

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste
présenté par

Roxane Kamphuis

remis au jury en juin 2020

Étude comportementale de la sonorité chez l'adulte cérébrolésé

MEMOIRE dirigé par

Anahita BASIRAT, maître de conférences, Faculté de médecine, Université de Lille

Cédric PATIN, maître de conférences, Faculté des Humanités, Université de Lille

Lille – 2020

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail de fin d'études.

Je remercie notamment mes directeurs de mémoire, Madame Anahita Basirat et Monsieur Cédric Patin. Ils ont su m'accompagner et me conseiller tout au long de ces deux années de réflexion et de travaux collaboratifs.

Également, je remercie chaleureusement les 74 personnes qui ont volontairement participé à la phase expérimentale de cette étude et qui ont contribué à son aboutissement.

Merci au professeur et docteur Etienne Allart pour ses conseils et sa participation à ce travail. Je remercie également tout le personnel soignant de l'hôpital Pierre Swynghedauw, qui m'a beaucoup aidée pour le recrutement des patients cérébrolésés.

Merci au laboratoire SCALab et à l'hôpital Pierre Swynghedauw de m'avoir permis de réaliser les passations expérimentales au sein de leurs locaux.

Enfin, je remercie mes amis, mon papa et ma famille pour leur soutien tout au long de ce cursus et pour leurs judicieux conseils lors des longues relectures de ce document.

Un grand Merci à : Benjamin, Louise, Elodie, Géry, Camille, Vincent, Lélia, Mathilde, Fanny, et à ma grand-mère Pauline.

Une spéciale dédicace à Camille et Louise, ma deuxième famille à Lille. Elles m'ont apporté beaucoup de bonheur et m'ont permis de vivre avec sérénité ces cinq années d'études loin de mon île et de mes proches.

Pensées toutes particulières à ma maman, sans qui je n'aurais sans doute pas su choisir cette voie, ce métier, cette vie.

Résumé :

La sonorité correspondrait à l'impression auditive qu'un son est saillant par rapport à un autre dans une séquence donnée. De cette notion résulte un principe phonologique universel énoncé par Cléments (1990) : le principe de séquençage de la sonorité (SSP). Il permettrait d'expliquer l'organisation phonémique interne d'une syllabe. Ce domaine étant fortement corrélé à la phonologie, il serait une piste de réflexion intéressante pour une meilleure compréhension et prise en charge orthophonique des troubles phonologiques chez les personnes cérébrolésées.

Notre étude a pour objectif de contribuer à la recherche fondamentale sur ce sujet encore discuté dans la littérature. Nous nous intéressons à la perception de la sonorité et souhaitons savoir si une population de personnes neurotypiques et de personnes cérébrolésées y est sensible.

Pour cela, nous avons réalisé une expérience comportementale comprenant un test de jugement d'acceptabilité de pseudo-mots dans la langue française, auprès de 57 personnes neurotypiques et de 17 personnes cérébrolésées.

Les résultats suggèrent que les personnes neurotypiques jeunes (18-29 ans) perçoivent, de manière significative, une différence de sonorité et de fréquence entre les stimuli. Cela influence leur jugement d'acceptabilité des pseudo-mots. Concernant les patients, les résultats sont hétérogènes. Ils semblent plus sensibles aux modifications du degré de fréquence des clusters initiaux des stimuli qu'aux changements des profils de sonorité. Chaque patient ayant une atteinte lésionnelle différente, ces résultats sont à interpréter avec prudence.

Étudier la sonorité permettrait aux orthophonistes de proposer un moyen de prise en soin efficace pour les patients atteints de troubles phonologiques acquis (Riley, 2011).

Mots-clés :

Sonorité, Syllabe, Phonologie, Aphasie, Orthophonie

Abstract :

Sonority would be the auditory impression that a sound stands out from another into a word. From this notion stems a universal phonological principle stated by Cléments (1990) : the Sound Sequencing Principle (SSP). It could explain the internal phonemic organization of a syllable. As this field is strongly correlated with phonology, it would present a huge interest in the understanding and speech therapy treatments of phonological disorders for a cerebrolysed adult.

Our study has been driven in order to contribute to the fundamental research on this subject, which is still discussed in the literature. Our interest is in the sonority perception and if a population of neurotypical and an other of cerebrolyzed people are sensitive to it or not.

In this way, we conducted a behavioural experiment including a test of acceptability judgement of pseudo-words in the French language, with 57 neurotypical persons and 17 cerebrolysed persons.

The results suggest that young neurotypical persons (18-29 years old) seem to perceive a significantly difference in sonority and frequency between stimuli which influences their acceptability judgement of pseudowords. For the patients group, the results are heterogeneous. They seem more sensitive to modifications in the frequency degree of the stimuli's initial clusters than to modifications in the sonority profiles. Because each patient has a different brain lesions, these results should be interpreted with caution.

Studying sonority presents a huge interest for speech and language therapy because of its seeming contribution to an effective caregiving for acquired phonological disorders (Riley, 2011).

Keywords :

Sonority, Syllable, Phonology, Aphasia, Speech therapy

Table des matières

Introduction.....	5
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	6
1. La syllabe.....	6
1.1. Complexités théoriques	6
1.2. Définitions linguistiques.....	7
2. Théorie de la sonorité.....	8
2.1. Définitions	8
2.2. Syllabe, sonorité et phonotactique	9
2.3. Principe de séquençage de la sonorité (SSP)	10
3. Sonorité et lésions cérébrales.....	14
3.1. Troubles phonologiques acquis.....	14
3.2. Erreurs aphasiques et sonorité.....	15
4. Buts et hypothèses.....	16
4.1. Objectifs du mémoire	16
4.2. Hypothèses	16
Méthode.....	17
1. Participants	17
2. Matériel	19
3. Procédure	20
4. Analyse des données	21
Résultats.....	22
1. Groupe <i>Contrôles</i>	22
2. Groupe <i>Patients</i>.....	23
Discussion.....	24
1. Discussion des résultats.....	25
1.1. Groupe <i>Contrôles</i>	25
1.2. Groupe <i>Patients</i>	26
1.3. Etude de cas particuliers.....	27
2. Limites	29
2.1. Biais liés au choix des participants	29
2.2. Biais liés à la modalité de présentation	30
2.3. Biais liés au mode de passation.....	31
2.4. Limites de l'analyse statistique.....	31
2.5. Proposition d'améliorations méthodiques.....	32
Conclusion.....	32
Bibliographie	34

Introduction

Nous avons tous une intuition naturelle de découpage syllabique pour un mot donné, dans notre langue. Pour autant, nous ne sommes pas toujours d'accord sur le nombre de syllabes composant chaque mot. Quels sont les mécanismes linguistiques sous-tendant cet instinct ? La notion de sonorité pourrait être une réponse à la question de l'organisation des phonèmes au sein d'une syllabe donnée, ainsi qu'à la place de la frontière syllabique dans un mot.

Longtemps étudiée dans la littérature, la sonorité est une notion complexe à définir qui fait l'objet de débats dans la recherche scientifique. Elle correspondrait néanmoins à l'impression auditive qu'un son est saillant par rapport à un autre dans une séquence donnée (Clements, 1990). Par exemple dans la séquence [pak], la voyelle [a] est plus sonore que les consonnes [p] et [k]. Cette théorie a fortement contribué à la recherche concernant la notion de syllabe, concept ambigu et difficile à identifier. En effet, la sonorité permet de définir la syllabe d'un point de vue organisationnel car elle régirait sa structure interne, et par conséquent l'organisation syllabique des mots. Néanmoins, cette théorie ne fait pas l'unanimité et laisse encore place à une certaine incertitude quant à son implication dans le cadre de pathologies cérébrales acquises. Effectivement, les personnes victimes de lésions cérébrales peuvent développer des troubles phonologiques acquis donnant lieu à des modifications dans la production des mots : par exemple [bloto] peut être prononcé au lieu de « bateau », ou [parj] à la place du mot « appareil ». Les sons choisis par le patient au sein du mot qu'il souhaite produire ne sont pas organisés de manière typique : ce sont des mots phonologiquement erronés ; cela est dû à une désorganisation phonémique au sein de la syllabe émise. Quels mécanismes sous-jacents pourraient expliquer ces productions atypiques ?

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux effets que pourrait avoir une lésion cérébrale sur le jugement comportemental de la perception de la sonorité. Quel est le rôle de la sonorité dans la capacité qu'a un locuteur à juger de l'acceptabilité d'un pseudo-mot dans la langue française ? Pour cela, nous allons étudier ce qui sous-tend cette capacité. Par ailleurs, les personnes touchées par ces lésions conservent-elles cet instinct de syllabation ainsi que d'organisation phonémique régi par les règles phonotactiques implicites qui constituent notre langue ?

Cette étude s'inscrit dans le prolongement du mémoire de Marie-Paule Garravet, *Corrélat neuronal de la complexité phonologique chez l'adulte* (Garravet, 2019), dans le cadre disciplinaire de la neurolinguistique. Contribuer à la recherche dans ce domaine permettra une meilleure compréhension des troubles phonologiques chez l'adulte. Nous espérons ainsi que nos résultats permettront, à terme, la prise en soin orthophonique la plus efficace possible pour ces patients.

Dans le corps de ce document, nous évoquerons les notions de syllabe, de phonologie et de phonétique. Puis nous aborderons les concepts de sonorité et de phonotactique. Nous ferons ensuite le lien entre ces notions et la population étudiée dans ce mémoire : les personnes cérébrolésées. Il est important de préciser que cette étude a un caractère exploratoire majeur. Elle vise à contribuer à la recherche scientifique autour de la thématique de la sonorité, tout en la mettant en lien avec le domaine de l'orthophonie.

Contexte théorique, buts et hypothèses

Dans cette étude, nous nous intéressons aux effets potentiels d'une lésion cérébrale sur le jugement comportemental de la sonorité. Les personnes atteintes de lésions cérébrales conservent-elles un instinct de syllabation ainsi que les règles phonotactiques implicites de notre langue ? Par ailleurs, ces personnes sont fréquemment atteintes de troubles phonologiques acquis. Cela impacte-t-il pour autant leur perception de la sonorité ?

Pour tenter de répondre à ces interrogations, nous aborderons plusieurs notions appartenant au domaine de la linguistique. Nous étudierons principalement la théorie de la sonorité, notion autour de laquelle s'articule ce mémoire. Nous parlerons également du concept de syllabe, et de phonotactique. Ces notions sont indispensables à la bonne compréhension du sujet d'étude.

1. La syllabe

1.1. Complexités théoriques

La notion de syllabe a longtemps été discutée et controversée dans la littérature. Quand certains la considèrent comme un concept non nécessaire et inconcevable (Kholer, 1966), d'autres pensent qu'elle est utile et qu'elle a toute sa place dans la littérature (Goldsmith, 2011). Cette notion semble encore incertaine et difficile à discerner ; on le constate notamment dans la littérature actuelle. Par exemple, Goslin et Frauenfelder (2001), ainsi que Cutler, Mehler, Norris, et Segui (1986), pensent qu'il n'existe pas, pour l'instant, de stratégie de syllabation unique. Dans l'étude de Goslin et Frauenfelder (2001), ayant pour but de mieux comprendre la segmentation syllabique française, les participants n'étaient pas toujours d'accord sur le placement des limites syllabiques dans un mot. L'étude de Cutler *et al.*, (1986), quant à elle, démontre que les processus de segmentation de la parole varient en fonction d'une langue donnée. En effet, les participants français de leur étude n'ont pas employé les mêmes stratégies de syllabation de la parole que les participants anglais. Le découpage syllabique semble donc varier d'un individu à un autre, en fonction de différents facteurs comme la langue, l'éducation et le milieu socio-culturel.

De nombreux auteurs ont tenté de comprendre et d'explicitier la syllabe (pour une revue voir Merynadier, 2008 ; Ridouane *et al.*, 2011), que ce soit par le biais de théories phonétiques ou bien de théories phonologiques. Il en résulte qu'aucun consensus n'a vraiment été admis jusqu'à présent concernant la nature exacte de ce concept.

Pourtant, il est indéniable que tout locuteur natif d'une langue donnée est capable d'intuition sur la division syllabique d'un mot de sa langue (Meynadier, 2008 ; Marchand, Adsett & Damper, 2007). Des études ont notamment argumenté en faveur de l'existence de la syllabe. Par exemple, Bertoncini et Mehler (1981) ont étudié la syllabe chez cinquante enfants de moins de deux mois. Au moyen d'une tâche d'écoute passive, trois types de stimuli leur ont été présentés : CVC, CCC et VCCCV (C = consonne, V = voyelle). Un paradigme d'habituation/déshabituation a été employé en utilisant la technique de succion non nutritive. Les résultats indiquent que ces auditeurs pré-linguistiques n'ayant probablement pas encore développé de système phonologique ou lexical discriminant davantage les structures de type syllabique (CVC), par rapport à des structures syllabiques impossibles (CCC). Les résultats de Räsänen, Dyle et Frank (2018) soutiennent également l'hypothèse selon laquelle la structure syllabique est accessible aux nourrissons même lorsqu'ils ne connaissent pas encore les propriétés linguistiques de leur langue maternelle.

1.2. Définitions linguistiques

Nous avons, par conséquent, de fortes raisons de croire en l'existence de la syllabe. Mais qu'en est-il de sa définition à proprement parler ? Comme nous l'avons vu précédemment, il semble difficile de la définir clairement et de manière universelle. Dans la littérature, certains auteurs l'expliquent au travers de la phonétique, qui, par définition, est une discipline qui se rapporte aux sons de la parole (Trask, 1996). La phonétique est : « une science linguistique qui étudie les modes de production et de réception des sons de la langue (phonèmes). Elle s'intéresse plus particulièrement aux processus physiologiques de la parole, aux organes phonatoires et aux composantes acoustiques des sons [...] » (Brin-Henry, Courier, Lederlé & Masy, 2011, p. 213). Dans ce cadre, l'un des premiers à avoir étudié la syllabe est le professeur en psychologie et phonéticien américain R.H Stetson (1951 ; cité par Meynadier, 2008). Il étudia principalement les mouvements de la parole et de la coordination pneumo-phonique. Selon lui, la syllabe est une unité motrice générée par une pulsion d'air expiratoire. Cependant, Ladefoged (1975 ; cité par Meynadier, 2008), éminent linguiste et phonéticien britannique, infirme les dires de Stetson (1951) en expliquant que plusieurs syllabes et non une seule, peuvent être générées par une pulsion d'air expiratoire.

Par ailleurs, certains considèrent plutôt que la syllabe est l'objet de la phonologie. Pour rappel, la phonologie se définit comme le domaine de la linguistique ayant pour objectif d'étudier l'organisation, la structuration des phonèmes et des faits suprasegmentaux (prosodie) dans la parole (Brin-Henry, Courier, Lederlé & Masy, 2011). Dans ce contexte, Pulgram (1970) envisage la syllabe comme une unité phonologique. Goldsmith (2011), quant à lui, la considère comme la plus petite ou l'une des plus petites unités rythmiques de la langue. Enfin, Brin-Henry, Courier, Lederlé et Masy (2011, p. 265) la définissent comme une combinaison de phonèmes constituée d'un noyau le plus souvent vocalique qui représente : « l'unité rythmique de la chaîne parlée ».

Si nous ne pouvons faire état de sa nature exacte, nous pouvons néanmoins caractériser la syllabe au travers de sa structure interne, représentée ci-dessous par un schéma :

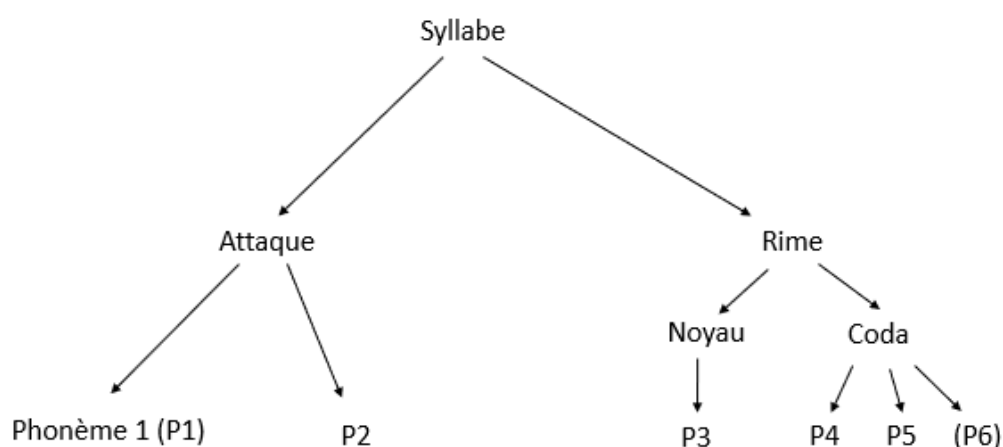


Figure 1 : Structure interne d'une syllabe (d'après Fudge 1969, p. 273).

Celui-ci nous indique qu'une syllabe comprend deux constituants : l'attaque et la rime. L'attaque peut comprendre plusieurs phonèmes et la rime peut se diviser en deux parties : le noyau et la coda. Notons que la présence d'une coda n'est ni systématique, ni obligatoire au sein d'une syllabe.

Néanmoins, comment définir les frontières syllabiques existant au sein d'un mot ? La sonorité peut apporter des éléments de réponse à cette interrogation.

2. Théorie de la sonorité

2.1. Définitions

La sonorité est une notion insaisissable selon Trask (1996). Elle est difficile à définir avec précision, tout comme la syllabe. Ce concept remonte aux découvertes pionnières de Sievers (1881), linguiste et philologue émérite du dix-neuvième siècle. La sonorité a ensuite été l'objet de recherche de nombreux auteurs comme Jespersen, Saussure, Chomsky, Halle, Hooper ou encore Keyser. Puis Clements (1990), illustre linguiste américain spécialisé dans la phonologie, s'y intéressa et apporta nombre d'informations et de découvertes à ce sujet dans son chapitre : « The Role of the Sonority Cycle in Core Syllabification » (Clements, 1990). La sonorité, selon lui, correspond à l'impression auditive qu'un son est saillant par rapport à un autre dans une séquence donnée. D'un point de vue phonétique, la sonorité serait liée à l'intensité (dB) : plus l'intensité d'un phonème est forte, plus celui-ci sera sonore (Trask, 1996). De son côté, Selkirk (1982) explique que le degré de sonorité serait lié au degré d'aperture buccale lors de la production d'un phonème. Donc les voyelles ouvertes comme /a/ (nécessitant une grande aperture buccale) seraient les segments les plus sonores et les occlusives sourdes comme /p/ (nécessitant une faible aperture buccale) seraient les segments les moins sonores de la langue. La sonorité aurait donc une dimension physique et acoustique non négligeable.

De ce principe résulte l'échelle de sonorité (Clements, 1990). Cette dernière classe les sons de la parole selon une certaine hiérarchie de sonorité. Plusieurs modèles d'échelles de sonorité ont été proposés jusqu'alors, mais un consensus général propose une classification selon les catégories suivantes : occlusives < fricatives < nasales < liquides < semi-consonnes < voyelles. Plus précisément, les phonèmes de notre langue seraient répartis sur l'échelle de sonorité, comme suit :

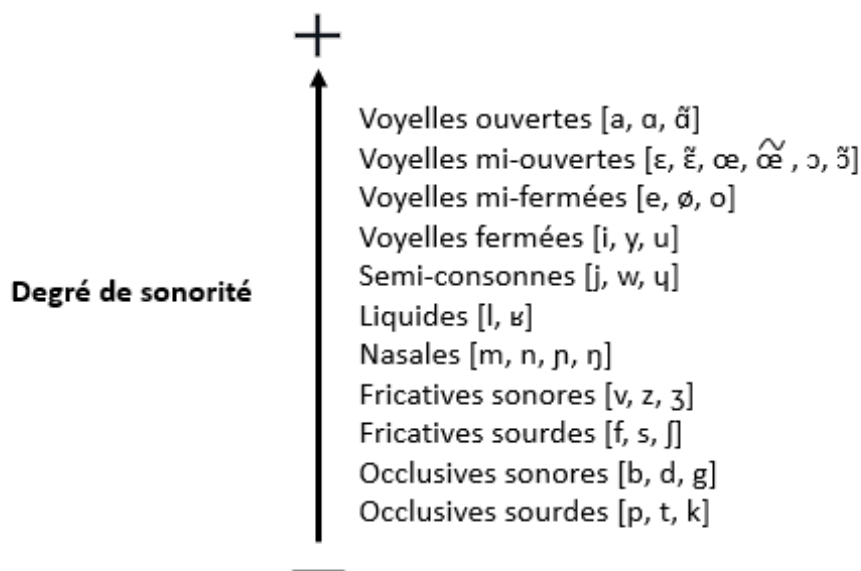


Figure 2 : Échelle hiérarchique de la sonorité des sons du français (Clements, 1990).

De plus, d'après Clements (1990), la sonorité minimale aurait une valeur de zéro et celle-ci augmenterait à raison de une unité entre chaque catégorie comme suit : obstruantes (catégorie comprenant les occlusives et les fricatives) (0) < nasales (1) < liquides (2) < semi-consonnes (3) < voyelles (4).

Néanmoins, la sonorité ne serait pas uniquement codée au niveau phonétique. Parker, (2017) suggère que la sonorité se caractériserait par un ensemble d'éléments phonologiques permettant de catégoriser tous les sons de la parole au moyen d'une échelle phonétique (classement en fonction du mode d'articulation) hiérarchique.

Par ailleurs, Miozzo et Buchwald (2013) ont cherché à clarifier le rôle de la sonorité dans les processus impliqués dans la production du langage oral, notamment la phonologie et la phonétique. Pour cela, ils ont étudié les productions aphasiques de deux hommes anglophones atteints de lésions cérébrales dans l'hémisphère gauche. Ces deux patients souffraient d'une aphasie non fluente se traduisant par des déficits situés au niveau des processus phonologiques et phonétiques. Les auteurs ont choisi de leur proposer une tâche de répétition et une tâche de dénomination pour étudier les attaques et les codas des productions dont la sonorité variait. Les erreurs aphasiques étant plus fréquentes et nombreuses au sein d'une syllabe intégrant un groupe consonantique (CCV) que sur une syllabe plus simple (CV), les stimuli utilisés ont été constitués de syllabes complexes (CCV et VCC). Chaque liste de stimuli contenait donc des mots monosyllabiques de complexité différente, déterminée en fonction de l'échelle de sonorité. Les listes 1 et 2 permettaient d'observer la sonorité des attaques syllabiques et les listes 3 et 4 d'examiner la sonorité des codas. Les résultats indiquent des effets évidents de la sonorité en termes de complexité phonologique. Les attaques comprenant des liquides ([l] ou [ʁ]) en seconde position ont été produites de façon significativement plus précise que les attaques comportant des nasales ou des fricatives ([f] ; [v] ou [m] par exemple). La précision avec laquelle les deux participants ont produit des attaques et des codas variait de façon prévisible en fonction des profils de sonorité de ces clusters. En effet, [l] est plus sonore que [f] selon l'échelle de sonorité. Le profil de sonorité influe donc sur les taux et les types d'erreurs. En résumé, cette étude montre que le traitement phonologique et phonétique est influencé par les variabilités de séquençage de la sonorité. La sonorité est donc associée à la fois aux processus de traitements phonologiques (codage phonologique des sons associé à la formation des syllabes) et phonétiques.

2.2. Syllabe, sonorité et phonotactique

La sonorité semble avoir un impact sur l'organisation interne de la syllabe. Celle-ci ne serait pas simplement une succession aléatoire de sons agencés entre eux, mais serait en fait organisée en fonction d'un schéma particulier de sonorité. En effet, d'après Blevins (1995), la syllabe est l'unité phonologique qui est agencée en termes de sonorité.

Cela est fortement corrélé à la notion de phonotactique. Selon Trask (1996) et Brin-Henry, Courrier, Lederlé et Masy (2011), elle correspond à l'ensemble des règles et contraintes d'organisation des phonèmes au sein d'une syllabe, d'un mot ou d'une phrase dans une langue donnée. De ce fait, la phonotactique régit l'agencement des structures phonémiques et leur fréquence d'apparition dans la langue. Elle implique un certain nombre de contraintes, restrictions et autorisations, plus communément appelées : « règles phonotactiques de la langue ». L'étude de Wiese, Orzechowska, Alday et Ulbrich (2017) suggère que la sonorité joue un rôle important dans le traitement phonotactique de la langue. En effet, ils ont souhaité apporter de nouvelles données concernant le débat autour des contraintes phonotactiques universelles et spécifiques aux langues, et des facteurs prédictifs de l'apparition de groupes de consonnes, comme la sonorité. Ce sont 29 étudiants germanophones, d'une moyenne d'âge de 24 ans, qui ont participé à leur étude. Les données ont été recueillies au moyen de l'électroencéphalographie (EEG) et les stimuli employés étaient 252 pseudo-mots monosyllabiques respectant une structure CVCC. Les clusters finaux (CC) de ces stimuli ont été répartis de manière équitable selon deux critères : fréquence dans la langue et respect

de la sonorité ou non. Cela a permis de former quatre groupes de clusters finaux : « appartient à la langue et respecte la sonorité », « appartient à la langue et ne respecte pas la sonorité », « n'appartient pas à la langue et respecte la sonorité » et « n'appartient pas à la langue et ne respecte pas la sonorité ». Ces clusters consonantiques finaux ont été associés à trois clusters initiaux de type CV : « ge », « fa » et « no » pour former des pseudo-mots. Chacun de ceux-ci a été associé à une photographie et a été présenté huit fois en tout aux participants. La tâche s'est déroulée en deux temps : d'abord une phase de présentation de stimuli visuels (photographies) associés par paires à des stimuli auditifs (pseudo-mots présentés comme étant des noms d'objets ou d'animaux), puis une phase où il a fallu juger si les paires présentées étaient associées de manière identique à la première phase. Les résultats révèlent que l'apprentissage de séquences sonores (clusters finaux) est facilité si celles-ci respectent le principe de sonorité et si elles sont fréquentes dans la langue. Les données de l'analyse EEG indiquent que, lorsque les contraintes phonotactiques et le principe de sonorité ne sont pas respectés, le traitement cérébral est différent.

L'étude de White et Chiu (2017) montre également un lien fort entre phonotactique et sonorité. Dans le but d'observer si le traitement phonotactique dépend uniquement du stock lexical d'un individu ou s'il est aussi influencé par la qualité de la forme phonologique du mot, les auteurs ont mené une tâche comportementale ainsi qu'une tâche d'écoute passive. Lors de cette dernière, le fonctionnement cérébral des participants a été analysé avec des EEG. Dix locuteurs monolingues britanniques, d'âge moyen de dix-huit ans, ont participé à cette étude. Concernant les stimuli : il s'agissait de 96 pseudo-mots de structure CCVC. Les clusters consonantiques initiaux ont été inspirés de l'étude de Daland *et al.*, (2011). Trois groupes ont été formés à partir de différents critères : « attaques fréquentes dans la langue anglaise et respectant la sonorité », « attaques fréquentes et ne respectant pas la sonorité » et « attaques qui n'existent pas dans la langue et ne respectant pas la sonorité ». La tâche comportementale consistait en une écoute passive de stimuli auditifs associés chacun à un stimulus visuel écrit. Les participants ont ensuite dû juger sur une échelle de 1 à 8 la probabilité que ce pseudo-mot appartienne un jour à leur langue. Puis une tâche d'écoute passive avec une analyse cérébrale au moyen d'EEG leur a ensuite été proposée et a, par la suite, permis d'étudier les corrélats neuronaux à l'aide d'une expérience de potentiel évoqué. Les résultats concordent avec l'étude de Wiese *et al.* (2017). Ils indiquent que le traitement neuronal est significativement différent pour les attaques peu fréquentes dans la langue et ne respectant pas la sonorité. La fréquence dans la langue et le respect de la sonorité influencent le traitement neuronal d'un segment donné.

Nous constatons donc, que la sonorité est en relation permanente avec la phonotactique et qu'elles influencent toutes deux le traitement de la parole. Les lois universelles phonotactiques et la notion de sonorité sont corrélées.

2.3. Principe de séquençage de la sonorité (SSP)

Le principe de séquençage de la sonorité (« Sonority Sequencing Principle » : SSP) énoncé par Clements (1990) semble s'apparenter à une loi universelle d'organisation phonémique au sein de la syllabe. Ce principe permet de déterminer la construction syllabique qui serait universellement préférée dans la langue. Par exemple, la structure syllabique la plus fréquente dans la plupart des langues est de type CV (Jakobson, 1969), notamment car elle est reconnue comme étant la construction syllabique la plus simple à percevoir et à produire. Une syllabe « optimale » serait de type CV, composée d'une consonne occlusive sourde et d'une voyelle, car la différence de sonorité entre ces deux phonèmes est la plus contrastée (Romani & Calabrese, 1998). A contrario, plus la différence entre la sonorité de deux consonnes est faible au sein d'un cluster consonantique, plus

celui-ci sera complexe phonologiquement (Gierut, 2007).

Pour expliquer cela, le principe du SSP admet que le sommet de sonorité correspond au noyau syllabique (vocalique en français). Il est mis en évidence par l'augmentation de la sonorité depuis l'attaque (et au sein même de celle-ci), jusqu'au sommet syllabique, puis grâce à une diminution de la sonorité entre le sommet et la coda. On parle de cycle de sonorité croissant puis décroissant. Cette organisation interne décrirait une courbe, appelée courbe de sonorité. Voici un exemple avec le pseudo-mot [blyk], respectant la loi de la sonorité.

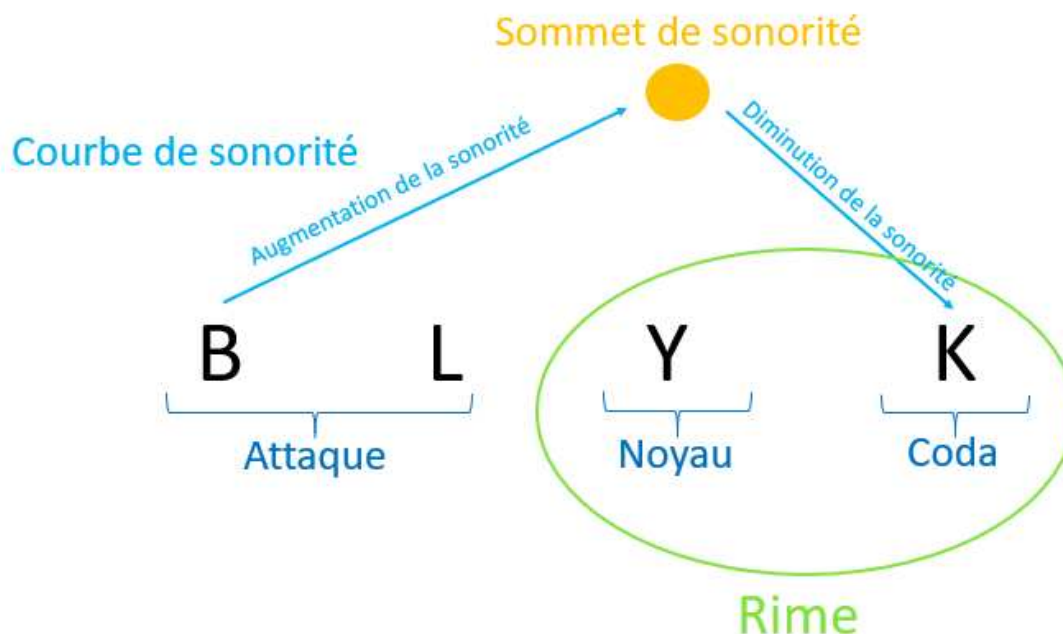


Figure 3 : Principe du cycle de sonorité (SSP), inspiré des travaux de Clements, 1990.

Afin d'illustrer cela, Gómez *et al.* (2014) ont cherché à savoir si l'activité cérébrale des nouveau-nés est sensible à ce principe linguistique supposé universel qui définit la structure syllabique (soit, le SSP). Pour ce faire, ils ont mesuré l'activité cérébrale hémodynamique de 24 nourrissons italiens âgés en moyenne de 3 jours. Dans le but de savoir si leurs réponses hémodynamiques reflèteraient les préférences syllabiques prédites par le SSP, ils ont réalisé une tâche d'écoute passive de stimuli, au moyen de la spectroscopie fonctionnelle dans le proche infrarouge (NIRS). Pour cela, des sondes NIRS ont été placées sur le crâne des nouveau-nés de manière à couvrir deux régions d'intérêt (ROI) sur chaque hémisphère du cerveau. Les stimuli utilisés lors de l'écoute passive étaient des enregistrements audios de syllabes de type CCVC et VCCVC. Les résultats de leur étude indiquent que les nourrissons présentent des réponses différentes à l'oxyhémoglobine pour les syllabes respectant le SSP (bien formées) et les syllabes ne le respectant pas (mal formées), dans les canaux situés au-dessus de leur cortex temporal gauche. Cela suggère que les nouveau-nés humains sont sensibles aux restrictions supposées universelles de la structure syllabique. Des préférences linguistiques universelles liées à la sonorité sont donc présentes chez des locuteurs pré-linguistiques.

Par ailleurs, le principe du SSP permettrait d'identifier le nombre de syllabes au sein d'une séquence sonore. En effet, celui-ci dépendrait du nombre de sommets de sonorité. Lorsque la sonorité décroît après le sommet syllabique, annonçant la coda de la syllabe, on parle alors de frontière syllabique entre la coda de la première séquence et l'attaque de la nouvelle.

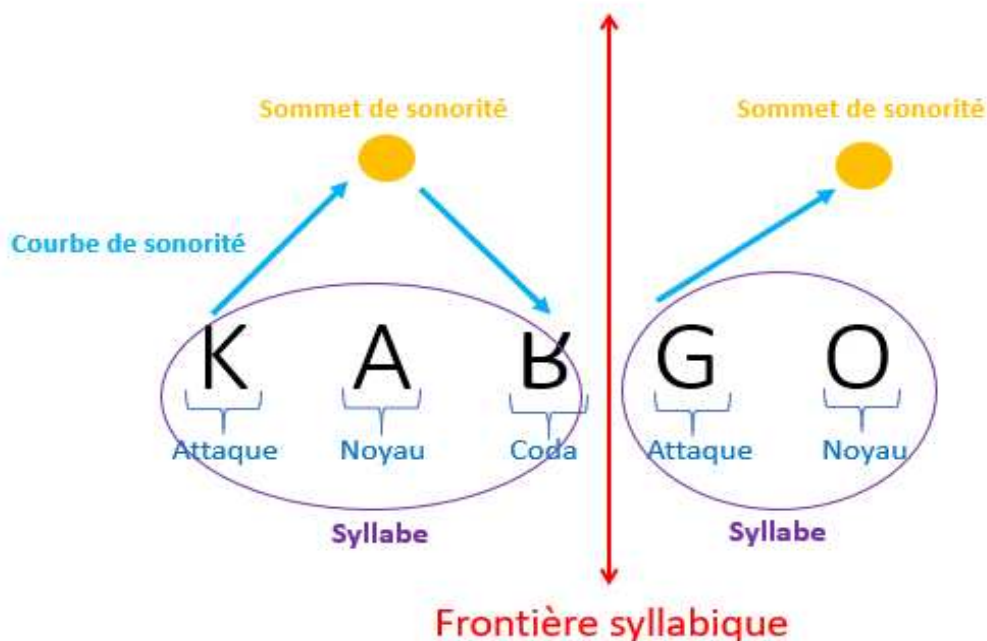


Figure 4 : Frontière syllabique au sein d'un mot bisyllabique.

La syllabation, qui correspond au fait de diviser une représentation phonologique en une séquence bien définie de syllabes (Trask, 1996), est sous-tendue par ce principe, lui-même guidé par les lois phonotactiques de la langue. Selon Goldsmith (2011), la sonorité, et le principe du SSP qui en découle, est un modèle fondamental de syllabation dans le langage. Dans leur étude, Boll-Avetisyan et Kager (2016) ont cherché à savoir si les locuteurs néerlandais s'appuient sur leurs connaissances phonotactiques pour segmenter la parole en syllabes. Pour cela, 43 étudiants néerlandais ont participé à cette recherche. Trois variantes d'une langue artificielle leur ont été proposées lors d'une tâche d'écoute passive (phase de familiarisation) en cabine insonorisée. Chaque langue se composait de neuf syllabes. Les constructions syllabiques variaient avec une alternance CV, où la consonne alternait entre une apico-alvéolaire ([t] par exemple) et une bilabiale ([p] par exemple). Puis leurs connaissances sur ces langues ont été testées au moyen d'une tâche de jugement lexical entre deux stimuli auditifs : l'un appartenant à la langue qu'ils venaient de découvrir et l'autre n'y appartenant pas. Ils devaient choisir celui qui appartenait à la langue. Les résultats suggèrent que les participants se sont appuyés sur leurs connaissances phonotactiques pour segmenter ces langues artificielles en syllabes.

De plus, Gierut (1999) a soutenu l'idée que les enfants s'appuient sur le principe de séquençage de la sonorité lors de l'acquisition phonologique du langage. Onze enfants monolingues anglophones, âgés de trois à huit ans et atteints de retards phonologiques isolés ont participé à son étude. Un traitement basé sur la perception, la répétition, l'appariement, le tri puis la production spontanée de quinze pseudo-mots cibles, de formes de plus en plus complexes (CCVC, puis CCVCV, et CCVCVC), comprenant des différences de sonorité plus ou moins marquées, leur a été proposé, à raison d'une heure, trois fois par semaine. Ainsi, au début du traitement, les pseudo-mots ont été introduits au sein d'histoires imagées contées aux enfants (prenant le rôle de nom ou de verbe). Puis, s'ensuivait la phase d'entraînement avec les exercices (répétition, etc.) cités plus haut. Les résultats indiquent une amélioration de la précision lors de la production de certains de ces items grâce à ce traitement basé sur les profils de sonorité. Les relations de sonorité semblent régir la structure interne

des syllabes dans l'acquisition phonologique. De plus, cette étude montre que cela peut être prédictif des performances d'apprentissage : un transfert des apprentissages à des items plus simples phonologiquement a été observé chez ces enfants.

Finalement, de ce point de vue, le principe de séquençage de la sonorité (SSP) régit l'organisation sonore interne de la syllabe, donc des mots, des phrases et finalement de la parole. Néanmoins, ce principe n'est pas toujours clairement applicable à toutes les séquences sonores d'une langue. Il est parfois difficile de savoir où placer exactement la frontière syllabique dans une séquence sonore. Les locuteurs d'une langue ne sont pas toujours d'accord entre eux sur la position de la frontière syllabique (Goslin *et al.*, 2001). Par exemple, prenons le mot [fibɜ] en français. Notre intuition syllabique nous amène à considérer ce segment comme monosyllabique ou bisyllabique en fonction du locuteur interrogé. En effet, la loi de la sonorité est difficilement applicable à ce terme. Selon elle, [fibɜ] est monosyllabique puisqu'il n'y a qu'un seul sommet vocalique. Néanmoins, l'ambiguïté réside dans le fait que la sonorité croît de nouveau après la coda [b] de la syllabe [fib] avec le phonème [ɜ], mais cela ne permet pas de former une deuxième syllabe puisqu'il n'y a pas de noyau vocalique après le [ɜ]. Le seul pic de sonorité est le phonème [i]. Cela n'est pas conforme à ce qu'énonce la loi de la sonorité.

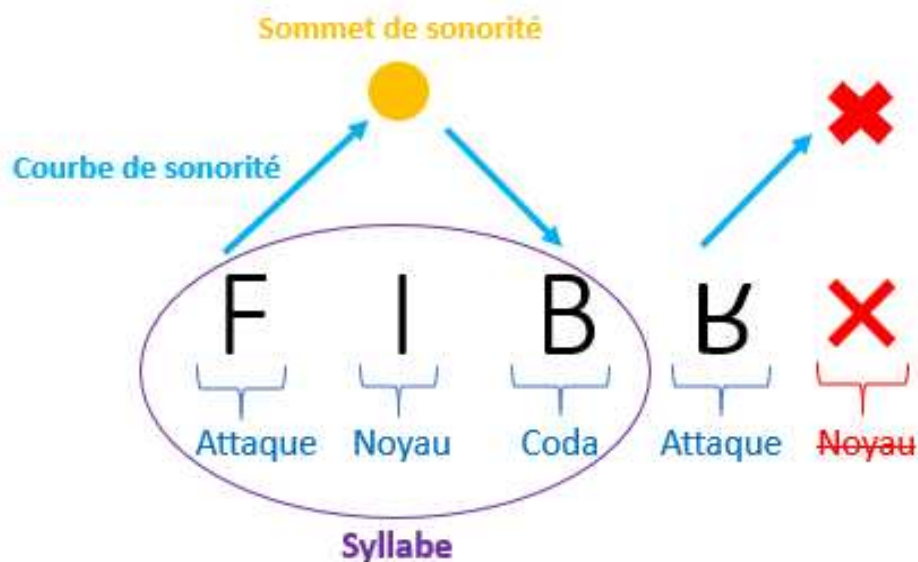


Figure 5 : Exemple du mot français [fibɜ], qui ne respecte pas la loi de sonorité.

Plus le principe de séquençage de la sonorité (SSP) n'est pas respecté, et plus la complexité phonologique d'un segment donné augmente. Par exemple, prenons le pseudo-mot [lbyk]. La loi du SSP n'est pas respectée puisqu'au sein même de l'attaque, le phonème [l] est plus sonore que le phonème [b]. Donc ici, à l'inverse de la figure 3 (l'exemple du pseudo-mot [blyk]), la courbe de sonorité n'est pas croissante de l'attaque jusqu'au sommet de sonorité.

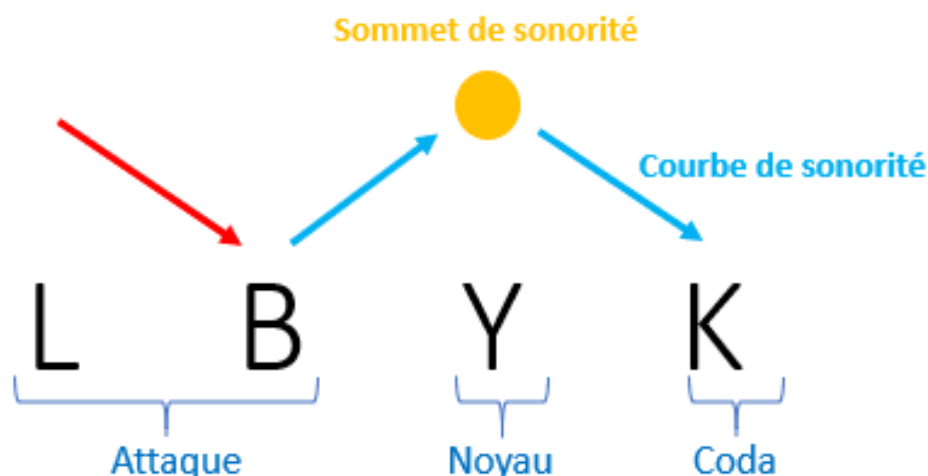


Figure 6 : Exemple d'un pseudo-mot ne respectant pas la loi de la sonorité.

Malgré le fait que la loi de la sonorité ne soit pas systématiquement applicable, la méta-analyse de Parker (2017) donne des arguments favorables à l'existence de ce concept dans l'organisation phonologique et phonétique de nos langues. Elle regroupe 264 études (dont 24 ont dû être exclues, soit finalement 240 études) impliquant la sonorité. Ses résultats attestent que plus de la moitié (151 études) sont favorables à ce concept. La sonorité aurait donc un rôle réellement significatif dans le domaine du langage humain.

3. Sonorité et lésions cérébrales

Tous ces principes et lois semblent universels, et pourtant ils ne sont pas toujours parfaitement applicables à toutes les situations, comme nous avons pu le voir précédemment. Qu'en est-il chez les personnes atteintes de lésions cérébrales ? Leurs productions phonologiques respectent-elles les lois phonotactiques de notre langue et les règles de syllabation sous-tendues par le SSP ? Leur jugement de la sonorité est-il modifié ?

3.1. Troubles phonologiques acquis

Comme nous l'avons mentionné au début de ce document, les personnes victimes de lésions cérébrales peuvent être atteintes de troubles phonologiques acquis. Par définition, un trouble phonologique est un trouble central qui affecte les représentations phonologiques des mots et en impacte la compréhension et la production orale (Schelstraete, Maillart & Jamart, 2004). Sur le versant réceptif, à l'oral (compréhension orale) et à l'écrit (compréhension écrite), il peut y avoir des confusions entre certains phonèmes rendant difficile la compréhension d'un discours oral ou écrit. En production orale, cela peut se traduire par des déformations phonologiques : soit des paraphrasies phonémiques, dues à une désorganisation des phonèmes au sein du mot cible, rendant le discours parfois inintelligible. On parle d'ajout ([debãbylã] pour « déambulant », par exemple), d'omission ([ʃãpõ] pour « champignon » ou [kapab] pour « capable », par exemple), de substitution ([festiz] pour « vestige », par exemple), et de transposition de phonèmes ([fisine] pour « finissait », par exemple), ainsi que d'instabilité des productions. Il en est de même pour la production en modalité écrite, mais nous parlerons de « paragraphies » plutôt que de paraphrasies.

Les troubles phonologiques peuvent survenir dans le cadre d'une pathologie développementale (dysphasie, syndromes génétiques...), ou à la suite d'une pathologie acquise (accident vasculaire cérébral (AVC), traumatisme crânien...). En cas d'AVC, et en fonction de la localisation et de l'étendue de la lésion, un patient peut avoir une atteinte, de gravité variable, du pôle langagier (identifié par Broca, 1824-1880 et Wernicke, 1848-1905), qui se situe au sein de l'hémisphère cérébral gauche. L'une des conséquences de cette atteinte est l'aphasie. Par définition, ce terme est employé pour décrire une perte ou une déficience acquise du système linguistique à la suite d'une atteinte du système cérébral (Benson, 1996). L'aphasie peut altérer les différentes modalités du langage : l'expression et la compréhension, que ce soit à l'oral ou à l'écrit. Les conséquences langagières de cette pathologie sont variées et peuvent toucher plusieurs domaines : le lexique, la sémantique, la phonologie, la morphosyntaxe et la pragmatique.

3.2. Erreurs aphasiques et sonorité

Ces « erreurs » phonologiques respectent-elles, malgré leur aspect désorganisé, le principe de syllabation sous-tendu par le SSP et les lois phonotactiques ?

D'après l'étude de Romani et Calabrese (1998), le principe de séquençage de la sonorité permet de prédire les caractéristiques des erreurs phonologiques commises par une personne aphasique. Le patient de leur étude est un italien âgé de 40 ans. Il a été victime d'un AVC entraînant des lésions ischémiques étendues au niveau fronto-pariétal gauche. Ce patient est atteint d'une aphasie de Broca : son expression orale est très limitée et les paraphasies phonémiques sont fréquentes. Il ne présente pas de trouble d'exécution motrice de la parole : absence de dysarthrie et/ou d'apraxie bucco faciale. En revanche, une atteinte de la programmation articulatoire est à noter. Ils ont analysé le profil de sonorité de ses productions au moyen d'une tâche de répétition de mots, 7552 au total. Les résultats indiquent que les erreurs phonologiques de ce patient respectent le SSP, mais s'orientent vers une simplification du profil de sonorité, notamment sur les attaques syllabiques complexes (substitution et omission de phonèmes). Notons qu'il réalise plus d'erreurs au sein d'attaques syllabiques complexes (CCV ou VCC par exemple) que sur des attaques syllabiques simples (CV). Finalement, la plupart des contraintes phonotactiques sont préservées dans les productions aphasiques. Les études de Christman (1992) et de Code et Ball (1994) tendent également vers cette conclusion. Ils ont analysé la structure syllabique des automatismes aphasiques récurrents non lexicaux de la parole (stéréotypies, néologismes) ; leurs résultats confirment que les contraintes phonotactiques de la langue sont respectées et que les productions des personnes aphasiques sont correctement syllabées selon le principe de séquençage de la sonorité.

Ces études suggèrent que malgré une organisation parfois perturbée, les productions d'erreurs phonologiques chez les personnes cérébrolésées semblent dans la plupart des cas respecter le SSP, la syllabation et les lois phonotactiques de la langue.

Néanmoins, en est-il de même pour ce qui est de la perception de la sonorité ? Le jugement de profils de sonorité est-il altéré chez les personnes atteintes de lésions cérébrales acquises ?

4. Buts et hypothèses

4.1. Objectifs du mémoire

Le premier objectif de ce mémoire est d'observer si le degré de fréquence dans la langue d'un cluster consonantique et les profils de sonorité sont jugés de manière conforme à ce qu'énonce le SSP, chez des personnes neurotypiques de tout âge.

Ensuite, nous aimerions savoir si ces jugements de la fréquence et de la sonorité sont également conformes à ce qu'énonce le SSP chez des personnes cérébrolésées.

Enfin nous déterminerons s'il existe un effet dû aux lésions cérébrales sur le jugement de la sonorité et de la fréquence : y a-t-il une différence significative entre les personnes neurotypiques et les personnes cérébrolésées ?

Ainsi, nous espérons que les résultats de cette recherche permettront de mieux comprendre les troubles phonologiques chez l'adulte cérébrolésé, et qu'à terme, ces travaux permettront aux orthophonistes de proposer une prise en charge optimale pour ces patients.

4.2. Hypothèses

A propos des personnes neurotypiques, tout âge confondu, nous nous attendons à retrouver des résultats significatifs indiquant : une préférence en fonction du profil de sonorité et de la fréquence dans la langue. C'est-à-dire que les stimuli fréquents dans la langue et peu complexes sur le plan phonologique (respect du SSP) seront préférés aux stimuli peu fréquents et au profil de sonorité complexe (non-respect du SSP).

Concernant le groupe de personnes cérébrolésées, nous pensons retrouver une tendance sensiblement différente par rapport aux personnes neurotypiques. En effet, nous avons vu précédemment que les productions d'erreurs aphasiques tendaient à respecter le SSP (Romani & Calabrese, 1998 ; Christman, 1992 ; Code & Ball, 1994), et nous savons que le traitement cérébral de la sonorité, chez une personne neurotypique diffère lorsque le SSP n'est pas respecté (Wiese *et al.*, 2017 ; White & Chiu, 2017). Mais qu'en est-il de la perception de la sonorité chez un patient cérébrolésé ? D'après l'étude de Deschamps, Baum et Gracco, (2015), certaines zones cérébrales (notamment le gyrus frontal inférieur gauche) seraient dédiées au traitement perceptif de la sonorité. Nous supposons donc qu'en présence d'une lésion cérébrale, la capacité de jugement de la sonorité sera altérée. Ainsi, nous pensons qu'un écart à la norme sera notable quant à la capacité de jugement de la sonorité, entre les participants cérébrolésés et leur population de référence (personnes neurotypiques).

Méthode

1. Participants

Pour cette étude, deux groupes de participants ont été constitués : un groupe *Contrôles* et un groupe *Patients*.

Le groupe *Contrôles* est constitué de 57 personnes neurotypiques au total (les données de 7 de ces participants sont issues du mémoire de Garravet, 2019) et se divise en trois sous-groupes : le sous-groupe « jeunes » (25 participants âgés de 18 à 29 ans), le sous-groupe « adultes » (26 participants âgés de 30 à 59 ans) et le sous-groupe « séniors » (6 participants dont l'âge est supérieur à 59 ans). Le tableau 1 présente les données démographiques relatives au groupe *Contrôles*. Le terme « éducation » correspond au nombre d'années d'études qu'un participant a réalisées depuis la classe du CP.

Tableau 1 : Récapitulatif des données démographiques pour le groupe *Contrôles*.

Groupe « jeunes » (N = 25)	Âge	Sexe	Éducation
Moyenne	23,28	18 F ; 7 H	15,88
Écart type (ET)	1,99	-	1,20
Groupe « adultes » (N= 26)			
Moyenne	47,96	12 F ; 14 H	14,48
Écart type (ET)	8,7	-	2,00
Groupe « séniors » (N = 6)			
Moyenne	66,67	4 F ; 2 H	12,67
Écart type (ET)	5,71	-	2,16

Le groupe *Patients* est constitué de seize personnes cérébrolésées, regroupées selon les mêmes tranches d'âges que le groupe *Contrôles*. Le sous-groupe « jeunes » est constitué de six patients, le sous-groupe « adultes » réunit sept patients, et le sous-groupe « séniors » est formé de trois patients. Néanmoins, il est important de préciser que contrairement au groupe *Contrôles*, nous n'avons pas regroupé les résultats par sous-groupe pour le groupe *Patients* : nous avons procédé par étude de cas.

Il est également important de préciser que nous sommes deux étudiantes à réaliser cette étude sous deux axes différents. Pour cela nous utilisons la même base de données : les résultats de l'ensemble des passations expérimentales. Néanmoins, nous avons décidé de répartir les données concernant le groupe *Patients*, de manière équitable entre nos deux mémoires. C'est-à-dire que seulement la moitié des résultats des patients cérébrolésés seront présentés puis analysés dans cet écrit.

Le tableau 2 concerne donc uniquement les huit participants du groupe *Patients* dont nous allons étudier les résultats par la suite. La durée post-lésionnelle est indiquée en termes de mois. Parmi ces participants, deux sont aphasiques : SPEP05, et SPEP09.

Tableau 2 : Récapitulatif des données démographiques pour le groupe *Patients*.

Groupe « jeunes »	Âge	Sexe	Éducation	Durée post-lésionnelle	Type aphasie	Troubles phonologiques
SPEP09	18	H	11	21	Non fluente : Broca	OUI
SPEP14	29	F	17	13	Pas d'aphasie	NON
SPEP19	22	H	11	7	Pas d'aphasie	NON
Groupe « adultes »						
SPEP05	53	F	14	2	Fluente : Conduction	OUI
SPEP11	58	H	14	10,5	Pas d'aphasie	NON
SPEP07	49	H	12	13	Pas d'aphasie	NON
Groupe « séniors »						
SPEP08	62	F	15	3	Pas d'aphasie	NON
SPEP13	67	H	14	2,5	Pas d'aphasie	NON

Pour sélectionner les participants de cette étude de manière pertinente, les critères d'inclusion et d'exclusion ont été organisés comme suit dans le tableau 3.

Tableau 3 : Récapitulatif des critères d'inclusion et d'exclusion pour tous les participants.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<u>Pour tous les participants :</u> ❖ Langue maternelle française <u>Uniquement pour les participants du groupe <i>Patients</i> :</u> ❖ Personnes cérébrolésées (toutes causes, origines et étendues lésionnelles confondues) ❖ Phase post-lésionnelle, aiguë ou chronique	<u>Pour tous les participants :</u> ❖ Trouble sévère de la compréhension ❖ Déficit visuel non-corrigé ❖ Déficit auditif développemental corrigé ou non ❖ Négligence spatiale unilatérale (NSU)

Pour tous les participants, nous avons choisi d'inclure uniquement des personnes de langue maternelle française car nous étudions la sonorité du français. Inclure d'autres langues maternelles ne serait donc pas cohérent et induirait nécessairement des biais. Les critères d'âges nous permettront par la suite de comparer les résultats des participants du groupe *Patients* à ceux du groupe *Contrôles*. Par ailleurs, nous avons exclu toute personne atteinte de trouble sévère de la compréhension, susceptible par conséquent de ne pas comprendre les consignes de passation. Nous avons également exclu les personnes atteintes d'un quelconque déficit visuel non corrigé et de négligence spatiale unilatérale, pour éviter tout biais lié à un défaut visuel. Enfin, les sujets atteints de déficiences auditives développementales ont également été exclus. Un trouble auditif développemental ne nous

garantit pas que le participant possède une bonne représentation du système phonologique et phonémique du français. En effet, leur système phonologique et leurs représentations phonémiques des mots de la langue, peuvent ne pas avoir été construits de façon typique.

Concernant les participants atteints de lésions cérébrales, et du fait du caractère exploratoire de notre étude, nous avons choisi d'inclure les personnes ayant été victimes d'un traumatisme crânien ou d'un AVC (tous types confondus, uniques ou multiples). Ce choix a également été motivé par le manque de participants atteints d'un AVC unique. La phase post-lésionnelle peut être aigüe (jusqu'à six mois maximum après l'AVC) ou chronique (plus de six mois après l'AVC).

2. Matériel

Pour évaluer la perception de la sonorité, nous avons choisi d'employer une tâche comportementale de jugement phonologique volontaire de la sonorité : la projection de la sonorité. Elle permet aux locuteurs d'une langue de juger la probabilité d'accepter un mot qui n'existe pas (ou pseudo-mot) dans le lexique de sa langue en fonction de son profil de sonorité. Pour cela, la passation expérimentale consiste en un test informatisé de projection de la sonorité, sur ordinateur (inspiré de Daland *et al.*, 2011), à l'aide du logiciel Octave.

Lors du test de projection de la sonorité, les participants doivent juger la probabilité que le pseudo-mot écrit présenté à l'écran puisse devenir un jour un mot appartenant à la langue française. Pour cela, une échelle allant de 1 : « très peu probable » à 6 : « très probable » leur est proposée pour chaque stimulus. Il n'y a pas de réponse neutre possible sur cette échelle, cela permet d'obtenir des réponses comportementales sensiblement plus significatives.

Les stimuli de cette étude sont les mêmes que ceux utilisés pour le mémoire de Garravet (2019). Ils ont été construits par Laetitia Zmuda, étudiante en orthophonie et Mme Anahita Basirat, au cours d'un stage recherche en 2018. Le test de jugement de sonorité est constitué de 144 pseudo-mots monosyllabiques répartis en trois listes (cf. tableau 4) de 48 stimuli chacune, en fonction de la sonorité et de la fréquence de leurs attaques syllabiques dans la langue. Les attaques syllabiques choisies ici sont des clusters consonantiques de type CC, qui ont ensuite été assemblés avec douze rimes légales plus ou moins fréquentes en français, pour former des pseudo-mots. Les stimuli sont présentés de manière aléatoire (indépendamment de leur appartenance à l'une des trois listes) lors de l'expérience, en modalité écrite.

Tableau 4 : Critères de répartition des stimuli.

Liste 1	Liste 2	Liste 3
SSP respecté	SSP respecté	SSP non respecté
Clusters fréquents	Clusters peu fréquents	Clusters peu fréquents
Ex : blage	Ex : tlur	Ex : rfir

La liste 1 regroupe les pseudo-mots dont l'attaque syllabique (autrement dit, pour notre étude : le cluster initial) est fréquente dans la langue et où le principe du SSP est respecté. La liste 2 est constituée de pseudo-mots dont les clusters initiaux sont peu fréquents dans la langue et où le principe du SSP est également respecté. Enfin, la liste 3 est composée de pseudo-mots formés par des clusters initiaux peu fréquents dans la langue et le principe de SSP n'est pas respecté.

3. Procédure

Toutes les passations se sont déroulées entre les mois d'octobre 2019 et janvier 2020. Celles des groupes de participants neurotypiques (groupe *Contrôles*) ont eu lieu au sein du laboratoire de recherches SCALab, à la faculté de sciences humaines et sociales de Villeneuve d'Ascq. Les passations du groupe de participants cérébrolésés (groupe *Patients*) se sont déroulées au sein de l'hôpital Pierre Swynghedauw au CHU de Lille, dans le service de rééducation neurologique et cérébrolésion.

En ce qui concerne le groupe des participants du groupe *Contrôles*, le recrutement s'est effectué auprès des étudiants de la faculté de médecine de Lille, ainsi qu'auprès de nos amis et familles respectives. Pour le groupe des personnes cérébrolésées, nous nous sommes rendues à l'hôpital Pierre Swynghedauw et avons inclus, avec leur accord, les patients correspondant à nos critères d'inclusion et d'exclusion. Pour cela, nous avons consulté leurs dossiers médicaux, analysé les comptes rendus de bilans orthophoniques et neuropsychologiques et échangé avec le personnel soignant (orthophonistes, neuropsychologues, infirmiers, kinésithérapeutes, ergothérapeutes) afin de cibler au mieux les patients susceptibles de correspondre à notre étude.

La durée de passation varie de 30 minutes à 1 heure environ, selon les participants. Elle se compose de plusieurs étapes. Dans un premier temps, les participants prennent connaissance des différentes modalités administratives au moyen d'une lettre d'information et d'un document de consentement de participation, qu'ils sont invités à lire puis à signer. Ensuite, d'autres documents administratifs sont à compléter : un questionnaire détaillé sur d'éventuels troubles visuels, auditifs, cognitifs et/ou neurologiques, et un test de latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971). Tous les documents sont anonymisés à l'aide d'un code spécifique pour chaque participant.

Deux épreuves sont ensuite proposées : une épreuve de décision lexicale (notée sur 20) et une épreuve de lecture de pseudo-mots (notée sur 10), issues de la batterie la BECLA (*Batterie d'évaluation cognitive du langage*, Macoir, et al., 2015). La première permet de vérifier si le participant a la capacité de juger si un mot appartient ou non à la langue française. Si ce n'est pas le cas, il lui sera difficile de réaliser avec justesse le test de projection de la sonorité. L'épreuve de lecture de pseudo-mots permet d'exclure tout biais lié à un trouble de lecture. En effet, elle permet de vérifier la capacité du participant à faire de la correspondance grapho-phonémique, c'est-à-dire, de vérifier si sa voie d'assemblage est efficiente.

De plus, une épreuve de discrimination phonologique de paires minimales (Majerus et al., 2005) est également proposée. Le participant entend à la suite /pa/ et /ba/, par exemple, et il doit juger de leur équivalence phonologique (similaire ou différente).

Enfin, l'épreuve de jugement de la sonorité est présentée au moyen d'un ordinateur. Le participant est en face de l'écran d'ordinateur, dans une pièce calme, sans aucune autre stimulation visuelle ou auditive. La consigne de cette épreuve a été donnée au préalable, en respectant un protocole strict afin d'éviter tout biais inter-expérimentateur lié à une formulation différant selon la personne en charge de la passation. Il est précisé au participant qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Une phase d'entraînement comprenant six items est proposée en début d'épreuve. Le logiciel change de stimulus visuel écrit lorsque le sujet fait son choix sur l'échelle de jugement de la sonorité (cf. figure 7), à l'aide de la souris



Figure 7 : Test de projection de la sonorité sur ordinateur.

4. Analyse des données

Les réponses au test de jugement de la sonorité et de discrimination phonologique de tous les participants de cette étude ont été recueillies et traitées informatiquement à l'aide du logiciel Excel. Les réponses aux tests langagiers de la BECLA ont été enregistrées manuellement à l'aide du manuel de passation de ce test. Elles ont ensuite été analysées informatiquement.

Concernant le test de projection de la sonorité, la moyenne obtenue à chaque liste a été calculée pour chaque sujet. Puis, les résultats aux trois listes ont été comparés entre eux d'abord qualitativement (résultats décroissants de la liste 1 à 3), puis quantitativement au moyen d'une comparaison intra et inter groupe.

Pour le groupe *Contrôles*, nous avons réalisé une comparaison intra groupe au moyen du test paramétrique de Student (Gosset, 1908), dans le but d'observer si la différence entre la moyenne de chaque liste est significative ou non. Selon ce test, le résultat est significatif si la valeur « p » est inférieure à 0,05 (soit : $p < 0,05$).

Pour ce qui est du groupe *Patients*, nous rappelons que nous présenterons uniquement les résultats de huit patients sur seize, dans cet écrit. Ainsi, nous allons procéder par étude de cas. Dans le but de savoir si la différence entre les moyennes de chaque liste est significative ou non pour chaque patient, nous avons de nouveau utilisé le test paramétrique de Student (Gosset, 1908). Puis, afin d'établir ou non un écart à la norme entre les patients et les participants neurotypiques du groupe *Contrôles*, nous avons comparé les moyennes obtenues par chaque patient aux moyennes obtenues de sa population de référence (soit le groupe *Contrôles* « jeunes », « adultes » ou « seniors »). Pour cela, nous avons utilisé le test Z de l'écart réduit (Z-score). Cela nous permet de savoir si les participants du groupe *Patients* sont dans la norme par rapport à leurs populations de référence. Un score est considéré comme pathologique à partir de -2ET.

Pour ce qui est des résultats aux épreuves de langage du test la BECLA, il n'a pas été jugé nécessaire ici, de les présenter dans la partie « Résultats ». En effet ces subtests permettent de vérifier les aptitudes du participant à réaliser le test de sonorité (cf. « 1. Procédures »), et aucun participant n'a eu de score significativement intéressant. De plus, un effet plafond important est à noter pour ces épreuves, une note de 19/20 entraînant un score pathologique.

Enfin, pour le test de discrimination phonologique, la moyenne des scores obtenus a été calculée pour chaque tranche d'âges du groupe *Contrôles*. Et la moyenne de chaque participant du groupe *Patients* a été calculée puis comparée à sa population de référence, au moyen du test Z de l'écart réduit (Z-score).

Résultats

1. Groupe *Contrôles*

Le tableau 5 indique que les pseudo-mots de la liste 1 sont préférés aux pseudo-mots de la liste 2, qui sont eux-mêmes préférés aux pseudo-mots de la liste 3. Cette tendance se traduit comme suit : $L1 > L2 > L3$. La confrontation des moyennes entre les listes permet de savoir si le degré d'acceptabilité des pseudo-mots est influencé par un effet de fréquence du cluster consonantique initial dans la langue (moyenne L1 – moyenne L2) et/ou par un effet de sonorité (moyenne L3 – moyenne L2).

Ici, on observe une différence significative entre les listes pour le groupe *Contrôles* « jeunes » : des effets de fréquence et de sonorité sont observés lors du jugement d'acceptabilité d'un pseudo-mot dans la langue ($p < 0,05$). Un effet de fréquence est également constaté pour le groupe *Contrôles* « adultes », mais pas d'effet de sonorité. Les résultats ne sont pas significatifs pour le groupe *Contrôles* « seniors », il n'y a ni effet de fréquence, ni effet de sonorité ($p > 0,05$).

Les résultats au test de discrimination phonologique sont également présentés dans le tableau 5. « Phono N » signifie que les stimuli auditifs ont été présentés à une vitesse normale, et « Phono R » à une vitesse plus rapide. La note maximale possible étant de 1, les résultats indiquent des capacités de discrimination phonologiques dans la norme pour l'ensemble du groupe *Contrôles*.

Il est important de préciser que ce test n'a pas été proposé aux participants de Garravet (2019), ainsi les moyennes obtenues à « Phono N » et « Phono R » n'incluent pas les sujets SPEC01, SPEC05, SPEC09 et SPEP10 du groupe *Contrôles* « adultes » ; et SPEC03, SPEC06 et SPEC08, du groupe *Contrôles* « seniors ».

Tableau 5 : Résultats du groupe *Contrôles* au test de projection de la sonorité, comparaison des moyennes obtenues pour chaque liste et résultats au test de discrimination phonologique.

Groupe « jeunes » (N=25)	Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 1 – Liste 2	Liste 3 – Liste 2	Phono N	Phono R
Moyenne	5,17	2,26	1,52	2,91	-0,74	0,99	0,95
Écart-type (ET)	0,49	0,61	0,44	0,49	0,43	0,02	0,04
Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p < 0,05	-	-
Groupe « adultes » (N=26)							
Moyenne	4,43	2,04	1,78	2,39	-0,26	0,98	0,93
Écart-type (ET)	1,23	0,58	0,60	1,18	0,54	0,03	0,06
Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p > 0,05	-	-
Groupe « seniors » (N=6)							
Moyenne	3,95	2,61	2,26	1,34	-0,35	0,99	0,95
Écart-type (ET)	1,32	0,89	0,94	0,94	0,64	0,02	0,05
Valeur p	-	-	-	p > 0,05	p > 0,05	-	-

2. Groupe *Patients*

Les scores obtenus par chaque patient pour le test de projection de la sonorité suivent la même tendance que ceux du groupe *Contrôles*, soit : $L1 > L2 > L3$.

La comparaison entre les moyennes des listes (L1-L2 et L3-L2), indique le Z-score de chaque patient, en comparaison à sa population de référence. Elle montre également si la différence entre les moyennes obtenues, pour chaque liste et par participant, est significativement différente (valeur p). Des z-scores pathologiques combinés à des différences significatives sont constatés pour la comparaison « liste 1 – liste 2 » pour SPEP14 et SPEP19. La différence entre les moyennes de la liste 1 et 2 est significative pour SPEP09, SPEP05, SPEP07 et SPEP08. Des résultats significatifs sont également observés pour la comparaison « liste 3 – liste 2 » pour SPEP09, SPEP05 et SPEP07.

Du fait d'une grande variabilité inter-individuelle lors de la notation des pseudo-mots au sein d'une même liste, il n'a pas été jugé pertinent d'indiquer dans le tableau les Z-scores des participants cérébrolésés aux liste 1, 2 et 3. Néanmoins, nous relevons tout de même des scores pathologiques ($Z \text{ score} \leq -2\text{ET}$) concernant les résultats de la liste 1 pour SPEP14, SPEP19 et SPEP11 en comparaison à leur population de référence.

Afin de rendre au plus clair le tableau 6, nous n'y avons pas présenté les résultats au test de discrimination phonologique. En outre, un seul patient a obtenu un score pathologique à cette épreuve. En effet, SPEP19 a une moyenne de 0,96 pour « Phono N » et de 0,86 pour « Phono R ». Il détient donc un score pathologique pour « Phono R » avec -2,01 ET.

Tableau 6 : Résultats au test de projection de la sonorité pour le groupe *Patients* et comparaisons des moyennes obtenues pour chaque liste.

Patients « jeunes »		Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 1 – Liste 2	Liste 3 - 2
SPEP09	Moyenne	5,23	2,96	2,38	2,27	-0,58
	Z-score	-	-	-	- 1,31	0,36
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p < 0,05
SPEP14	Moyenne	1,98	1,08	1,10	0,90	0,02
	Z-score	-	-	-	-4,15	1,77
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p > 0,05
SPEP19	Moyenne	2,06	1,33	1,21	0,73	- 0,13
	Z-score	-	-	-	-4,49	1,43
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p > 0,05
Patients « adultes »						
SPEP05	Moyenne	4,04	1,81	1,10	2,23	- 0,71
	Z-score	-	-	-	-1,14	-0,84
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p < 0,05
SPEP07	Moyenne	3,77	1,96	1,06	1,81	-0,90
	Z-score	-	-	-	-0,49	-1,18
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p < 0,05
SPEP11	Moyenne	1,13	1,02	1	0,10	-0,02
	Z-score	-	-	-	-1,94	0,44
	Valeur p	-	-	-	p = 0,05	p > 0,05
Patients « séniors »						
SPEP08	Moyenne	1,60	1,08	1,06	0,52	-0,02
	Z-score	-	-	-	-0,87	0,51
	Valeur p	-	-	-	p < 0,05	p > 0,05
SPEP13	Moyenne	1,98	1,60	1,54	0,38	-0,06
	Z-score	-	-	-	-1,02	0,44
	Valeur p	-	-	-	p > 0,05	p > 0,05

Nb : Les scores obtenus à L3-L2 sont à interpréter comme suit : Z-score > 2 = pathologique.

Discussion

Dans le but d'étudier le jugement de la sonorité et de la fréquence dans la langue, nous avons réalisé un test de projection de la sonorité au sein d'une population de personnes neurotypiques et d'une population de personnes cérébrolésées. C'est-à-dire que nous leur avons proposé de participer à une expérience comportementale, comprenant un test de jugement d'acceptabilité de pseudo-mots dans la langue française. Les objectifs étaient d'une part d'évaluer si un groupe de personnes neurotypiques et un groupe de personnes cérébrolésées seraient sensibles au SSP de manière significative et d'autre part, de déterminer si, du fait d'une atteinte cérébrale, cette sensibilité à la sonorité différerait des personnes neurotypiques.

1. Discussion des résultats

1.1. Groupe *Contrôles*

A propos du groupe *Contrôles*, nous nous attendions à observer une différence entre les moyennes des listes de pseudo-mots, de sorte que : $L1 > L2 > L3$. Cette tendance semble respectée de prime abord pour toutes les tranches d'âges, puisque les moyennes obtenues pour chaque liste par tranche d'âge suivent cet ordre de préférence. Cela signifie que les pseudo-mots au cluster consonantique fréquent (soit : Fq+) dans la langue et respectant la sonorité (soit : SSP+), sont mieux notés, donc préférés aux pseudo-mots constitués d'un cluster consonantique peu fréquent dans la langue (Fq-) et/ou ne respectant pas le principe de séquençage de la sonorité (SSP-).

Puis, nous avons réalisé une analyse quantitative qui a mis en évidence des nuances entre les tranches d'âge du groupe *Contrôles*. Les résultats indiquent un effet significatif combiné de sonorité et de fréquence lors de l'attribution de notes aux stimuli, uniquement pour le groupe *Contrôles* « jeunes ». C'est-à-dire qu'ils jugent que les pseudo-mots de la liste 1 (SSP+, Fq+) seraient plus susceptibles de faire partie un jour de la langue française, que les pseudo-mots de la liste 2 (SSP+, Fq-), et que ceux de la liste 3 (SSP-, Fq-). Ces résultats suggèrent que le jugement de sonorité et de fréquence du groupe contrôle « jeunes », est influencé par la variabilité des profils de sonorité des attaques syllabiques de ces pseudo-mots. Cela semble cohérent avec les résultats de l'étude de White et Chiu (2017) qui ont suggéré que leurs participants étaient sensibles à la fois au critère de fréquence et au profil de sonorité des clusters consonantiques initiaux.

Ensuite, on observe un effet de fréquence significatif chez le groupe *Contrôles* « adultes ». C'est-à-dire que la fréquence des clusters consonantiques initiaux a un impact sur le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots de ces listes. En revanche, il n'y a pas d'effet de sonorité significatif pour ce groupe. De fait, en analysant les résultats de chaque participant, on observe que les notes données aux stimuli sont la plupart du temps très proches entre la liste 2 et la liste 3. Elles sont parfois égales, et parfois les pseudo-mots de la liste 3 sont mieux notés que ceux de la liste 2. Cela explique que la différence entre les moyennes de ces deux listes ne soit pas significative. La différence de sonorité entre les listes ne semble donc pas être perçue par tous les participants du groupe *Contrôles* « adultes ». Pour expliquer cela, nous nous sommes questionnés au sujet des pseudo-mots proposés : la différence de sonorité entre chaque stimuli de la liste 2 et de la liste 3 n'est peut-être pas suffisante pour être systématiquement perçue par les participants. Daland *et al.*, (2011) suggèrent que l'augmentation du degré de sonorité entre les phonèmes de l'attaque au sein d'une syllabe doit être supérieure ou égale à 2 pour être significative. Soit la séquence XY : $\text{sonorité}(Y) - \text{sonorité}(X) \geq 2$. Néanmoins, ce n'est pas le cas de tous les stimuli de la liste 2 de notre étude. Par exemple le stimuli « bmuse » appartient à la liste 2 et correspond à un degré de sonorité égal à 1 seulement. Ou encore « pval » qui correspond à un degré de sonorité égal à 0. Le fait que tous les stimuli de la liste 2 ne soient pas suffisamment contrastés en termes de sonorité par rapport à ceux de la liste 3 pourrait expliquer la similarité des notes attribuées aux pseudo-mots des listes 2 et 3. Afin d'attester d'une préférence pour les pseudo-mots de la liste 2 ou de la liste 3 il aurait été intéressant de proposer aux participants une épreuve complémentaire sous forme de questionnaire où ils auraient dû choisir à plusieurs reprises entre deux pseudo-mots (un de la liste 2 et un de la liste 3) celui qu'ils jugent le plus susceptible de devenir un jour un nouveau mot du français. Cela aurait peut-être permis de savoir si le critère de sonorité seul influence, ou non, le degré d'acceptabilité d'un pseudo-mot dans la langue. Néanmoins, si le contraste du degré de sonorité n'est pas assez important entre la liste 2 et 3, pourquoi les participants neurotypiques « jeunes » y ont tout de même été sensibles ? Cela pourrait

être en lien avec l'âge des participants, le groupe « adultes » étant composé de sujets plus âgés que le groupe « jeunes ». Mais cela semble peu probable. Un des participants du groupe *Contrôles* « adultes » a 42 ans par exemple et il a pourtant mieux noté de manière significative les stimuli de la liste 2 par rapport à ceux de la liste 3. D'autre part, deux participants ayant 30 ans tous les deux ont chacun attribué des notes très différentes : l'un a mieux noté les stimuli de la liste 2 par rapport à ceux de la liste 3 et l'autre participant a fait l'inverse. Les variations inter-individuelles semblent donc importantes et indépendantes du facteur d'âge.

Pour ce qui est du groupe *Contrôles* « séniors », nous n'observons pas d'effet significatif de fréquence et de sonorité. Cela signifie, comme nous l'avons identifié précédemment, que les notes données à chaque pseudo-mot de chaque liste par ce groupe sont trop proches les unes des autres. Ces résultats suggèrent que les participants du groupe *Contrôles* « séniors » ne sont pas tous sensibles à une différence de sonorité et de fréquence dans la langue entre les listes. Néanmoins, cela reste discutable et pourrait s'expliquer par le nombre de participants constituant cette population ($N = 6$) qui est insuffisant pour obtenir des résultats fiables. De fait, lorsque l'on observe les résultats par participant dans ce groupe, on constate qu'ils sont très variables et hétérogènes. Par exemple, les notes attribuées pour la liste 1 varient entre 5,77 et 1,96 (sachant que la note maximale attribuable est de 6 sur l'échelle de probabilité donnée aux participants).

Notre première hypothèse est donc en partie validée, puisque le groupe *Contrôles* « jeunes » obtient des résultats significativement différents entre chaque liste, de sorte que $L1 > L2 > L3$. Le groupe *Contrôles* « adultes » obtient également des résultats significatifs pour la comparaison liste 1 et liste 2, il y a donc un effet de fréquence. En revanche les résultats ne sont pas significatifs pour la comparaison liste 3 et liste 2, il ne semble donc pas y avoir d'effet de sonorité. Le groupe *Contrôles* « séniors » n'obtient pas de résultats significatifs. Cependant, la tendance $L1 > L2 > L3$ est tout de même observée.

1.2. Groupe *Patients*

Concernant le groupe de personnes cérébrolésées, il est important de préciser que nous ne prenons pas en compte la situation lésionnelle de ces patients, du fait de leur origine, leur étendue et leur localisation trop différentes pour permettre un appariement de leurs résultats.

Pour ce groupe, nous pensions que la tendance $L1 > L2 > L3$ ne serait probablement pas respectée. Néanmoins, les résultats de chacun des huit participants cérébrolésés pour chaque liste, suivent cette tendance. Pour autant, est-ce significatif d'une réelle perception de la sonorité et de la fréquence ? Pour vérifier cela, une analyse quantitative au cas par cas de la différence entre les moyennes de chaque liste pour tous les patients a été effectuée.

Premièrement, elle indique un effet de fréquence combiné à un effet de sonorité pour les patients SPEP09, SPEP05 et SPEP07. Les moyennes des trois listes sont significativement différentes entre elles pour chacun de ces trois participants. Cela nous suggère que ces trois personnes, malgré leurs atteintes cérébrales, seraient sensibles à un changement de sonorité et de degré de fréquence dans la langue entre les stimuli.

Ensuite, on observe un effet de fréquence seul (sans effet de sonorité combiné), pour les patients SPEP14, SPEP19 et SPEP08. Donc la fréquence des clusters consonantiques initiaux semble avoir un impact sur le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots de ces listes pour ces trois patients.

Pour résumer, les résultats révèlent un effet de fréquence chez six patients du groupe de personnes cérébrolésées : SPEP09, SPEP05, SPEP07, SPEP14, SPEP19 et SPEP08. Nous remarquons également que seuls SPEP09, SPEP05 et SPEP07 semblent sensibles de manière

significative au profil de sonorité des stimuli. Ce n'est pas le cas pour les autres participants pour qui la différence entre les moyennes des listes 3 et 2 n'est pas significative. Cela suggère qu'ils ne sont pas sensibles à une différence de sonorité entre ces deux listes.

Par ailleurs, comme nous nous y attendions, un écart à la norme est constaté pour certains patients concernant la comparaison des moyennes aux listes 1 et 2 et pour la moyenne des réponses à la liste 1. Mais, à l'inverse de ce que nous pensions, ce n'est pas le cas de tous les patients et de toutes les listes. En effet, SPEP14 et SPEP19 ont obtenu un score pathologique, en regard de leur population de référence, à la comparaison de la liste 1 et 2. Cela suggère que, malgré le fait qu'ils semblent percevoir une différence de degré de fréquence dans la langue entre deux listes de pseudo-mots, cette perception paraît différente par rapport à une personne neurotypique du même âge. Ils semblent moins sensibles à un changement de fréquence entre deux pseudo-mots que des personnes du même âge sans lésion cérébrale.

De plus, seuls SPEP14, SPEP19, et SPEP11 ont obtenu un score pathologique à la liste 1. Cela nous indique que ces trois patients ont noté les pseudo-mots de la liste 1 de manière significativement différente, par rapport à leurs populations de référence respectives. De fait, nous remarquons que ces trois patients n'ont pas aussi bien noté les pseudo-mots de la liste 1 que les participants de leur groupe *Contrôles* respectif. Par exemple, la moyenne des réponses à la liste 1 est de 5,17 pour le groupe *Contrôles* « jeunes », et elle est de 1,98 pour SPEP14 et de 2,06 pour SPEP19. Pour le groupe *Contrôles* « adultes » elle est de 4,43 mais est seulement de 1,13 pour SPEP11. Néanmoins, cet écart à la norme n'est pas très pertinent à étudier puisqu'une variabilité inter-individuelle importante est probable entre les différents participants, concernant la notation par liste de chaque pseudo-mot, qu'ils soient atteints d'une lésion cérébrale ou non.

1.3. Étude de cas particuliers

Du fait de leurs scores pathologiques à la comparaison de la liste 1 et 2, nous allons à présent nous intéresser aux patients SPEP14 et SPEP19, faisant tous deux, partie du groupe *Patients* « jeunes ». Comment expliquer que seuls ces deux participants obtiennent des scores déficitaires ?

Le patient SPEP19 a 22 ans, il est lycéen en classe de première. Il y a sept mois, il a été victime d'un accident de voiture causant un traumatisme crânien fronto-temporo-pariétal gauche, avec des lésions diffuses. Il n'est pas aphasique, aucun trouble quelconque lié au langage ou à la parole n'est à signaler.

De son côté, SPEP14 a 29 ans, elle a été victime d'un AVC ischémique lenticulo-thalamique gauche, il y a treize mois. Elle n'est pas aphasique, aucun trouble du langage, ni de la parole n'est à signaler à la suite de son atteinte cérébrale. Diplômée d'un BAC+5 de droit, elle a un niveau d'études élevé.

La passation s'est bien déroulée dans l'ensemble pour ces deux patients. Ils semblent tous deux avoir correctement compris la consigne du test de projection de la sonorité. Et pourtant, on retrouve des résultats pathologiques concernant la différence entre les moyennes des listes 1 et 2. Cela est étonnant puisqu'ils semblent néanmoins percevoir une différence significative entre L1 et L2, ce qui indique qu'ils sont sensibles au critère de fréquence dans la langue. Cependant, leurs scores pathologiques suggèrent que leur perception de la fréquence est différente de celle de personnes neurotypiques du même âge : ces deux patients semblent moins sensibles aux variations de la fréquence. De plus, ils ne semblent pas percevoir les variations des profils de sonorité entre la liste 2

et 3. De fait, SPEP14 a légèrement mieux noté les stimuli de la liste 3 par rapport à ceux de la liste 2 (donc l'inverse de ce qui est attendu) et SPEP19 leur a attribué des notes presque équivalentes.

Ces résultats pourraient s'expliquer du fait de leurs lésions cérébrales. Néanmoins, nous ne détenons pas suffisamment d'informations au sujet de l'atteinte cérébrale de ces participants pour savoir si le gyrus frontal inférieur gauche (identifié par Deschamps *et al.*, (2015) comme étant la zone de traitement de la sonorité) est touché, et si c'est le cas, si l'atteinte est isolée ou non. Il est intéressant de remarquer que SPEP09 (participant du groupe *Patients* « jeunes » également, âgé de dix-huit ans) est dans la norme pour toutes les listes et les comparaisons entre les listes, alors qu'il a également une atteinte lésionnelle (dans son cas, diffuse à gauche). Par ailleurs, ils sont tous les trois à la phase chronique de leur pathologie, c'est-à-dire qu'il s'est passé plus de six mois depuis leur accident cérébral. Il semble difficile d'interpréter ces résultats par une approche lésionnelle, en regard du manque d'informations et de précisions que nous rencontrons. De plus, aucun élément démographique ne semble prédire ces résultats. Les participants SPEP19 et SPEP09 ont un niveau d'études similaire (onze ans) par exemple. La patiente SPEP14 a un plus haut niveau d'étude (dix-sept ans) mais elle obtient des résultats pathologiques tout comme SPEP19 qui a un niveau d'étude moins élevé du fait de son plus jeune âge. Il ne semble donc pas y avoir d'influence du niveau d'éducation sur le traitement de la sonorité. Par ailleurs, SPEP19 et SPEP14 ont obtenu les notes maximales aux deux épreuves langagières de la batterie la BECLA. Leurs résultats pathologiques au test de sonorité ne peuvent donc s'expliquer par un défaut de lecture de pseudo-mots ou par un défaut de jugement lexical. De même, l'épreuve de discrimination phonologique est réussie pour SPEP14, en modalité de vitesse normale et rapide. Toutefois, SPEP19 obtient un score pathologique pour la discrimination phonologique de paires minimales en modalité de vitesse rapide uniquement. Cela indique qu'il discrimine avec moins de précision les sons de la langue quand ceux-ci sont énoncés par un débit de parole rapide. On peut alors supposer que s'il avait réalisé la tâche de projection de la sonorité plus lentement, en prenant son temps, il aurait pu percevoir plus d'informations phonologiques concernant les profils de sonorité des pseudo-mots présentés. On peut donc suggérer qu'il aurait jugé ces pseudo-mots différemment, peut être en leur attribuant une meilleure ou une moins bonne note. Ce résultat pathologique à « Phono R » représente potentiellement un biais à ses résultats au test de jugement d'acceptabilité de pseudo-mots.

D'autre part, au sein de ce groupe *Patients*, composé de huit personnes cérébrolésées, deux sont aphasiques et sont atteints de troubles phonologiques : SPEP05 (aphasie fluente) et SPEP09 (aphasie non fluente). Comme nous l'avons vu précédemment, les productions orales des personnes dont les capacités phonologiques sont altérées respectent le principe du SSP mais leur profil de sonorité tend à être simplifié (Romani & Calabrese, 1998 ; Christman, 1992 ; Code & Ball, 1994). Il est intéressant de se demander si cette tendance serait également observable sur le versant perceptif de la parole. Nous constatons que ces deux patients n'ont pas obtenu de scores pathologiques et leurs résultats sont significatifs pour la comparaison entre L1/L2 et L3/L2. Cela indique que, à l'inverse de ce que nous prédisions, leurs lésions ne semblent pas perturber leur traitement de la sonorité. Ils sont tout à fait sensibles aux changements de fréquence et de profil de sonorité et cela semble influencer leurs choix lors d'une épreuve de jugement d'acceptabilité de pseudo-mots dans la langue française. De fait, l'aphasie ne semble pas être corrélée à des difficultés de perception de la fréquence et de la sonorité, d'autant plus que les participants SPEP14 et SPEP19 (dont les résultats ont été étudiés précédemment) ne sont pas aphasiques et pourtant, contrairement à SPEP05 et SPEP09, ils ne semblent pas percevoir les variations des profils de sonorité et semblent moins sensibles aux changements du degré de fréquence que leur population de référence. Néanmoins, cela n'est qu'une interprétation fondée sur

les résultats de seulement deux personnes aphasiques (SPEP05 et SPEP09), ce qui n'est pas suffisant pour en déduire de telles généralités.

Par ailleurs, il aurait été intéressant d'étudier les profils de sonorité des productions de SPEP09 (participant au profil langagier similaire au patient de l'étude de Romani et Calabrese (1998)), afin d'établir ou non un lien entre les capacités de perception et de production de la sonorité chez un patient aphasique.

Notre deuxième hypothèse est donc en partie vérifiée. Nous cherchions à savoir si une lésion cérébrale pourrait impacter le jugement de la sonorité et de la fréquence. Nos résultats concernant les participants cérébrolésés sont hétérogènes : ces capacités semblent préservées chez certains, et altérées chez d'autres.

En effet, nous remarquons que la capacité de jugement de la sonorité et de la fréquence semble préservée de prime abord puisque l'on retrouve la tendance $L1 > L2 > L3$ pour le groupe *Patients*. Néanmoins il faut interpréter ces résultats avec précaution puisque les différences entre ces listes ne sont pas significatives pour tous les patients.

Nos résultats suggèrent une sensibilité plus manifeste au changement du degré de fréquence des clusters consonantiques qu'au changement des profils de sonorité des stimuli chez le groupe de patients. De fait, les scores sont significatifs concernant la comparaison L1-L2 pour six patients sur huit. Les changements de degré de fréquence des clusters consonantiques initiaux semblent jouer un rôle concernant le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots. Néanmoins, pour deux d'entre eux (SPEP14, et SPEP19), cette sensibilité à la fréquence semble diverger : ils ont attribué des notes significativement inférieures aux notes données par leur groupe *Contrôles*. Cela suggère que ces deux patients sont moins sensibles aux changements de fréquence que leur population de référence.

Par ailleurs, seuls trois patients sur huit perçoivent de manière significative une différence de sonorité entre L3 et L2. Les autres obtiennent des moyennes se rapprochant de zéro pour cette comparaison, ce qui indique qu'ils ne semblent pas percevoir de différence significative entre les pseudo-mots lorsqu'il y a uniquement un changement de sonorité.

Néanmoins, les résultats du groupe *Patients* sont à interpréter avec prudence puisqu'ils sont chacun atteints de lésions cérébrales différentes et que nous n'avons pas adopté une approche lésionnelle pour les interpréter.

2. Limites

2.1. Biais liés au choix des participants

Concernant le groupe *Contrôles*, notre échantillon est insuffisant : la population « seniors » n'est constituée que de six participants. De plus, les résultats sont très variables entre chaque membre de ce groupe. Cela n'est donc probablement pas suffisamment fiable et peu interprétable en regard de la population ciblée. Il est également intéressant de remarquer que le groupe *Contrôles* « jeunes » est constitué en majeure partie d'étudiantes en orthophonie (16/25). Nous pouvons donc penser que, du fait de leurs études, ces participantes seraient plus sensibles aux domaines appartenant au langage et à la parole comme la phonologie. Néanmoins, cela n'est qu'une hypothèse, aucun test particulier n'a été réalisé pour la vérifier. Il nous semble donc judicieux d'interpréter ces résultats avec précaution.

Par ailleurs, pour ce qui est du groupe *Patients*, il aurait été beaucoup plus pertinent et intéressant de réaliser ces épreuves auprès de sujets ayant uniquement une atteinte du gyrus frontal inférieur gauche (zone cérébrale du traitement de la sonorité, identifiée par Deschamps *et al.*, 2015). Malheureusement, cette lésion unique étant rare, nous avons dû faire le choix d'inclure toute personne cérébrolésée dans notre étude. Leurs lésions respectives étant toutes très différentes (lésions diffuses, mixtes...), il n'a pas été possible de réaliser des groupes pour apparier ces patients et corrélérer leurs résultats entre eux. De ce fait, nous n'avons pu adopter une approche lésionnelle pour analyser les résultats de nos participants cérébrolésés. Cela peut être à l'origine de nombreux biais, puisqu'en fonction de la zone cérébrale touchée, le traitement de la sonorité peut être impacté ou non. Analyser leurs résultats en fonction de leurs lésions serait très intéressant pour soutenir ou non les résultats de Deschamps *et al.* (2015) et plus globalement pour la recherche fondamentale sur le thème du traitement de la sonorité chez des personnes cérébrolésées.

2.2. Biais liés à la modalité de présentation

Un biais important est lié à la condition de présentation des stimuli : la modalité visuelle. Ce biais réside dans la forme orthographique des pseudo-mots présentés aux participants : cela est dû aux régularités graphotactiques de la langue française. Certaines graphies étant plus fréquentes dans la langue, elles sembleront plus acceptables, plus plausibles d'exister que d'autres. Par exemple, en français le son [k] est habituellement écrit avec le graphème « c » ou « qu ». Cependant, lors de la création des stimuli de cette expérience c'est la graphie « k » qui a été choisie pour la position initiale et médiane du son [k], au sein des pseudo-mots proposés. Quelques participants en ont notamment fait la remarque durant les passations : ils ont noté le pseudo-mot « klage » par exemple, moins probable d'appartenir à la langue du fait de l'emploi de la graphie « k ». Puis, la graphie « c » pour représenter le son [k] a également été utilisée pour former les stimuli, mais uniquement en position finale, comme dans « ftic ». Cela est d'autant plus perturbant pour les participants. Pour éviter tout biais lié à la variable orthographique, il serait pertinent d'intégrer cette précision à la consigne de passation pour des travaux futurs qui utiliseraient cette base de stimuli. Ainsi, les participants seraient avertis, avant de commencer l'épreuve, que l'orthographe n'est pas à prendre en considération dans cette expérience et que l'on se concentre uniquement sur la sonorité que produit cet ensemble de phonèmes lors de sa lecture. Il serait également intéressant d'homogénéiser la représentation graphique du son [k] en fonction de la fréquence d'apparition de celle-ci dans la langue. Nous pourrions par exemple plutôt proposer des stimuli constitués de la graphie « c » en position initiale et de la graphie « qu » en position finale.

Un autre biais probable lié à la présentation visuelle des stimuli réside dans la lecture des pseudo-mots présentés aux participants. En effet, malgré l'épreuve de lecture de pseudo-mots de la BECLA qui a permis d'écarter un déficit de la voie d'assemblage, donc un biais important pour la lecture des pseudo-mots de notre épreuve, un autre biais est possible : la régularisation phonologique. En outre, il est intéressant de constater que tous les pseudo-mots de la BECLA respectent le SSP. Donc cette épreuve ne nous permet pas de détecter les biais liés au phénomène de régularisation phonologique lors de la lecture de pseudo-mots ne respectant pas le SSP. C'est-à-dire que, certains participants ont naturellement ajouté une voyelle lorsque la lecture d'un des stimuli était trop difficile, ou encore, ils ont simplement lu le nom de la consonne initiale. Par exemple, le pseudo-mot : « rfir » a pu être lu « erfir » ; ou encore le pseudo-mot « lpic » a pu être lu « elpic » ; ou encore « vpir » a pu être lu « vépir ». A la suite de ces modifications, ces pseudo-mots respectent le principe de séquençage de la sonorité. On peut donc en déduire qu'ils pourraient être jugés comme plus probables

que ce qu'ils ne devraient et que cela entraînerait un biais. Berent et Lennertz (2010) ont d'ailleurs montré que plus une syllabe ne respectait pas le SSP et plus elle serait identifiée, de manière erronée, par une insertion de voyelle intermédiaire au sein du cluster consonantique initial. Soit : « lbif » devient « lebif ». Dans leur étude les stimuli étaient présentés comme dans la nôtre, en modalité visuelle. Pour éviter ces différents biais liés à la graphie des pseudo-mots, il semblerait donc intéressant de réaliser cette étude en modalité auditive. Néanmoins, l'étude de Berent (2017) montre que les résultats précédents indiquant une régularisation phonologique en modalité visuelle sont similaires en modalité auditive. L'auteure y précise que ces résultats ont également été retrouvés chez des locuteurs anglais, espagnols, coréens et chinois. Donc ces erreurs de régularisations phonologiques ne seraient pas seulement liées à la modalité visuelle de présentation des stimuli.

Il est intéressant de noter que malgré ces potentiels biais, nos résultats semblent probants et n'empêchent pas la tendance $L1 > L2 > L3$ de s'exprimer.

2.3. Biais liés au mode de passation

D'autre part, nous sommes en totalité, trois expérimentateurs différents, tous participants confondus. Au vu des différents résultats, il ne semble pas y avoir de biais inter-observateurs de prime abord mais il est difficile d'en avoir la certitude. De fait, malgré un protocole de passation strict, il s'avère que plus le nombre d'expérimentateurs augmente, et plus le risque de biais inter-observateurs augmente. De plus, ce protocole expérimental a été modifié cette année car nous avons ajouté les épreuves de langage de la BECLA et l'épreuve de discrimination phonologique. Ce n'est donc plus exactement le même protocole que celui qu'avait utilisé Garravet (2019) pour son mémoire.

Comme nous le soulignons précédemment, trois épreuves ont été ajoutées au protocole de passation cette année. Nous avons pris en compte la fatigabilité du participant en organisant les épreuves de sorte que la passation soit la moins coûteuse possible cognitivement. Néanmoins, il a parfois été nécessaire de réaliser une passation sur deux dates différentes, car la durée était trop conséquente pour certains participants cérébrolésés. C'est donc un facteur important à prendre en considération car il pourrait entraîner des biais.

2.4. Limites de l'analyse statistique

De plus, certains résultats ont été analysés au moyen du test Z de l'écart réduit : Z-score. Cet outil est très utile car il permet de savoir rapidement si un écart significatif à la norme est notable ou non concernant un résultat donné. Néanmoins, celui-ci a des limites. En effet, il faut habituellement que la distribution des notes suive une loi normale, soit une distribution gaussienne, pour employer ce test à bon escient. Or, nous n'avons pas connaissance de la distribution des notes pour chacun de nos stimuli. Nous ne sommes donc pas certains que l'emploi du Z-score soit le plus pertinent pour notre étude. Il aurait été intéressant de réaliser une analyse en calculant la moyenne des notes attribuées pour chacun des 144 stimuli avec un nombre de participants conséquent afin de savoir si la distribution est gaussienne ou non.

Il est par ailleurs important de préciser que les scores obtenus par la population *Contrôles* au test de discrimination phonologique ne comprennent pas les six patients de Garravet (2019), qui ne se sont pas vu administrer cette épreuve. La moyenne des résultats à ce test n'est donc pas représentative de tout le groupe *Contrôles*. Il faut interpréter ces scores avec précaution.

2.5. Proposition d'améliorations méthodiques

Afin de poursuivre ces travaux de manière pertinente, il serait vraiment intéressant de réaliser ce protocole en modalité auditive auprès d'une population de trente patients (au minimum) ayant uniquement une atteinte du gyrus frontal inférieur gauche. Leurs résultats seraient comparés à une population contrôle de personnes neurotypiques et une population de patients cérébrolésés mais sans atteinte du gyrus frontal inférieur gauche. Il serait également intéressant de réaliser ce protocole au sein d'une population de personnes aphasiques, afin d'attester ou non d'une corrélation entre des troubles phonologiques acquis et la qualité de la perception de la sonorité.

De plus, il serait pertinent de réaliser cette étude expérimentale au moyen d'une écoute passive de ces stimuli en cabine insonorisée, en utilisant l'électroencéphalographie (EEG) ou la magnétoencéphalographie (MEG) pour analyser l'activité cérébrale des participants et identifier, ou non, une zone de traitement de la sonorité. En effet, d'après Deschamps *et al.*, (2015), ce sont des outils de neuro-imagerie qui ont une meilleure résolution temporelle que l'IRMf employée dans leur étude, et qui permettraient une analyse plus juste et plus sensible. Ils sont plus utiles pour capturer les effets de sonorité dans la perception de la parole.

D'autre part, afin que les variations de sonorité entre la liste 2 et la liste 3 soient plus contrastées et donc perceptibles pour les participants, il serait pertinent que tous les pseudo-mots de la liste 2 comprennent un cluster consonantique initial au sein duquel l'augmentation du degré de sonorité entre les phonèmes soit supérieure ou égale à 2 (Daland *et al.*, 2011).

Conclusion

Cette étude avait pour objectif général de contribuer à la recherche fondamentale sur ce sujet encore ambigu qu'est la sonorité, et notamment sur le principe de séquençage de la sonorité énoncé par Cléments (1990). Ce domaine étant fortement corrélé à la phonologie, il serait une piste de réflexion très intéressante pour une meilleure compréhension et prise en charge orthophonique des troubles phonologiques chez l'adulte cérébrolésé.

Nous souhaitons savoir si une population de personnes neurotypiques et de personnes cérébrolésées seraient sensibles à ce principe phonologique considéré comme universel. Nous nous demandions également si, du fait d'une atteinte cérébrale, cette sensibilité à la sonorité différencierait des personnes neurotypiques.

Pour ce faire, nous avons réalisé une expérience comportementale comprenant un test de projection de la sonorité, au sein de ces deux populations. C'est-à-dire que nous leur avons proposé un test de jugement d'acceptabilité de pseudo-mots dans la langue française. Les participants devaient choisir sur une échelle de 1 (très peu probable d'appartenir un jour au français) à 6 (très probable d'appartenir un jour au français), la note qu'ils souhaitaient attribuer à chacun des 144 pseudo-mots présentés visuellement sous forme écrite, sur l'écran d'un ordinateur. Il est important de rappeler que ces 144 stimuli ont été répartis en trois listes de 48 pseudo-mots chacune, en fonction de deux critères : le principe de séquençage de la sonorité et le degré de fréquence des clusters consonantiques initiaux dans la langue française. Ils ont été présentés de manière aléatoire, toutes listes confondues, aux participants.

Concernant les résultats, les personnes neurotypiques « jeunes » semblent percevoir de manière significative, une différence de sonorité et de fréquence entre les stimuli. Ces deux variables semblent donc avoir un effet sur leur jugement d'acceptabilité des pseudo-mots. Les participants « adultes »

eux, perçoivent uniquement un changement de fréquence. En revanche, les participants neurotypiques « séniors » ne perçoivent aucun changement : ils n'ont pas obtenu de résultats significatifs pour la comparaison entre les listes, bien que leurs résultats suivent tout de même la tendance $L1 > L2 > L3$. Néanmoins, le nombre de participants de ce groupe n'est pas suffisant pour interpréter ces résultats avec certitude. Notre première hypothèse est donc en partie vérifiée : il semblerait que les modifications des profils de sonorité et des degrés de fréquence des attaques syllabiques influencent le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots dans la langue pour les personnes neurotypiques « jeunes ».

Pour ce qui est du groupe de personnes cérébrolésées, nous nous attendions à retrouver des scores pathologiques, du fait de leurs lésions cérébrales, par rapport à leurs populations de référence. Les résultats sont hétérogènes et ne nous permettent pas de conclure avec précision sur la part de responsabilité de la lésion sur le traitement de la sonorité. Ils suggèrent que les personnes cérébrolésées semblent plus sensibles aux modifications du degré de fréquence des clusters initiaux des stimuli qu'aux changements des profils de sonorité, lors du jugement d'acceptabilité d'un pseudo-mot. Néanmoins, deux patients sur huit semblent traiter la fréquence différemment : ils sont peut-être moins sensibles que des personnes neurotypiques, au changement du degré de fréquence et du profil de sonorité des clusters consonantiques initiaux. Les résultats des patients sont à interpréter avec prudence puisqu'ils sont chacun atteints de lésions cérébrales différentes. Et du fait du manque d'informations et de précisions concernant la localisation et l'étendue lésionnelle de ces patients, nous n'avons pas adopté une approche lésionnelle pour les interpréter. Cela serait très intéressant à explorer pour de futurs travaux, et permettrait potentiellement de soutenir ou non les conclusions de Deschamps *et al.* (2015), qui auraient identifié le gyrus frontal inférieur gauche comme étant une zone de traitement de la sonorité.

Étudier la sonorité est particulièrement intéressant pour le domaine de l'orthophonie puisque, selon plusieurs études, elle serait un moyen de prise en soin efficace. En effet, une étude a montré que la rééducation basée sur les profils de sonorité et la complexité phonologique permettrait à des patients atteints de dyslexie phonologique acquise de généraliser leurs apprentissages à des mots pour lesquels il n'y a pas eu d'entraînement au préalable (Riley, 2011). À l'avenir, cela offrirait aux orthophonistes un nouveau moyen de prise en soin possible pour ces patients.

Bibliographie

- Benson, D. F., & Ardila, A. (1996). *Aphasia : A clinical perspective*. Oxford University Press on Demand.
- Berent, I., & Lennertz, T. (2010). Universal constraints on the sound structure of language: Phonological or acoustic? *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 36(1), 212-223.
- Berent, I. (2017). On the origins of phonology. *Current Directions in Psychological Science*, 26(2), 132-139.
- Bertoncini, J., & Mehler, J. (1981). Syllables as units in infant speech perception. *Infant Behavior and Development*, 4, 247-260.
- Boll-Avetisyan, N., & Kager, R. (2016). Is speech processing influenced by abstract or detailed phonotactic representations ? The case of the Obligatory Contour Principle. *Lingua*, 171, 7491.
- Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2011). *Dictionnaire d'orthophonie* (3e édition). Isbergues, France : Orthoédition.
- Christman, S. S. (1992). Uncovering phonological regularity in neologisms : Contributions of sonority theory. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 6(3), 219-247.
- Clements, G. N. (1990). The role of the sonority cycle in core syllabification. In : Kingston, J., Beckman, M.E. (Eds.), In *Papers Laboratory Phonology 1 : Between the Grammar and Physics of Speech*. Cambridge, University Press pp. 283-333.
- Clements G. N. (2009). Does sonority have a phonetics basis ? In Raimy, E., et Cairns, C., (eds), *Contemporary views on architecture and representations in phonological theory*, Cambridge, MIT press, pp. 165-175.
- Code, C., & Ball, M. J. (1994). Syllabification in aphasic recurring utterances : contributions of sonority theory. *Journal of Neurolinguistics*, 8(4), 257-265.
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., & Segui, J. (1986). The syllable's differing role in the segmentation of French and English. *Journal of Memory and Language*, 25(4), 385-400.
- Daland, R., Hayes, B., White, J., Garellek, M., Davis, A., & Norrmann, I. (2011). Explaining sonority projection effects. *Phonology*, 28, 197-234
- Deschamps, I., Baum, S. R., & Gracco, V. L. (2015). Phonological processing in speech perception : what do sonority differences tell us ? *Brain and language*, 149, 77-83.

- Fudge, E. C. (1969). Syllables. *Journal of Linguistics*, 5(02), 253.
- Gierut, J. A. (1999). Syllable Onsets : Clusters and Adjuncts in Acquisition. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(3), 708-726.
- Gierut, J. (2007). Phonological complexity and language learnability. *American Journal of Speech Language Pathology*, 16, 6-17
- Goldsmith, J. (2011). The syllable. In Goldsmith, J., Riggle, J., et Yu, A., (Eds.). *The handbook of phonological theory* (2nd ed.). Malden, MA : Wiley-Blackwell, 162-196.
- Gómez, D. M., Berent, I., Benavides-Varela, S., Bion, R. A. H., Cattarossi, L., Nespor, M., & Mehler, J. (2014). Language universals at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(16), 5837–5841.
- Goslin, J., & Frauenfelder, U. H. (2001). A comparison of theoretical and human syllabification. *Language and Speech*, 44(4), 409–436.
- Jakobson, R. (1969). *Kindersprache, Aphasie und allgemeine Lautgesetze. Dt. Erstausg., 1. Aufl., [Nachdr.]*. Frankfurt am Main : Suhrkamp. 142 p. (Edition Suhrkamp).
- Ladefoged, P. (1975). *A course in phonetics*. New York : Harcourt, Brace, Jovanovich
- Macoir, J., Jean, C., & Gauthier, C. (2015). BECLA. *Batterie d'évaluation cognitive du langage*. Québec : Université Laval.
- Marchand, Y., Adsett, C., & Damper, R. (2007). Automatic syllabification in English : A comparison of different algorithms. *Language and Speech*.
- Majerus, S., van der Kaa, M.-A., Renard, C., Van der Linden, M., & Poncelet, M. (2005). Treating verbal short-term memory deficits by increasing the duration of temporary phonological representations: A case study. *Brain and Language*, 95(1), 174–175.
- Meynadier, Y. (2008). La syllabe phonétique et phonologique : une introduction. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)*, 20, pp.91-148.
- Miozzo, M., & Buchwald, A. (2013). On the nature of sonority in spoken word production : Evidence from neuropsychology. *Cognition*, 128(3), 287-301.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113
- Parker, S. (2017). Sounding out Sonority. *Language & Linguistics Compass* 11(9). 1-197.
- Pulgram, E. (1970). *Syllable, word, nexus, cursus*. The Hague : Mouton.

- Räsänen, O., Doyle G., & Frank M. C. (2018). Pre-linguistic segmentation of speech into syllable-like units. *Cognition*, 171, 130–150.
- Ridouane, R., Meynadier, Y., & Fougeron, C. (2011). La syllabe : objet théorique et réalité physique. *Laboratoire parole et langage*, 37(1) : 213-34
- Riley, E. A. (2011). *Effects of Phonological Complexity on Error Production and Pseudoword Training in Acquired Phonological Dyslexia*. NorthWestern University, Evanston, Illinois.
- Romani, C., & Calabrese, A. (1998). Syllabic constraints in the phonological errors of an aphasic patient. *Brain and language*, 64(1), 83-121.
- Schelstraete, M. A., Maillart, C., & Jamart, A.C. (2004). Les troubles phonologiques : cadre théorique, diagnostic et traitement. In Schelstraete, M.A. & Noel, M.P. (Eds.) *Approches psycholinguistiques et neuropsychologiques des troubles du langage et du calcul chez l'enfant*. Fernelmont : Editions Modulations Européennes (EME), pp.81-112.
- Selkirk, E. (1982). The syllabe. In : *The Structure of Phonological Representations* (Vol. 2, pp. 337-384).
- Sievers, E. (1881). *Grundzüge der Phonetik*. Breitkopf & Hartel, Leipzig, Germany.
- Stetson, R. H. (1951). *Motor phonetics*. Amsterdam : North-Holland.
- Trask, R. L. (1996). *A Dictionary of Phonetics and Phonology*. London, England : Routledge.
- White, J., & Chiu, F. (2017). Disentangling phonological well-formedness and attestedness : An ERP study of onset clusters in English. *Acta Linguistica Academica*, 64(4), 513-537.
- Wiese, R., Orzechowska, P., Alday, P.M., & Ulbrich, C. (2017). Structural Principles or Frequency of use ? An ERP Experiment on the Learnability of Consonant Clusters. *Frontiers in Psychology*, 7, (2005), 1-15.