de CP est soumise à de grandes variations inter-individuelles dans l'apprentissage de la lecture. Aussi, nous nous appuyons sur les recommandations ministérielles pour considérer qu'à la fin de cette année scolaire, les enfants sont en capacité de lire aisément et de déchiffrer des mots nouveaux.

Afin d'analyser précisément l'influence des différents facteurs sur les performances en lecture, nous avons réalisé des calculs de corrélation entre les variables qualitatives d'intérêt par l'intermédiaire du test d'indépendance du χ^2 (Khi-2). Ce test non-paramétrique portant sur 2 variables qualitatives aléatoires permet de tester l'hypothèse nulle H_0 qui stipule que ces variables sont indépendantes. La p-valeur correspond à l'erreur alpha c'est-à-dire la probabilité de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie. La valeur de 5 % est communément choisie :

- Lorsque $p > 0.05$, H_0 n'est pas rejetée, les deux variables sont donc indépendantes.
- Lorsque $p < 0.05$, H_0 est rejetée. Les 2 variables sont considérées comme corrélées.

Le test exact de Fisher a été réalisé lorsque les effectifs théoriques étaient inférieurs à 5, une condition non applicable au test du χ^2 .

Pour analyser l'influence du niveau socio-économique sur le niveau de lecture à 7 ans, nous avons utilisé le test t de Student de comparaison de moyennes ou le test de Mann-Whitney non paramétrique lorsque les effectifs dans chaque groupe étaient inférieurs à 30. Ces tests

permettent de comparer les mesures de la variable quantitative (score NSE), entre 2 groupes de sujets indépendants, par le calcul d'une valeur t. Il s'agit ici de comparer les moyennes de cette variable obtenues par chacun des 2 échantillons. L'hypothèse H_0 stipule ici que les moyennes sont égales dans les deux groupes. En cas de différence, afin de savoir si celle-ci est significative, il faut relever dans la table t la valeur critique correspondant au risque alpha = 5% : si $p < 0.05$, l'hypothèse H_0 est rejetée indiquant alors une différence significative entre les moyennes des deux échantillons étudiés.

RESULTATS

I - RESULTATS POUR LA COHORTE (N=72)

1. Scolarisation des enfants

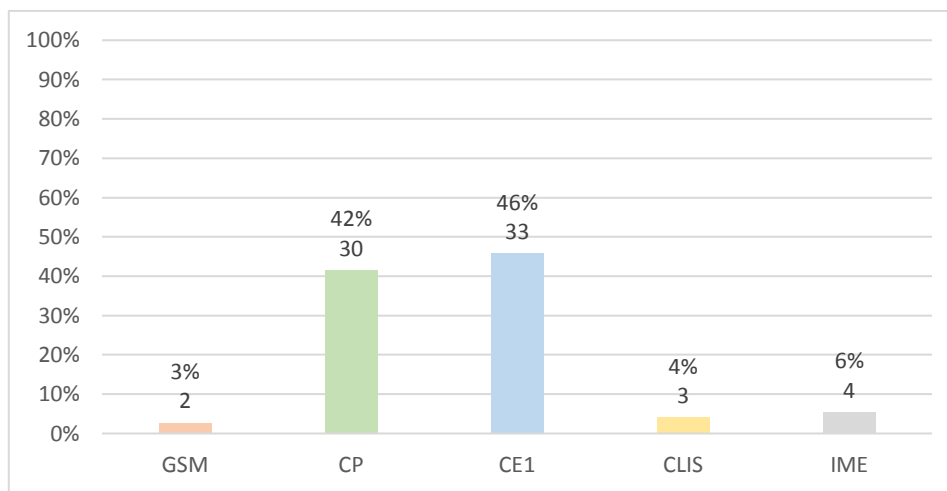


Figure 3 : Répartition des enfants selon leurs niveaux scolaires

Parmi les 72 enfants ayant passé les épreuves cognitives à 7 ans, la majorité sont scolarisés en CP ou en CE1 au moment de la passation. 11% ont une scolarité adaptée au sein d'un institut médico-éducatif ou d'une CLIS (Classe pour l'inclusion scolaire).

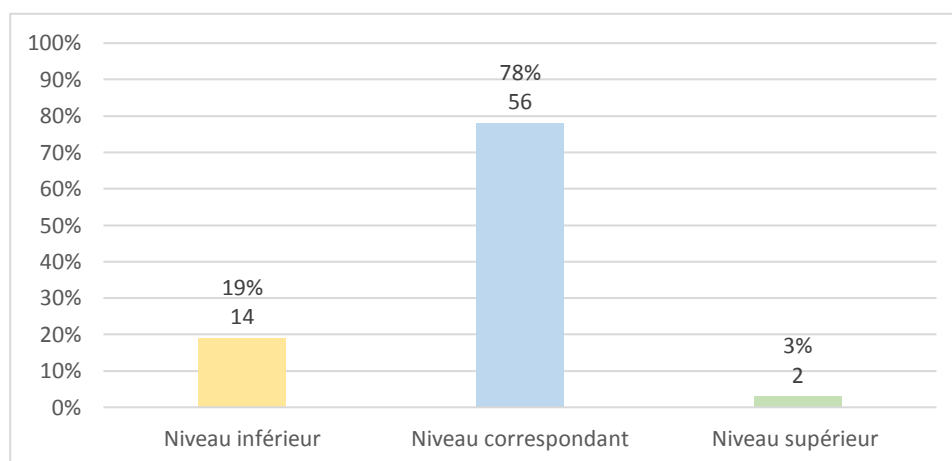


Figure 4 : Appréciation des niveaux scolaires des enfants

On observe que la majorité des enfants sont scolarisés dans la classe correspondant à leur âge. Néanmoins, 19% sont scolarisés dans un niveau inférieur à ce qui est attendu. Parmi eux, 7 ont fait l'objet d'un maintien et 7 autres ont une scolarisation adaptée.

2. Niveau de lecture à 7 ans

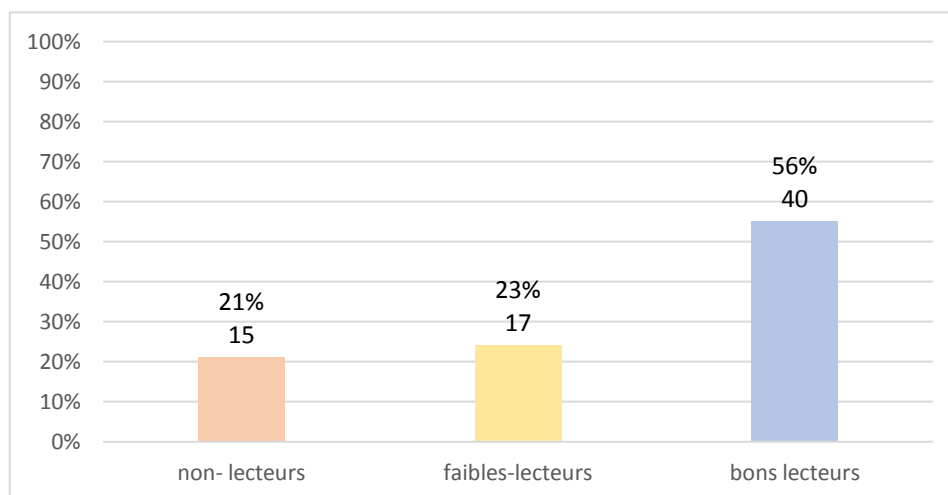


Figure 5 : Profils de lecture à 7 ans

Si un peu plus de la moitié des enfants sont considérés comme étant de « bons lecteurs », 32 enfants n'ont pas le niveau de lecture attendu à 7 ans soit 44% de notre population. Les « faibles lecteurs » représentent 24% de la population. Parmi eux, on recense 5 enfants scolarisés en CP et 12 enfants en CE1. Parmi les « non-lecteurs », 2 sont scolarisés en GSM, 6 en CP, 3 en CLIS et 4 en IME. Seuls 3 d'entre eux ont pu accéder partiellement à la lecture de voyelles.

3. Association entre le profil de lecture et le sexe

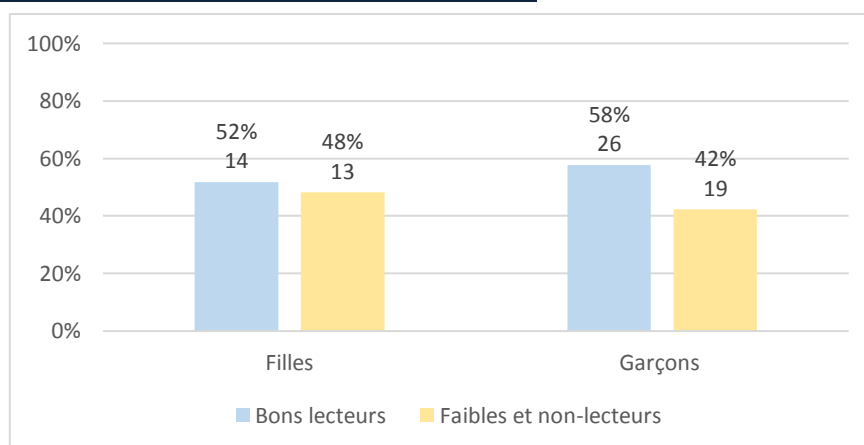


Figure 6 : Répartition des profils de lecture selon le sexe

Ce graphique nous montre que la proportion de « faibles et non-lecteurs » est légèrement plus importante parmi les filles. Cette différence n'est pas significative, il n'y a pas de corrélation entre le sexe et le niveau de lecture à 7 ans. (p -value = 0,806 ; test du Khi^2).

4. Lien entre le profil de lecture et le profil de langage oral

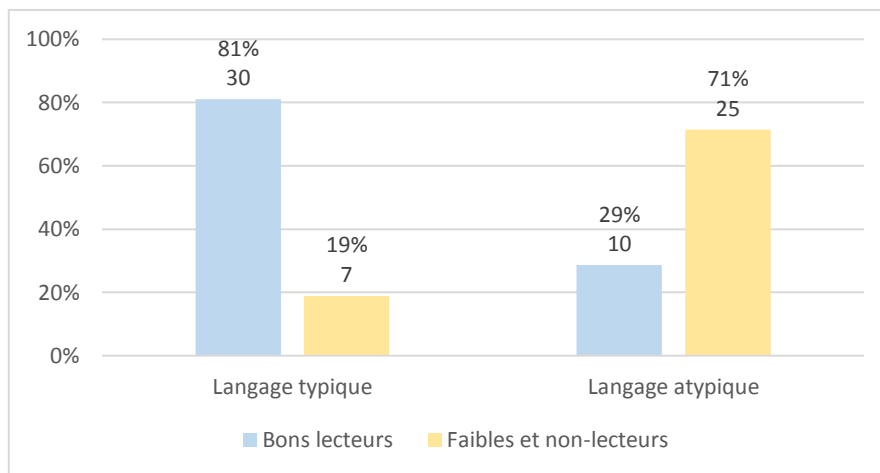


Figure 7 : Répartition des profils de lecture selon le profil en langage oral

Il existe une corrélation très significative entre le niveau de langage oral et le profil de lecture. Les enfants avec un langage atypique apparaissent ainsi très à risque de présenter des difficultés de lecture à 7 ans. ($p < 0,001$; test du Khi^2). Il est à noter que 19% des enfants ayant un profil langagier « typique » sont considérés comme « faibles lecteurs ».

5. Liens entre les performances en métaphonologie et le profil de lecture

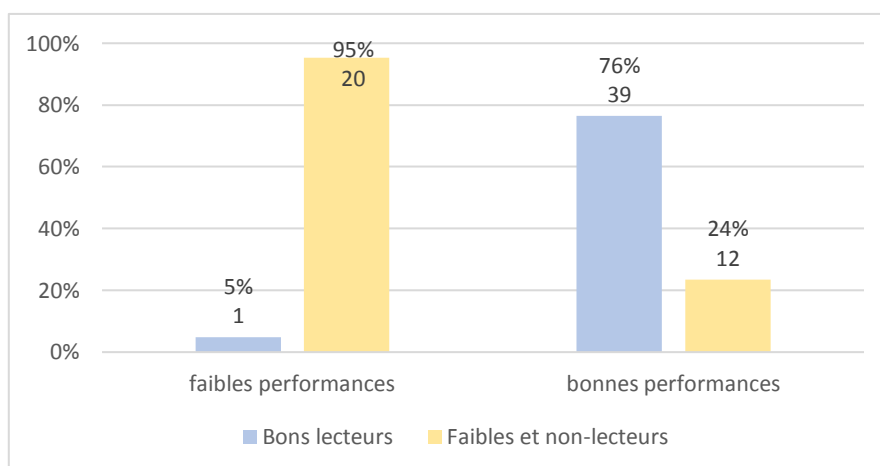


Figure 8 : Répartition des profils de lecture selon les performances en métaphonologie

Ce graphique nous montre que 95% des enfants ayant des scores faibles aux épreuves de métaphonologie sont en difficulté pour la lecture. On retrouve une corrélation très significative ($p < 0,001$; test du Khi-2).

6. Lien entre le profil de lecture et les caractéristiques lésionnelles

6.1 Lecture et latéralisation hémisphérique

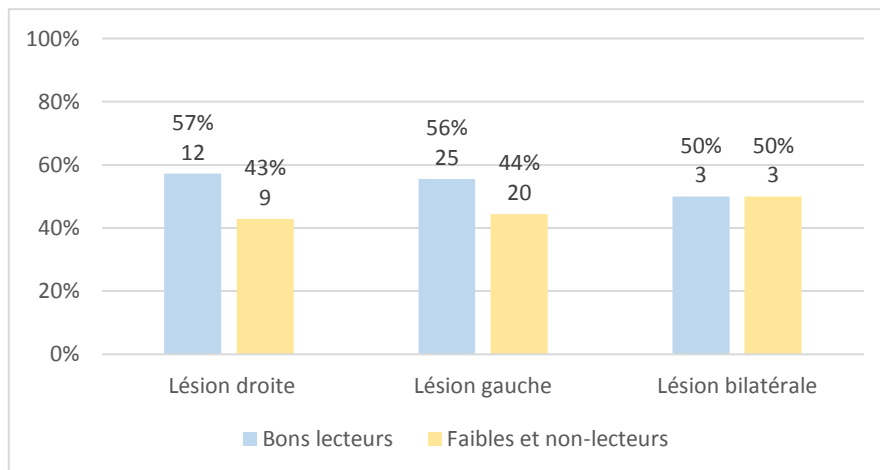


Figure 9 : Répartition des profils de lecture selon la latéralisation de la lésion

Le graphique montre des répartitions globalement similaires entre les 2 groupes quel que soit l'hémisphère lésé. On ne retrouve pas de corrélation entre le profil en lecture et la latéralisation de la lésion. ($p = 1$; Test exact de Fisher).

6.2 Lecture et localisation de la lésion

Tableau 1 : Répartition des profils de lecture selon la localisation de la lésion

Localisation	N	Bons lecteurs		Faibles et non-lecteurs		p value
ACM	60	32	53%	28	47%	0,599
ACA	5	4	80%	1	20%	
ACP	4	2	50%	2	50%	
ACM+ACA	1	1	100%	0	0%	
ACM+ACP	1	0	0%	1	100%	
ACM+ACA+ACP	1	1	100%	0	0%	

ACM : artère cérébrale moyenne - **ACA** : artère cérébrale antérieure- **ACP** : artère cérébrale postérieure

Le tableau ci-dessus nous montre qu'il n'y a pas de corrélation entre la localisation de l'atteinte et le profil en lecture (p -value = 0,599 ; test exact de Fisher). Des difficultés en lecture peuvent être retrouvées quelle que soit l'artère lésée.

6.3 Lecture et territoire atteint

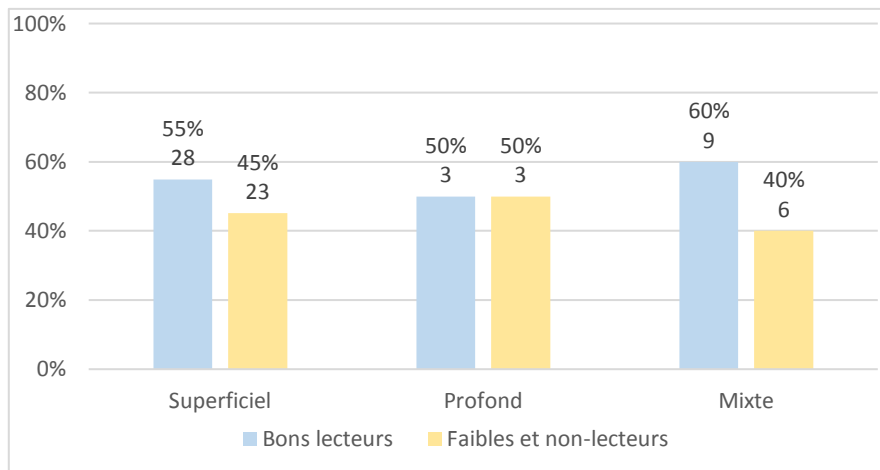


Figure 10 : Répartition des profils de lecture selon le territoire

Quel que soit le territoire lésé, les fréquences des profils de lecture sont sensiblement similaires entre les 2 groupes avec une proportion légèrement plus importante pour les lésions profondes. Il n'y a pas de corrélation significative entre le profil en lecture et le territoire atteint. ($p=0,929$; Test exact de Fisher).

7. Association entre le profil de lecture et la présence d'épilepsie

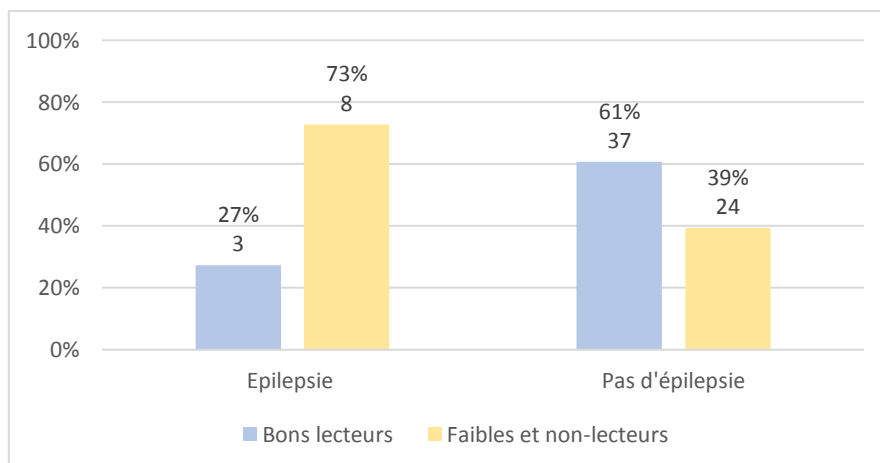


Figure 11 : Répartition des profils selon la présence d'épilepsie à 7 ans

Parmi les enfants qui présentent une épilepsie active à 7 ans, 73% ont un profil de « faible ou non-lecteur ». Il existe une légère corrélation entre la présence d'épilepsie et le niveau en lecture ($p= 0,05$; test exact de Fisher).

8. Lien entre le profil de lecture et le niveau socio-économique

Tableau 2 : Paramètres de position du score NSE en fonction du groupe

NSE	Bons lecteurs	Faibles et non-lecteurs	p-value
Moyenne	37,9	30,3	0,029
Médiane	30	35	

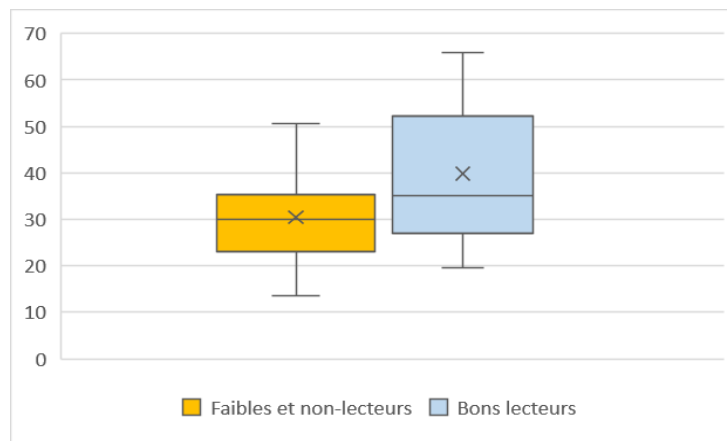


Figure 12: Appréciation du niveau socio-économique en fonction du profil de lecture

Ce graphique nous montre la distribution des scores NSE pour les 2 groupes avec des indices plus élevés chez les bons lecteurs. Il existe une corrélation significative entre le niveau socio-économique et le profil de lecture. Les enfants pour lesquels le score NSE est plus élevé sont moins à risque de présenter des difficultés en lecture ($t=-2,25059$ ddl = 63 $p= 0,029$; Test t de Student).

II - PROFIL DES NON-LECTEURS

Tableau 3 : Facteurs influençant l'accès à la lecture de texte

		Lecteurs (Bons et faibles) (N=57)		Non- lecteurs (N=15)		P-value	Test utilisé
Langage oral	Atypique	20	57%	15	43%	<0,001	Test exact de Fisher
	Typique	37	100%	0	0%		
Métaphonologie	Faibles performances	6	29%	15	71%	<0,001	
	Bonnes performances	51	100%	0	0%		
Sexe	Filles	23	85%	4	15%	0,384	
	Garçons	34	76%	11	24%		
Latéralisation	Lésion droite	15	71%	6	29%	0,312	
	Lésion gauche	38	84%	7	16%		
	Lésion bilatérale	4	67%	2	33%		
Localisation	ACM	47	78%	13	22%	0,444	
	ACA	5	100%	0	0%		
	ACP	3	75%	1	25%		
	ACM+ACA	1	100%	0	0%		
	ACM+ACP	0	0%	1	100%		
	ACM+ACA+ACP	1	100%	0	0%		
Territoire	Superficiel	42	82%	9	18%	0,397	
	Profond	5	83%	1	17%		
	Mixte	10	67%	5	33%		
Epilepsie	Épilepsie à 7 ans	4	36%	7	64%	<0,001	
	Pas d'épilepsie	53	87%	8	13%		
NSE	Moyenne	36,54		26,83		<0,001	Test U de Mann- Whitney
	Médiane	33,5		24			

Si l'on s'intéresse plus précisément au groupe des « non-lecteurs », on constate que certaines corrélations apparaissent encore plus fortes que dans les observations précédentes. En effet, tous les « non-lecteurs » ont un profil de langage oral atypique ($p < 0,001$; test exact de Fisher)

et de faibles performances aux épreuves de métaphonologie ($p < 0,001$; test exact de Fisher). Nous relevons également une association significative entre le profil de lecture et la présence d'épilepsie puisque 64% des enfants présentant une épilepsie active à 7 ans sont non-lecteurs ($p < 0,001$; test exact de Fisher). Enfin le niveau socio-économique reste un facteur influençant l'accès à la lecture puisqu'on relève une différence significative entre les scores des deux groupes ($U = 238,000$ $Z = -2,62064$ $p = 0,009$; Test U de Mann-Whitney).

Comme pour notre analyse générale de la cohorte, nous ne retrouvons pas de corrélation entre le profil de lecture et les caractéristiques lésionnelles. On constate que 24% des garçons n'ont pas accès à la lecture contre 15% des filles. La tendance est inversée puisque l'on retrouve ici une proportion légèrement plus importante de non-lecteurs parmi les garçons. Ces différences ne sont en revanche pas significatives ($p = 0,384$; Test de Fisher).

III - CONTROLE DU PARAMETRE « APPRENTISSAGE »

1. Profil des enfants ayant reçu 10 mois d'apprentissage de la lecture

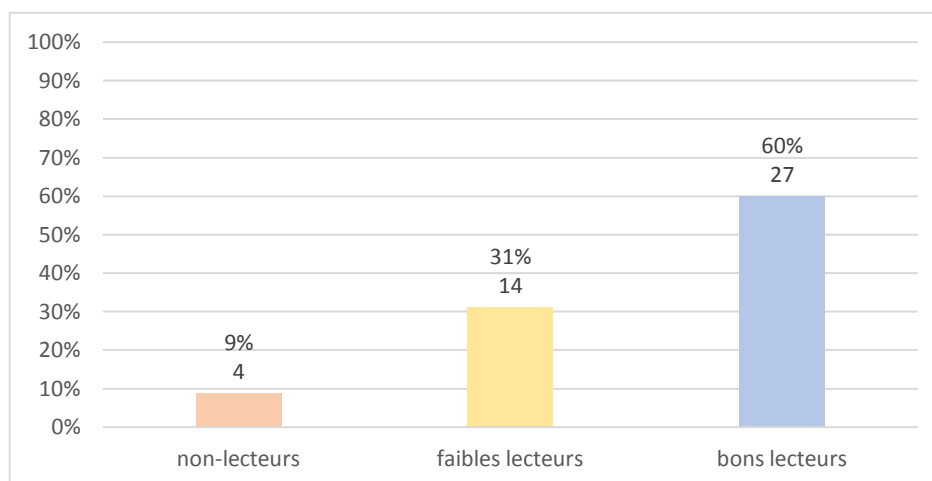


Figure 13 : Profils de lecture après 10 mois minimum d'apprentissage

En contrôlant la variable « apprentissage », on retrouve un pourcentage plus important d'enfants « bons lecteurs ». Cependant, 40% de notre échantillon n'a pas le niveau attendu en lecture malgré 10 mois d'apprentissage minimum et parmi eux, 4 n'ont pas du tout accès à la lecture de texte soit 9% de notre population.

2. Facteurs influençant les performances en lecture après apprentissage

Tableau 4 : Facteurs influençant les performances en lecture des enfants ayant reçu un apprentissage

		Lecteurs (N=27)		Faibles et non-lecteurs (N=18)		P-value	Test utilisé
Langage oral	Atypique	5	29%	12	71%	0,001	Test du Khi-2
	Typique	22	79%	6	21%		
Métaphonologie	Faibles performances	0	0%	7	100%	<0,001	Test exact de Fisher
	Bonnes performances	27	71%	11	29%		
Sexe	Filles	8	50%	8	50%	0,484	Test du Khi-2
	Garçons	19	66%	10	34%		
Latéralisation	Lésion droite	8	73%	3	27%	0,685	
	Lésion gauche	17	55%	14	45%		
	Lésion bilatérale	2	67%	1	33%		
Localisation	ACM	22	56%	17	44%	0,912	Test exact de Fisher
	ACA	2	100%	0	0%		
	ACP	1	50%	1	50%		
	ACM+ACA	1	100%	0	0%		
	ACM+ACP	0	0%	0	0%		
	ACM+ACA+ACP	1	100%	0	0%		
Territoire	Superficiel	19	58%	14	42%	0,874	
	Profond	2	67%	1	33%		
	Mixte	6	67%	3	33%		
Epilepsie	Épilepsie à 7 ans	1	50%	1	50%	1	
	Pas d'épilepsie	26	60%	17	40%		
NSE	Moyenne	32,2		40,6		0,044	Test U de Mann-Whitney
	Médiane	32,5		37,5			

Après contrôle du paramètre « apprentissage », nous constatons des résultats similaires à notre population globale pour les enfants ayant strictement reçu 10 mois minimum

d'enseignement explicite de la lecture. Des corrélations entre le profil de lecture et le niveau de langage oral ($p=0,001$; test du Khi-2), et les compétences en métaphonologie sont ainsi retrouvées ($p<0,001$; test de Fisher). Tous les enfants qui ont de faibles performances aux épreuves de métaphonologie se trouvent être en difficulté en lecture, même après l'apprentissage explicite de celle-ci.

De la même manière, nous ne retrouvons pas de corrélation entre le profil en lecture et les caractéristiques lésionnelles, ni d'association évidente entre le sexe et les performances en lecture.

Seul le paramètre « épilepsie active à 7 ans » n'est plus corrélé au niveau de lecture des enfants qui ont reçu un apprentissage minimum. A ce titre, il est intéressant de noter que dans cet échantillon, seulement 2 enfants présentent une épilepsie active.

Enfin, le niveau socio-économique reste un facteur influençant les performances en lecture à 7 ans après contrôle du paramètre « apprentissage » ($U= 155,5000$; $Z= -2,01564$ $p= 0,044$; Test U de Mann-Whitney).

DISCUSSION

L'objectif de ce travail de recherche était d'étudier l'impact d'un AVC ischémique artériel en période néonatale sur le développement de la lecture. Nous émettions l'hypothèse que l'occurrence d'un AVCian avait un impact négatif sur le développement de la lecture à 7 ans. Nous avons souhaité étudier plus précisément l'influence de facteurs individuels, développementaux, lésionnels et environnementaux sur le niveau de lecture de ces enfants.

I - DISCUSSION DES HYPOTHESES AU REGARD DES RESULTATS

1. Niveau de lecture des enfants ayant subi un AVCian

Nous émettions l'hypothèse que les enfants ayant subi un AVCian étaient plus à risque de présenter des difficultés pour entrer dans la lecture que les enfants « tout-venants ».

Nous observons grâce à notre analyse que la proportion d'enfants présentant des difficultés en lecture à 7 ans est de 44% au sein de notre population. Ce pourcentage est trois fois plus important que dans la population générale des enfants du même âge qui s'élève à environ 13% (Fluss et al., 2008). Notre résultat concerne cependant des enfants n'ayant pas eu accès à l'apprentissage de la lecture, probablement en raison d'un niveau scolaire ou langagier trop faible puisque les enfants scolarisés en maternelle ou en cours de CP suite à un maintien sont inclus dans notre population, ainsi que ceux accueillis en IME et CLIS. C'est pourquoi nous avons choisi dans un second temps de restreindre notre échantillon aux enfants ayant bénéficié d'un apprentissage de la lecture d'au moins 10 mois. Le but était de minimiser les biais liés au rythme d'apprentissage des enfants, puisque les performances sont très variables au cours de l'année de CP, alors qu'à contrario un consensus est officiellement établi concernant le niveau de maîtrise de lecture des enfants attendu en fin d'année scolaire. Le résultat est globalement similaire : parmi les 45 enfants concernés, 40% présentent des difficultés en lecture à 7 ans et 9% n'ont par ailleurs pas du tout accès à la lecture de texte malgré un enseignement explicite d'au moins une année scolaire. Ce constat va dans le sens d'une émergence plus difficile des compétences en lecture suite à une lésion cérébrale

précoce. Notre hypothèse est donc validée : les enfants ayant subi un AVCian sont plus à risque de présenter des difficultés pour entrer dans la lecture que les enfants « tout-venants ». Notons que cette difficulté dans l'apprentissage de la lecture peut être replacée dans le contexte de difficultés d'apprentissage plus globales puisque 19% des enfants sont scolarisés dans un niveau scolaire inférieur et près de 10% ont une scolarisation adaptée en IME ou en CLIS.

Nos observations vont dans le sens de celles présentées par d'autres auteurs qui ont démontré que les enfants ayant subi une lésion pré- ou périnatale performaient significativement plus faiblement que les enfants tout-venants sur des tâches de lecture, notamment en décodage (Demir et al., 2016 ; Woolpert et al., 2016 ; Guillon et al., 2013). Toutefois, contrairement à leurs résultats indiquant des scores restant dans la norme pour leur âge, notre cohorte met en évidence la présence de performances significativement inférieures à ce qui est attendu.

Des résultats similaires de difficultés d'apprentissages sont rapportées de manière générale en cas d'atteinte cérébrale focale dans l'enfance, que ce soit suite à un AVC, un traumatisme crânien ou une tumeur cérébrale. Des chercheurs évoquent une proportion de 45% d'enfants présentant un déficit moyen ou sévère en lecture, ce pourcentage étant significativement plus important en cas de lésions périnatales avec environ 65% d'enfants concernés par ces difficultés (Anderson et al., 2009). Ces constats argumentent en faveur d'une vulnérabilité plus accrue lorsque le cerveau est endommagé très précocement.

2. Le sexe : facteur de risque ?

Nous avons émis l'hypothèse que le sexe masculin constituait un facteur de risque de présenter des performances plus faibles en lecture à 7 ans. L'INSERM en 2007 et le CNESCO en 2016 nous apprennent en effet qu'une part plus importante de garçons se montre en difficulté pour la lecture. Frith et ses collaborateurs (2001) démontraient une influence du sexe sur les performances en lecture chez des enfants ayant subi une lésion périnatale avec un désavantage pour les garçons. Pour autant, nos résultats ne viennent pas corroborer ces observations puisque la proportion de « faibles et non-lecteurs » est sensiblement équivalente dans les 2 groupes avec une légère tendance inversée en défaveur des filles, qui

n'est pas significative. En cas d'AVCian, le sexe masculin ne constituerait pas un facteur de risque de présenter des difficultés en lecture à 7 ans. Notre hypothèse n'est pas confirmée.

3. Corrélation entre le niveau de langage oral et le profil en lecture

Nous avons formulé l'hypothèse d'une corrélation entre le niveau de langage oral et le profil en lecture à 7 ans. En effet, si de nombreuses fonctions sont impliquées dans l'activité de lecture, celle-ci est avant tout considérée comme une activité langagière (Zesiger et al., 2004).

Notre hypothèse a pu être confirmée puisqu'il existe une association significative entre le profil de langage oral et le profil de lecture : les enfants présentant un profil langagier « atypique » sont plus à risque d'avoir des difficultés pour rentrer dans la lecture à 7 ans.

Alors que le développement du langage oral débute de façon précoce et se met en place de manière implicite au contact de la langue et grâce à un bain de langage suffisant, le langage écrit lui, nécessite un apprentissage explicite du code et prend appui sur les connaissances langagières déjà en place. Comme nous avons pu le voir dans le modèle CDP, si l'enfant a un bon niveau de vocabulaire et produit un langage correct, alors il dispose déjà de représentations phonologiques associées à des représentations sémantiques ce qui va faciliter la mise en place de connexions efficaces avec ses représentations orthographiques.

Il est intéressant de relever que cette corrélation entre le niveau de langage oral et le profil de lecture est très significative chez les « non-lecteurs » qui présentent tous des difficultés langagières à l'oral. Le langage oral représente donc un facteur déterminant de l'accès à la lecture à 7 ans. Il est désormais connu que la quantité et la qualité des interactions dans les stades précoces du développement, notamment dans la 2^e année de vie, prédisent les capacités langagières et les performances cognitives futures (Gilkerson et al., 2018). Ainsi, nous pouvons nous interroger sur l'importance d'identifier le plus tôt possible ces fragilités en langage oral afin de limiter les répercussions sur les apprentissages ultérieurs chez les enfants après AVCian.

D'autres éléments mis en lumière par nos résultats nous semblent importants à relever : 21% des enfants ayant un bon niveau de langage oral et ayant suivi un apprentissage de 10 mois

de la lecture se trouvent être de « faibles et non lecteurs » à 7 ans. Ce pourcentage apparaît élevé et soulève des questionnements : ces enfants présentent-ils des déficits sous-jacents autres que langagiers et impactant les performances en décodage ? Nous pouvons citer à titre d'exemple les compétences visuelles, mnésiques ou encore attentionnelles. Pourraient-ils également présenter des déficits langagiers plus subtils qui ont été compensés et n'ont pas pu être mis en évidence par l'évaluation orthophonique ? Les difficultés se révéleraient alors au cours de tâches plus complexes et coûteuses sur le plan cognitif comme c'est le cas pour la lecture. L'augmentation des exigences cognitives mettrait alors en lumière une limitation des compensations résultant de la plasticité cérébrale. Enfin, les difficultés présentées pourraient-elles s'apparenter à un trouble spécifique des apprentissages portant sur le langage écrit ?

La littérature nous apprend que les compétences verbales précoces prédisent les compétences en lecture à 8 ans chez les prématurés et les enfants nés à terme. En revanche, les mesures cognitives non-verbales dont les fonctions exécutives sont corrélées aux résultats en lecture uniquement chez les prématurés. Ces résultats soulèvent l'hypothèse selon laquelle l'acquisition d'une lecture fluide chez ces enfants est sous-tendue par des compétences plus diverses que chez les enfants nés à terme. Les difficultés en lecture seraient donc le résultat cumulatif de plusieurs facteurs neuropsychologiques tels que des faiblesses en termes de vitesse de traitement et de mémoire de travail, des déficits sur le plan du langage oral et de l'intelligence globale, et des anomalies cérébrales précoces (Borchers et al., 2019). Il serait intéressant de voir si ces observations peuvent s'appliquer à une population présentant une lésion acquise en période néonatale.

4. Association entre les scores en métaphonologie et le profil de lecture

Nous avons vu qu'il était nécessaire d'avoir une bonne conscience phonologique (Alonzo et al., 2019) pour mettre en place les correspondances graphèmes-phonèmes et qu'un déficit dans ce domaine était associé à de faibles compétences en lecture. De plus, Woolpert et ses collaborateurs (2016) ont démontré que les compétences phonologiques des enfants ayant subi une lésion périnatale prédisaient leurs performances en lecture. Nos résultats vont dans le sens de ce constat puisqu'une association significative entre les scores en métaphonologie et le profil de lecture est observée : les enfants ayant des scores peu élevés aux épreuves de

métaphonologie présentent des difficultés significatives d'accès à la lecture, même après un apprentissage de 10 mois.

La conscience phonologique en tant que « prédicteur » des compétences ultérieures en lecture est largement documentée pour la population d'enfants tout-venants. Segmenter la parole, décomposer les mots en différents phonèmes, associer ces sons aux lettres écrites, toutes ces compétences sont nécessaires pour décoder des mots dans une langue alphabétique. Celle-ci est fortement corrélée aux compétences langagières générales. Les mêmes observations sont faites dans des populations d'enfants en situation de vulnérabilité précoce (Borchers et al.,2019). L'acquisition de la lecture solliciterait donc les mêmes pré-requis, même lorsque le développement est impacté par des facteurs neurobiologiques tels que la prématurité ou une lésion cérébrale précoce.

Toutefois, si de bonnes représentations phonologiques sont nécessaires dans la mise en place du décodage, l'écart observé au niveau de ces performances peut être majoré du fait des difficultés en lecture. En effet, comme cela est précisé dans le modèle CDP, la prononciation du mot décodé permet d'améliorer les mécanismes du processeur non-lexical et de repréciser en retour les représentations phonologiques. La lecture permet ainsi de mieux prendre conscience des phonèmes et donc de les identifier et de les manipuler de manière plus efficiente. Cela se traduit au niveau cérébral, par l'activation du réseau associé à la production du langage lors de tâches de lecture, qui renforce le planum temporale impliqué dans le codage phonologique de la parole (Dehaene et al., 2010). Ce décalage de performance sur le plan phonologique et métaphonologique pourrait donc être majoré en raison d'une acquisition anormale de la lecture.

5. Corrélations entre les données lésionnelles et le profil de lecture

5.1 Impact de la latéralisation de la lésion

Nous avons constaté que le rôle de la latéralisation de la lésion dans le pronostic langagier des enfants ayant subi un AVCian faisait débat dans la littérature. Nous avons émis l'hypothèse de performances plus déficitaires chez les enfants ayant subi une lésion de l'hémisphère gauche, en lien avec la théorie de la « spécialisation hémisphérique pré-déterminée » pour le langage. L'hypothèse n'a pas été confirmée par nos résultats puisque les performances ne

sont pas impactées par la latéralisation de la lésion. Le côté atteint n'aurait pas d'influence sur le pronostic en lecture dans le cas d'une lésion précoce. Les enfants avec AVC sont à risque de présenter des difficultés d'acquisition de la lecture quel que soit l'hémisphère lésé.

Ces résultats sont en corrélation avec ceux présentés par Ballantyne et collaborateurs (2008) qui rapportaient l'absence d'effet de la latéralisation sur les performances en lecture mais viennent contredire les propos d'autres auteurs concernant un pronostic plus péjoratif pour une lésion exclusive de l'hémisphère gauche ou droit (Aram et al., 1988 ; Demir et al., 2016 ; Frith et al., 2001).

Nous pouvons ainsi questionner les effets de la plasticité suite à une lésion précoce. Au vu des résultats, celle-ci serait suffisante pour permettre à la fonction de se développer, mais néanmoins limitée puisque les difficultés sont relativement fréquentes. Comme l'ont souligné de nombreux auteurs (Staudt, 2010 ; Hertz-Pannier et al., 2002 ; Tillema et al., 2008 ; Ilvès et al., 2014 ; François et al., 2019 ; Fluss, et al. 2019) certaines fonctions comme le langage oral peuvent être relatérialisées dans des régions symétriques de l'hémisphère controlatéral suite à un AVC. On peut donc se demander si le circuit cérébral pour la lecture pourrait bénéficier des effets de la réorganisation cérébrale controlatérale observable pour la fonction du langage oral ? La VWFA, l'aire spécifique de la forme visuelle des mots, émerge avec l'acquisition de la lecture dans le cortex ventral occipito-temporal gauche. Sa latéralisation fréquente dans l'hémisphère gauche pourrait être expliquée par la proximité nécessaire avec les réseaux pour le traitement du langage oral (Saygin et al., 2016). Or si celui-ci est réorganisé dans l'hémisphère controlatéral, la VWFA suit-elle cette relatérialisation ? Si ce n'est pas le cas, on pourrait alors imaginer que le circuit pour la lecture pourrait être davantage bilatéral puisqu'il profiterait des réseaux du langage oral réorganisés dans l'hémisphère controlatéral. Toutefois, nous avons vu qu'un fonctionnement inter-hémisphérique n'était pas toujours synonyme de meilleures performances (Dick, 2013). Il serait intéressant de mener des études d'IRM fonctionnelle pour mettre en évidence cette organisation cérébrale pour la lecture suite à un AVC ischémique artériel néonatal.

Nous pensions également qu'une lésion bilatérale était, au même titre que pour les compétences motrices, synonyme d'un pronostic défavorable pour la lecture à 7 ans. Cette hypothèse n'a pas été confirmée et rejoint l'idée que l'étendue de la lésion n'est pas corrélée

à la sévérité des déficits. Comme le suggère Staudt en 2001, une petite lésion circonscrite peut induire une réorganisation langagière si elle se trouve sur un site cortical stratégique.

5.2 Impact de la localisation de la lésion

Nous avons émis l'hypothèse d'une proportion plus importante de « faibles et non-lecteurs » en cas d'atteinte de l'artère cérébrale moyenne qui irrigue les aires cérébrales principalement impliquées dans le traitement du langage. Si cette artère est plus fréquemment concernée en cas d'AVCian, la proportion d'enfants en difficulté n'est pas significativement plus élevée en cas d'atteinte. Les distributions entre « bons lecteurs » et « faibles et non-lecteurs » sont similaires quelle que soit l'artère lésée. Le même constat est observable entre les « non-lecteurs » et les « lecteurs ». Notre hypothèse est donc invalidée.

Malgré de faibles effectifs avec un total de 9 enfants concernés, nous retrouvons des difficultés en lecture chez les enfants ayant une atteinte spécifique de l'artère cérébrale antérieure ou de l'artère cérébrale postérieure. Cela nous interroge donc sur le rôle potentiel de ces artères dans l'organisation cérébrale du langage écrit notamment l'artère cérébrale postérieure puisque la moitié des enfants présentant une atteinte de l'ACP ont un profil de « faibles ou non-lecteurs ». A noter que cette artère irrigue les aires occipitales principalement dévolues au traitement visuel et donc indispensables dans les étapes précoces du décodage.

Nos résultats montrent qu'une lésion mixte de plusieurs artères n'est pas significativement associée à un pronostic défavorable. L'étendue de la lésion ne semble pas corrélée à la sévérité des déficits en lecture contrairement à ce qui a pu être mis en avant par Demir et ses collaborateurs en 2016 dans leur étude. Ce constat est d'autant plus étonnant que la lecture est une fonction qui mobilise un réseau neuronal plus étendu et requiert une récupération rapide de l'information ainsi qu'un bon contrôle attentionnel. Nous pouvons toutefois soulever la limite de la puissance statistique des résultats étant donné la faible proportion d'enfants présentant une atteinte mixte au sein de notre cohorte.

5.3 Influence du territoire lésé

Nous avons émis l'hypothèse qu'une atteinte des structures cérébrales profondes donnait lieu à un pronostic défavorable pour le développement de la lecture à 7 ans. Cette hypothèse

n'est pas vérifiée pour notre cohorte. Contrairement à ce qui a été mis en évidence par Aram en 1988 pour des lésions gauches, et les études dans les sphères motrice (Dinomais et al., 2015) et cognitive (Westmacott et al., 2009), les lésions sous-corticales ou mixtes ne seraient pas significativement associées à des difficultés majorées dans l'acquisition de la lecture. Ainsi, le territoire lésé n'aurait pas d'influence sur les performances en lecture à 7 ans.

6. Corrélation entre la présence d'épilepsie et le niveau de lecture à 7 ans

Nous avons émis l'hypothèse d'une corrélation entre la présence d'épilepsie à 7 ans et le niveau de lecture. Celle-ci est confirmée puisque nous retrouvons un nombre significativement plus important de « faibles et non-lecteurs » chez les enfants présentant une épilepsie active à 7 ans. Ces résultats viennent confirmer les données de la littérature selon lesquelles l'épilepsie est fréquemment associée à un pronostic plus défavorable, que ce soit dans la sphère motrice ou cognitive (Ballantyne et al., 2008 ; Chabrier et al., 2016 ; Wagenaar et al., 2018). De manière générale, la littérature rapporte des difficultés plus fréquentes en lecture chez les enfants présentant une épilepsie que chez les enfants « tout-venants » avec un taux pouvant aller de 12 à environ 32% (Fastenau et al., 2008).

Notons que l'association entre le profil de lecture et la présence d'épilepsie est très significative lorsque l'on s'intéresse plus précisément aux enfants n'ayant pas eu accès à la lecture de texte puisque 64% des enfants présentant une épilepsie active à 7 ans sont « non-lecteurs ». Le facteur épilepsie apparaît ainsi déterminant dans le niveau en lecture à 7 ans et le risque de ne pas accéder à la lecture en cas d'épilepsie active est important. Notons que tous les enfants « non-lecteurs » présentent un langage « atypique ». Nous pouvons donc nous questionner sur l'influence directe de l'épilepsie sur les capacités de décodage ou sur une conséquence indirecte de ce facteur du fait de la forte corrélation avec le niveau en langage oral.

Une méta-analyse de Smith et collaborateurs (2015) sur le langage et la littératie d'enfants présentant une épilepsie rolandique, considérée comme l'épilepsie la plus commune dans l'enfance, argumente en ce sens. Ces enfants présentaient davantage de faiblesses en lecture ainsi qu'en production et compréhension du langage en comparaison avec les enfants tout-venants. Les auteurs ont émis l'hypothèse que ces déficits en lecture pouvaient être expliqués

par des difficultés initiales dans le traitement phonologique qui était altéré chez ces enfants. Ainsi l'épilepsie pourrait influencer les facteurs cognitifs sous-jacents de la lecture, notamment les capacités phonologiques et le langage oral.

7. Le niveau socio-économique : facteur de risque ou de protection ?

Nous avons émis l'hypothèse d'une association entre le niveau socio-économique et les compétences en lecture. Cette hypothèse est validée puisqu'on observe une corrélation entre ces 2 paramètres, et ce, pour les différents groupes de notre population d'étude : les enfants évoluant dans un milieu avec un score NSE plus faible sont plus à risque de présenter des difficultés de décodage à 7 ans. Cela confirme les résultats de Fluss et al. (2009) qui rapportaient un taux plus important de lecteurs en difficulté dans les milieux socio-économiques dits défavorisés.

La confrontation à l'écrit par divers moyens (affiches, journaux, livres, contes) permet aux enfants d'intégrer de façon implicite certains principes entourant la lecture et l'écriture. Or cette exposition est corrélée au niveau culturel et socio-économique familial (Robins et al., 2012). Un accès limité aux ressources langagières orales ou écrites pourrait amplifier le risque de présenter des faiblesses dans le décodage alors qu'un accès facilité permettrait au contraire aux enfants concernés de compenser de faibles performances en conscience phonologique et d'optimiser leurs compétences en lecture (Noble et al., 2006). Le niveau socio-économique pourrait donc à ce titre être considéré comme un facteur de protection. Cette corrélation entre les performances en métaphonologie et le score NSE se retrouve de manière très significative dans notre présente étude ($U=306,5000$, $Z=-2,83087$, $p=0,004$, Test U de Mann-Whitney).

L'influence du niveau socio-économique du milieu dans lequel évolue l'enfant sur ses compétences langagières n'est cependant pas spécifique à l'AVCian puisque des résultats similaires sont retrouvés dans d'autres contextes. Les études ciblant les traumatismes cérébraux démontrent notamment que la récupération post-lésionnelle est en partie associée au fonctionnement familial et au statut socio-démographique de la famille (Petranovitch et al., 2020). Dans la population générale, l'enquête internationale PISA rapporte que la France est l'un des pays où le milieu social joue le plus dans la détermination du niveau scolaire avec

d'importantes différences de performances entre les élèves issus d'un milieu social favorisé et ceux évoluant dans un milieu défavorisé (DEPP, 2019). L'étude longitudinale française depuis l'enfance (elfe) a également mis en évidence le fait que ces inégalités socioéconomiques avaient une influence déjà remarquable sur les compétences langagières à 2 ans, notamment dans l'acquisition du vocabulaire (Grobon et al., 2019).

Ainsi, l'impact du niveau socio-économique observé dès les premières années de vie de l'enfant renforce l'idée de mettre en place des interventions précoces auprès de ces enfants et de leur environnement familial. Il est nécessaire d'apporter à l'enfant des expériences d'interactions émotionnelles positives et des occasions d'enrichir son vocabulaire notamment par le biais du jeu ou de la lecture d'histoires. L'environnement joue un rôle clé dans le développement et la récupération de certaines compétences chez l'enfant comme le montrent les résultats prometteurs d'études cliniques randomisées ciblant les interventions basées sur la famille pour les enfants et adolescents présentant un traumatisme crânien (Petranovitch et al., 2020). Ces observations seraient légitimement applicables pour les AVCian.

8. Validation de notre hypothèse principale

Notre étude a permis de mettre en évidence qu'une lésion cérébrale précoce de type AVCian pouvait influencer négativement les performances en lecture à 7 ans.

Si 56% des enfants évalués ont le niveau de lecture attendu à 7 ans, mettant en évidence la capacité du cerveau à compenser et à soutenir la fonction du « langage écrit » qui apparaît plus tardivement dans le développement, les effets positifs de la plasticité cérébrale ne sont toutefois pas généralisables puisqu'une grande proportion d'enfants a des difficultés de lecture à 7 ans. Cela suggère que ce phénomène de compensation présente des limites. Ce constat va à l'encontre du principe de Kennard qui stipule qu'une atteinte précoce du cerveau immature donnerait lieu à une meilleure récupération fonctionnelle mais confirme l'idée du modèle d'Allman et Scott en 2011 : lorsque la lésion survient avant l'âge de 1 an, les effets de la plasticité sont moindres en raison de la grande vulnérabilité du cerveau à ce stade.

Les déficits observés apparaissant tardivement après la survenue de l'AVCian, nous sommes alors en mesure de questionner les effets à long terme de cette plasticité. Alors que Ballantyne et collaborateurs (2008) expliquaient que les enfants ayant subi un AVC artériel ischémique périnatal présentaient majoritairement un bon niveau de développement sur le long terme, garanti par la réorganisation fonctionnelle cérébrale, d'autres auteurs comme Anderson et al. (2011), ont tempéré ces propos. Ils ont soutenu l'idée que les compétences dites de « bas » niveau pour lesquelles les schémas d'activation cérébrale étaient plus circonscrits (compétences visuelles, sensori-motrices, langagières simples) étaient soumises à une meilleure récupération que les compétences de « haut » niveau développées plus tardivement telles que les fonctions exécutives, les fonctions langagières élaborées ou encore la cognition sociale. Nos résultats corroborent ainsi cette seconde hypothèse.

Il reste à déterminer si ces déficits sont le reflet d'un « retard » dans l'entrée dans la lecture qui pourrait être « rattrapé » progressivement ou si ces résultats prédisent des conséquences plus durables telles qu'observé dans le cadre de troubles spécifiques des apprentissages. En résulte alors la question de la trajectoire développementale des enfants après AVCian. L'idée d'une évolution non linéaire, qui différerait de ce qui est observé chez des sujets tout-venants, est abordée dans des champs de recherche connexes. Ainsi, après un traumatisme crânien dans l'enfance, les plus jeunes présenteraient une récupération rapide suite à la lésion cérébrale avant d'atteindre un « plateau » qui dans certains cas pourrait être suivi d'un déclin (Babikian et al., 2015). Ce « blocage » neurocognitif pourrait apparaître même si ces enfants ont récupéré des capacités cognitives comparables à leur niveau pré-lésionnel et l'écart entre ces enfants et leurs pairs pourrait se creuser avec le temps. Les conséquences de la lésion viendraient perturber les circuits neuronaux et entraîner des difficultés d'apprentissage observables à distance de la lésion.

Ainsi, identifier ces déficits à long terme et connaître les trajectoires développementales des enfants en cas d'AVCian permettrait aux professionnels impliqués dans la prise en soin de ces patients d'intervenir à des points clés du développement.

II - LIMITES ET APPORTS DE NOTRE ETUDE

1. Les limites de notre projet

Bien que tout notre possible ait été fait pour restreindre les biais méthodologiques, quelques limites doivent être considérées.

1.1 Limites liées à la population

Les enfants ayant passé l'évaluation à 7 ans n'ont pas tous le même niveau scolaire. Ainsi, notre étude portant sur l'acquisition de la lecture, il aurait été intéressant d'avoir une plus grande proportion d'enfants ayant suivi un apprentissage de 10 mois de la lecture. En effet, les performances inter-individuelles sont très variables au début de cet apprentissage. La restriction de notre échantillon nous a permis de limiter les biais liés à l'enseignement ou au rythme d'apprentissage de l'enfant mais au détriment de la puissance statistique. Rappelons néanmoins que l'AVC ischémique artériel néonatal est une pathologie relativement rare. Constituer une cohorte aussi importante revêt un caractère unique. Cela n'a pu être possible que par la dimension nationale et multicentrique de l'étude AVCnn.

Par ailleurs, cette limite de 10 mois d'apprentissage est discutable puisque dans la population générale certains enfants n'ont pas encore acquis les compétences attendues en lecture en fin de CP, malgré les recommandations ministérielles. En étudiant les performances d'enfants en fin de CE1, soit après 2 ans d'apprentissage de la lecture, les biais liés à la variabilité inter-individuelle auraient été moindres.

1.2 Limites liées au matériel

Le faible échantillonnage par classe fourni par l'étalonnage de 2005 de l'Alouette-R questionne quant aux qualités psychométriques du test, notamment concernant les critères de validité, la sensibilité et la spécificité. Une bonne sensibilité et spécificité permettrait d'éviter les faux positifs et les faux négatifs qui viendraient biaiser l'interprétation des résultats. Il est également important de noter que cet étalonnage n'est pas représentatif de la population.

Nous avons opté pour l'utilisation des percentiles pour l'analyse des résultats de notre population. Une autre option possible était d'utiliser l'étalonnage de 1967. Celui-ci montre des propriétés psychométriques de très bonnes qualités avec le calcul de l'âge lexique. Dans la recherche, c'est ce score qui est davantage utilisé. Cependant, raisonner en termes d'âges de développement présente des limites : les valeurs des scores de l'échantillon de référence à un test sont censées augmenter de manière linéaire avec l'âge mais cette corrélation n'est jamais parfaite. Par ailleurs, une performance correspondant à un niveau d'âge antérieur n'est pas nécessairement synonyme de « trouble », il faut se référer à des seuils. Enfin, le retard n'est pas équivalent quel que soit l'âge considéré puisqu'un retard d'acquisition de la lecture d'un an à l'âge de 7 ans n'a pas la même signification qu'un retard d'un an à l'âge de 13 ans. Les enfants de notre cohorte se situant dans les premières années d'apprentissage de la lecture, une période particulièrement mouvante avec des changements extrêmement rapides, l'application de l'âge lexique ne semblait pas adapté à l'étude de notre population. Face à ces interrogations, nous avons fait le choix d'utiliser l'étalonnage de 2005 en considérant les biais que nous avons exposés précédemment et en nous référant à des données récoltées auprès des éditeurs et de la littérature pour les limiter.

1.3 Limites liées aux facteurs recherchés

Notre recherche se limite à un domaine restreint, celui de la lecture et à quelques facteurs qu'il nous semblait intéressant de considérer dans notre analyse.

Le test de l'Alouette a été choisi pour sa rapidité de passation et sa fonctionnalité dans une visée de dépistage. C'est un test de leximétrie qui évalue le décodage en termes de vitesse et de précision. En revanche, il ne permet pas d'observer la compréhension de l'écrit qui peut être altérée chez ces enfants. Nous ne considérons donc ici que la capacité des enfants à identifier les mots écrits. Des évaluations complémentaires nous auraient apporté de plus amples informations sur les déficits cognitifs sous-jacents impliqués dans les difficultés en lecture.

La capacité de lire repose sur de nombreux pré-requis visuels, visuo-moteurs, attentionnels, mnésiques et langagiers : tous ces paramètres peuvent être impactés en cas d'AVCian. Nous avons choisi de cibler notre analyse sur certains aspects langagiers. Toutefois, il aurait été

intéressant d'investiguer d'autres paramètres cognitifs tels que l'attention, la mémoire de travail et la vitesse de traitement ou encore les compétences visuelles et visuo-attentionnelles nécessaires dans les étapes précoces du décodage.

2. Apports de notre étude

2.1 Plus-value de notre étude

L'AVC ischémique artériel néonatal est une pathologie relativement rare. Notre projet s'appuie sur un projet de grande envergure, l'étude AVCnn^{7ans}, qui nous a permis de traiter des données quantitatives ayant une plus forte puissance statistique que les études de faibles échantillons retrouvées dans la littérature sur le sujet.

De plus, si certains domaines sont plus fréquemment étudiés chez ces enfants comme les compétences intellectuelles, motrices ou encore les compétences langagières orales, les recherches portant sur le langage écrit sont quant à elles très peu nombreuses. Nos travaux apportent ainsi des données quantitatives nouvelles et solides contribuant à une meilleure connaissance de ce sujet.

Enfin, la majorité des études analysant les compétences cognitives des enfants ayant subi un AVC ischémique artériel néonatal ne suivent les enfants que sur quelques années. L'étude AVCnn^{7ans} est originale dans le sens où le suivi longitudinal nous a permis d'observer le développement des enfants à distance de l'incident.

2.2 Apport pour la clinique

2.2.1 *Accompagnement précoce*

Nos données ont pu mettre en évidence l'impact précoce et déterminant de certains facteurs comme le niveau de langage oral et le niveau socio-économique de l'entourage sur l'évolution des enfants ayant subi un AVCian, contrairement aux facteurs lésionnels.

Ainsi, cela nous amène à considérer ces enfants au-delà de leur AVC : ils évoluent comme tout un chacun au gré des interactions avec leur milieu. Les expériences individuelles jouent un rôle déterminant dans l'évolution et influencent les capacités de plasticité cérébrale. Il est

donc nécessaire d'appréhender le développement de ces enfants d'un point de vue dynamique et multidimensionnel et de proposer des interventions précoces ciblant les interactions au sein des différentes sphères relationnelles. Elles permettraient ainsi à ces enfants vulnérables de développer leur potentiel, notamment dans l'acquisition des compétences langagières. Promouvoir précocement les bienfaits du jeu, de la lecture et du langage sur le développement de l'enfant dans le cadre de la prévention primaire est également un moyen d'action à considérer pour intervenir sur l'environnement avant l'apparition des difficultés. Toutes ces mesures pourraient être un moyen de contrer les répercussions en cascade sur les apprentissages et la qualité de vie de ces enfants, dans un enjeu de santé publique et d'éducation.

2.2.2 Suivi sur le long terme

Notre étude a permis de démontrer que les enfants ayant subi un AVCian sont à risque de présenter des difficultés cognitives émergeant plus tardivement notamment dans la sphère du langage écrit. Ces éléments soulèvent l'importance d'un suivi au long cours de ces enfants, d'autant que la littératie tient une place centrale dans notre société. Le langage écrit et notamment la lecture permettent d'accéder au savoir, à la connaissance et à des niveaux de langage plus élaborés. Les compétences à l'écrit sont par ailleurs corrélées à la réussite scolaire et permettent d'être socialement intégré. Il en va ainsi de la qualité de vie des enfants.

Une enquête par questionnaire réalisée par Elise Benoit en 2016 a mis en évidence que la majorité des parents de ces enfants ignoraient que cet événement neurologique précoce pouvait impacter le langage de leur enfant. Il est donc nécessaire pour ces familles d'avoir un accompagnement parental personnalisé qui se poursuive à distance afin de les informer des éventuelles conséquences de l'AVCian.

Un suivi longitudinal permettrait également de mieux cerner les trajectoires développementales des enfants après AVCian tel qu'évoqué précédemment.

2.3 Perspectives et ouverture

L'AVC ischémique artériel néonatal est un événement qui, de par la précision temporelle de sa survenue et de sa localisation, représente un moyen privilégié d'étudier l'organisation

structurelle et fonctionnelle du cerveau endommagé et les effets de la plasticité cérébrale sur le développement de diverses fonctions chez l'enfant. Une analyse plus poussée des liens entre les caractéristiques cliniques observées et les paramètres neurobiologiques étudiés grâce aux techniques de neuro-imagerie serait intéressante pour poursuivre ces investigations.

Nous avons suggéré l'intérêt d'un accompagnement précoce auprès de cette population. En l'absence de programme spécifique à l'AVC pédiatrique, l'efficacité de programmes individualisés provenant de différents champs d'intervention orthophonique pourrait être étudiée auprès d'enfants ayant subi une lésion cérébrale précoce. Ces interventions ne seraient pas spécifiques à l'étiologie et pourraient être choisies en fonction de leur profil : trouble des apprentissages, trouble spécifique du langage oral, trouble de la communication.

Par ailleurs, les professionnels doivent être conscients que les enfants concernés par un AVCian peuvent avoir de bonnes compétences langagières en apparence mais que certaines fragilités peuvent se révéler à mesure que les exigences cognitives et scolaires augmentent, et ainsi impacter leur qualité de vie, leur scolarité, leur communication et la socialisation avec leurs pairs. Des réévaluations fréquentes, à des temps clés du développement, sont donc attendues pour objectiver de nouvelles difficultés et d'éventuels besoins.

Aussi, la promotion de recommandations de bonne pratique adaptées au système de santé français permettrait d'accompagner les cliniciens dans ces démarches. A ce titre, il serait intéressant de s'appuyer sur les recommandations formulées par le Royal College of Paediatrics and Child Health en 2017. Celles-ci reposent en priorité sur une approche individualisée avec des objectifs thérapeutiques priorisés et centrés sur les besoins de l'enfant et de sa famille, et ce, à tous les temps de la rééducation. En effet, il est important de retenir que les besoins de ces enfants sont évolutifs. Face aux difficultés langagières souvent observées en cas d'AVCian, l'orthophonie est un domaine concerné par la prise en soin de ces enfants. Celle-ci doit être réalisée en collaboration avec les différents professionnels impliqués qu'ils soient du domaine du soin ou de l'éducation. Il est également nécessaire de développer un partenariat fort avec la famille : l'implication de l'enfant et de ses proches dans la rééducation permet d'optimiser la réussite de l'intervention.

Enfin, les enfants de la cohorte AVCnn ayant désormais entre 15 et 16 ans, il serait intéressant de poursuivre le suivi longitudinal de cette cohorte et d'observer leur évolution cognitive et scolaire à l'adolescence : quid de l'accès aux fonctions langagières plus élaborées, de leurs trajectoires développementales et de leur qualité de vie à plus long terme ?

CONCLUSION

L'AVC ischémique artériel néonatal reste une pathologie rare pour laquelle les déficits présentés ne sont pas comparables à ce qui est décrit dans la pathologie acquise chez l'adulte. En effet, les effets de la plasticité permettent à ces enfants d'accéder au langage. Toutefois, cette réorganisation présente des limites. Notre étude a ainsi pu mettre en évidence l'impact négatif de cette lésion précoce sur l'acquisition de la lecture et notamment sur les capacités de décodage.

De nombreux facteurs, pour certains détectables précocement dans le développement de l'enfant, sont corrélés aux performances en lecture à savoir le profil de langage oral, les compétences en métaphonologie, et le niveau socio-économique du milieu dans lequel évolue l'enfant. L'épilepsie est également un facteur de risque majeur de ne pas avoir accès à la lecture à l'âge de 7 ans.

Il est donc important de proposer un suivi longitudinal à ces enfants afin de détecter le plus tôt possible les fragilités pouvant avoir un retentissement sur l'entrée dans l'écrit, la scolarité et de façon plus globale, sur leur qualité de vie. De plus, les besoins de ces enfants peuvent évoluer avec le temps et l'augmentation des exigences cognitives, c'est pourquoi un accompagnement régulier et la réévaluation des besoins à des stades clés du développement représente un enjeu de santé publique et d'éducation qui concerne de nombreux professionnels. Enfin, mettre en place des programmes d'intervention précoce, centrés sur l'enfant et son environnement familial pourrait être un moyen d'agir le plus tôt possible pour tenter de limiter ces répercussions en cascade.

BIBLIOGRAPHIE

Allman, C., Scott, R.B. (2011). Neuropsychological sequelae following pediatric stroke : A nonlinear model of age at lesion effects. *Child Neuropsychology*, 19(1), 97-107.

Alonzo, C.N. McIlraith, A.L, Catts, H.W. et al. (2020). Predicting Dyslexia in Children With Developmental Language Disorder. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 63(1), 151-162.

Anderson, V., Catroppa, C., Morse, S., et al. (2005). Functional plasticity of vulnerability after early brain injury. *Pediatrics*, 116(6), 1374-82.

Anderson, V., Spencer-Smith, M., Wood, A. (2011). Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. *Brain*, 134(8), 2197–2221.

Aram, D. M., & Ekelman, B. L. (1988). Scholastic aptitude and achievement among children with unilateral brain lesions. *Neuropsychologia*, 26(6), 903–916.

Axer, H., Klingner, C.M., Prescher, A. (2013). Fiber anatomy of dorsal and ventral language streams. *Brain and Language*, 127(2), 192-204.

Babikian, T., Asarnow, R. (2009). Neurocognitive Outcomes and Recovery After Pediatric TBI: Meta-Analytic Review of the Literature. *Neuropsychology*, 23(3), 283-296.

Babikian, T., Merkley, T., Savage, R.C., et al. (2015). Chronic Aspects of Pediatric Traumatic Brain Injury: Review of the Literature. *Journal of Neurotrauma*, 32(1), 1849-1860.

Ballantyne, A., Spilkin, A.M., Hesselink, J. et al. (2008). Plasticity in the developing brain: intellectual, language and academic functions in children with ischaemic perinatal stroke. *Brain*, 131(11), 2975-2985.

Baylé, F.J, Gaillard,R., Mouaffack, F. (2014). Les différents types de mécanismes de la neuroplasticité. Disponible sur <https://www.neuroplasticite.com/concept-anatomo-physiologique/mecanismes-neuroplasticite/>

Benoit, E. (2016). Le devenir langagier des enfants ayant subi un AVC artériel ischémique néonatal : quelle place pour l'orthophoniste auprès de ces enfants ? (Mémoire d'orthophonie). Université de Strasbourg : Strasbourg.

BOEN n°3, 26 avril. (2018). Lecture : construire le parcours d'un lecteur autonome. Disponible sur : <https://www.education.gouv.fr/bo/18/Special3/MENE1809040N.htm>

Borschers, L.R., Bruckert, L., Travis, K.E., et al. (2019). Predicting text reading skills at age 8 years in children born preterm and at term. *Early Human Development*, 130(1), 80-86.

Bosenbark, D.D., Krivitzky, L., Ichord, R. et al. (2017). Clinical Predictors of Attention and Executive Functioning Outcomes in Children After Perinatal Arterial Ischemic Stroke. *Pediatric Neurology*, 69, 79-86.

Castel, C., Pech-Georgel, C., George, F., et al. (2008). Lien entre dénomination rapide et lecture chez les enfants dyslexiques. *L'Année Psychologique*, 108(3), 395–422.

Chabrier, S., Saliba, E., Nguyen The Tich, S. et al. (2010). Obstetrical and neonatal characteristics vary with birthweight in a cohort of 100 term newborns with symptomatic arterial ischemic stroke. *European Journal of Paediatric Neurology*, 14(3), 206-13.

Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001). N-EEL : Nouvelles Epreuves pour l'Examen du Langage. Paris ; ECPA.

Chilosi A.M., Pecini, C., Cipriani,P. et al. (2005). Atypical language lateralization and early linguistic development in children with focal brain lesions. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(11), 725-730.

Chabrier, S. et al. (2016). Multimodal outcome at 7 Years of age after neonatal arterial ischemic stroke. *The Journal of Pediatrics*, 172, 156-161.

CNESCO-IFE. (2016, mars). *Lire, Comprendre, Apprendre : Comment soutenir le développement des compétences en lecture ?* Communication présentée aux Conférences de consensus, Lyon.

Cneude, F., Diependaele, J.F, Chabernaude, J.L. (2017). Revelation of the circumstances of the accident vascular arterial ischemic brain in at term or near-term and referral. *Archives de Pédiatrie*, 24(9S), 9S12-9S18.

Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L. et al. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123 (Pt 2) (2), 291-307.

Cohen, L., Lehericy, S., Henry, C., et al. (2004). Learning to read without a left occipital lobe: right-hemispheric shift of visual word form area. *Annals of Neurology*, 56(6), 890-4.

Cohen, L., Dehaene, S., Vinckier, F., et al. (2008). Reading normal and degraded words: contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *Neuroimage*, 40(1), 353–66.

Coltheart, M., Rastle, K., Perri, C., et al. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204-56.

Coltheart, M. (2005). Modeling Reading: The Dual-Route Approach. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), Blackwell handbooks of developmental psychology. *The science of reading: A handbook* (p. 6–23). Blackwell Publishing.

Daigneault, S., Braun, C.M.J. (2002). Pure severe dyslexia after a perinatal focus lesion: Evidence of a specific module for acquisition of reading. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 23(4), 256–265.

Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L.W., et al. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, 330(6009),1359-64.

Dehaene, S. (2015, février). *Fondements cognitifs des apprentissages scolaires: fondements cognitifs de la lecture*. Communication présentée au Collège de France: Paris.

Dehaene-Lambertz, G., Gliga, T. (2004). Common Neural Basis for Phoneme Processing in Infants and Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1375–1387.

Dehaene-Lambertz, G., Monzalvo, K., Dehaene, S. (2018). The emergence of the visual word form: Longitudinal evolution of category-specific ventral visual areas during reading acquisition. *PLoS Biology*, 16(3), e2004103.

Demir-Lira, O.E., Levine, C. (2016). Reading Development in Typically Developing Children and Children With Prenatal or Perinatal Brain Lesions: Differential School Year and Summer Growth. *Journal of Cognition and Development*, 17(4), 596-619.

DEPP. (2019) PISA 2018 : stabilité des résultats en compréhension de l'écrit (note d'information n° 19.49). Bernard Javet : Paris Cedex.

De Veber, G.A., Kirton, A., Booth, F.A. et al. (2017). Epidemiology and Outcomes of Arterial Ischemic Stroke in Children: The Canadian Pediatric Ischemic Stroke Registry. *Pediatric Neurology*, 69, 58-70.

Dick, AS., Raja Beharelle, A., Solodkin, A. et al. (2013). Interhemispheric functional connectivity following prenatal or perinatal brain injury predicts receptive language outcome. *Journal of Neurosciences*, 33(13) 5612-25.

Dinomais, M., Hertz-Pannier, L., Groeschel, S. et al. (2015). Long term motor function after neonatal stroke : Lesion localization above all. *Human Brain Mapping*, 36(12), 4793-4807.

Dubois, J., Hertz-Pannier, L., Cachia, A., et al. (2009). Structural Asymmetries in the Infant Language and Sensori-Motor Networks. *Cerebral Cortex*, 19(2),414–423.

Duffau, H. (2008). The anatomo-functional connectivity of language revisited: New insights provided by electrostimulation and tractography. *Neuropsychologia*, 46(4), 927-934.

Erverts, R., Lidzba, K., Wilke, M., et al. (2010). Lateralization of cognitive functions after stroke in childhood. *Brain Injury*, 24(6),859-70.

Fastenau, P.S., Jianzhao, S., Dunn, D.W., et al. (2008). Academic underachievement among children with epilepsy: proportion exceeding psychometric criteria for learning disability and associated risk factors. *Journal of Learning Disabilities*, 41(1), 195-207.

Fayol, M. (2017). L'acquisition de l'écrit. Paris cedex 14, France: Presses Universitaires de France.

Fluss, J., Ziegler, J., Ecalle, J., et al. (2008). Prévalence des troubles d'apprentissages du langage écrit en début de scolarité : l'impact du milieu socioéconomique dans 3 zones d'éducatons distinctes. *Archives de pédiatrie*, 15(6), 1049-1057.

Fluss, J., Bertrand, D., Ziegler, et al. (2009). Troubles d'apprentissage de la lecture : rôle des facteurs cognitifs, comportementaux et socio-économiques. *Développements*, 1(1), 21-33.

Fluss, J., Dinomais, M., Chabrier, S. (2019). Perinatal stroke syndromes: Similarities and diversities in aetiology, outcome and management. *European Journal of Paediatrics Neurology*, 23(3), 368-383.

François, C., Ripollés, P., Ferreri, L., et al. (2019). Right Structural and Functional Reorganization in Four-Year-Old Children with Perinatal Arterial Ischemic Stroke Predict Language Production. *eNeuro*, 6(4).

Frith, U., & Vargha-Khadem, F. (2001). Are there sex differences in the brain basis of literacy related skills? Evidence from reading and spelling impairments after early unilateral brain damage. *Neuropsychologia*, 39, 1485–1488.

Gilkerson, J., Richards, J.A., Warren, S.F., et al. (2018). Language Experience in the Second Year of Life and Language Outcomes in Late Childhood. *Pediatrics*, 142(4), e20174276.

Gough P.B., Tunmer, W.E. (1986). Decoding, Reading, and Reading Disability. *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10.

Grafman, J. (2000). Conceptualizing functional neuroplasticity. *Journal of Communication Disorders*, 33(4), 345-356.

Grunt, S., Mazenauer, L., Buerki, S.E., et al. (2015). Incidence and Outcomes of Symptomatic Neonatal Arterial Ischemic Stroke. *Pediatrics*, 135(5), 1220-1228.

Guideline Development Group, Royal College of Paediatrics and Child Health. (2017). Stroke in Childhood: Clinical Guideline for Diagnosis, Management, and Rehabilitation. London (United Kingdom): Royal College of Physicians.

Guillon, C., Zaragoza, J. (2013). Impact de la survenue et de la latéralité d'un accident vasculaire cérébral néonatal sur les performances en langage écrit à 8 ans. (Mémoire d'orthophonie). Université Claude Bernard Lyon1 : Lyon.

Grobon S, Panico L, Solaz A. Inégalités socioéconomiques dans le développement langagier et moteur des enfants à 2 ans. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, 1, 2-9.

Hara, Y. (2015). Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. *Journal of Nippon Medical School*, 82(1), 4-13.

Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Jambaqué, I. et al. (2002). Late plasticity for language in a child's non-dominant hemisphere: a pre- and post-surgery fMRI study. *Brain*, 125(Pt 2), 361-72.

Hickock, G. (2009). The Functional Neuroanatomy of Language. *Physics of Life Reviews*, 6(3), 121-143.

Hill, J., Dierker, D., Neil, J., et al. (2010). A Surface-Based Analysis of Hemispheric Asymmetries and Folding of Cerebral Cortex in Term-Born Human Infants. *Journal of Neuroscience*, 30(6), 2268-2276.

Ilves, P., Tomberg, T., Kepler, J., et al. (2014). Different Plasticity Patterns of Language Function in Children With Perinatal and Childhood stroke. *Journal of Child Neurology*, 29(6), 756-764.

INSERM (dir.). Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : bilan des données scientifiques. Rapport. Paris : Les éditions Inserm, 2007, XV - 842 p.

Kania, B.F., Wrońska-Fortuna, D.W., Zieba, D. (2017). Introduction to Neural Plasticity Mechanism. *Journal of Behavioral and Brain science*, 7(2), 41-49.

Kennard, M. A. (1936). Age and other factors in motor recovery from precentral lesions in monkeys. *American Journal of Physiology*, 115, 138–146.

Kirton, A., Armstrong-Wells, J., Chang, T., et al. (2011). Symptomatic Neonatal Arterial Ischemic Stroke : The International Pediatric Stroke Study. *Pediatrics*, 128(6), 1402-1410.

Kirton, A., De Veber, G. (2013). Life after perinatal stroke. *Stroke*, 44(11), 3265-3271.

Kliegl, R., Nuthmann, A., Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology General*. 135(1),12-35.

Koenraads, Y., Porro, G.L., Braun, K.P.J. et al. (2016). Prediction of visual field defects in newborn infants with perinatal arterial ischemic stroke using early MRI and DTI-based tractography of the optic radiation. *European Journal of Pediatric Neurology*, 20(2), 309-318.

Kolk, A., Ennok, M., Laugesaar, R. et al. (2011). Long-term cognitive outcomes after pediatric stroke. *Pediatric Neurology*, 44(2), 101-9.

Lai, P.T., Reilly, J.S. (2015). Language and affective facial expression in children with perinatal stroke. *Brain and Language*, 147, 85-95.

Lefavrais, P. (2005). Alouette-R. Paris : ECPA.

Lidzba, K., Staudt, M., Wilke, M. et al. (2006). Visuospatial deficits in patients with early left-hemispheric lesions and functional reorganization of language: consequence of lesion or reorganization ? *Neuropsychologia*, 44(7), 1088-94.

Lynch, J.K. (2009). Epidemiology and classification of perinatal stroke. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, 14(5), 245-249.

Lõo, S., Ilves, P., Männamaa, M., et al. (2018). Long-term neurodevelopmental outcome after perinatal arterial ischemic stroke and periventricular venous infarction. *European Journal of Paediatric Neurology*, 22(6), 1006-1015.

Max, J.E., Bruce, M., Keatley, E., et al. (2010). Pediatric stroke : plasticity, vulnerability, and age of lesion onset. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 22(1), 30-9.

Mercuri, E., Anker, S., Guzzetta, A. et al. (2003). Neonatal cerebral infarction and visual function at school age. *Archives of Disease in Childhood Fetal and Neonatal Edition*, 88(6), 487-91.

Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse. (2019). Pour enseigner la lecture et l'écriture au CP. Disponible sur https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Cycle_2/17/3/Lecture-ecriture_2019_CP_web_1173173.pdf

Monzalvo, K., Fluss, J., Billard, C., et al. (2012). Cortical networks for vision and language in dyslexic and normal children of variable socio-economic status. *Neuroimage*, 61(1), 258–74.

Muneaux, M (2018). Petit guide de Psychométrie Clinique à l'Usage des Praticiens. DeBoeck Supérieur

Noble, K.G., Wolmetz, M.E., Ochs, L.G., et al. (2006). Brain–behavior relationships in reading acquisition are modulated by socioeconomic factors. *Developmental Science*, 9(6), 642-654.

Northam, G.B., Adler, S., Eschmann, K.C.J., et al. (2018). Developmental conduction aphasia after neonatal stroke. *Annals of Neurology*, 83(4), 664-675.

Peña, M., Maki, A., Kovačić, D. (2003). Sounds and silence : An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11702-11705.

Petranovich, C.L., Smith-Paine, J., Wade, S.L., et al. (2020). From Early Childhood to Adolescence: Lessons About Traumatic Brain Injury From the Ohio Head Injury Outcomes Study. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 35(3), 226-239.

Pinel, P., Dehaene, S. (2010). Beyond hemispheric dominance: brain regions underlying the joint lateralization of language and arithmetic to the left hemisphere. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(1), 48-66

Raja Beharelle, A., Dick, A.S., Josse, G., et al. (2010). Left hemisphere regions are critical for language in the face of early left focal brain injury. *Brain*, 133(Pt 6), 1707-16.

Reilly, J.S., Wasserman, S., Appelbaum, M. (2013). Later language development in narratives in children with perinatal stroke. *Developmental Science*, 16(1), 67-83.

Robins, S., Ghosh, D., Rosales, N., et al. (2014). Letter Knowledge in Parent–Child Conversations : Differences between Families Differing in Socio-Economic Status. *Frontiers in Psychology*, 5 :632.

Rudel, R. G., Teuber, H.-L., Twitchell, T. E. (1974). Levels of impairment of sensorimotor functions in children with early brain damage. *Neuropsychologia*, 12(1), 95-108.

Saliba, E., Debillon, T., Auvin, S., et al. (2017). Neonatal arterial ischemic stroke: Review of the current guidelines. *Archives de Pédiatrie*, 24 (2), 180–188.

Saygin, Z.M, Osher, D.E., Norton, E.S. (2016). Connectivity precedes function in the development of the visual word form area. *Nature Neurosciences*, 19(9), 1250-5.

Smith, A.B., Bajomo, O., Pal, D.K. (2015). A meta-analysis of literacy and language in children with rolandic epilepsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 57(11), 1019-26.

Staudt, M., Lidzba, K., Godd, W., et al. (2002). Right-Hemispheric Organization of Language Following Early Left-Sided Brain Lesions: Functional MRI Topography. *NeuroImage*, 16(4), 954-967.

Staudt, M. (2010). Reorganization after pre- and perinatal brain lesions. *Journal of Anatomy*, 217(4), 954-967.

Stephane-Otto, C., et al. (2017). Three-dimensional map of neonatal arterial ischemic stroke distribution from early multimodal brain imaging. *Stroke*, 48(2), 482-485.

Thareja, T., Ballantyne, A.O, Trauner, D.A. (2012). Spatial analysis after perinatal stroke: patterns of neglect and exploration in extra-personal space. *Brain and Cognition*, 79(2), 107-16.

Thiebaut de Schotten, M., Cohen, L., Amemiya, E., et al. (2014). Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus. *Cerebral Cortex*, 24(4), 989–995.

Tillema, JM., Byars A.W., Jacola, L.M., et al. (2008). Cortical reorganization of language functioning following perinatal left MCA stroke. *Brain and Language*, 105(2), 99-111.

Trauner, D.A. (2003). Hemispatial neglect in young children with early unilateral brain damage. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45(3), 160-6.

Trauner, D.A., Eshagh, K., Ballantyne, A.O., et al. (2013). Early Language Development After Peri-natal Stroke. *Brain and Language*, 127(3), 399-403.

Van der AA, N.E., Dudink, J., Benders, M.J. et al. (2013). Neonatal posterior cerebral artery stroke : clinical presentation, MRI findings, and outcome. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(3), 283-90.

Vicari S, Albertoni A, Chilosi A., et al. (2000). Plasticity and reorganization during early language learning in children with congenital brain injury. *Cortex*, 36(1), 31–46.

Vinckier, F., Dehaene, S., Jobert, A., et al. (2007). Hierarchical coding of letter strings in the ventral stream: dissecting the inner organization of the visual word-form system. *Neuron*, 55(1), 143-56.

Verhoeven, L., Reitsma, P., Siegel, L.S. (2011). Cognitive and linguistic factors in reading acquisition. *Reading and writing*, 24(4), 387–394.

Vuillerot, C., Marret, S., Dinomais, M. (2017). Long term outcome of perinatal stroke. *Archives de Pédiatrie*, 24(9S), 9S51-9S60.

Wagenaar, N. Martinez-Biarge, M., Van Der Aa, N.E., et al. (2018). Neurodevelopment after perinatal arterial ischemic stroke. *Pediatrics*, 142(3), 2017-4164.

Westmacott, R. MacGregor, D., Askalan, R., et al. (2009). Late émergence of cognitive deficits after unilateral neonatal stroke. *Stroke*, 40, 2012-2019.

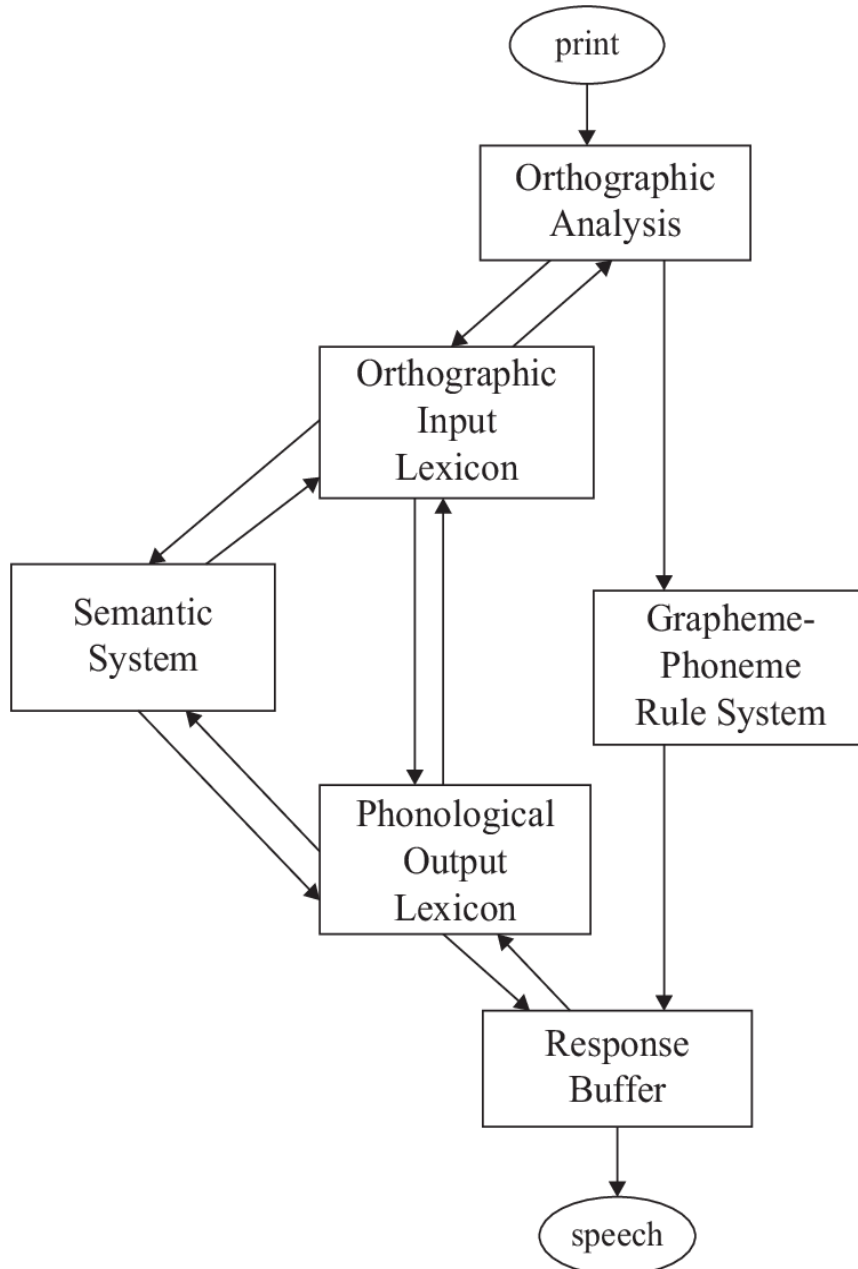
Woolpert, D., Reilly, JS. (2016). Investigating the extent of neuroplasticity: Writing in children with perinatal stroke. *Neuropsychologia*, 89, 105-118.

Zesiger, P., Brun, M., & Nanchen, T. (2004). Les relations entre l'oral et l'écrit dans l'acquisition du langage. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 76-77, 80-85.

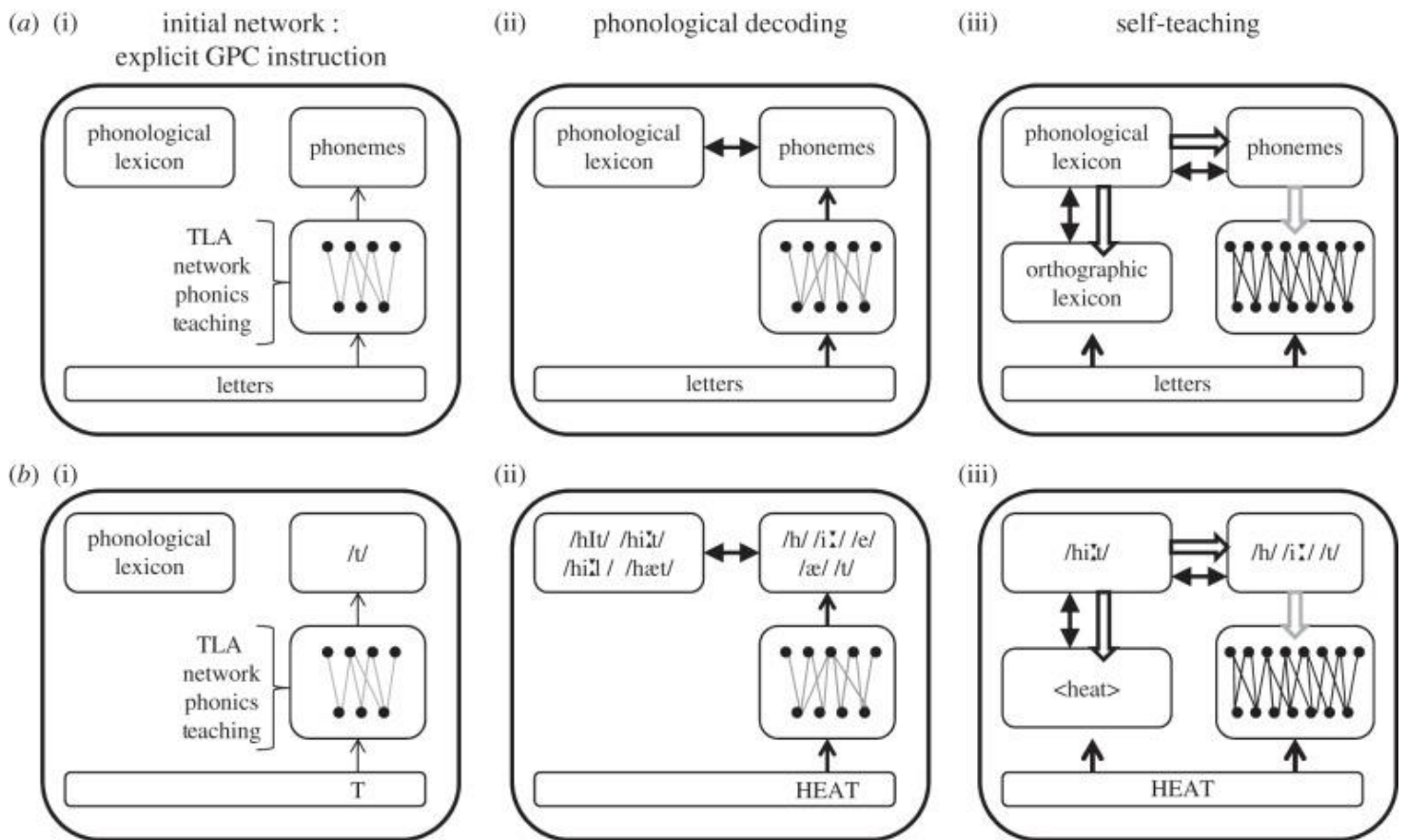
Ziegler, J.C., Perry, C., Zorzi, M. (2013). Modelling reading development through phonological decoding and self-teaching: implications for dyslexia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20120397.

ANNEXES

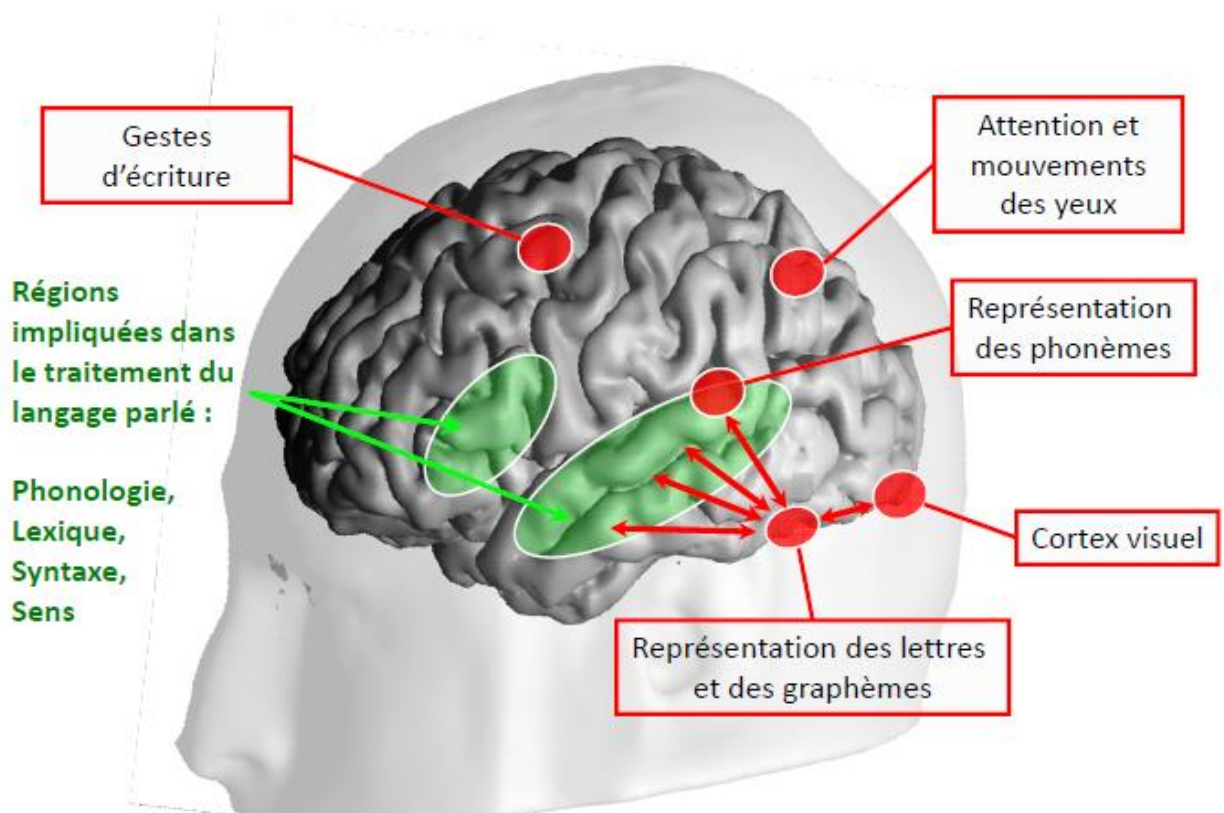
I - ANNEXE A : DRC : DUAL ROUTE CASCADED MODEL : MODELE DE LECTURE A DOUBLE VOIE – (COLTHEART ET AL., 2001)



**II - ANNEXE B : ILLUSTRATION DU MODELE « CONNECTIONIST DUAL PROCESS » :
 DECODAGE PHONOLOGIQUE ET MECANISME D'AUTO-APPRENTISSAGE. (ZIEGLER ET
 AL., 2013)**



III - ANNEXE C : ARCHITECTURE CEREBRALE DE LA LECTURE – (DEHAENE, 2015)





Impact d'un accident vasculaire cérébral ischémique artériel néonatal (AVCian) sur le développement de la lecture : Etude rétrospective de la cohorte AVCnn^{7ans}

Présenté et soutenu par Anaïs RIDEL

Résumé

L'AVC ischémique artériel néonatal survient au cours d'une période de grande vulnérabilité, lorsque le cerveau est en pleine maturation. Des déficits à court et à long terme, sur le plan moteur ou cognitif peuvent être observés chez ces enfants, même si certaines fonctions sont partiellement compensées grâce aux effets de la plasticité cérébrale. L'objectif de notre étude était d'étudier l'impact d'un AVCian sur le développement de la lecture, et d'étudier les facteurs neurodéveloppementaux pouvant influencer son acquisition. En analysant les performances en lecture des enfants de la cohorte AVCnn^{7ans}, nous avons pu observer que 44% n'ont pas le niveau attendu en décodage à l'âge de 7 ans. Le langage oral, les performances en métaphonologie et le niveau socio-économique de l'entourage sont fortement corrélés aux performances en lecture. L'épilepsie est également un facteur de risque de ne pas accéder à la lecture de texte à cet âge. Les facteurs lésionnels ne sont pas corrélés aux résultats ce qui souligne la nécessité de considérer ces enfants et leurs difficultés au-delà de leur AVC. Un accompagnement précoce de l'enfant et de son environnement, ainsi qu'un suivi sur le long terme est recommandé pour limiter des répercussions plus tardives de ces déficits sur la scolarité et la qualité de vie. Comprendre la trajectoire développementale des enfants ayant subi une lésion cérébrale précoce représente un enjeu de santé publique et d'éducation.

Mots clés : Accident Vasculaire Cérébral Néonatal – Neurologie pédiatrique – Lecture – Plasticité Cérébrale

Study on the impact of a neonatal arterial ischemic stroke on the reading skills of 7 year old children: retrospective study of the AVCnn cohort

Summary

Neonatal Arterial Ischemic Strokes (NAIS) occur during a period of cerebral maturation while the brain is at a vulnerable point. These children are keeping long-term motor and cognitive impairments even though some functions are partially preserved thanks to neuroplasticity. The objective of this study was to investigate the impact of a NAIS on the reading skills of 7 years old children and the factors that could influence its acquisition. The analysis of the reading skills of children from the AVCnn^{7ans} cohort shows that 44% don't have the expected level of decoding. Performances are strongly correlated to oral language profile, metaphonological skills, and socio-economic factor. Epilepsy is a high risk factor for not acquiring reading at this age. The lack of correlations between injury factors -such as lesion side or localization- and our results suggests that we have to consider these children beyond their injury. Providing early support to the child and his environment and a long-term follow-up is recommended to prevent later repercussions on schooling and quality of life. Understanding the developmental trajectory of children who suffered an early brain injury represents a public health and education challenge.

Key words: Neonatal stroke – Pediatric stroke – Pediatric Neurology – Outcome – Reading – Brain plasticity

Mémoire dirigé par Prénom, Laure DRUTEL

