

Mémoire en vue de l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste

présenté par :

GARRAVET Marie-Paule

Quels sont les corrélats neuronaux de la complexité phonologique chez l'adulte ?

Analyse de réponses comportementales et pistes cliniques

MEMOIRE dirigé par :

Anahita BASIRAT, Enseignante chercheuse, Département d'orthophonie – SCALab, Lille

Cédric PATIN, Enseignant chercheur, Université de Lille – Laboratoire STL, Lille

Lille - 2019

*Au vieux sage, assis sur son fauteuil,
doigts croisés, les mains sur le ventre.*

Je remercie mes directeurs de mémoire qui m'ont accompagnée durant ces deux années de recherche, qui ont su me proposer des alternatives afin que mon projet soit cohérent avec les études d'orthophonie, qui sont toujours restés disponibles et ont pris le temps nécessaire pour répondre à mes questionnements.

Je remercie Sébastien qui m'a appris à placer des casques d'électroencéphalographie et a toujours été réactif au moment des premières passations.

Je remercie les diverses associations lilloises qui m'ont ouvert la porte au moment des secondes passations ainsi que les personnes qui ont participé aux différentes expériences de l'étude avec une pensée singulière pour Tiphaine, Matieu, Emma, et Pierre qui ont toujours porté un intérêt particulier à mes recherches.

Je remercie Marion, Anaïs, Sandie, Timothée, ma mère ainsi que ma grand-mère dont les conseils et relectures ont été précieux.

Je remercie mes grands-parents qui ont suivi de près ma scolarité et sans lesquels l'orthophonie ne serait restée qu'un rêve.

Enfin, je remercie ma sœur ainsi que mes amis dont la présence est apaisante et dont les observations sont toujours justes et bienveillantes.

Résumé :

Étroitement liée à la phonologie, la sonorité est déterminée par la puissance acoustique des sons. Chaque phonème a une sonorité qui lui est propre. L'enchaînement des phonèmes dans la syllabe suit une pente de sonorité caractéristique déterminée par le Sonority Sequencing Principle (SSP). Moins la syllabe respecte cette pente, plus la complexité phonologique augmente et plus les erreurs phonologiques ont de chances d'apparaître.

L'implication du gyrus frontal inférieur gauche dans le traitement de la sonorité (Deschamps, Baum & Gracco, 2015) nous amène à nous demander si celui-ci est automatisé. Nous l'évaluons à l'aide d'une technique d'encéphalogramme sur 24 participants francophones. Par ailleurs, nous souhaitons vérifier si les variations de sonorité relèvent d'un traitement volontaire entraînant de ce fait des modifications comportementales. Pour ce faire, un questionnaire de projection de sonorité a montré que la complexité phonologique induit des réponses comportementales significativement différentes en fonction de la pente de sonorité. Les syllabes préférées respectent en effet le SSP.

Enfin, nous souhaitons déterminer si une atteinte du gyrus frontal inférieur gauche induit des réponses différentes au questionnaire de projection de sonorité. Une étude de cas, menée sur un patient victime d'un AVC, n'a montré aucune différence dans le traitement de la sonorité en comparaison des huit participants contrôles.

Mots clés :

Sonorité, Complexité phonologique, Phonologie, Acceptabilité lexicale, Aphasie

Abstract :

Closely linked to phonology, sonority is determined by the acoustic power of the sounds. Each phoneme has its own sonority. The sequence of phonemes in the syllable follows a characteristic sonority slope determined by the Sonority Sequencing Principle (SSP). When the syllable doesn't respect this slope, the phonological complexity and the probability of phonological errors increases.

The involvement of the lower left frontal gyrus in sound processing (Deschamps, Baum & Gracco, 2015) leads us to consider whether sonority processing is automated. We evaluate it using an encephalogram technique on 24 French-speaking participants. In addition, we would like to check whether the variations in sonority are linked to voluntary treatment leading to behavioural changes. To do this, a sonority projection test showed that phonological complexity induces significantly different behavioural responses. The preferred syllables respect the SSP.

Finally, we would like to determine whether an impairment of the lower left frontal gyrus induces different responses to the sonority projection test. A case study of a stroke patient showed no difference in sonority treatment compared to the eight control participants.

Key words :

Sonority, Phonological complexity, Phonology, Nonword acceptability, Aphasia

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
CONTEXTE THÉORIQUE	2
1. La sonorité	2
1.1. Définition	2
1.1.1. Production de la sonorité.....	2
1.1.2. Perception de la sonorité	2
1.1.3. Projection de la sonorité	3
1.2. Lois phonologiques universelles	4
2. Traitement cérébral de la sonorité.....	5
3. Objectifs de l'étude et hypothèses	6
PREMIERE PARTIE La sonorité : traitements automatique et volontaire.....	7
1. Matériel et méthode	7
1.1. Participants	7
1.2. Expérience	8
1.2.1. Stimuli	8
1.2.2. EEG	9
1.2.3. Projection de la sonorité	11
1.3. Procédure	11
2. Analyse des données	12
3. Résultats.....	12
4. Discussion.....	13
4.1. Discussion des résultats	13
4.2. Limites	14
5. Conclusion	15
DEUXIEME PARTIE La sonorité : étude de cas	16
1. Contexte théorique	16
1.1. Troubles du langage acquis	16
1.2. Troubles du langage et sonorité	16
2. Objectifs et hypothèses	18
3. Expérience.....	18

3.1. Matériel et méthode.....	18
3.1.1. Population.....	18
3.1.4. Tâche et procédure	19
3.2. Analyse des données	19
3.3. Résultats	20
3.4. Discussion	21
4. Conclusion	24
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE.....	26
TABLE DES FIGURES	29
TABLE DES TABLEAUX.....	29
ANNEXES DU MEMOIRE	29

Liste des abréviations et définitions :

IRMf : Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

EEG : ElectroEncéphaloGramme

OT : Optimality Theory, Théorie de l'Optimalité (Prince & Smolensky, 1993 ; McCarthy & Prince, 1993)

SSP : Sonority Sequencing Principle, Principe du Cycle de Sonorité (Clements, 1990)

Cluster : groupe de phonèmes

SSVEP : Steady State Visual Evoked Potential

SSP + : cluster qui respecte les principes du SSP

SSP - : cluster qui ne respecte pas les principes du SSP

Freq + : cluster fréquent en français

Freq - : cluster rare voire inexistant en français

C : consonne

V : voyelle

NB : hormis lorsque la référence est mentionnée, les infographies ont été créées par la mémorante.

INTRODUCTION

En 2017, l'illustratrice Minna Sundberg publia un arbre généalogique des langues européennes à partir des données du site *Ethnologue*. À cette occasion, elle mit en lumière de façon artistique que la plupart des langues parlées actuellement ont une origine commune. Par exemple, le français et le népalais sont deux langues issues de la branche indo-européenne. Pourtant, aujourd'hui, ces langues ne se ressemblent plus. Alors, sur quels critères le cerveau humain se base-t-il pour déterminer si un mot peut appartenir à une langue ou non ?

Les similitudes et dissemblances inter-linguistiques sont en grande partie liées à la phonologie. En effet, la phonologie régit les règles d'agencement des sons (les phonèmes) au sein de la parole et chaque langue a un système phonologique unique. Une des notions issues de la phonologie est la notion de sonorité. Selon les principes de la sonorité, chaque phonème a un degré de sonorité qui lui est propre (c'est son indice sonore) et la disposition des phonèmes dans la syllabe doit suivre un schème de sonorité caractéristique. Peu d'études sont menées sur ce sujet. Pourtant, certains papiers (Gierut, 1999 ; Riley, 2011) montrent que la sonorité peut être un bon levier pour travailler sur les troubles phonologiques observables dans les dyslexies ou encore les aphasies. En outre, Deschamps, Baum & Gracco (2015) ont mis en évidence une zone cérébrale dédiée au traitement de la sonorité : la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche.

Ce mémoire s'inscrit dans un projet d'étude qui vise à déterminer s'il existe un traitement automatisé et/ou volontaire de la sonorité. Pour ce faire, deux expériences sont menées à partir de pseudo-mots (mots qui n'existent pas dans la langue mais qui respectent toutes les caractéristiques phonologiques du français, e.g. : « trofiblu »). La complexité phonologique de ces pseudo-mots varie : certains respectent les principes de sonorité en vigueur dans le système phonologique français tandis que d'autres les transgressent.

L'objectif principal de ce mémoire est d'une part d'observer les réponses comportementales fournies en réaction à la complexité phonologique chez des locuteurs du français et d'autre part d'identifier si ces comportements varient en cas de lésion cérébrale acquise dans l'aire dédiée au traitement de la sonorité.

Une première expérience est menée sur des adultes sains. Elle a un double intérêt, d'un côté, nous cherchons à mettre en évidence un éventuel traitement automatisé de la sonorité grâce à une technique d'imagerie cérébrale. De l'autre, nous souhaitons étudier le traitement comportemental volontaire en réaction à la complexité phonologique grâce au recueil de réponses à un questionnaire. Dans une seconde expérience, ce même questionnaire est rempli par un patient victime d'un AVC. L'idée est de réaliser une étude de cas afin de comparer ses réponses à celles d'un groupe contrôle neurotypique.

CONTEXTE THÉORIQUE

Dans la pratique orthophonique, il n'est pas rare de rencontrer des patients atteints de troubles phonologiques qui produisent des structures syllabiques non conformes au système phonologique du français. Par exemple, [rdalgɔ] pour « dragon » ou encore [amwa] pour « armoire ». Comment expliquer ces erreurs ? Une des pistes de réflexion s'articule autour de la notion de sonorité qui est utilisée, entre autres, pour appréhender les règles de la structuration syllabique (Clements, 1990).

1. La sonorité

1.1. Définition

De nombreuses définitions sont proposées pour la sonorité et cette notion ne fait pas consensus au sein de la communauté scientifique. Toutefois, deux approches se dessinent. D'une part, la sonorité en tant que production sonore avec des caractéristiques physiques mesurables. Par exemple, Ladefoged (1975) définit la sonorité comme étant la force relative d'un son par rapport à un autre pour une même durée, intensité et hauteur. Et d'autre part, la sonorité en tant qu'interprétation de cet input par le cerveau : les sons captés par l'oreille sont différents de la perception que le cerveau en a. Cette illusion cognitive est directement en lien avec la construction du système phonologique.

1.1.1. Production de la sonorité

Sur le plan de la phonétique articulatoire, Selkirk (1982) avance que la sonorité d'un phonème est liée au degré d'aperture du conduit vocal pendant la production du son. Ainsi, plus le conduit vocal est large, plus la sonorité du son est élevée. Par exemple, une voyelle comme /a/ sera plus sonore qu'une fricative comme /s/ qui sera elle-même plus sonore qu'une occlusive comme /p/.

Du point de vue de la phonétique acoustique, une intuition a amené à établir un lien entre sonorité et intensité du phonème. Faute de données suffisamment valides et comparables, Parker (2008) enregistre des locuteurs de trois langues différentes (anglais, espagnol et quechua) et trouve une corrélation entre l'intensité du phonème (en décibels) et son degré de sonorité, indépendamment de son environnement phonotactique. Autrement dit, plus le phonème est intense, plus il est sonore.

1.1.2. Perception de la sonorité

Le degré de sonorité d'un son est quantifiable. Ainsi, chaque phonème s'est vu attribuer un indice de sonorité. C'est la naissance des échelles de sonorité (ou échelles de force). Leur visée

est comparative. Elles hiérarchisent les phonèmes selon leurs critères physiques intrinsèques (intensité, voisement...). Plus l'indice de sonorité augmente, plus le phonème est sonore.

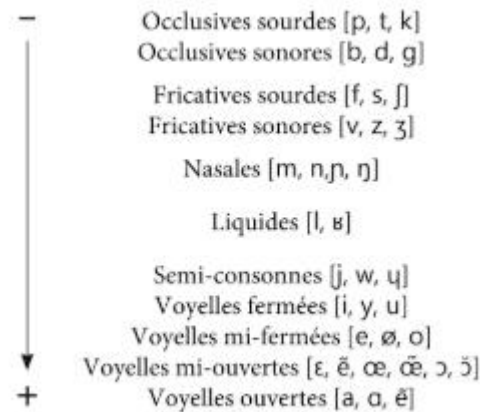


Figure 1 : Échelle de sonorité des sons du français (Clements, 1990).

La phonétique perceptive offre des pistes de réflexion sur la manière dont ces éléments sont compris par le cerveau. Par exemple, en 2002, Parker demande à des anglophones de déterminer comment deux pseudo-mots s'enchaînent le mieux (e.g. : bluca-frica ou frica-bluca ?). Pour chaque couple de pseudo-mots, il observe qu'un enchaînement est préféré à l'autre. Les enchaînements préférés ont la même silhouette sonore. C'est-à-dire qu'en regard de l'échelle de sonorité, pour une même position dans l'enchaînement des sons, les phonèmes ont sensiblement le même indice de sonorité. Par exemple, considérons les enchaînements C1-C2-V1 et C1'-C2'-V1', selon les observations de Parker (2002), nous aurons sensiblement le même degré de sonorité entre C1 et C1', C2 et C2' puis entre V1 et V1' (avec C pour consonne et V pour voyelle). Ainsi, de façon subjective, les locuteurs anglais ont marqué une préférence pour une progression de sonorité particulière.

1.1.3. Projection de la sonorité

La projection de la sonorité permet aux locuteurs d'une langue de déterminer une préférence pour un mot ou encore de juger de l'acceptabilité de mots qui n'existent pas (c'est-à-dire de juger la probabilité qu'un pseudo-mot d'entrer dans la langue). Il s'agit d'une tâche de jugement phonologique volontaire. On parle de réponse comportementale. Les questionnaires de projection de la sonorité permettent de recueillir ces réponses comportementales. Par exemple, Daland *et al.* (2011) ont demandé à leurs participants d'évaluer si des mots qui n'existent pas pourraient appartenir au lexique en les notant sur une échelle de 1 à 6. Ils leur ont ensuite présenté des couples de pseudo-mots et leur ont demandé de déterminer quel pseudo-mot était préféré. Ces stimuli sont manipulés selon des critères de sonorité afin de déceler quelles nuances sont déterminantes pour influencer un jugement phonologique. De la même manière que Parker (2002), les réponses comportementales qu'ils ont obtenues ont mis en évidence que certains patrons sonores sont plus plausibles que d'autres.

Quels principes sous-tendent l'acceptabilité des pseudo-mots ?

1.2. Lois phonologiques universelles

Parmi les langues du monde, des régularités ou tendances sont observées. Par exemple, la structure syllabique la plus répandue est de type consonne-voyelle ou CV (Rousset, 2004). En outre, comme le remarquait Jakobson (1963), les syllabes les plus utilisées dans les langues du monde sont celles qui sont le plus simple à percevoir et le plus simple à articuler.

La Théorie de l'Optimalité (Prince & Smolensky, 1993 ; McCarthy & Prince, 1993), tend à expliquer en quoi les syllabes de type CV répondent à ces critères de simplicité. On y trouve une application pour la sonorité : le Sonority Sequencing Principle (SSP).

Selon la Théorie de l'optimalité (OT), il existe une banque de contraintes phonologiques ressource, dans laquelle les langues du monde puisent les règles qui régissent leur système linguistique. Certaines règles coexistent mais d'autres ne sont pas compatibles. Ainsi, au sein d'un même système linguistique, certaines contraintes seront avantagées par rapport à d'autres. Par exemple, si une langue a priorisé la contrainte phonologique X, elle transgressera la contrainte phonologique Y (on note : $X > Y$ ou $*Y$). D'après Tranel (2000), la diversité des priorités choisies par chaque système induit la diversité linguistique observée à travers le monde.

Le Sonority Sequencing Principle, ou Principe du Cycle de Sonorité, introduit par Sievers (1881) et repris par Clements (1990), correspond à la contrainte phonologique universelle qui détermine le profil de sonorité idéal pour la plupart des langues du monde. Il intervient au niveau de la syllabe. D'après le SSP, le meilleur profil de sonorité est celui qui respecte l'énoncé suivant : la sonorité croît de proche en proche selon une pente unidirectionnelle ; la sonorité est minimisée en marges syllabiques et culmine au niveau du noyau syllabique. En d'autres termes, la sonorité augmente progressivement de l'attaque vers le noyau et redescend du noyau vers la coda (en se basant sur les indices des échelles de sonorité). Ainsi, la syllabe semble être constituée d'un enchaînement de phonèmes organisés les uns par rapport aux autres en fonction de leur sonorité ou énergie acoustique (Parker, 2002).

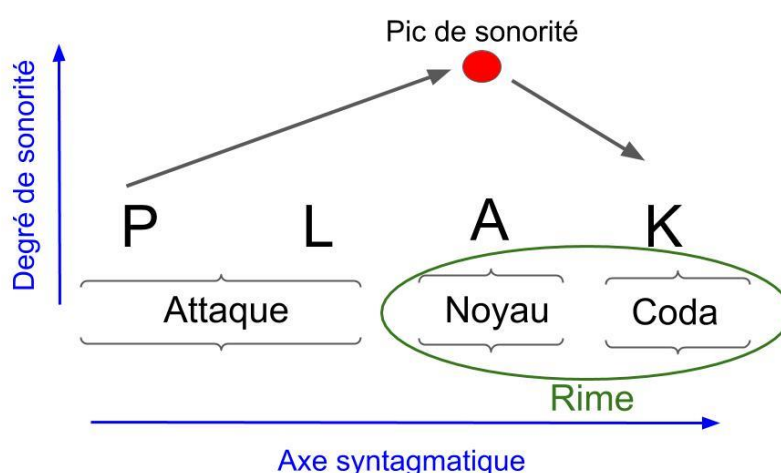


Figure 2 : Syllabe satisfaisant le SSP : la pente de sonorité augmente de /p/ vers /l/ et de /l/ vers /a/ puis diminue de /a/ vers /k/.

Même s'il existe peu d'études sur la sonorité et le SSP, ces concepts semblent être codés au niveau neuronal.

2. Traitement cérébral de la sonorité

À l'heure actuelle, le cerveau reste encore mystérieux. En 1905, Brodmann publie une cartographie du cortex cérébral qu'il a découpé en aires : les aires de Brodmann. Chacune a une implication dans un ou plusieurs processus. Par exemple, les aires 44 et 45 correspondent à l'aire de Broca qui a une implication dans la production du langage. Comment savoir quelles zones corticales sont impliquées dans tel ou tel traitement cérébral ?

L'approche lésionnelle est largement utilisée dans le cadre de pathologies acquises suite à une lésion cérébrale. Elle met en relation les troubles observés avec la localisation de l'atteinte afin d'émettre des hypothèses sur les zones impliquées dans le traitement cérébral de telle ou telle fonction. Par exemple, si plusieurs observations montrent que des personnes ayant des lésions acquises dans une même zone cérébrale manifestent un manque du mot, il est raisonnable de supputer que cette zone est en lien avec la production du langage. L'efficacité de cette approche évolue de concert avec les techniques d'imagerie cérébrales telle l'IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) qui permettent de cibler des zones de plus en plus précises. Par exemple, Romani et Calabrese (1998) ont mis en exergue chez un patient que des lésions fronto-pariétales gauches ont entraîné un trouble du traitement de la sonorité sur le versant production.

L'approche physiologique est plutôt utilisée avec des personnes qui ont un fonctionnement cérébral normal. Le but de cette approche est de repérer quelles régions corticales s'activent en lien avec une tâche cognitive particulière ou encore de juger de l'automatisation du processus. La plupart des techniques d'imagerie cérébrale peuvent être utilisées. Par exemple, dans une étude via IRMf, Booth *et al.* (2002) ont montré que trois régions cérébrales sont recrutées pour le jugement phonologique de mots et de pseudo-mots : le gyrus frontal inférieur, le gyrus frontal moyen ainsi que le lobe pariétal inférieur. Selon certaines études, ces régions ne sont pas mobilisées en écoute ou lecture passive (Trembay & Small, 2011 ; Van Atteveldt & al., 2004). Pourtant, en 2015, Deschamps, Baum et Gracco ont fait passer des IRMf à seize adultes sains. Ils leur ont fait écouter et visualiser des pseudo-mots de façon passive, c'est-à-dire sans consigne spécifique. La complexité phonologique des pseudo-mots présentés variait en termes de sonorité sur les attaques consonantiques des syllabes. Si tous les clusters étaient constitués de deux consonnes, certains avaient une structure dite complexe (ils ne respectaient pas le SSP) tandis que d'autres étaient considérés comme simples (respect du SSP). Leur paradigme a permis de mettre en évidence que parmi les trois zones dédiées au traitement phonologique, une partie spécifique d'entre elle est sensible aux variations de complexité phonologique. Il s'agit de la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche.

3. Objectifs de l'étude et hypothèses

Ce mémoire s'inscrit dans un projet d'étude dont l'objectif général est de faire avancer l'état de la recherche sur les connaissances concernant le rôle de la sonorité dans le traitement du langage. Dans cette optique, deux expériences sont proposées. Par faute de temps, les résultats de la première ne sont pas développés ici.

Dans la première partie de l'étude, nous avons fait passer des électroencéphalogrammes (EEG) à des adultes sains. Le but est (1) de mettre en évidence un traitement automatisé de la sonorité, (2) de montrer que ce traitement est différent en fonction de la complexité des clusters en attaque syllabique et (3) de prouver, via le recueil de réponses comportementales, que les traitements automatiques (EEG) et volontaires (questionnaires) de la sonorité suivent la même dynamique (c'est-à-dire varient selon que le cluster respecte le SSP ou non).

Nous pensons que les réponses cérébrales aux stimuli complexes sont différentes de celles aux stimuli simples et que ce traitement différencié sera observable sur les EEG. Nous pensons que les notes attribuées par les participants aux stimuli seront significativement différentes en fonction de leur complexité phonologique et que les stimuli simples seront favorisés par rapport aux stimuli complexes.

Dans un second temps, l'objectif est de réaliser une étude de cas d'un patient ayant une atteinte neurologique dans la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche. Le but de cette étude est de déterminer si une lésion de la région responsable du traitement de la sonorité (identifiée par Deschamps *et al.* (2015)) impacte le traitement phonologique volontaire de la sonorité. Pour ce faire, nous utiliserons un questionnaire de projection de la sonorité.

Nous nous attendons à ce que les réponses comportementales du patient cérébrolésé soient différentes de celles fournies par le groupe contrôle. Nous imaginons que les réponses du groupe contrôle au questionnaire de projection de la sonorité seront similaires à celles fournies par les participants de la première partie de l'étude.

PREMIERE PARTIE

La sonorité : traitements automatique et volontaire

Lorsque nous entendons une langue étrangère, nous pouvons avoir une sensation de familiarité comme si ces consonances en appelaient à notre propre langue, comme si ces mots pouvaient, dès demain, faire partie du vivier dont nous disposons pour nous exprimer. A contrario, face à l'imperméabilité d'une autre langue, nous pouvons perdre tous nos repères phonologiques et avoir le sentiment de nous trouver face à un flot indissocié de sons qui n'évoque rien de coutumier. Quels principes sous-tendent ces impressions ?

Dans cette première partie, nous adoptons une approche physiologique et une approche comportementale.

Dans un premier temps, l'idée est de présenter des stimuli visuels (pseudo-mots écrits) dont la sonorité varie et d'observer quelles sont les réponses cérébrales à leur complexité phonologique en analysant les électroencéphalogrammes des participants. À l'heure actuelle, les résultats de cette analyse ne sont pas disponibles.

Dans un second temps, un questionnaire de projection de la sonorité qui porte sur ces mêmes pseudo-mots sera proposé aux participants. Ce questionnaire permettra d'identifier s'il y a une réponse comportementale différenciée en fonction de la sonorité mais aussi de statuer sur le profil de sonorité jugé le plus acceptable dans la langue française. Ultérieurement, la mise en relation des résultats de ces deux approches permettra d'observer si les réponses volontaires sont concordantes avec les réponses automatiques de l'EEG.

1. Matériel et méthode

1.1. Participants

Après avoir été validée par le comité d'éthique, l'étude a été menée sur 27 participants. Trois d'entre eux ont été exclus à cause d'une mauvaise compréhension de la consigne au questionnaire de projection de sonorité. Les analyses portent donc sur 21 femmes et 3 hommes sains, de langue maternelle française, qui ont entre 20 et 29 ans (la moyenne d'âge est de 24 ans). Parmi eux, 15 sont droitiers (la latéralité a été testée grâce au test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971)). Les participants ont fait des études supérieures.

Les critères d'exclusion sont les suivants : problèmes visuels et/ou auditifs non corrigés, troubles neurologiques (e.g. : antécédent d'AVC, épilepsie, etc.), handicap moteur, troubles langagiers, difficultés d'apprentissage et/ou attentionnelles. Toutes ces informations ont été recueillies avant la participation à l'étude via un questionnaire anonymisé.

Le recrutement s'est fait via des annonces auprès d'étudiants en psychologie et en orthophonie ainsi que par le biais de connaissances des investigateurs.

1.2. Expérience

La méthode utilisée pour cette expérience nécessite des stimuli visuels écrits. En effet la fréquence de présentation des stimuli ne permet pas d'utiliser des stimuli auditifs. Les sons se verraient trop compressés et donc inintelligibles.

La sonorité étant indépendante de la modalité de présentation, cela ne pose pas de problème méthodologique.

1.2.1. Stimuli

Les stimuli ont été élaborés avec l'aide de Laetitia Zmuda qui effectuait un stage de recherche.

Trois catégories de pseudo-mots monosyllabiques ont été définies en fonction de la sonorité et de la fréquence de leurs attaques syllabiques (ici, des clusters consonantiques de type CC). La sonorité des attaques syllabiques a été calculée à partir des indices de sonorité des phonèmes qui les composent. Elle s'étend de -5 à 5. Les valeurs négatives indiquent une sonorité descendante (qui respecte le SSP) tandis que les valeurs positives admettent une sonorité ascendante (qui entrave les lois du SSP).

Chaque catégorie contient 48 stimuli, soit 144 pseudo-mots regroupés en trois listes.

Comme illustré dans le tableau suivant, la liste 1 contient des clusters qui respectent le SSP (désormais SSP +) et sont fréquents en français (désormais Freq +) comme /tr/. Les caractéristiques sonores de la liste 2 sont identiques à celles de la liste 1 mais les clusters (e.g. : /tn/) sont rares voire inexistants (désormais Freq -). La liste 3 contient des pseudo-mots dont les clusters consonantiques sont SSP - et Freq - comme le cluster /rb/.

Les indices de sonorité des clusters des pseudo-mots en exemple sont indiqués entre parenthèses.

Liste 1	Liste 2	Liste 3
Sonorité ascendante (SSP +)	Sonorité ascendante (SSP +)	Sonorité descendante (SSP -)
Clusters fréquents (Freq +)	Clusters peu fréquents (Freq -)	Clusters peu fréquents (Freq -)
e.g. : trive (5)	e.g. : tnage (4)	e.g. : rbuse (-4)

Tableau 1 : Caractéristiques des clusters en fonction des listes.

Les pseudo-mots ont été construits item par item en assemblant une attaque (cluster consonantique formé de deux consonnes (CC)) à une rime (voyelle + coda dont la forme est VC ou VCV). Les détails de la structure syllabique sont consultables en figure 2.

Chaque liste contient quatorze groupes consonantiques différents (par exemple : /tr/, /tn/, /pm/, ou encore /vp/). Les phonèmes de l'attaque syllabique ont été choisis en fonction de leurs sonorité, fréquence et propriétés orthographiques : à chaque phonème correspond une seule lettre (par exemple, les digraphes tels "ch, gn" ont été exclus). Ils sont appariés en fréquence de type (nombre de mots qui contiennent ce cluster dans la langue française) et en fréquence de token (nombre de mots qui contiennent ce cluster associé à la fréquence d'apparition du mot dans le langage).

Pour l'ensemble des pseudo-mots, douze rimes ont été formées à partir des voyelles /a/, /i/ et /u/ (par exemple : /ive/, /age/, /ur/, ou encore /ane/). Ces rimes sont légales dans la phonologie du français et plus ou moins fréquentes (étude réalisée à partir de la base de données Lexique 3 (New & Pallier, 2005)). Elles apparaissent quatre fois par liste.

Les pseudo-mots sont tous prononçables et contiennent quatre à cinq lettres (par exemple : /trive/, /tnage/, /pmur/ ou encore /vpane/). Ils ont la forme CCVC(V) et les mêmes lettres sont utilisées dans les différentes listes.

1.2.2. EEG

Pour la stimulation EEG, nous utilisons la méthode SSVEP (Steady State Visual Evoked Potential) qui permet de mettre en lumière les traitements cérébraux automatisés. Sur le plan langagier, elle a déjà été utilisée par Lochy, Van Belle & Rossion (2014) qui ont comparé le traitement de suites de lettres et de suites de symboles. Ils ont pu mettre en évidence un traitement différencié de ces deux entités.

La méthode SSVEP est caractérisée par une présentation (i) rapide et (ii) périodique de stimuli visuels. D'un côté, la fréquence d'apparition des stimuli (ici 6 Hz, soit 6 stimuli par seconde) est si élevée que le traitement analytique de chacun est rendu impossible. De l'autre, la périodicité dans la présentation des stimuli entraîne des réponses neuronales caractéristiques.

Ici, quatre stimuli semblables (dits stimuli standards car ils ont les mêmes propriétés, par exemple : cluster [SSP +, Freq +]) se succèdent et induisent une synchronisation neuronale. Ils sont suivis du stimulus oddball qui arrive en cinquième position. Le stimulus oddball est différent des stimuli standards (par exemple : cluster [SSP -, Freq -]). Ainsi, il provoque une excitation neuronale liée au fait que le cerveau repère la nouveauté.

Ce pic d'activité, obtenu à 1,2 Hz, correspond au rapport de la fréquence de stimulation sur la périodicité de l'apparition des stimuli oddball (6 Hz/5). Il témoigne de la différence de traitement automatique des pseudo-mots en fonction de leur profil de sonorité.

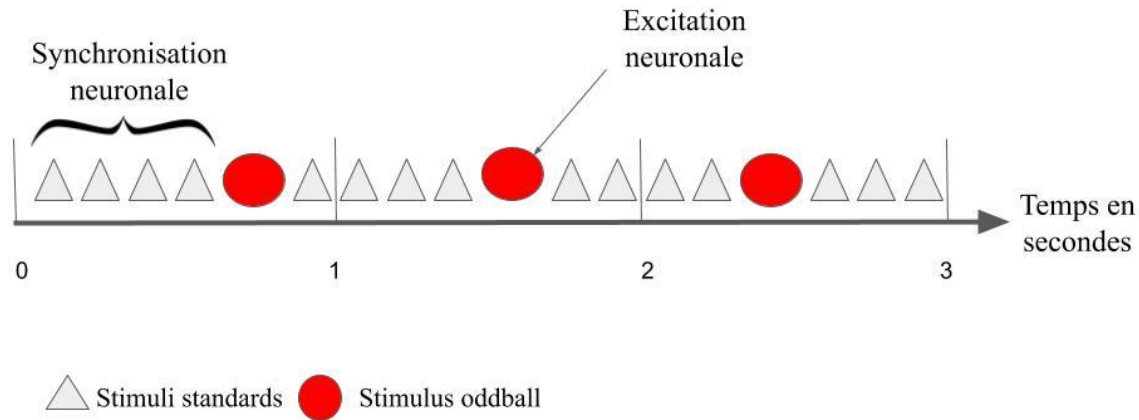


Figure 3: Périodicité et nature des stimuli par seconde.

Tous les stimuli sont présentés dans la même typologie et la même taille selon un ordre aléatoire en veillant à ce qu’il n’y ait pas de répétition immédiate d’un même item.

Nous avons deux conditions de présentation des stimuli. Durant la stimulation, chacune est présentée quatre fois, ce qui équivaut à huit minutes d’enregistrement EEG. La moitié des participants a été testée selon l’ordre A (condition 1 puis 2) l’autre selon l’ordre B (condition 2 puis 1).

Dans la condition 1, les stimuli standards sont issus de la liste 1 (SSP + ; Freq +) et le stimulus oddball est issu de la liste 2 (SSP + ; Freq -). La comparaison de ces deux listes permet de mesurer la réponse cérébrale liée à la fréquence des clusters consonantiques car c’est le seul paramètre qui varie.

Dans la condition 2, le stimulus oddball appartient à la liste 3 (SSP - ; Freq -). Il est inséré entre les stimuli standards de la liste 1 (SSP + ; Freq +). Cette fois, la comparaison de ces deux listes permet de mesurer la réponse cérébrale engendrée par une différence de fréquence des clusters mais aussi de sonorité (respect du SSP versus non-respect du SSP).

En soustrayant la réponse corticale obtenue pour la condition 1 à celle obtenue pour la condition 2, nous obtenons le résultat de l’activation neuronale liée à la sonorité seule. Ainsi, la variable confondue, liée au fait que les clusters les plus fréquents sont aussi ceux qui respectent la sonorité, est levée.

	Nature des stimuli				
	Standard				Oddball
Condition 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 2
Condition 2	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 3
Condition 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 2
Condition 2	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 3
Condition 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 2

Condition 2	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 3
Condition 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 2
Condition 2	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 1	Liste 3

Tableau 2: Paradigme de présentation des stimuli selon l'ordre A.

Pour nous assurer que les résultats à l'EEG font écho à une réalité psycholinguistique chez les participants, nous avons recueilli des réponses comportementales grâce à un questionnaire de projection de la sonorité qui porte sur les stimuli utilisés pour la stimulation cérébrale.

1.2.3. Projection de la sonorité

Afin d'évaluer la projection de la sonorité, nous avons créé un questionnaire informatisé pour lequel il était demandé aux participants d'évaluer la probabilité des pseudo-mots de devenir de vrais mots. Il s'agit d'un tableur sur lequel apparaissent dans un ordre aléatoire les pseudo-mots utilisés pendant l'EEG. Les participants ont jugé l'acceptabilité des 144 pseudo-mots en donnant à chaque item une note allant de 1 à 6. Cette échelle permet d'éviter les réponses neutres et cette méthode, déjà été utilisée par Daland *et al.* en 2011, a permis de prouver que la sonorité est un bon prédicteur du jugement d'acceptabilité lexicale. Ce questionnaire présente un double intérêt. Il permet d'attester la validité des stimuli si les réponses sont concordantes avec les résultats obtenus à l'EEG d'une part, et d'obtenir des réponses comportementales induites par la sonorité des pseudo-mots d'autre part.

1.3. Procédure

Les 27 passations ont été organisées de septembre à novembre 2018. Elles ont majoritairement été menées par Sébastien Vanstavel, un doctorant dont le projet était associé au nôtre, car il utilisait également la méthode SSVEP.

Après la pose des électrodes de l'EEG, les participants sont assis à un mètre de l'écran d'ordinateur sur lequel apparaissent les pseudo-mots. Avant le début de l'enregistrement, les stimuli apparaissent de plus en plus contrastés afin de maximiser le confort visuel. La séquence est divisée en huit blocs d'une minute. Après chaque bloc, les participants peuvent faire une pause et choisissent de reprendre l'expérience en appuyant sur la barre espace.

Chaque stimulation commence par la fixation d'une croix au centre de l'écran. Pendant la stimulation, les participants ont pour consigne d'appuyer le plus rapidement possible sur la barre espace quand le losange bleu situé au centre de l'écran devient rouge (événement qui survient 6 fois par minute à des intervalles aléatoires). Cette tâche transversale permet de s'assurer du niveau de vigilance des participants et de maintenir leur regard au centre de l'écran.

Pour remplir le questionnaire de projection de la sonorité, les participants restent face à l'écran. Tous sauf deux d'entre eux ont reçu la consigne d'attribuer à chaque pseudo-mot une note allant de 1 « il serait très surprenant de voir ce pseudo-mot devenir un mot nouveau en français »

à 6 « il ne serait pas du tout surprenant de voir apparaître ce pseudo-mot dans la langue française ». Ils répondent (à l'aide de la souris et du clavier), dans les cellules du tableur qui s'affichent à l'écran.

2. Analyse des données

Les données EEG sont analysées avec le logiciel Matlab 2012 (The Mathworks). Les résultats ne figurent pas dans ce mémoire.

Les réponses des participants au questionnaire de projection de la sonorité ont été recueillies informatiquement. Pour chaque liste, les données statistiques ont été générées grâce au programme d'analyses statistiques JASP. Les moyennes obtenues ont été comparées grâce au test paramétrique de Student (Gosset, 1908) qui indique si la différence entre deux ensembles est significative ou non.

3. Résultats

Les pseudo-mots de la liste 1 ($M = 4.27$, $ET = 1.01$) sont mieux notés que la liste 2 ($M = 1.82$, $ET = 0.54$) elle-même avantagée par rapport à la liste 3 ($M = 1.39$, $ET = 0.39$).

	Liste 1 [SSP + ; Freq +]	Liste 2 [SSP + ; Freq -]	Liste 3 [SSP - ; Freq -]
Nombre de données	24	24	24
Moyenne	4.27	1.82	1.39
Ecart-type	1.01	0.54	0.39
Minimum	2.65	1.08	1
Maximum	6	3.19	2.46

Tableau 3 : Statistiques descriptives des notes obtenues au questionnaire de projection de la sonorité.

Les moyennes des trois listes ont été comparées. Comme indiqué dans le tableau suivant, elles sont significativement différentes.

	Condition 1 : Liste 1 versus liste 2	Condition 2 : Liste 1 versus liste 3	Liste 2 versus liste 3
Valeur p	< .001		
Moyenne des différences	2.45	2.88	0.43
Intervalle de confiance	95% [2.13 ; 2.77]	95% [2.42 ; 3.27]	95% [0.26 ; 0.60]
	$t(23) = 15.95$	$t(23) = 15.13$	$t(23) = 5.31$

Tableau 4 : Résultats des comparaisons entre les moyennes obtenues à chaque liste.

Concernant le degré d'acceptabilité des pseudo-mots, les résultats indiquent un effet de la fréquence (condition 1) ainsi qu'un effet de la fréquence conjuguée à la sonorité (condition 2). La comparaison des moyennes des différences à ces deux conditions montre que l'écart entre la liste 1 et 2 est moindre que celui entre la liste 1 et 3.

Par ailleurs, la comparaison des listes 2 et 3 montre un effet de la sonorité seule sur le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots. Les pseudo-mots qui respectent le SSP (liste 2) sont mieux notés que ceux de la liste 3.

4. Discussion

Dans cette première partie, nous avons mené une expérience physiologique avec une tâche de visualisation passive de pseudo-mots (EEG) et une expérience comportementale avec jugement d'acceptabilité de ces mêmes pseudo-mots (projection de sonorité). Le but était d'évaluer si le traitement des items diffère en fonction de la complexité phonologique de leurs clusters consonantiques en attaque syllabique (à savoir, cluster complexe : SSP – et cluster simple : SSP +).

4.1. Discussion des résultats

Comme susmentionné, l'analyse des EEG n'a pas pu être réalisée et présentée dans ce mémoire. Une étude future permettra d'indiquer si les résultats du questionnaire de projection de la sonorité sont concordants ou non avec les tendances observées lors du recueil de réponses automatisées.

Concernant le questionnaire de projection de la sonorité, nous nous attendions à observer une différence significative entre les listes 1 et 2 puis entre les listes 1 et 3. Nous pensions que les notes de la liste 1 seraient supérieures à celles des deux autres et que la différence des moyennes à la condition 2 serait supérieure à celle de la condition 1.

Les moyennes de chacune des listes sont significativement différentes. Les pseudo-mots de la liste 1 sont mieux notés que ceux de la liste 2 eux-mêmes mieux notés que ceux de la liste 3.

Les résultats de la condition 1 mettent en évidence que la fréquence des clusters a un impact sur le jugement d'acceptabilité des pseudo-mots conçus pour cette étude. Les pseudo-mots qui contiennent des clusters fréquents sont préférés à ceux aux clusters rares ($t(23) = 15.95$, $p < .001$ et IC 95% [2.13 ; 2.77]).

Dans la condition 2, la comparaison des listes 1 et 3 ($t(23) = 15.13$, $p < .001$ et IC 95% [2.42 ; 3.27]) met en exergue une différence significative du jugement d'acceptabilité des pseudo-mots par les participants avec une préférence pour ceux de la liste 1. Toutefois, ce seul résultat ne permet pas de conclure à un quelconque effet de la sonorité. En effet, par un lien de cause à effet,

les clusters les plus fréquents du français se confondent avec ceux qui respectent les principes de sonorité du SSP. Ainsi, de la même manière que dans la condition 1, la variable « fréquence du cluster consonantique » joue un rôle ici. C'est la comparaison des résultats de la condition 1 et de la condition 2 qui permet de statuer sur l'impact exact de la sonorité.

Or, le produit de la soustraction de la moyenne de la liste 2 à celle de la liste 1 est supérieur au produit de la soustraction de la moyenne de la liste 3 à celle de la liste 1. C'est-à-dire que la distance entre les listes 1 et 3 est supérieure à la distance entre les listes 1 et 2. Nous pouvons déduire que les modifications des profils de sonorité des attaques syllabiques influencent le jugement de sonorité des participants. Par ailleurs, la comparaison des listes 2 et 3 vient corroborer ces résultats. En effet, ces deux listes sont disparates ($t(23) = 5.31$, $p < .001$, IC 95% [0.26 ; 0.60]) ce qui signifie que la seule variable « sonorité » a eu un impact sur le comportement des locuteurs. Aussi, ces résultats permettent d'arguer que les pseudo-mots jugés comme plus plausibles sont ceux dont les clusters suivent les principes phonologiques de la sonorité. Autrement dit, un mot qui respecte le SSP, est préféré à ceux qui entravent cette loi phonologique universelle.

Ces résultats valident nos hypothèses initiales et bien plus. En effet, nous pensions obtenir une différence entre les moyennes de la liste 2 (SSP + ; Freq -) et de la liste 3 (SSP - ; Freq -) mais nous ne nous attendions pas à ce qu'elle soit si manifeste. Cela présente un intérêt car les stimuli ont été construits de façon à dissocier les variables de fréquence et de sonorité qui co-varient dans la langue française. À l'instar de Daland *et al.* (2011), nous avons trouvé que la sonorité est un facteur prédictif du jugement d'acceptabilité d'un mot qui n'existe pas. Plus précisément, nous avons prouvé que la sonorité des clusters en attaque syllabique impacte la projection de sonorité de notre échantillon. Autrement dit, pour nos participants, l'acceptabilité des pseudo-mots est directement liée à la projection de sonorité, elle-même influencée par le profil de sonorité des clusters.

4.2. Limites

Nos résultats concernent un échantillon non représentatif de la population générale. En effet, nos 24 participants ont entre 21 et 29 ans. Parmi eux, on compte 21 femmes dont 62% sont en étude d'orthophonie et 29% sont dans une filière psychologique. Ainsi, il est envisageable de supposer que notre échantillon a une sensibilité particulière aux aspects qui concernent le langage. Il faudrait tester la même méthodologie sur un échantillon plus important d'adultes tout-venant.

Parmi les participants, deux ont reçu la consigne de notation inverse. C'est-à-dire que 6 correspond au fait que le pseudo-mot a très peu de chances d'entrer dans la langue française tandis qu'avec une note de 1, il est presque assuré de devenir un vrai mot. Les notes de tous les items ont été ajustées en appliquant la formule « 7 – réponse ».

Concernant les inférences sur le traitement des stimuli, étant donné que le questionnaire de projection de sonorité est rempli après la stimulation EEG, il est possible d'imaginer que le cerveau a déjà opéré un classement des items. De fait, peut-être que nous ne recueillons pas une

réponse comportementale pure mais que celle-ci est pré-orientée par des processus cognitifs automatisés sollicités en amont. Peut-être aurait-il été intéressant de construire deux ensembles appariés de 144 items chacun. Le premier aurait été utilisé pour l'expérience avec la méthode SSVEP et le questionnaire de projection de la sonorité tandis que le second aurait servi à l'évaluation de la projection de la sonorité uniquement.

La modalité de présentation des stimuli est visuelle. La sonorité est un principe phonologique. De fait, son traitement ne dépend pas du canal d'entrée. Toutefois, nous n'avons aucune information sur la manière dont les pseudo-mots ont été lus. Certains ont pu être l'objet de régularisations phonologiques. Par exemple, l'item « vpane » a pu être lu « vépane » et noté sur cette forme phonologique. Dans la même dynamique, l'orthographe des mots a pu jouer un rôle. Par exemple, sur le plan de la sonorité, les pseudo-mots « klage » et « clage » sont semblables. En revanche, sur le plan orthographique, la lettre /k/ est moins courante que la lettre /c/. Il est raisonnable de supputer que le pseudo-mot [klaʒ] aurait eu une note supérieure sous la forme /clage/ que sous la forme /klage/. Si ces biais ont eu un effet sur les réponses des participants, ils n'ont pas été déterminants car nous obtenons tout de même des résultats probants. Pour les lever, faire passer le test de projection de la sonorité en modalité auditive serait un bon axe de réflexion. Comme mentionné précédemment, cette présentation auditive n'a pas été permise ici car nous utilisons la méthode SSVEP pour cette première expérience.

5. Conclusion

Dans cette première partie, nous nous demandions comment les locuteurs du français réagiraient aux variations de sonorité des clusters consonantiques en attaque syllabique de pseudo-mots.

Grâce au questionnaire de projection de la sonorité, nous avons mis en évidence une sensibilité particulière aux nuances de sonorité des attaques consonantiques et ce, indépendamment de leur fréquence d'apparition dans le langage. Ainsi, comme Daland *et al.* (2011), nous avons mis en évidence que la sonorité pourrait être un facteur prédictif du jugement d'acceptabilité lexicale. Ces différences de sonorité profitent aux clusters consonantiques dont le profil sonore respecte les principes phonologiques universaux promus au sein des attaques syllabiques par le système phonologique du français. En d'autres termes, les pseudo-mots les mieux acceptés sont ceux qui suivent le Sonority Sequencing Principle, principe phonologique dont l'expression est la suivante : la sonorité correspond à la force relative d'un phonème par rapport à un autre ; cette force, minimisée en marge syllabique, doit suivre une pente unidirectionnelle qui culmine au niveau du noyau syllabique.

DEUXIEME PARTIE

La sonorité : étude de cas

[laɔlɔʃasonelezãfãstikstɕlaɕilpaɾkə] comprendre « la cloche a sonné, les enfants sont tristes car ils partent ». Cet extrait est issu du discours d'une personne aphasique. Il y a quelques mois à peine, elle s'exprimait comme vous et moi. Comment expliquer ces erreurs qui surviennent alors même que son système phonologique est construit ? Une hypothèse est que le traitement de la sonorité est modifié chez ce patient.

1. Contexte théorique

La sonorité entretient un lien étroit avec la phonologie en ce sens que, comme vu précédemment, le Sonority Sequencing Principle (SSP) détermine la manière dont les phonèmes s'organisent au sein de la syllabe. Des études ont permis de montrer qu'en cas de trouble phonologique acquis, les productions des patients tendent vers la simplification du profil de sonorité syllabique (Romani & Calabrese, 1998 ; Stenneken *et al.*, 2005 ; Miozzo & Buchwald, 2013).

1.1. Troubles du langage acquis

Les troubles du langage acquis adviennent suite à une atteinte neurologique (lésions plus ou moins profondes et étendues du cortex cérébral) survenant sur un cerveau mature. Classiquement, les lésions qui entraînent des troubles du langage se situent dans l'hémisphère cérébral gauche, au niveau des zones du langage décrites notamment par Broca (1824-1880) et Wernicke (1848-1905). Ici, nos investigations se concentrent sur l'une des conséquences de ces atteintes : l'aphasie, pathologie qui touche environ 250.000 personnes en France (selon la Fédération Nationale des Aphasiques de France).

D'après la définition de Trousseau (1864), issue du dictionnaire d'Orthophonie, l'aphasie entraîne des troubles langagiers qui peuvent toucher à la fois l'expression et la compréhension tant au niveau du langage oral que du langage écrit. On parle des quatre pôles du langage. Le spectre des conséquences de cette pathologie s'étend d'une perte partielle à totale des capacités de communication. La manifestation de ces troubles peut s'observer par des erreurs phonétiques et phonologiques.

1.2. Troubles du langage et sonorité

Diverses études se sont intéressées aux productions de personnes devenues aphasiques suite à un AVC de l'hémisphère gauche. Elles ont cherché à établir un lien entre l'altération phonologique des productions et les principes de la sonorité. Les recherches s'articulent autour du

Sonority Sequencing Principle (SSP). Deux méthodologies sont habituellement utilisées : soit la comparaison des productions avec le mot cible attendu, soit l'analyse des productions libres du patient.

Romani et Calabrese (1998) ont adopté l'approche comparative. Ils ont analysé le profil de sonorité des productions d'un patient italien lors d'une tâche de répétition de mots et l'ont comparé au patron sonore attendu. Leurs résultats montrent que la majorité des erreurs portent sur les attaques syllabiques. Ces erreurs sont des substitutions de phonèmes qui visent à simplifier les clusters (par exemple, la suppression d'un phonème dans le cadre de syllabes diconsonantiques comme /tʁap/ transformé en [tap]). Ainsi, les simplifications phonologiques profitent aux syllabes de structure CV comme cela est prédit par le SSP. Or, du point de vue de la sonorité, les syllabes simples sont aussi celles de structure CV. En effet, le noyau syllabique correspond à la voyelle de la syllabe (Rousset, 2004). Quand une syllabe est composée d'une consonne suivie d'une voyelle (CV), la sonorité augmente obligatoirement vers le noyau (cf. Figure 1). Au contraire, quand la structure syllabique a la forme CCV, il est possible qu'une rupture survienne dans la pente de sonorité. Par exemple, dans le mot « spectacle » la pente de sonorité ne suit pas une progression linéaire : nous avons /s/ > /p/ < /e/. Par ailleurs, si la syllabe CCV respecte le SSP (e.g. : « tracteur »), celle-ci est tout de même plus fragile car plus susceptible d'être l'objet d'omissions (e.g. : « tacteur »).

De leur côté, Steneken *et al.* (2005) ont étudié les erreurs d'un patient allemand qui jargonne. Ils ont analysé 227 néologismes de son discours spontané. Cela leur a permis de mettre en évidence que la structure syllabique CV (structure préférée de façon générale dans les langues du monde pour sa simplicité phonologique (Rousset, 2004)), est sur-représentée et que les simplifications opérées suivent les lois du SSP.

De fait, il semblerait que ces personnes cérébrolésées préfèrent les structures syllabiques qui respectent les principes du SSP. Quel est l'intérêt clinique de telles connaissances ? Comme vu précédemment, la sonorité entretient un lien étroit avec la phonologie. L'entraînement basé sur les profils de sonorité des mots pourrait permettre de pallier les difficultés phonologiques. Gierut (1999) a testé les effets d'une rééducation basée sur les principes de la sonorité chez des enfants atteints d'une dyslexie phonologique. L'entraînement portait uniquement sur des profils de sonorité complexes et un transfert aux items simples a été observé. De son côté, Riley (2011) obtient les mêmes résultats à propos de dyslexies phonologiques acquises. Ainsi, qu'ils soient acquis ou d'origine développementale, il pourrait être possible d'endiguer les troubles phonologiques en s'appuyant sur les principes de la sonorité.

Ces observations nous amènent à nous interroger quant aux conséquences, sur la projection de la sonorité, d'une telle inclination pour les profils de sonorité canoniques.

2. Objectifs et hypothèses

Dans cette dernière partie, nous cherchons à savoir si une lésion dans la zone postérieure du gyrus frontal inférieur gauche, zone impliquée dans le traitement de la sonorité (Deschamps, Baum & Gracco, 2015), peut entraîner une modification de la projection de sonorité. Pour ce faire, nous adoptons une approche lésionnelle. Nous cherchons à comparer le jugement d'acceptabilité lexicale d'un patient ayant cette atteinte à celui d'un groupe contrôle neurotypique.

Les pseudo-mots sont les mêmes que dans la première partie de l'étude. Nous nous attendons à observer une différence significative entre les réponses du patient et celles du groupe contrôle. Plus précisément, pour les deux groupes, nous pensons que les pseudo-mots de la liste 1 seront mieux notés que ceux de la liste 2 eux-mêmes mieux notés que ceux de la liste 3. Mais nous nous attendons à voir une différence significative avec un rejet plus net des pseudo-mots de la liste 3 pour le patient cérébrolésé.

3. Expérience

Dans cette partie, nous faisons passer un test de projection de la sonorité à un patient atteint d'une lésion dans la partie postérieure du gyrus frontal inférieur. Cette lésion est rare. De fait, le patient que nous avons recruté est d'origine italienne. Ses résultats seront comparés à ceux d'un groupe contrôle neurotypique apparié en âge et niveau d'étude.

3.1. Matériel et méthode

3.1.1. Population

Pour cette expérience, onze personnes ont participé. Deux d'entre elles ont été exclues. L'une à cause d'une mauvaise compréhension de la consigne, l'autre pour un antécédent de céphalite. L'étude est donc menée sur le patient PZ. dont nous faisons l'étude de cas et sur huit personnes qui constituent le groupe contrôle.

Tous les participants ont entre 56 et 64 ans, la moyenne d'âge est de 60 ans. Il y a quatre femmes et cinq hommes. Leur niveau d'étude, apparié avec le patient PZ., est inférieur à Bac + 2. Ils sont droitiers (la latéralité a été testée grâce au test de latéralité d'Edinburgh (Oldfield, 1971)). La mobilité des membres supérieurs autorise la manipulation de la souris d'ordinateur. La langue maternelle des participants du groupe contrôle est le français. A été exclue toute personne présentant un trouble de la lecture, un déficit visuel non corrigé, une négligence spatiale unilatérale, un trouble de compréhension sévère entravant la compréhension de la consigne.

3.1.2. Patient PZ.

Le patient PZ. est un homme de 61 ans au jour de la passation. D'origine italienne, il est arrivé en France à l'âge de trois ans. La langue utilisée pour la scolarité et avec sa famille

(excepté sa mère) est le français.

PZ. a été victime d'un AVC sylvien superficiel et profond qui a lésé la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche. Au jour de la passation, nous sommes à douze mois post-AVC et il a bénéficié d'une rééducation orthophonique dans le service de neurologie où il était admis. Les données des différents bilans de langage et de communication sont en annexe 1 et 2 de ce document.

3.1.3. Projection de la sonorité

Pour évaluer la projection de la sonorité, nous avons créé un test de projection de la sonorité pour lequel il était demandé aux participants d'évaluer la probabilité qu'ont les 144 pseudo-mots de l'étude de devenir de vrais mots. Les modalités de présentation sont différentes de celles de la première expérience. Cette fois, les participants répondent grâce à la souris de l'ordinateur en cliquant sur une ligne de probabilité. Pour ce faire, les items s'affichent un par un sur un fond noir au centre de l'écran. La ligne de probabilité, qui s'étend de « improbable » à « probable », se situe deux centimètres sous le pseudo-mot et est constituée de 6 points. Le fait de cliquer sur un point fait changer sa couleur du vert au rouge et dévoile le pseudo-mot suivant.

Comme susmentionné, les pseudo-mots utilisés pour le questionnaire de projection de la sonorité sont issus de trois listes : la liste 1 [SSP + ; Freq +], la liste 2 [SSP + ; Freq -] et la liste 3 [SSP - ; Freq -].

3.1.4. Tâche et procédure

Le recueil des réponses au questionnaire de projection de la sonorité s'est fait de façon informatisée (grâce au logiciel Octave).

La passation dure environ vingt minutes et est organisée en quatre blocs. Un bloc de 6 items d'entraînement à la fin duquel le participant a l'occasion de poser des questions, suivi de trois blocs de 48 items issus des listes 1, 2 et 3. Le participant peut choisir de faire une pause entre les blocs. Au début de chaque bloc, une croix de fixation apparaît au centre de l'écran. À la fin de la passation, les 144 pseudo-mots de l'expérience ont été affichés une fois chacun de façon aléatoire.

3.2. Analyse des données

Dans le but d'observer si la différence entre chaque liste est significative ou non, nous avons réalisé trois comparaisons intra-groupes. D'une part, la liste 1 a été comparée à la liste 2 (condition 1), d'autre part, la liste 1 a été comparée à la liste 3 (condition 2) avec la liste 1 comme référence. Enfin, nous avons comparé les listes 2 et 3 en ayant la liste 2 comme référence.

Ensuite, nous avons effectué trois comparaisons intergroupes : pour chaque liste, les

moyennes du groupe contrôle ont été comparées aux moyennes du patient PZ.

Ces analyses ont été réalisées sur le logiciel Excel, grâce au test Z de l'écart réduit (Z-score) exprimé en écart-types (ET) à partir des scores bruts des participants inclus à l'étude. Leurs résultats sont présentés ci-après.

3.3. Résultats

Les moyennes obtenues aux différentes listes par PZ. et par le groupe contrôle suivent la même tendance. À savoir, liste 1 supérieure à la liste 2 supérieure à la liste 3. Le détail de ces résultats est disponible dans le tableau suivant.

Participants	Liste 1	Liste 2	Liste 3
SPEC01	$M = 4.58, ET = 1.64$	$M = 2.94, ET = 1.26$	$M = 2.67, ET = 1.28$
SPEC02	X	X	X
SPEC03	$M = 3.94, ET = 1.1$	$M = 2.98, ET = 0.83$	$M = 3.02, ET = 1.0$
SPEC04*	$M = 3.37$	$M = 1.49$	$M = 1.34$
SPEC05	$M = 2.17, ET = 1.29$	$M = 1.21, ET = 0.65$	$M = 1.71, ET = 0.94$
SPEC06	$M = 1.96, ET = 0.99$	$M = 1.33, ET = 0.75$	$M = 1.23, ET = 0.63$
SPEC07	X	X	X
SPEC08	$M = 5.77, ET = 0.66$	$M = 3.60, ET = 1.40$	$M = 2.16, ET = 1.06$
SPEC09	$M = 5.25, ET = 1.31$	$M = 1.88, ET = 1.18$	$M = 1.88, ET = 1.23$
SPEC10	$M = 2.38, ET = 0.91$	$M = 2.79, ET = 1.22$	$M = 2.67, ET = 1.26$
PZ.	$M = 2.04, ET = 0.77$	$M = 1.90, ET = 0.72$	$M = 1.73, ET = 0.76$

* les résultats de SPEC04 sont donnés pour 29 items de la liste 1, 35 items de la liste 2 et 31 items de la liste 3.

Tableau 5: Moyennes et écart-types par liste pour chaque participant à l'étude.

Concernant les comparaisons intra et inter groupes, les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

		Condition 1 : Liste 1 versus liste 2	Condition 2 : Liste 1 versus liste 3	Liste 2 versus liste 3
PZ.	Z-scores	-0.18 ET	-0.40 ET	-0.24 ET
	Différence des moyennes	0.14	0.31	0.17

Groupe	Z-scores	-0.96 <i>ET</i>	-1.10 <i>ET</i>	-0.21 <i>ET</i>
Contrôle	Différence des moyennes	1.40	1.59	0.19
Réponses de PZ. comparées à celles du groupe contrôle				
	PZ.	Groupe contrôle	Z-scores	
Liste 1	$M = 2.04, ET = 0.77$	$M = 3.68, ET = 1.45$	-1.13 <i>ET</i>	
Liste 2	$M = 1.90, ET = 0.72$	$M = 2.28, ET = 0.91$	-0.42 <i>ET</i>	
Liste 3	$M = 1.73, ET = 0.76$	$M = 2.09, ET = 0.67$	-0.54 <i>ET</i>	

Tableau 6 : Résultats des comparaisons intra et inter groupes.

3.4. Discussion

Afin de savoir si le traitement de la sonorité est différent pour un patient victime d'une atteinte dans la partie postérieure du gyrus frontal inférieur gauche (zone identifiée en 2015 par Deschamps *et al.* ; comme étant impliquée dans le traitement de la sonorité), nous avons fait passer un test de projection de la sonorité à onze personnes volontaires. Nous nous attendions à ce que les pseudo-mots qui ne respectent pas le Sonority Sequencing Principle soient plus facilement rejetés par le patient PZ. que par les participants du groupe contrôle.

3.4.1. Discussion des résultats

Les notes attribuées par le patient PZ. ne sont pas fondamentalement différentes de celles attribuées par le groupe contrôle. En effet, les moyennes des listes suivent la même tendance (liste 1 > liste 2 > liste 3) et la comparaison des moyennes de chaque liste pour ces deux groupes donne des résultats compris entre -1.13 *ET* et -0.42 *ET*. Or, pour qu'une différence soit considérée comme significative, il faut que le Z-score ait une valeur supérieure à 1.65 *ET* ou inférieure à -1.65 *ET*.

Il est intéressant de noter que les moyennes du groupe contrôle sont généralement plus élevées que celles du patient. Notre échantillon aurait peut-être tendance à être plus permissif avec la langue que le patient PZ. Toutefois, les réponses du groupe contrôle ne sont pas homogènes : deux des participants ont sensiblement les mêmes performances que PZ. bien qu'il n'y ait aucun antécédent neurologique notable, et la passation d'un participant a été arrêtée prématurément suite à un bug du programme. Nous avons choisi d'intégrer ses résultats à l'étude afin de travailler sur un maximum de données.

Au vu des résultats à la condition 1, il apparaîtrait qu'en lecture de pseudo-mots, les modifications de la fréquence des clusters en attaque n'aient pas d'effet sur l'acceptabilité des pseudo-mots. En effet, si les moyennes des listes indiquent que tous les participants (sauf le participant contrôle SPEC10) ont mieux noté les pseudo-mots de la liste 1 par rapport à ceux de la liste 2, les Z-scores, compris dans l'intervalle [-0.96 *ET* ; -0.18 *ET*], ne pointent pas de

différence significative. Il est intéressant de noter que l'écart entre les moyennes des listes est plus important pour le groupe contrôle avec 1.40 contre 0.14 pour PZ. Ces participants pourraient être plus sensibles aux variations en fréquence que ce que ne l'est le patient PZ.

Dans la condition 2, il en va de même pour ce qui est d'un éventuel effet de la sonorité. Pour chacun des groupes, les Z-scores de la condition 2 sont compris dans l'intervalle $[-1.10 ET ; -0.40 ET]$, ce qui ne permet pas de montrer une différence significative entre les listes 1 et 3 qui diffèrent en termes de fréquence et de sonorité. Ces observations vont à l'encontre des tendances observées en première partie de ce projet et des conclusions de Daland *et al.* (2011). Les participants semblaient au contraire avoir intégré la notion de SSP. Toutefois, les Z-scores de la condition 2 se rapprochent plus de la valeur 1.65 que ceux de la condition 1 et au niveau des moyennes des différences, on note que les différences entre les listes 1 et 3 sont supérieures à celles entre les listes 1 et 2 pour les deux groupes.

Malgré tout, les résultats obtenus par les deux groupes à la comparaison des listes 2 et 3 sont quasiment identiques et se rapprochent de zéro. C'est-à-dire que notre échantillon ne repère pas de différence significative entre les pseudo-mots lorsque seule la sonorité des clusters change.

Ainsi, même si le groupe contrôle obtient des moyennes plus élevées et même si la tendance pour chaque groupe est : liste 1 supérieure à liste 2, supérieure à liste 3 ; aucune différence probante n'est mise en exergue ici, ni entre les groupes ni entre les listes.

Toutefois, il est intéressant de noter, d'une part, que les participants contrôles pourraient avoir tendance à être plus permissifs avec le langage et seraient peut-être plus sensibles aux variations de fréquence que de sonorité et, d'autre part, que le patient PZ. traite de la même manière les variations en fréquence (liste 1 VS liste 2) et les variations en sonorité (listes 2 VS liste 3). Cependant, quand ces deux facteurs s'additionnent, la moyenne des différences (listes 1 VS liste 3) est plus grande.

3.4.2. Limites

Il est important de noter que les présents résultats portent sur un faible échantillon. En effet, la population ciblée pour cette expérience est à cheval sur deux statuts (actif et retraité). Elle est donc difficile à cibler, ce qui a compliqué le recrutement de nos participants. Ces difficultés, qui pourraient être palliées à l'aide d'un questionnaire de projection de la sonorité en ligne, ont permis d'inclure seulement huit personnes au groupe contrôle. Ceci n'est représentatif ni de la population cible ni de la population générale. En outre, avec un échantillon peu conséquent, les tendances varient énormément : l'inclusion d'un participant peut renverser la balance. Ce phénomène était lissé lors de la première expérience (24 participants) et de celle de Daland *et al.* (48 participants). De plus, deux participants (SPEC03 et SPEC10), obtiennent les mêmes moyennes pour les trois listes et n'ont donc repéré aucune différence entre les pseudo-mots. Ce résultat est intrigant. Les échanges avec les participants en fin d'expérience permettent d'imaginer que ces deux personnes ont sonorisé le nom des premières consonnes. Par exemple, « tnage » a été lu « ténage ».

Par ailleurs, l'étude de cas porte sur le patient PZ, qui est devenu un locuteur quotidien du français à partir de ses trois ans. Or, en vue de construire le système phonologique et linguistique, le cerveau fait des statistiques sur les modèles langagiers qu'il reçoit. Ce processus est intense lors de la première année de vie (Eimas *et al.*, 1971 ; Khul *et al.*, 2005). Si PZ, a majoritairement vécu en tant que locuteur français, cette utilisation retardée de la langue française a pu avoir un effet sur la projection de sonorité du patient. Malheureusement, les lésions postérieures de la partie inférieure du gyrus frontal gauche sont rares et il n'a pas été possible de faire passer le test à d'autres patients dans les temps impartis par les modalités de restitution du présent mémoire.

En outre, les résultats ont été analysés à l'aide de Z-scores. Cet outil est puissant car il permet de donner rapidement une idée du niveau de la personne ou de la performance par rapport à une norme (ici nous avons liste 1 comme référence pour les conditions 1 et 2 puis liste 2 comme référence à la comparaison des listes 2 et 3). En revanche, l'inconvénient du Z-score est qu'il perd de sa valeur lorsque la distribution des notes ne suit pas une loi normale (Aguert et Capel, 2018). Or, nous ne connaissons pas la distribution des notes pour chaque item. Un travail intéressant serait de calculer les moyennes obtenues pour chacun des 144 items afin de pouvoir croiser les analyses précédentes avec la distribution par item.

Comme vu précédemment, les résultats de nos participants contrôles ne ressemblent pas à ceux obtenus avec les participants à la première expérience. Il semblerait que les premiers soient plus enclins à accepter qu'un nouveau mot entre dans le langage. Plusieurs facteurs pourraient expliquer cette différence. Premièrement, la moyenne d'âge du premier groupe est de 24 ans, celle du second est de 60 ans. Ensuite, les premiers ont fait des études universitaires tandis que dans le second groupe, rares sont ceux à avoir eu le BAC. En outre, la modalité de réponse n'était pas la même : les premiers devaient taper un chiffre dans un tableur avec le clavier de l'ordinateur alors que les seconds cliquaient sur les points d'une ligne de probabilité. D'ailleurs, plusieurs personnes de la seconde expérience n'étaient pas familières de l'ordinateur. Dans ce cas, au lieu d'utiliser la souris, elles ont plutôt désigné les points de la ligne de probabilité. Les deux questionnaires sous-tendent une même réalité mais la consigne et la modalité de présentation des stimuli ont pu influencer les réponses. Enfin, sur un plan psycholinguistique, il est possible que ces différences soient dues au fait que le langage est abordé différemment depuis une trentaine d'années, notamment avec une orthographe plus permissive (réformes orthographiques de 1991), une écriture abrégée avec l'avènement d'Internet, de la publicité, des bandes dessinées (Lucci & Millet, 1994, cité par Vernet, 2011), avec l'essor des textos qui exploitent les ressources du système graphique (Matthey, 2006).

Les résultats de cette étude préliminaire mériteraient d'être réinterprétés en regard de la distribution des notes en fonction des pseudo-mots. Par ailleurs, il serait intéressant de la reproduire sur un échantillon plus conséquent, avec des locuteurs natifs du français et en modalité auditive. Ceci permettrait certainement de mettre en évidence des résultats probants, d'autant que les moyennes obtenues aux listes suivent les prédictions que nous avons faites dans nos hypothèses.

4. Conclusion

Il semblerait que les personnes ayant une atteinte phonologique aient tendance à simplifier les structures phonologiques complexes. Ces simplifications suivent les principes du SSP de manière à favoriser les structures consonne-voyelle (Romani et Calabrese, 1998 ; Steneken *et al.*, 2005). Ces résultats portent sur des analyses de productions orales. Ici, nous nous demandons si cette appétence pour la simplification s’observerait sur le plan de la projection de la sonorité.

Les résultats du questionnaire de projection de la sonorité ne sont pas en faveur d’un traitement différencié de la sonorité entre le groupe contrôle et le patient cérébrolésé au niveau de la partie postérieure du gyrus frontal inférieur (zone identifiée par Deschamps *et al.* (2015) comme participant au traitement de la sonorité). En effet, les comportements de ces deux groupes, concernant le jugement d’acceptabilité des pseudo-mots de l’étude, sont similaires et ne varient pas en fonction de la complexité phonologique des pseudo-mots. Toutefois, en termes de moyennes brutes, nous pouvons noter d’une part, que les participants du groupe contrôle obtiennent des moyennes supérieures à celles du patient, ce qui peut vouloir dire qu’ils sont plus enclins à faire entrer un nouveau mot dans la langue française. D’autre part, que chaque groupe préfère les pseudo-mots fréquents qui respectent le SSP.

Ces résultats sont à considérer avec prudence car ils portent sur un faible échantillon et vont à l’encontre de nos premières observations ainsi que de celles d’autres chercheurs (Daland *et al.*, 2011). Il serait bénéfique pour la recherche de reconduire cette étude de cas sur plus de participants. En effet, les divers résultats d’études permettent d’imaginer que la projection de la sonorité pourrait être un facteur prédictif de troubles phonologiques.

CONCLUSION

Au début de ce projet, nous nous demandions si les locuteurs français réagiraient différemment aux pseudo-mots en fonction de leur profil de sonorité. Nous avons abordé cette question sous deux angles.

Dans un premier temps, d'une part, nous avons cherché à savoir si le traitement cérébral de personnes neurotypiques différerait en fonction de la sonorité des stimuli à l'aide de l'analyse d'électroencéphalogrammes. D'autre part, nous avons cherché à déterminer si le jugement d'acceptabilité d'un pseudo-mot dépendrait de son profil de sonorité grâce à un test comportemental de projection de la sonorité.

Dans un second temps, nous avons souhaité observer si le jugement d'acceptabilité de ces mêmes pseudo-mots varierait entre une personne cérébrolésée et un groupe contrôle neurotypique apparié en âge et niveau d'étude.

Concernant notre première expérience, à propos du questionnaire de projection de la sonorité, nous avons pu mettre en lumière, à l'instar de Daland *et al.* (2011) que le Sonority Sequencing Principle (SSP) est prédictif du jugement d'acceptabilité d'un pseudo-mot. En effet, lorsqu'un item ne respecte pas les principes universaux de la sonorité, il a plus de chances d'être rejeté. De fait, chez nos participants neurotypiques, il existe un traitement lexical volontaire différencié dépendant de la complexité phonologique en termes de sonorité.

Concernant notre second questionnement, nous n'avons pas pu mettre en évidence qu'une personne avec une lésion dans le gyrus frontal inférieur gauche (zone dédiée au traitement de la sonorité selon Deschamps, Baum et Gracco (2015)) appréhende les pseudo-mots différemment de ses pairs neurotypiques. En effet, les tendances observées étaient similaires pour les deux groupes et chacun préférait les pseudo-mots fréquents au profil de sonorité canonique. Ces résultats portent sur peu de personnes. Ils méritent d'être analysés plus finement et d'être reproduits sur un échantillon plus conséquent. En ce sens, ils donnent des tendances mais n'ont pas valeur de vérité générale.

Il existe peu de publications sur le lien entre sonorité et principes de rééducation des troubles phonologiques. Pourtant, différentes études (Gierut, 1999 ; Riley, 2011) mettent en évidence de bons résultats cliniques. Peut-être les lois de la sonorité pourraient-elles devenir le terreau de nouveaux principes de rééducation des troubles phonologiques observés dans le cadre d'aphasies ou de dyslexie développementale ?

BIBLIOGRAPHIE

- Aguert, M., & Capel, A. (2018). Mieux comprendre les scores z pour bien les utiliser. *Rééducation Orthophonique*, (274), 61-85.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2002). Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. *Neuroimage*, 16(1), 7–22.
- Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2011). Aphasie. In *Dictionnaire d'orthophonie* (p. 20). Villeneuve d'Ascq: Ortho Edition.
- Clements, G. N. (1990). The role of the sonority cycle in core syllabification. In *Papers in laboratory phonology 1: between the grammar and physics of speech* (Cambridge University Press, pp. 283–333). Cambridge.
- Daland, R., Hayes, B., White, J., Garellek, M., Davis, A., & Norrmann, I. (2011). Explaining sonority projection effects. *Phonology*, 28(Cambridge University Press 2011), 197–234. <https://doi.org/10.1017/S0952675711000145>
- Deschamps, I., Baum, S., & Gracco, V. (2015). Phonological processing in speech perception : What do sonority differences tell us ?, *Brain & Language*, 149, 77–83.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171, 303–306.
- Gierut, J. (1999). Syllable onsets : Clusters and adjuncts in acquisition. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 42(3), 708–726.
- Jakobson, R. (1963). *Essais de linguistique générale*. Paris : Les éditions de minuit.
- Kuhl, P. K., Conboy, B. T., Padden, D., Nelson, T., & Pruitt, J. (2005). Early Speech Perception and Later Language Development : Implications for the “Critical Period.”. *Language Learning and Development*, 1(3&4), 237–264.
- Ladefoged, P. (1975). *A course in phonetics*. New York : Harcourt, Brace, Jovanovich.
- Lochy, A., Van Belle, G., & Rossion, B. (2015). A robust index of lexical representation in the left occipito-temporal cortex as evidenced by EEG responses to fast periodic visual stimulation. *Neuropsychologia*, 66, 18–31.
- Lucci, V., & Millet, A. (1994). *L'orthographe de tous les jours. Enquête sur les pratiques orthographiques des Français*. Paris : Champion.
- Matthey, M. (2006, septembre). L'évolution de l'orthographe : entre habitudes et outils. *Educateur*, 33-36

- McCarthy, J. J., & Prince, A. (1993). Prosodic Morphology: Constraint Interaction and Satisfaction, (Linguistics Department Faculty Publication).
- Miozzo, M., & Buchwald, A. (2013). On the nature of sonority in spoken word production : Evidence from neuropsychology. *Cognition*, 128, 287–301.
- New, B., & Pallier, C. (2005). Lexique 3. Consulté à l'adresse Lexique website: <http://www.lexique.org/>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Parker, S. (2002). Quantifying the sonority hierarchy (Doctor of philosophy, University of Massachusetts).
- Parker, S (2008). Sound level protrusions as physical correlates of sonority. *Journal of Phonetics*, 36, 55-90.
- Prince, A., & Smolensky, P. (1993). Optimality Theory, constraint interaction in generative grammar. <https://doi.org/10.7282/T34M92MV>
- 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, I. (1998). Syllabic Constraints in the Phonological Errors of an Aphasic Patient. *Brain & Language*, 64, 83-121
- Rousset, I. (2004). *Structures syllabiques et lexicales des langues du monde, Données, typologies, tendances universelles et contraintes substantielles*. Université Stendhal, Grenoble.
- Selkirk, E. (1982). The syllable. In *The Structure of Phonological Representations* (Vol. 2, pp. 337–384).
- Sievers, E. (1881). *Grundzüge der Phonetik*. Leipzig : Breitkopf & Hartel.
- Stenneken, P., Bastiaanse, R., Huber, W., Jacobs, A. M. (2005). Syllable structure and sonority in language inventory and aphasic neologisms. *Brain and Language*, 95, 280-292.
- Sundberg, M. (2017). *Arbre généalogique des langues indo-européennes*.
- Tranel, B. (2000). Aspects de la phonologie du français et la théorie de l'optimalité. *Langue Française*, 126 (Où en est la phonologie du français ?), 39–72.
- Tremblay, P., & Small, S. L. (2011). On the context-dependent nature of the contribution of the ventral premotor cortex to speech perception. *Neuroimage*, 57(4), 1561–1571.
- Trousseau, A. (1864). De l'aphasie, maladie décrite récemment sous le nom impropre d'aphémie. *Gazette des hôpitaux civils et militaires*, 37.
- Van Atteveldt, N., Fomison, E., Goebel, R., & Blomert, I. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, 43(2), 271–282.

Vernet, S. (2011). *Orthographe du français. Demande sociale et aménagement linguistique* (Stendhal). Consulté à l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00607948>

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Échelle de sonorité des sons du français (Clements, 1990).....	3
Figure 2 : Syllabe satisfaisant le SSP : la pente de sonorité augmente de /p/ vers /l/ et de /l/ vers /a/ puis diminue de /a/ vers /k/.	4
Figure 3 : Périodicité et nature des stimuli par seconde.	10

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des clusters en fonction des listes.	8
Tableau 2 : Paradigme de présentation des stimuli selon l'ordre A.	11
Tableau 3 : Statistiques descriptives des notes obtenues au questionnaire de projection de la sonorité.....	12
Tableau 4 : Résultats des comparaisons entre les moyennes obtenues à chaque liste.....	12
Tableau 5 : Moyennes et écart-types par liste pour chaque participant à l'étude.....	20
Tableau 6 : Résultats des comparaisons intra et inter groupes.	21

ANNEXES DU MEMOIRE

Annexe 1 : Données des bilans du patient PZ.

Annexe 2 : Conclusions des bilans du patient PZ.