



HAL
open science

Analyse des variations prosodiques chez des patients opérés en condition éveillée d'un gliome diffus de bas grade frontal et bases anatomo-fonctionnelles

Manon Charpentier

► **To cite this version:**

Manon Charpentier. Analyse des variations prosodiques chez des patients opérés en condition éveillée d'un gliome diffus de bas grade frontal et bases anatomo-fonctionnelles. Médecine humaine et pathologie. 2021. hal-03870275

HAL Id: hal-03870275

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03870275v1>

Submitted on 24 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**



**UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ DE MÉDECINE
DÉPARTEMENT D'ORTHOPHONIE**

MÉMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

par

Manon Charpentier

soutenu le : **25 juin 2021**

Analyse des variations prosodiques chez des patients opérés en condition éveillée d'un gliome diffus de bas grade frontal et bases anatomo-fonctionnelles

Mémoire dirigé par :

Mr RECH Fabien

MCU-PH en Neurochirurgie, CHRU Nancy

Mémoire co-dirigé par :

Mme KATARINA Bartkova

Phonéticienne, Enseignant-chercheur au laboratoire ATILF, Université de Lorraine

Président de jury :

Mr JONAS Jacques

MCU-PH en Neurologie, CHRU Nancy

Assesseur :

Mr ROUBLOT Pierre

Orthophoniste, CHRU Nancy

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement mon directeur de mémoire Fabien Rech et ma co-directrice de mémoire Katarina Bartkova.

Fabien, merci de m'avoir fait confiance et d'avoir cru en moi pour la réalisation de ce projet. Merci pour votre accompagnement, vos encouragements et votre bienveillance. Vous m'avez permis de confirmer mon goût pour la recherche.

Katarina, merci pour votre accompagnement tout au long de ce projet. Merci pour votre investissement sans faille, votre réactivité et vos encouragements. Merci de m'avoir rassurée à de nombreuses reprises lorsque j'étais dans le doute.

Je souhaite remercier également Pierre Roublot d'avoir accepté le poste d'assesseur au sein du jury de soutenance. Merci pour vos encouragements, vos remarques et conseils toujours très pertinents.

Merci au Dr Jacques Jonas pour l'intérêt que vous portez à notre projet et pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Maman, Papa, merci d'avoir cru en moi depuis toujours et de m'avoir soutenue sans relâche depuis toutes ces années et ce, bien avant les études d'orthophonie. Sans vos encouragements, je n'aurais probablement pas accompli tout ce chemin. Merci de m'avoir transmis, au travers de votre vie, les valeurs de persévérance et de détermination qui m'ont tant aidées. Je vous aime de tout mon cœur.

Amandine et Anaëlle, mes sœurs que j'aime si fort, merci pour votre soutien indéfectible depuis toujours et pour tous nos beaux moments de complicité. J'espère vous avoir impulsé l'envie d'aller au bout de vos rêves.

Papy et mamie, merci pour vos pensées positives, vos appels et petites attentions réconfortantes qui m'ont aidée et accompagnée depuis toujours.

Merci à mon parrain, Fabrice, pour son soutien tout au long de mes études. Tu as été le premier à qui j'ai évoqué le rêve de devenir un jour orthophoniste et le premier à m'avoir encouragé à le devenir.

Mon amour, mon binôme, merci de m'avoir tenu la main à chaque instant. Merci d'avoir cru en moi et m'avoir rassurée dans mes moments de doutes. Tu me donnes la force de donner le meilleur de moi-même dans tous les domaines de la vie. Je t'aime pour toujours.

Elisa, je suis tellement heureuse que nos chemins se soient croisés. Merci pour ton soutien inébranlable, surtout dans les derniers instants. Tu es une amie extraordinaire. Je t'aime.

Audrey et Alain, mes parents québécois, merci de m'avoir accueilli chez vous. Vous m'avez permis de vivre une expérience de recherche à Québec qui restera un moment fort et inoubliable de mes études d'orthophonie.

Ma Clem, toi qui es là depuis les années de prépa, merci pour ton aide et ton soutien toutes ces années. Bientôt nous serons deux à être diplômées !

Justine, merci pour ton soutien, tes conseils organisationnels et pour m'avoir proposé tes compétences précieuses en anglais.

Anne-Marie, ma future collègue, merci pour tes messages et vidéos de soutien. Merci de me faire confiance pour notre association.

Merci à Michel, Léa et Geoffrey pour vos encouragements et les moments détentes précieux partagés ensemble lorsque j'avais la tête sous l'eau.

Merci à la vie d'avoir mis sur ma route toutes ces personnes extraordinaires.

DECLARATION SUR L'HONNEUR

Je soussigné (e), CHARPENTIER Manon, inscrit(e) à l'Université de Lorraine, atteste que ce travail est le fruit d'une réflexion et d'un travail personnels et que toutes les sources utilisées ont été clairement indiquées. Je certifie que toutes les utilisations de textes préexistants, de formulations, d'idées, de raisonnements empruntés à un tiers sont mentionnées comme telles en indiquant clairement l'origine.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant la commission disciplinaire et les tribunaux de la République Française.

Fait à Vandoeuvre les Nancy, le 05 juin 2021

Signature

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by a series of loops and a final flourish.

SOMMAIRE

Remerciements	2
Introduction	9
Partie 1 : Ancrage théorique	11
Chapitre 1 Prosodie et troubles prosodiques	12
1 La prosodie	12
1.1 Définition	12
1.2 Selon l'approche phonétique : étude des paramètres acoustiques	12
1.2.1 La fréquence fondamentale (F0)	12
1.2.2 L'intensité	13
1.2.3 La durée	14
1.3 Selon l'approche phonologique : étude des éléments prosodiques	14
1.3.1 L'intonation	14
1.3.2 L'accentuation	15
1.3.3 Le rythme	15
1.3.4 Les pauses	15
1.3.5 Le débit	16
1.4 Fonctions remplies par la prosodie	16
1.4.1 Fonctions linguistiques et pragmatiques	16
1.4.1.1 Fonctions « délimitative » et « intégrative »	16
1.4.1.2 Fonction rythmique	17
1.4.1.3 Fonction de « mise en perspective de l'information »	17
1.4.1.4 Fonction « interactionnelle »	18
1.4.2 Fonction expressive	18
1.4.3 Fonction identificatrice	18
1.5 Bases anatomo-fonctionnelles de la prosodie	18

2	Les troubles prosodiques	20
	Chapitre 2 Gliomes diffus de bas grade et chirurgie éveillée	22
1	Les gliomes diffus de bas grade	22
1.1	Définition	22
1.2	Évolution	23
1.3	Traitement	24
2	La chirurgie en condition éveillée	24
2.1	Vers un fonctionnement cérébral en réseau	24
2.2	Cartographie fonctionnelle peropératoire	28
2.3	Évaluation cognitive : rôle de l'orthophoniste	29
	Problématique et hypothèses théoriques	31
	Partie 2 : Partie méthodologique	32
	Présentation de la population	33
1	Critères d'inclusion et d'exclusion	33
	Matériel et méthode	33
1	Création du corpus	33
2	Préparation des fichiers audio	34
3	Extraction des paramètres acoustiques	36
3.1	Traitement de la fréquence fondamentale (F0)	36
3.1.1	Valeur moyenne de F0 (Hz)	37
3.1.2	Valeur médiane de F0 (Hz)	37
3.1.3	Étendue vocale (Hz)	37
3.1.4	Pente de F0 sur un voyelle (Hz)	37
3.1.5	Niveau tonal d'une voyelle (Nt)	38
3.2	Traitement de l'énergie	38
3.2.1	Valeur moyenne de l'énergie vocalique et écart-type (dB)	38
3.2.2	Valeur médiane de l'énergie vocalique (dB)	38

3.2.3	Normalisation de la valeur de l'énergie des voyelles (dB)	39
3.3	Traitement de la durée	39
3.3.1	Débit (syll/sec)	39
3.3.2	Vitesse d'articulation (syll/sec)	39
3.3.3	Durée des voyelles et écarts-types (en secondes)	40
3.3.4	Durée des consonnes et écarts-types (en secondes)	40
3.3.5	Nombre et durée de pauses	41
4	Déconnexion des faisceaux de substance blanche et lien avec les paramètres acoustiques	41
4.1	Contourage des cavités d'exérèse	41
4.2	Création des cartes de disconnectome	42
4.3	Attribution des scores aux cartes de disconnectome	43
4.4	Relation entre les réseaux de connectivité structurelle et les paramètres acoustiques	44
	Partie 3 : Résultats	47
1	Résultats pour la durée des voyelles	49
2	Résultats pour l'étendue vocale	50
3	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales : analyse des cartes de disconnectome	51
3.1	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales communes pour la durée des voyelles et l'étendue vocale	53
3.1.1	Hémisphère gauche (G)	53
3.1.2	Hémisphère droit (D)	53
3.2	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à la durée des voyelles	54
3.2.1	Hémisphère gauche (G)	54
3.2.2	Hémisphère droit (D)	54

3.3	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à l'étendue vocale	54
3.3.1	Hémisphère gauche (G)	55
3.3.2	Hémisphère droit (D)	55
4	Résultats issus du Tractotron	56
Partie 4 : Discussion		63
1	Synthèse globale des hypothèses théoriques et interprétation des résultats	64
2	Limites de l'étude	70
3	Perspectives de recherche	71
4	Perspectives pour l'orthophonie	72
Conclusion		73
Bibliographie		76

INTRODUCTION

Les gliomes diffus de bas grade (GDBG) sont des tumeurs primitives du système nerveux central, infiltrantes et lentement évolutives, qui affectent principalement des sujets jeunes (âge moyen 35-40 ans). Du fait de ce caractère infiltrant, les GDBG se développent en régions dites « éloquentes » et impliquent notamment la fonction langagière. Le développement progressif de cette tumeur entraîne généralement une profonde réorganisation de la connectivité cortico-sous-corticale à l'origine de la plasticité cérébrale. Compte tenu de l'infiltration des zones fonctionnelles et de la plasticité cérébrale, une prise en charge chirurgicale avec réalisation d'une cartographie peropératoire en condition éveillée est nécessaire. En effet, la réalisation d'une cartographie fonctionnelle cortico-sous-corticale peropératoire a pour objectif d'équilibrer au mieux la balance onco-fonctionnelle, c'est-à-dire, maximiser l'exérèse tout en préservant les fonctions cognitives du patient (Moritz-Gasser et Duffau, 2010).

Cependant, malgré la réalisation d'une cartographie peropératoire optimale, des patients se sont plaints de troubles communicationnels postopératoires mettant en cause leurs capacités d'intonation (Lemineur, 2018). Pourtant, comme le souligne Di Cristo (2013, p. 21) « les informations prosodiques (...) se révèlent déterminantes pour l'interprétation des énoncés du discours et de la conversation ». De ce fait, il semblerait important de pouvoir anticiper les séquelles prosodiques postopératoires afin d'améliorer la qualité de vie des patients et faciliter leur prise en soins postopératoire dont l'orthophonie occupe une place centrale.

L'étude de Lemineur (2018), basée sur une analyse perceptive avec jury d'écoute, a confirmé la présence de troubles dysprosodiques postopératoires en production. De plus, cette étude a montré que les réseaux moteurs négatifs (RMN) dont les faisceaux tels que le faisceau frontal aslant (FAT) et le faisceau fronto-striatal (FST) seraient impliqués dans les troubles prosodiques identifiés (Lemineur, 2018).

Toutefois, le système de perception de l'oreille humaine met en œuvre des processus de correction et de normalisation au niveau des microvariations prosodiques provoquant alors une différence entre la réalité auditive perçue et la réalité acoustique (DiCristo, 2013). De ce fait, un jury d'écoute ne peut distinguer avec précision le(s) paramètre(s) impliqué(s) dans la perception d'un signal altéré.

C'est pourquoi, nous nous sommes demandé si la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche du lobe frontal était responsable de l'altération d'un ou plusieurs paramètres acoustiques que sont la fréquence fondamentale, l'énergie et la durée.

Pour ce faire, nous avons extrait, à partir d'enregistrements audio, les performances des patients pour les différents paramètres acoustiques (F0, énergie et durée) à l'origine des variations prosodiques et les avons associées aux données de l'imagerie.

Dans un premier temps, nous exposerons les données théoriques relatives à notre sujet d'étude, à savoir la prosodie et les troubles prosodiques ainsi que les notions de gliome de bas grade et de chirurgie en condition éveillée. Nous proposerons dans un second temps notre problématique et les hypothèses théoriques qui en découlent. Nous détaillerons ensuite la démarche méthodologique entreprise pour répondre à notre questionnement. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus avant de les discuter et d'ouvrir sur de nouvelles perspectives de recherche.

PARTIE 1 :
ANCRAGE THEORIQUE

CHAPITRE 1

PROSODIE ET TROUBLES PROSODIQUES

1 La prosodie

1.1 Définition

La prosodie est un terme musical originaire du grec ancien *προσῳδία* (*prosôidia*) qui signifie « chanson chantée en musique » ou « accompagnement chanté ». Étymologiquement, elle fait référence à la musique qui accompagne les mots (Fox, 2000). L'émergence de travaux en traitement du langage automatique, linguistique appliquée et en sciences cognitives a permis d'élargir la vision réductrice du rôle de la prosodie. En réalité, la prosodie occupe une place de choix dans la construction du sens en contexte. Elle joue ainsi un rôle fondamental dans la communication interindividuelle (Lacheret, 2011).

La prosodie est un terme difficile à définir (Vaissière, 2015). De multiples définitions différentes de la prosodie sont proposées dans la littérature et dans les dictionnaires de linguistique, selon le positionnement théorique ou le niveau d'analyse dans lequel on se situe (DiCristo, 2013). Dans le cadre de notre étude, nous retiendrons les éléments suivants :

D'un point de vue phonologique, la prosodie s'exprime au moyen des prosodèmes que sont notamment l'intonation, l'accentuation, le rythme, les pauses, le tempo etc. (DiCristo, 2013).

Sur le plan phonétique, ces différents prosodèmes résultent de la variation des paramètres acoustiques que sont la fréquence fondamentale (F0), la durée et l'intensité. Du point de vue auditif, ces paramètres correspondent respectivement à la hauteur, la longueur et au volume sonore (DiCristo, 2013).

1.2 Selon l'approche phonétique : étude des paramètres acoustiques

1.2.1 La fréquence fondamentale (F0)

D'un point de vue physiologique, la fréquence fondamentale (encore appelée F0) correspond à la fréquence de vibration des cordes vocales sur un axe temporel. D'un point de vue perceptif, la fréquence fondamentale correspond à la hauteur et est mesurée en Hertz. La

vibration des cordes vocales est à l'origine de la production des sons voisés et donc de l'existence d'harmoniques. Sur un signal périodique, les harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale qui correspond quant à elle au premier harmonique du signal.

Une estimation de la fréquence fondamentale peut être également obtenue à partir de la différence calculée entre deux harmoniques consécutifs dans le temps. On appelle « courbe mélodique », l'ensemble des valeurs de F0 sur l'axe du temps (DiCristo, 2013; Martin, 2009; Mertens, 2019).

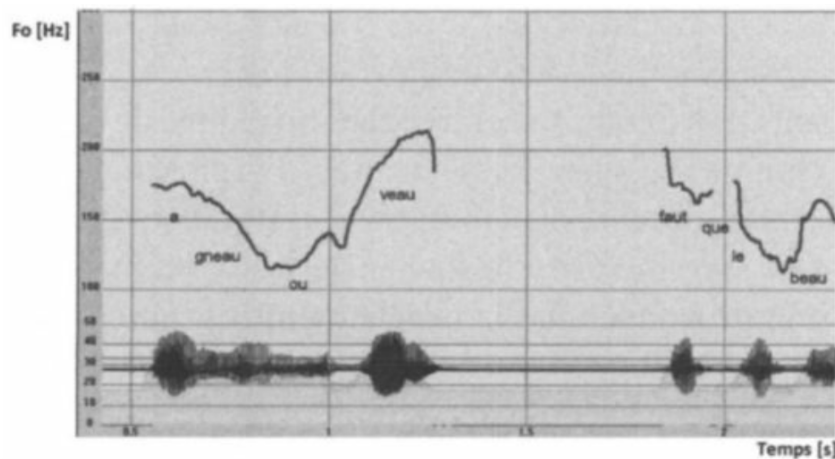


Figure 1 : exemple de courbe mélodique (Martin, 2009)

1.2.2 L'intensité

Sur le plan physiologique, l'intensité relève de la variation de la pression sous-glottique. En effet, l'augmentation de la pression sous-glottique entraîne une amplitude plus importante des vibrations des cordes vocales ce qui a pour conséquence d'élever le niveau d'intensité. (Vaissière, 2015). D'un point de vue perceptif, l'intensité correspond à la notion de volume ou de niveau sonore et est mesurée en décibels (dB). L'intensité participe à la notion d'accentuation : une augmentation de l'intensité permet de mettre en relief certaines unités par rapport à d'autres dont l'intensité serait plus faible (Mertens, 2019).

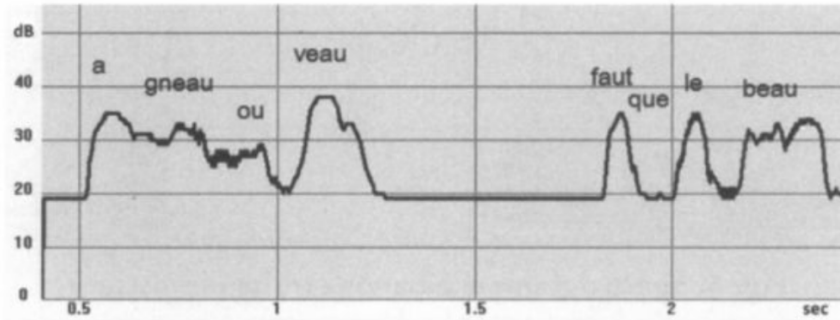


Figure 2 : exemple de courbe d'intensité (Martin, 2009)

1.2.3 La durée

Les unités linguistiques qui composent le signal de parole (phonèmes ou syllabes) mais aussi les pauses peuvent être étudiées du point de vue de leur durée. L'unité de mesure le plus couramment utilisée dans ce cas est la milliseconde (ms).

Tout comme l'intensité, le paramètre de durée participe au phénomène d'accentuation : il permet de mettre en perspective des éléments allongés en comparaison à d'autres éléments plus courts.

À partir du paramètre de durée, il est possible d'extraire les mesures du débit (nombre de syllabes par secondes en incluant les pauses) et de la vitesse d'articulation (nombre de syllabes prononcées en une seconde sans les pauses). La durée renvoie également à la notion de tempo c'est-à-dire à l'accélération ou au ralentissement du débit de parole (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

1.3 Selon l'approche phonologique : étude des éléments prosodiques

1.3.1 L'intonation

L'intonation est l'élément prosodique qui résulte de la variation de la fréquence laryngée (vibration des cordes vocales). Le terme d'intonation renvoie à la notion de mélodie. Celle-ci varie au cours du temps et peut être qualifiée de montante, plate, descendante etc. (Martin, 2018).

D'une part, l'intonation est un élément qui s'applique à l'échelle de l'énoncé et de ses constituants. Dans ce cas, elle fait référence aux patrons intonatifs encore appelés intonèmes, c'est-à-dire à l'ensemble des schémas mélodiques distinctifs d'une langue. Chaque langue dispose d'une grammaire intonative composée d'un nombre limité de ces schémas. Delattre (1996) a d'ailleurs identifié dix intonations de base en français. Cette liste n'est pas exhaustive et inclut les intonations les plus fréquemment produites en langue française (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

D'autre part, tout énoncé peut être décomposé en une suite de groupes intonatifs. Un groupe intonatif correspond à une suite de syllabes délimitée par l'accent final qui est porté par la dernière syllabe pleine du groupe (Mertens, 2019).

1.3.2 L'accentuation

Le phénomène d'accentuation s'associe à la notion de proéminence. En effet, l'accentuation permet de mettre en évidence certaines unités syllabiques sur les plans acoustique et perceptif : certaines syllabes seront perçues par le locuteur comme étant plus fortes en regard des autres. L'accentuation résulte de la variation de plusieurs paramètres acoustiques : la hauteur, l'intensité et l'allongement de la durée syllabique (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

1.3.3 Le rythme

Le rythme de la parole est constitué d'une suite organisée de temps forts et de temps faibles qui sont le résultat de l'alternance de syllabes accentuées et non-accentuées. Il est donc très lié à la notion d'accentuation. Les suites alternées de syllabes forment des groupements qui correspondent à des motifs relativement variables (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

1.3.4 Les pauses

Deux types de pauses peuvent être identifiées :

La pause silencieuse correspond à une interruption du temps phonatoire dont la durée est variable. Elle permet au locuteur de répondre à un besoin physiologique qu'est la prise inspiratoire. Cependant, cette respiration ne peut être prise à n'importe quel moment dans le discours. En effet, la pause silencieuse doit respecter une certaine cohérence sur les plans grammatical et sémantique. Ainsi, les pauses dites respiratoires sont le résultat d'un compromis entre les contraintes physiologiques et les contraintes linguistiques nécessaires à l'intelligibilité du discours (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

La pause remplie est considérée comme une dysfluente : il s'agit d'un phénomène d'hésitation qui traduit généralement la planification mentale du discours. Elle correspond au "euh" écrit, traduit phonétiquement par [œ] ou [ø]. Elle peut correspondre également à l'allongement important et exceptionnel d'une syllabe finale d'un mot (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

1.3.5 Le débit

Le débit correspond au nombre de syllabes produites par un locuteur en une seconde. Cette notion est intimement liée à celle de durée car plus la durée des unités est brève, plus le débit est rapide. Les variations de débit sont également dépendantes du tempo, c'est-à-dire des phénomènes ponctuels et brutaux d'accélération ou de ralentissement de la parole (DiCristo, 2013; Mertens, 2019).

Parallèlement au débit, la vitesse d'articulation peut être calculée. Cette dernière, en comparaison à la mesure du débit, permet de mesurer plus précisément la durée des sons et d'estimer la vitesse du mouvement des articulateurs. En effet, la vitesse d'articulation ne tient pas compte des pauses faites par le locuteur alors que le débit les prend en considération.

1.4 Fonctions remplies par la prosodie

1.4.1 Fonctions linguistiques et pragmatiques

1.4.1.1 Fonctions « délimitative » et « intégrative »

Les marques prosodiques permettent au locuteur de structurer le matériel verbal et de le mettre en forme. Cette fonction évoquée par Di Cristo (2004) rejoint la fonction syntaxique

décrite par Lacheret (2011). En effet, les variations d'intonation permettent d'informer l'interlocuteur sur la modalité syntaxique employée (affirmation, question, ordre etc.) : l'auteur parle dans ce cas d'intonosyntaxe.

Parallèlement, la segmentation intonative permet de hiérarchiser les différents constituants d'un énoncé. Prenons l'exemple suivant (Lacheret, 2011, p. 6) :

« Le petit chien mort/sera enterré »

« Le petit chien/mord la laisse »

C'est grâce à l'intonation que les composants de l'énoncés « mort » (adjectif) et « mord » (verbe) sont clairement identifiés et donc que l'ambiguïté est levée (Lacheret, 2011).

1.4.1.2 Fonction rythmique

Le message verbal se doit de respecter certaines contraintes rythmiques imposées par le principe d'eurythmie et le principe de progression.

Le principe d'eurythmie fait référence au fait que deux syllabes contigües dans la chaîne parlée ne peuvent être accentuées. Si ce principe n'est pas respecté ces syllabes seront considérées comme aposodiques (Lacheret, 2011).

Le principe de progression suggère que, d'une part, le locuteur va tendre vers l'égalité rythmique des groupes prosodiques consécutifs, soit en nombre de syllabes soit en variant sa vitesse d'articulation. D'autre part, ces groupes prosodiques ne peuvent pas être composés que d'une seule syllabe et ne peuvent aller au-delà de 7 syllabes en considérant un débit de parole moyen (Lacheret, 2011).

1.4.1.3 Fonction de « mise en perspective de l'information »

L'intonation et l'accentuation permettent d'attirer l'attention du locuteur sur une information considérée comme importante pour la compréhension du message verbal. Cette fonction est celle qui permet par exemple à un locuteur de marquer une différence entre le connu et le nouveau, entre ce qui relève du topique et du commentaire etc. (Di Cristo, 2004).

1.4.1.4 Fonction « interactionnelle »

La prosodie constitue un outil pragmatique utile lors d'échanges interpersonnels par la production de marques de négociations (Di Cristo, 2004). La variation de l'intensité joue un rôle dans la négociation du tour de parole : l'intensité monte si le locuteur souhaite prendre la parole, elle est stable s'il conserve son tour de parole et elle chute s'il l'abandonne (Morel & Danon-Boileau, 1998).

1.4.2 Fonction expressive

La prosodie nous renseigne sur l'attitude, les affects et les émotions du locuteur (Di Cristo, 2004). Certains éléments prosodiques nous permettent d'inférer les intentions d'un locuteur à notre égard (le locuteur fait-il preuve de politesse, de gentillesse, d'hésitation etc.) (Mertens, 2019). Les phénomènes d'intonation et d'accentuation donnent des indices quant à l'état émotif du locuteur. Léon (1993) a d'ailleurs identifié les marqueurs acoustiques relatifs aux différentes émotions (Lacheret, 2011).

1.4.3 Fonction identificatrice

Certaines caractéristiques prosodiques permettent de différencier les individus selon leur origine géographique et sociale, leur âge, leur sexe et leur profession ou encore selon le style de discours employé (Di Cristo, 2004; Mertens, 2019).

1.5 Bases anatomo-fonctionnelles de la prosodie

Jusqu'alors, très peu d'études se sont intéressées aux substrats anatomo-fonctionnels de la prosodie. Parmi les travaux existants, la majorité s'intéresse uniquement à la prosodie sous l'angle perceptif et non sous le versant de la production.

Si pendant longtemps, la gestion de la prosodie a été attribuée à l'hémisphère droit (notion de latéralisation hémisphérique), cette hypothèse est aujourd'hui très controversée (Lemineur,

2018; Louis, 2003; Ross & Monnot, 2008). En effet, le fonctionnement cérébral n'est plus envisagé selon une vision localisationniste (une fonction attribuée à une zone cérébrale) mais selon une approche connexionniste considérant des aires corticales interconnectées par des réseaux sous-corticaux.

D'après l'approche connexionniste actuelle, les bases anatomo-fonctionnelles du langage reposent sur un modèle à double voie (Hickok, 2009) :

- La voie ventrale (voie du « quoi ? ») encore appelée voie lexico-sémantique. Cette voie constitue une interface entre les représentations phonologiques des mots et leur représentation conceptuelle. Elle est donc impliquée dans la compréhension de la parole. Cette voie s'organise de façon bilatérale et connecte les aires associatives temporales à la jonction pariéto-temporo-occipitale, en regard du gyrus angulaire. Cette voie est sous-tendue par le faisceau fronto-occipital inférieur (IFOF) qui constitue une voie directe qui ne peut être compensée. Cependant, une voie indirecte compensable existe : elle est composée du faisceau longitudinal inférieur (ILF) et du faisceau unciné (UF).

- La voie dorsale (voie du « où ? ») encore appelée voie phono-articulatoire. Celle-ci constitue une interface entre les représentations phonologiques (signal de parole) et les représentations motrices (représentations articulatoires). Cette voie implique les structures de la jonction pariéto-temporale et se projette au niveau des aires frontales motrices et pré-motrices. Elle est sous-tendue par le faisceau longitudinal supérieur (SLF).

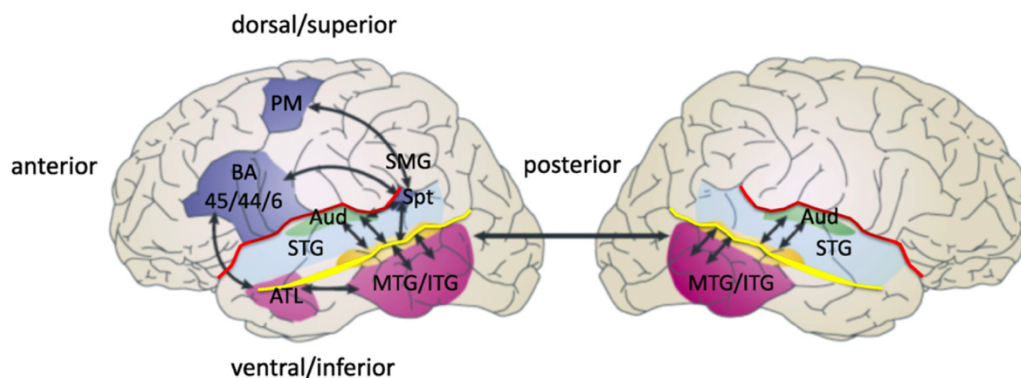


Figure 3 : représentation schématique des bases anatomo-fonctionnelles du langage (Hickok, 2009)

Cependant, cette conception du fonctionnement langagier est incomplète car elle exclut une composante importante du langage qu'est la prosodie de la parole (Sammler et al., 2018).

Le manque de données de la littérature sur les substrats anatomo-fonctionnels de la prosodie sur le versant expressif a conduit Lemineur (2018) à s'y intéresser particulièrement. Un jury d'écoute a mis en évidence des troubles prosodiques importants trois jours après l'opération d'un GDBG. En effet, les patients présentaient tous des dysfluences caractérisées notamment par des palilalies, des ruptures de fluence, des hésitations, des pauses non appropriées etc. (Lemineur, 2018).

L'analyse des corrélations entre les résultats du jury d'écoute et les données de l'imagerie a montré une probable déconnexion de certains faisceaux de substance blanche qui seraient tous impliqués dans l'utilisation de la parole (Lemineur, 2018) :

- Le FAT (gauche et/ou droit) déconnecté chez 5/5 patients. Le FAT serait impliqué dans le contrôle et la programmation de la parole (Kinoshita et al., 2015) et dans la fluence de la parole (Bizzi et al., 2012).

- Le SLF (gauche et/ou droit) chez 5/5 patients. Les différents faisceaux d'association qui composent le SLF sont liés à la coordination et la planification d'un acte moteur (SLF I) (Bykanov et al., 2017), la coordination spatiale des membres et la mémoire de travail (SLF II) (Bykanov et al., 2017), à l'articulation de la parole (SLF III) (Bykanov et al., 2017), et à la mémoire de travail auditivo-verbale (FLS IV) (Salvan et al., 2017).

- Le FST (gauche et/ou droit) pour 4 patients sur 5. Le FST semble lié à l'initiation et la préparation du mouvement de la parole (Duffau et al., 2002; Naeser et al., 1989).

- L'IFOF gauche chez 2 patients sur 5. Une déconnexion de l'IFOF peut provoquer des anomies et des paraphasies sémantiques. Ce faisceau pourrait être impliqué dans le traitement de la prosodie (Libra, 2015).

2 Les troubles prosodiques

Le terme de « dysprosodie » a été employé pour la première fois par le neurologue Monrad-Krohn pour expliquer les difficultés d'une patiente à produire les tons distinctifs de son dialecte norvégien tandis que ses capacités musicales étaient préservées. Il est alors le premier neurologue à s'intéresser aux dysfonctionnements de la prosodie (Louis, 2003).

La dysprosodie peut être définie comme toute atteinte d'un ou plusieurs paramètres acoustiques qui sous-tendent la prosodie. La fréquence fondamentale (F0) et l'intensité sont les

plus souvent atteints mais la durée peut également être affectée. Certaines définitions considèrent des atteintes plus étendues, considérant des dysfonctionnements de la mélodie, de la hauteur, de l'intensité, du débit et du timbre (Dabouis, 2014).

La dysprosodie peut également être caractérisée comme une monotonie et une tendance à la syllabation (De Partz & Pillon, 2014).

Di Cristo (2013) ajoute que la fréquence des pauses et leur répartition au sein de l'énoncé peuvent signer une pathologie d'origine neurologique telle que la maladie de Parkinson ou une lésion cérébrale.

Dans l'exemple suivant la dysprosodie est la conséquence, d'une part, d'une discordance entre les éléments syntaxiques et les marques prosodiques : l'élément syntaxique « le garçon » (qui correspond ici à un constituant syntaxique mineur) est pourtant marqué par une frontière prosodique majeure. Autre élément discordant, le syntagme nominal sujet est accompagné d'un contour mélodique plat. D'autre part, une pause non attendue est produite juste après le verbe « admirent » (Lacheret, 2011).

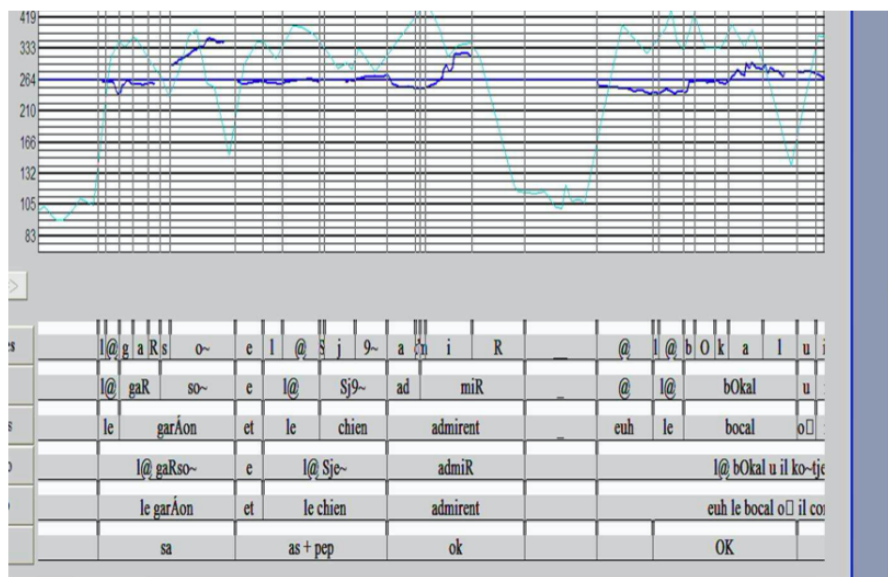


Figure 4 : exemple de dysprosodie résultant d'un mauvais appariement intonosyntaxique (Lacheret, 2011)

CHAPITRE 2

GLIOMES DIFFUS DE BAS GRADE ET CHIRURGIE EVEILLEE

1 Les gliomes diffus de bas grade

1.1 Définition

Les gliomes constituent le type de tumeurs primitives du système nerveux central (SNC) le plus fréquemment rencontrés (Ostrom et al., 2020). Ces tumeurs se développent aux dépens des cellules gliales qui assurent un rôle de soutien, de protection et de nutrition des neurones.

Jusqu'en 2007, la classification des tumeurs cérébrales publiée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) reposait sur un diagnostic morphologique combinant deux critères : le type histologique (oligodendrogliome, astrocytome, oligoastrocytome, glioblastome) et le degré de différenciation de la tumeur (grades tumoraux allant de I à IV du plus bénin au plus malin).

Les gliomes de grade II (OMS 2007) ou gliomes diffus de bas grade (GDBG) touchent majoritairement les sujets jeunes et sont caractérisés par une croissance lente, des frontières peu précises et un caractère hautement infiltrant (Moritz-Gasser & Duffau, 2010)

Grâce à l'essor de la recherche en biologie moléculaire et dans le but d'améliorer la prise en soins des patients atteints de tumeurs cérébrales, l'OMS publie en 2016 une nouvelle classification des tumeurs du SNC. Les entités tumorales y sont regroupées du point de vue de leur pronostic d'évolution et de réponse au traitement (D. N. Louis et al., 2016).

Dans cette nouvelle classification, les GDBG sont référencés sous l'appellation « tumeurs diffuses astrocytaires et oligodendrogiales ». Aux critères d'histogénèse et de différenciation s'ajoutent désormais des paramètres de biologie moléculaire. Deux types d'altération génétique d'apparition précoce et fréquente ont été identifiés chez les gliomes de grade II : la codélétion 1p19q et la mutation du gène IDH (Darlix, 2016). La nouvelle méthodologie diagnostique dite « intégrée » repose dorénavant sur le repérage de ces altérations génétiques. En effet, il a été montré que les paramètres moléculaires sont davantage corrélés à l'évolution de la tumeur que les éléments d'histologie (Brouland & F.Hottinger, 2017).

Classification OMS 2007		Classification OMS 2016
Gliomes diffus de bas grade ou gliomes de grade II	Astrocytome diffus	Astrocytome diffus, IDH-muté Astrocytome gémistocytique, IDH-muté
		Astrocytome diffus, IDH-non muté
		Astrocytome diffus, NOS
	Oligodendrogliome	Oligodendrogliome, IDH-muté et codélétion 1p-19q
		Oligodendrogliome, NOS
	Oligoastrocytome	Oligoastrocytome, NOS

Tableau 1 : classification des gliomes diffus de bas grade selon l'OMS 2007 et 2016

1.2 Évolution

Au stade de bas-grade, les GDBG se développent à un rythme linéaire (4mm par an environ) et continu sur plusieurs années. Du fait de leur croissance lente, des réorganisations neuronales importantes ont lieu sous l'effet de la plasticité cérébrale.

La plasticité cérébrale constitue un processus de remodelage continu (à court, moyen et long terme) des réseaux cortico-sous-corticaux dans le but d'optimiser le fonctionnement du cerveau. Si la neuroplasticité opère tout au long de la vie (« plasticité naturelle »), elle est également à l'œuvre suite à une atteinte du système cerveau central ou périphérique (« plasticité post-lésionnelle »). C'est pourquoi les patients porteurs d'un GDBG ne présentent généralement aucun déficit (ou des déficits très discrets) sur le plan cognitif (Desmurget et al., 2006; Duffau, 2006).

Ainsi, l'identification du GDBG se fait généralement suite à une crise d'épilepsie, bien que les découvertes fortuites soient de plus en plus fréquentes (Duffau, 2019; Mandonnet et al., 2003). Les GDBG se situent le plus souvent en zones cortico-sous-corticales dites « éloquentes » et plus précisément dans les régions de l'aire motrice supplémentaire (AMS) et insulaires (Duffau & Capelle, 2004).

En l'absence de traitement, les GDBG évoluent inexorablement vers une forme maligne de haut grade (grade III et IV OMS) conduisant à terme au décès du patient (Duffau, 2019).

1.3 Traitement

Du fait de son caractère infiltrant et de la plasticité cérébrale, le premier traitement indiqué dans le cadre d'un GDBG est la chirurgie en condition éveillée (Duffau, 2019). Ce traitement permet de maximiser l'exérèse (même en zone dite « éloquente ») sans induire de séquelles fonctionnelles. Ainsi, cette technique permet ainsi prolonger l'espérance de vie du patient mais aussi de préserver voire d'améliorer sa qualité de vie dans 98% des cas (Duffau, 2009).

2 La chirurgie en condition éveillée

2.1 Vers un fonctionnement cérébral en réseau

Au début du XIX^{ème} siècle, le fonctionnement cérébral est envisagé selon la théorie de la phrénologie. Cette approche, introduite par Franz Joseph Gall (1758-1828), consiste à faire correspondre des zones cérébrales spécifiques, localisées selon la structure osseuse du crâne, à des fonctions mentales et affectives données (Duffau, 2016a).

La conception localisationniste du fonctionnement cérébral émerge ensuite avec les travaux de Paul Broca (1824-1880). À partir de l'observation des lésions cérébrales du célèbre patient Leborgne (surnommé « Tan » à cause de sa stéréotypie verbale), Broca identifie la troisième circonvolution du lobe frontal de l'hémisphère gauche comme étant l'aire de la production de la parole. C'est ainsi qu'en 1861, cette zone cérébrale prend le nom d'« aire de Broca » (Duffau, 2016a).

Carl Wernicke (1848-1905), identifie quant à lui l'aire associée à la compréhension du langage correspondant à la partie postérieure de la première circonvolution temporelle. Cette zone corticale est alors baptisée « aire de Wernicke ». Wernicke fait également la découverte du faisceau arqué : un faisceau de substance blanche qui connecterait l'aire de Broca et l'aire de Wernicke (Duffau, 2016; Moritz-Gasser, 2012). Ces travaux marquent l'émergence du courant associationniste c'est-à-dire la considération de différents centres spécialisés et reliés entre eux.

Lichtheim (1845-1928) propose en 1885 le premier modèle du traitement cérébral du langage. D'après lui, il existerait un centre auditif, un centre moteur et un système dit « supérieur » correspondant au système sémantique conceptuel. Ces trois systèmes seraient

connectés entre eux par des voies associatives : une lésion d'une voie associative pourrait alors provoquer les symptômes d'une aphasie par la rupture occasionnée avec les autres systèmes (Moritz-Gasser, 2012).

Les études de Norman Geschwind (1926-1984) marquent un tournant dans les considérations sur le fonctionnement cérébral et serviront de base aux considérations connexionnistes ultérieures. En combinant les travaux fondateurs localisationnistes et associacionnistes, ses dissections post-mortem ainsi que ses études sur le cerveau du singe, Geschwind élabore en 1965 un modèle sériel hiérarchisé qu'il intitule le modèle de Geschwind-Wernicke. Selon ce modèle, le langage est le fruit de la communication entre zones associatives interconnectées. Geschwind décrit alors différents syndromes de déconnection en lien avec une lésion des faisceaux d'association et/ou la lésion d'un épicode associatif. Ce modèle est repris par Mesulam en 1994 qui en propose une alternative et suggère quant à lui un fonctionnement cérébral en réseaux parallèles et distribués (Catani & ffytche, 2005).

C'est cependant grâce à l'essor de nouvelles techniques d'exploration du cerveau dans les années 90, que les considérations sur le fonctionnement cérébral ont pu considérablement évoluer et s'affiner. L'activité corticale peut dorénavant être étudiée à l'aide des techniques de neuroimagerie telles que la Tomographie par Émissions de Positons (PET-scan), l'IRM fonctionnelle (IRMf) ou encore grâce à l'électrophysiologie (Catani & ffytche, 2005; Sylvie Moritz-Gasser, 2012). Au niveau sous-cortical, le tenseur de diffusion et la tractographie permettent la visualisation et l'identification des faisceaux de substance blanche (Moritz-Gasser, 2012).

À la lumière des nouvelles techniques de neuroimagerie et d'électrophysiologie, Catani et Ffytche (2005) reprennent et mettent à jour le modèle de Geschwind alors ancien de 40 ans :

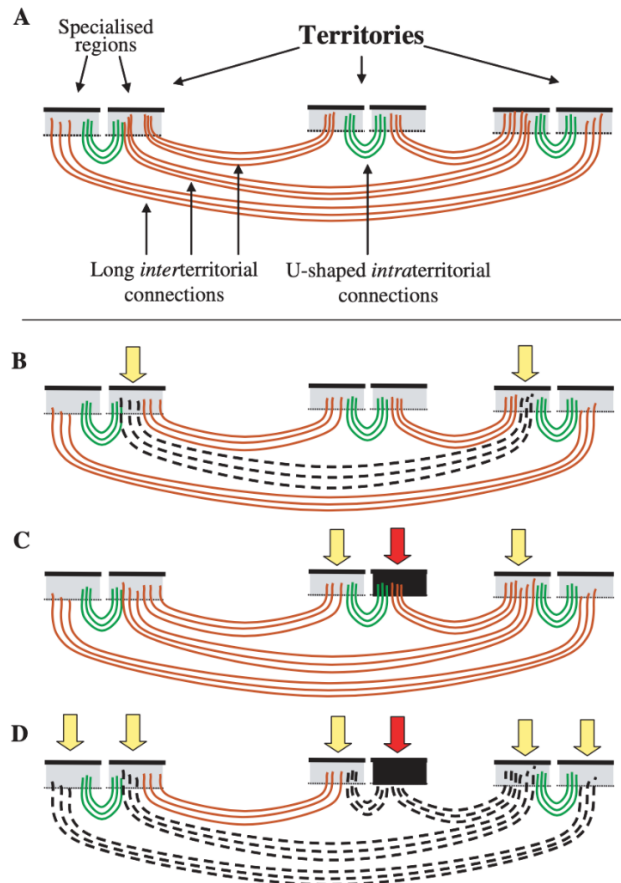


Figure 5 : modèle hodotopique des corrélations anatomo-fonctionnelles (Catani & ffytche, 2005).

Ils montrent que le fonctionnement cérébral repose sur l'existence de centres corticaux interconnectés par des voies d'associations sous-corticales (A) et qualifient ce fonctionnement d'« hodotopique » (du grec *hodos* qui signifie « chemin » et *topos* qui signifie « localisation ») (Catani & ffytche, 2005).

Ainsi, la lésion d'un centre cortical provoquera l'altération du fonctionnement d'autres centres corticaux du fait de l'existence de voies associatives sous-jacentes (C). La lésion d'un faisceau d'association, provoquera quant à elle une atteinte de tous les centres corticaux connectés par le biais celui-ci (B). Enfin, une lésion corticale et de son réseau fonctionnel sous-jacent provoquera à la fois l'atteinte du centre cortical touché mais aussi de tous les centres corticaux interconnectés via ce réseau fonctionnel sous-cortical (D) (Catani & ffytche, 2005).

Ce modèle explique donc non seulement le mécanisme de plasticité cérébrale mais aussi son potentiel par la possibilité de compenser une lésion corticale en recrutant d'autres circuits à distance.

Parmi les nouvelles techniques émergentes évoquées plus haut, celle de la chirurgie éveillée associée aux stimulations électriques directe (SED) a permis une révolution dans la conception du fonctionnement cérébral (cette technique sera détaillée dans la partie 2.2). Cette technique présente l'avantage de fournir des informations sur l'organisation fonctionnelle cérébrale d'un individu en temps réel. Elle constitue alors le « gold standard » pour établir des corrélations anatomo-fonctionnelles fiables (Duffau, 2005). En appliquant ces stimulations électriques directes au cortex mais aussi aux faisceaux de substance blanche, un modèle du langage basé sur la vision hodotopique du cerveau (Duffau et al., 2014).

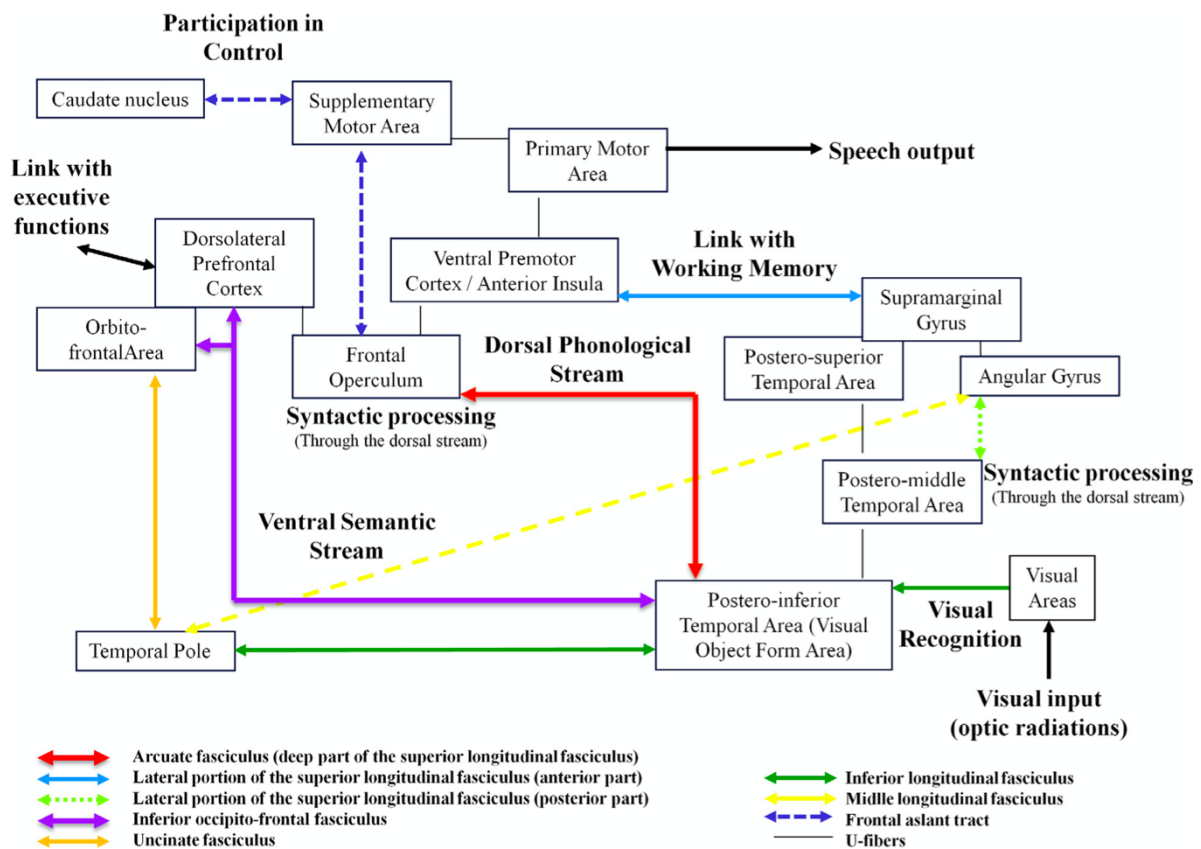


Figure 6 : modèle hodotopique du langage à partir de corrélations anatomo-fonctionnelles identifiées par SED (Duffau et al., 2014).

D'une part, ce modèle explique la récupération post-lésionnelle grâce au mécanisme de compensation à l'origine de la neuroplasticité (Duffau et al., 2014). Il apporte ainsi des perspectives d'avenir aux patients porteurs d'un GDBG. En effet, en épargnant les voies sous-corticales qui permettent la communication entre les différentes régions du cortex, la fonction langagière pourra être préservée malgré l'atteinte d'un ou plusieurs épïcêtres corticaux (Duffau et al., 2014).

D'autre part, l'application de SED en condition éveillée donne à ce modèle l'intérêt de considérer à la fois les structures corticales et sous-corticales, par l'élaboration d'une cartographie anatomo-fonctionnelle cérébrale fiable (Duffau et al., 2014).

2.2 Cartographie fonctionnelle peropératoire

La nécessité de cartographier le cerveau en condition éveillée est apparue pendant la Première Guerre Mondiale pour les patients atteints de lésions cérébrales par balles. La technique de chirurgie éveillée élaborée par Otfried Foerster (1857-1941), en collaboration avec Carl Wernicke a ensuite été largement développée par Wilder Penfield (1891-1976) dans le cadre de la chirurgie de l'épilepsie (Duffau, 2016a). Cette méthode permet d'exciser certaines parties du cerveau tout en préservant les fonctions du patient.

Afin d'identifier les zones cérébrales fonctionnelles, Penfield propose de maintenir le patient en éveil tout en stimulant certaines zones du cortex. Les réponses données par le patient aux stimulations par SED guideront le chirurgien dans l'élaboration de la cartographie fonctionnelle de son cerveau. C'est ainsi que Penfield établit la cartographie des aires corticales et motrices du cortex cérébral appelée l'homunculus. George Ojemann reprend dix ans plus tard les travaux de Penfield et développe avec davantage de précisions l'outil qui deviendra incontournable pour l'élaboration de la cartographie fonctionnelle cérébrale : les stimulations électriques directes (SED) (Duffau, 2016; Moritz-Gasser, 2012)

La stimulation appliquée à l'aide d'une électrode bipolaire provoque l'effet d'une lésion virtuelle transitoire d'une durée de quelques secondes au niveau de la zone stimulée et du réseau fonctionnel auquel elle appartient. Cette technique permet ainsi d'établir une corrélation entre le signe clinique observé et la zone cérébrale stimulée. Pour que les corrélations anatomo-fonctionnelles soient considérées comme fiables, le neurochirurgien stimule à trois reprises la zone corticale, afin de s'assurer que le signe clinique est bien dû à la SED et non à d'autres facteurs (fatigue, douleur, inconfort etc.) (Mitchel S. et al., 1990; Moritz-Gasser, 2012).

En 1996, le professeur Hugues Duffau s'inspire du protocole créé par Ojemann et l'adapte à la chirurgie des GDBG. Il prévoit ainsi de stimuler non seulement les structures corticales mais aussi les réseaux sous-corticaux afin de comprendre le fonctionnement cérébral à l'échelle individuelle et sa réorganisation potentielle du fait de l'infiltration du gliome (Duffau, 2016a).

L'étude des faisceaux de substance blanche par SED a d'ailleurs permis à Ius et ses collaborateurs d'élaborer une carte probabiliste des structures corticales et sous-corticales potentiellement résécables. Ils ont ainsi mis en évidence l'existence « cerveau minimal commun » malgré l'existence d'une grande variabilité interindividuelle (cf. annexe 1) (Ius et al., 2011).

Les intérêts de cet atlas sont multiples : il prend en compte les potentiels et les limites de la plasticité cérébrale mais aussi l'existence des variabilité interindividuelles dans la résection d'un GDBG pour équilibrer au mieux la balance onco-fonctionnelle (Ius et al., 2011).

Le concept de balance onco-fonctionnelle consiste à réséquer un maximum de tumeur tout en préservant les fonctions sensorimotrices et cognitives de l'individu. Pour ce faire, il faut tenir compte des besoins personnels et professionnels de l'individu afin de préserver voire améliorer sa qualité de vie. Afin d'équilibrer au mieux cette balance onco-fonctionnelle, il est à la fois important de connaître les besoins du patient mais aussi d'être au plus près de ses performances. Pour cela, l'orthophoniste et/ou le neuropsychologue proposent des évaluations standardisées avant, pendant et après l'opération.

2.3 Évaluation cognitive : rôle de l'orthophoniste

L'orthophoniste propose une première évaluation du langage avant l'opération. Celle-ci a pour objectif de mesurer l'impact de la tumeur sur les fonctions cognitives du patient : le patient présente-t-il des déficits (quoique discrets) sur le plan cognitif ou au contraire, les réseaux cortico-sous-corticaux ont-ils suffisamment compensé l'infiltration de la tumeur pour qu'aucun déficit ne soit identifiable ? (Moritz-Gasser, 2012).

Une évaluation « standard » du langage est alors proposée au patient. Les épreuves choisies par l'orthophoniste évaluent l'architecture du langage dans son ensemble (au niveaux phonémique, lexical, sémantique, syntaxique) et ce, dans les versants oral et écrit. Des épreuves complémentaires peuvent être ajoutées en fonction de la localisation de l'atteinte (Moritz-Gasser, 2012).

La séance orthophonique préopératoire est également l'occasion de répondre aux interrogations du patient sur la chirurgie et de l'informer sur les troubles transitoires provoqués par SED (Moritz-Gasser & Duffau, 2010).

L'orthophoniste intervient également pendant la période peropératoire pendant laquelle, il évalue le fonctionnement cognitif du patient pendant toute la durée de l'intervention chirurgicale. Il rend compte des réactions du patient au neurochirurgien en temps réel et de façon objective. En effet, l'orthophoniste n'a pas connaissance des zones cérébrales stimulées par SED. Quand l'orthophoniste signale une erreur au chirurgien, ce dernier vérifie sa reproductibilité en stimulant 3 fois le même site. La reproductibilité de l'erreur indique que les limites fonctionnelles ont été atteintes et donc que l'exérèse ne peut être poursuivie. L'orthophoniste, qui est aux côtés du patient tout au long de l'intervention chirurgicale a également pour rôle de le rassurer et le motiver (Moritz-Gasser, 2012).

Enfin, l'orthophoniste évalue le fonctionnement cognitif du patient pendant la période postopératoire immédiate (3 à 5 jours après l'opération) à l'aide du même protocole utilisé qu'en période préopératoire. Des troubles cognitifs relativement importants mais transitoires sont retrouvés pendant cette période. Ceux-ci sont dus d'une part à l'œdème postopératoire et d'autre part aux mécanismes de plasticité cérébrale provoqués par la chirurgie (Moritz-Gasser, 2012).

Si les degrés d'atteinte postopératoire sont très variables d'un patient à l'autre, les patients présenteront tous un fonctionnement cérébral ralenti et coûteux (fatigabilité) avec une atteinte des processus mnésique et attentionnel. Afin de maximiser le potentiel de récupération, une prise en soins orthophonique en libéral est ensuite indispensable. (Moritz-Gasser, 2012).

À la sortie de l'hôpital, un suivi longitudinal est proposé au patient. Il est revu par l'orthophoniste du service entre 3 et 6 mois après l'opération afin de contrôler la récupération fonctionnelle. Des contrôles du fonctionnement cognitif et de la qualité de vie ont ensuite lieu une fois par an (Moritz-Gasser, 2012).

PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES THEORIQUES

Comme expliqué précédemment dans la partie théorique, les GDBG sont des tumeurs cérébrales infiltrantes et lentement évolutives du SNC qui nécessitent une intervention chirurgicale en condition éveillée avec la réalisation d'une cartographie cérébrale peropératoire. Cette cartographie cortico-sous-corticale a pour but d'équilibrer au mieux la balance onco-fonctionnelle, c'est-à-dire maximiser l'exérèse tout en préservant les fonctions cognitives du patient. Toutefois, malgré la réalisation de cette cartographie peropératoire, certains patients se sont plaints de troubles communicationnels postopératoires mettant en cause leurs capacités d'intonation. Nous avons pourtant vu précédemment que les informations prosodiques sont déterminantes pour l'interprétation des énoncés. Il paraît donc important de pouvoir anticiper les séquelles prosodiques postopératoires et de fait, faciliter la prise en soins postopératoire pluridisciplinaire dans laquelle l'orthophonie joue un rôle central. **C'est pourquoi, nous nous sommes demandé si la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche du lobe frontal était responsable de l'altération d'un ou plusieurs paramètres acoustiques que sont la fréquence fondamentale, l'énergie et la durée.**

Hypothèse théorique 1 (HT1) :

Les performances des patients pour un ou plusieurs paramètre(s) acoustique(s) est/sont altéré(s) trois mois après l'opération d'un gliome diffus de bas grade frontal.

Hypothèse théorique 2 (HT2) :

L'altération des performances pour un ou plusieurs paramètre(s) acoustique(s) est corrélée à la déconnexion de faisceaux de substance blanche tels que le FAT et le FST faisant partie des réseaux moteurs négatifs et/ou d'autres faisceaux de substance blanche présents dans le lobe frontal tels que le faisceau fronto-occipital inférieur (IFOF), le faisceau longitudinal supérieur (SLF I à III) ou le faisceau arqué (AF).

PARTIE 2 :
PARTIE METHODOLOGIQUE

PRESENTATION DE LA POPULATION

1 Critères d'inclusion et d'exclusion

La présente étude inclut des patients adultes traités pour un gliome de diffus de bas grade frontal au CHRU de Nancy entre 2017 et 2019 par le Dr Fabien RECH.

Tous les patients ont été opérés en condition éveillée avec la réalisation d'une cartographie fonctionnelle peropératoire du cerveau à l'aide de stimulations électriques directes (SED).

Tous les patients ont connu une évaluation de leurs compétences prosodiques en période préopératoire et trois mois après l'opération (M3).

Tous les patients ont consenti à l'extraction des données cliniques issues de leurs dossiers médicaux.

MATERIEL ET METHODE

1 Création du corpus

Notre corpus s'appuie sur des épreuves issues du Protocole Montréal d'Évaluation de la Communication (MEC) créé par Joannette Yves, Ska Bernadette et Hélène Côté.

Le protocole MEC a été choisi car il propose des épreuves de prosodie linguistique et de prosodie émotionnelle. Il offre ainsi la possibilité d'obtenir une vision globale des compétences prosodiques des patients.

La première épreuve consiste en la répétition des patterns prosodiques linguistiques les plus courants. Il s'agit de répéter douze phrases de la même façon que la voix enregistrée issue du protocole. Quatre phrases différentes, construites sur le modèle canonique sujet-verbe-complément (ex : « Marie va travailler ») sont proposées dans un ordre pseudo-aléatoire avec trois patterns intonatifs pour chacune : question, affirmation, ordre. Au total, il y a donc douze phrases à répéter (cf. annexe 2).

La deuxième épreuve consiste en la répétition de prosodie émotionnelle. Quatre phrases différentes, construites sur le modèle canonique sujet-verbe-complément (ex : « Jacques va

sortir »), sont proposées dans un ordre pseudo-aléatoire. Chacune des phrases est à produire avec trois intonations manifestant une émotion différente : joie, tristesse et colère. Au total, douze phrases sont à répéter (cf. annexe 2).

La dernière est une épreuve de production libre de prosodie émotionnelle. Trois phrases différentes sont proposées au patient en modalité écrite. Chacune des phrases est proposée d'abord avec l'évocation d'un contexte de joie, de tristesse et de colère. Le patient produit ensuite oralement la phrase écrite avec l'intonation qui correspond à l'émotion que la situation évoque. Au total, neuf phrases sont à produire (cf. annexe 2).

Ces trois épreuves ont été proposées aux patients avant l'opération (préopératoire) et trois mois après l'opération (M3).

2 Préparation des fichiers audio

Une fois le recueil des fichiers audio effectué, le corpus a dû être préparé en vue de l'extraction des paramètres acoustiques.

Toutes les étapes décrites ci-dessous ont été reproduites pour tous les patients de l'étude, à tous les temps (préopératoire et M3) et pour toutes les épreuves (répétition linguistique, répétition émotionnelle et production émotionnelle).

Premièrement, il s'agissait de segmenter le signal de parole (fichier .wav) en phrases et de transcrire orthographiquement le signal de parole. Cette étape a été réalisée à l'aide du logiciel Transcriber, qui est un outil permettant d'annoter et transcrire des signaux vocaux et d'aligner la transcription avec le signal sonore. Une fois ce travail réalisé, Transcriber crée un fichier .trs contenant l'alignement de la transcription avec le fichier audio.



Figure 7 : exemple de segmentation en phrases et de transcription orthographique du signal de parole avec Transcriber

Ensuite, à l'aide de l'application ASTALI créée par le Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (Loria), un alignement forcé automatique a été effectué. L'alignement forcé est une technique qui permet de segmenter en phonèmes et en mots le signal sonore. Ainsi, en fournissant à ASTALI le fichier audio (.wav) et son fichier transcrit correspondant (.trs), l'application segmente le fichier audio en mots et phonèmes. À l'issue de ce travail, ASTALI fournit un fichier .textgrid dans lequel le signal de parole est désormais découpé mots et phonèmes. Ce dernier peut être ensuite ouvert et visualisé en utilisant le logiciel Praat, qui est un outil permettant la manipulation, le traitement, et la synthèse de signaux vocaux.

Puis, Praat a été utilisé pour visualiser, vérifier et corriger si besoin la segmentation automatique réalisée par ASTALI (omissions de certaines pauses ou de certains phonèmes par exemple). Finalement, un tier supplémentaire a été ajouté afin de qualifier le type de phrase produite (affirmation, question, ordre/colère, joie, tristesse).

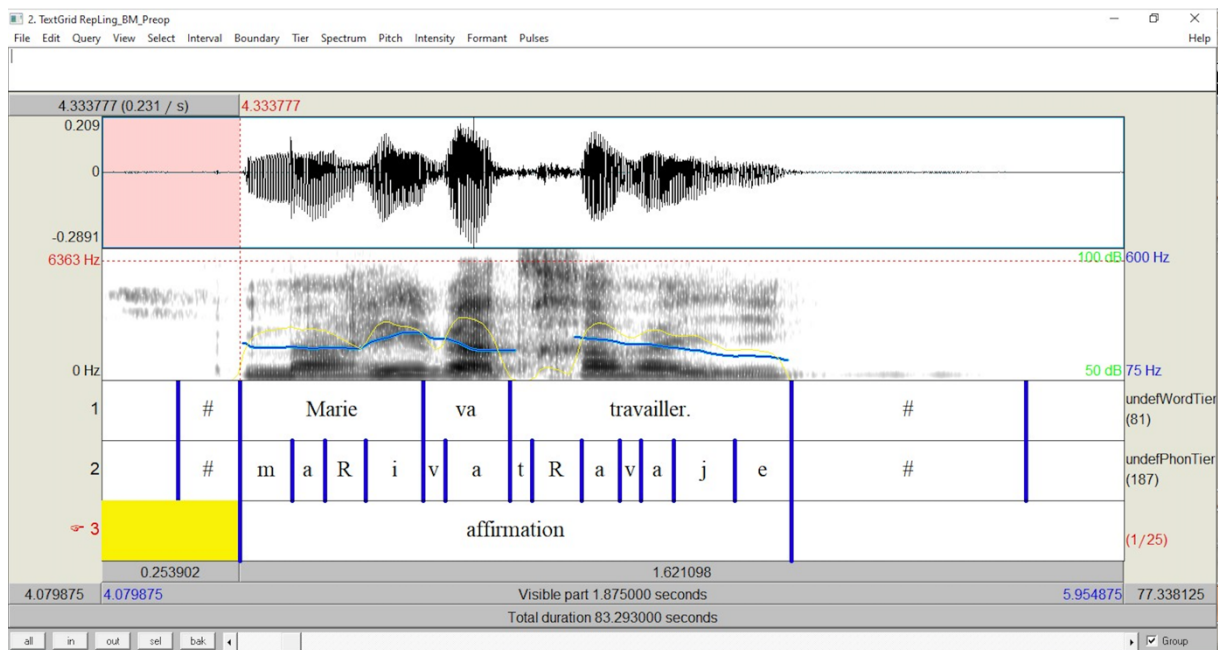


Figure 8 : exemple de visualisation avec Praat d'un fichier audio transcrit et aligné

Enfin, l'ensemble des fichiers a été découpé automatiquement en phrases individuelles. L'ensemble de ces phrases découpées constitue notre base de données.

3 Extraction des paramètres acoustiques

À partir de notre base de données, tous les paramètres acoustiques (fréquence fondamentale, énergie et durée) ont été calculés par patient, par temps (préopérateur et M3) par épreuve (répétition linguistique, répétition émotionnelle et production émotionnelle) et par style de phrase (affirmation, question, ordre/colère, joie, tristesse).

3.1 Traitement de la fréquence fondamentale (F0)

Les calculs de la fréquence fondamentale ont été effectués par trame de 10 ms du signal sonore sur une fenêtre d'analyse de 20 ms. Seules les valeurs des voyelles ont été conservées afin d'éliminer d'éventuelles mauvaises estimations fréquentes sur les consonnes.

3.1.1 Valeur moyenne de F0 (Hz)

La valeur moyenne de F0 des voyelles a été calculée en divisant la somme de toutes les valeurs de F0 des trames vocaliques par le nombre de trames vocaliques.

3.1.2 Valeur médiane de F0 (Hz)

Le calcul de la valeur médiane a été effectué à partir de toutes les valeurs de F0 des trames vocaliques. La médiane est la valeur qui partage la série de valeurs de F0 en deux ensembles de même effectif.

3.1.3 Étendue vocale (Hz)

L'étendue vocale a été calculée à partir de toutes les valeurs de F0 des trames vocaliques. L'étendue vocale correspond à la valeur maximale de F0 soustraite à la valeur minimale de F0. 1% des valeurs de chaque extrême a été abandonné afin d'éliminer des valeurs qui seraient mal estimées.

3.1.4 Pente de F0 sur un voyelle (Hz)

Pour chaque voyelle, la valeur de F0 de la fin de la voyelle est soustraite à la valeur de F0 du début de la voyelle.

Les pentes ont été regroupées par patient, temps, épreuve et style de phrase. Un pas de 10 Hz a été choisi pour l'histogramme de la distribution des pentes car cet écart garantissait que la pente (la variation de F0) était perceptible.

3.1.5 Niveau tonal d'une voyelle (Nt)

Il s'agit de situer la valeur moyenne de F0 de chaque voyelle sur une échelle tonale. Autrement dit, on associe un niveau tonal à la valeur moyenne de F0 de la voyelle.

L'échelle tonale a été calculée de la manière suivante :

On considère comme valeur de référence, la valeur de l'étendue vocale en période préopératoire du même locuteur. Cette valeur est divisée en 5, ce qui correspond à 5 niveaux tonals. La distance fréquentielle entre deux niveaux tonals est au minimum de 20 Hz (distance tonale supposée perceptible). Toutefois, une valeur tonale peut sortir de l'échelle : elle peut avoir une valeur inférieure ou supérieure aux valeurs couvertes par l'étendue vocale. Des étiquettes ont été prévues dans l'histogramme pour illustrer ces valeurs.

3.2 Traitement de l'énergie

Les calculs de l'énergie ont été effectués par trame de 10 ms de signal sonore sur une fenêtre d'analyse de 20 ms. Seules les valeurs des voyelles ont été conservées afin d'éliminer la grande variabilité des valeurs de l'énergie des consonnes.

3.2.1 Valeur moyenne de l'énergie vocalique et écart-type (dB)

Une valeur moyenne de l'énergie a été calculée pour chaque voyelle. Cette valeur est issue de la moyenne des valeurs de l'énergie de la trame (10 ms) de la voyelle.

Puis, en additionnant les valeurs moyenne de l'énergie pour chaque voyelle et en divisant ce résultat par le nombre de voyelles, la valeur moyenne de l'énergie par phrase ou style a été également calculée.

3.2.2 Valeur médiane de l'énergie vocalique (dB)

Le calcul de la valeur médiane a été effectué à partir des valeurs moyenne de l'énergie pour chaque voyelle.

La médiane est la valeur qui partage la série des valeurs de l'énergie vocalique en deux ensembles de même effectif.

3.2.3 Normalisation de la valeur de l'énergie des voyelles (dB)

L'énergie peut varier d'un enregistrement à l'autre car le locuteur peut, par exemple, se trouver plus éloigné du micro ou parler plus fortement. Par conséquent, il est important de normaliser la valeur de l'énergie.

Pour ce faire, nous avons calculé la différence entre l'énergie moyenne préopératoire et la valeur moyenne de l'énergie de la voyelle du même locuteur, pour la même épreuve et le même style de phrase.

La valeur obtenue à l'issue du calcul de la différence a été ensuite ajoutée à la valeur de la voyelle. Cela devait permettre une normalisation de ce paramètre et éviter le biais d'une variation non-linguistique de l'énergie.

3.3 Traitement de la durée

Les valeurs de durée sont directement accessibles à partir de la base de données découpée en phonèmes.

3.3.1 Débit (syll/sec)

Le débit correspond au nombre de syllabes produites en une seconde en considérant la durée des sons mais aussi la durée des pauses linguistiques.

3.3.2 Vitesse d'articulation (syll/sec)

La vitesse d'articulation correspond au nombre de syllabes produites en une seconde en considérant uniquement la durée des sons. Pour ce calcul, seule la durée des voyelles en position autre que la dernière syllabe du mot, a été considérée afin d'éliminer des voyelles

potentiellement accentuées et donc allongées, se trouvant dans les dernières syllabes des mots. Les mots monosyllabiques n'ont pas été pris en compte, car une dernière syllabe unique, potentiellement accentuée.

3.3.3 Durée des voyelles et écarts-types (en secondes)

La durée des voyelles accentuées et les écarts-types correspondants ont été calculés. La voyelle accentuée est identifiée automatiquement à partir de l'organisation prosodique de la phrase : la voyelle de la syllabe en position pré-pausale est considérée comme étant accentuée. Si la dernière voyelle de la syllabe est un schwa [ə], cette dernière sera considérée comme accentuée uniquement si elle est l'unique voyelle du mot. En revanche si le mot contient d'autres voyelles, c'est la dernière voyelle autre que [ə] qui sera considérée comme la voyelle accentuée.

Une voyelle peut être également accentuée au sein de la chaîne sonore sans pause. L'identification de la voyelle accentuée se fait alors à partir de la durée de la voyelle, qui est un paramètre important de l'accent en français. La dernière voyelle de chaque mot est comparée à la dernière voyelle du mot précédent et à la première voyelle du mot suivant. Si la voyelle est allongée de 20 ms ou de +20% par rapport à la dernière voyelle du mot précédent ou suivant, alors la voyelle est considérée comme étant accentuée.

Puis, la durée des voyelles non-accentuées et les écart-types correspondants ont été calculés. Les voyelles non-accentuées sont toutes les autres voyelles de la chaîne sonore.

3.3.4 Durée des consonnes et écarts-types (en secondes)

La durée des consonnes classées en catégories consonantique et leurs écarts-types correspondants ont été calculés.

Nous avons calculé les durées et les écarts-types :

- Des occlusives sourdes [p], [t], [k] et des occlusives sonores [b], [d], [g].
- Des fricatives sourdes [f], [s], [ʃ] et des fricatives sonores [v], [z], [ʒ].

- Des liquides latérale [l] et vibrante [ʁ].

3.3.5 Nombre et durée de pauses

Le nombre de pauses a été calculé pour chaque locuteur, à chaque temps, pour chaque épreuve et pour chaque style de phrases.

Les durées de pauses et les écarts-types correspondants ont été calculés pour chaque locuteur, à chaque temps, pour chaque épreuve et pour chaque style de phrases.

4 Déconnexion des faisceaux de substance blanche et lien avec les paramètres acoustiques

L'objectif est d'étudier la relation entre la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche et l'altération de certains paramètres acoustiques. En d'autres termes, il s'agit d'évaluer la probabilité qu'un voxel déconnecté (le voxel est l'équivalent en 3D de ce qu'est le pixel en 2D) soit responsable de l'altération d'un paramètre acoustique donné.

4.1 Contourage des cavités d'exérèse

À partir de l'IRM normalisée postopératoire de chaque patient, un contourage manuel de la cavité d'exérèse est réalisé. Il s'agit de délimiter avec précision la lésion du patient. Le contourage manuel de la cavité d'exérèse est réalisé à l'aide du logiciel MRIcron.

La superposition de l'ensemble des lésions permet la création d'une carte de chevauchement de lésions.

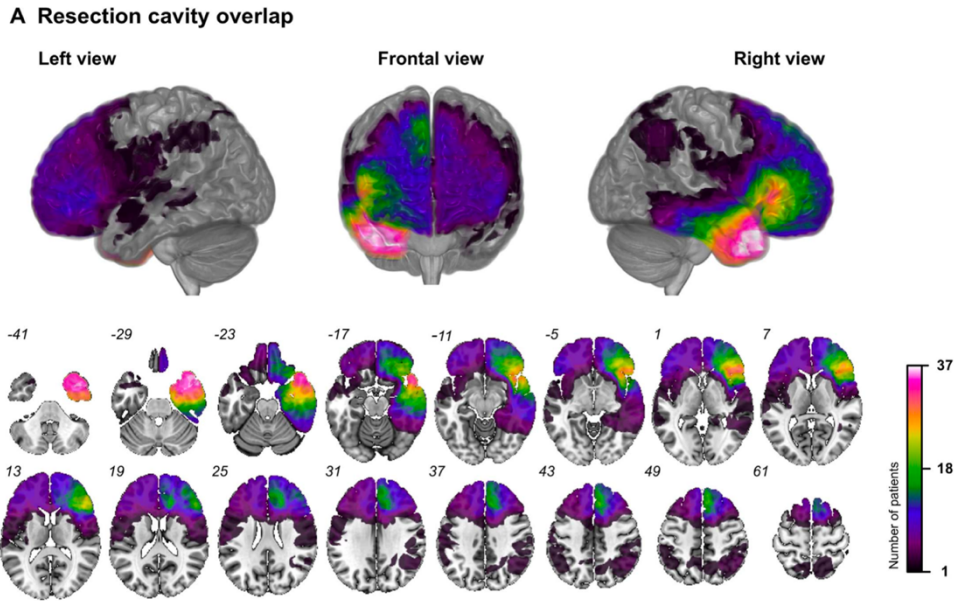


Figure 9 : exemple d'une carte de chevauchement de lésions (Nakajima et al., 2018)

4.2 Création des cartes de disconnectome

À partir du contourage de la cavité d'exérèse, une carte de disconnectome est ensuite réalisée pour chaque patient, à l'aide du logiciel BCBToolkit.

Pour construire la carte de disconnectome, BCBToolkit utilise la tractographie, technique permettant de visualiser les faisceaux de substance blanche du cerveau. On estime que dix IRM de patients sains sont suffisants pour représenter les faisceaux de substance blanche d'une population témoin (70% de la variance partagée) (Foulon et al., 2018).

En utilisant la tractographie sur des IRM de patients opérés, on peut ainsi identifier les faisceaux qui passent par la cavité d'exérèse et qui sont donc déconnectés.

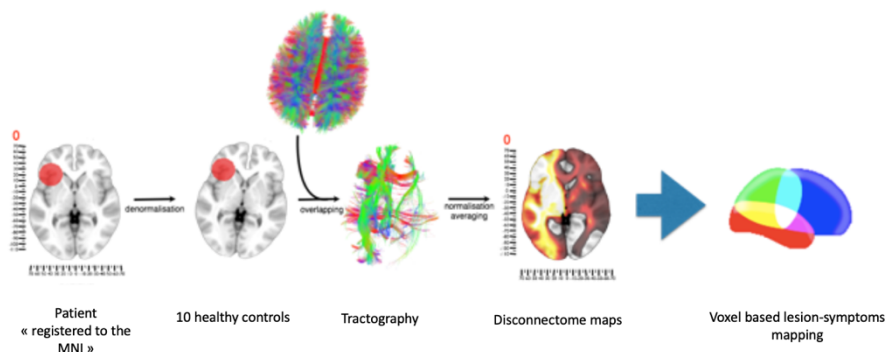


Figure 10 : résumé des étapes de réalisation d'une carte de disconnectome (BCBToolkit, s. d.)

Cette procédure est répétée sur les IRM postopératoires de tous les patients de notre étude, ce qui permet la construction d'une carte de disconnectome pour chaque patient.

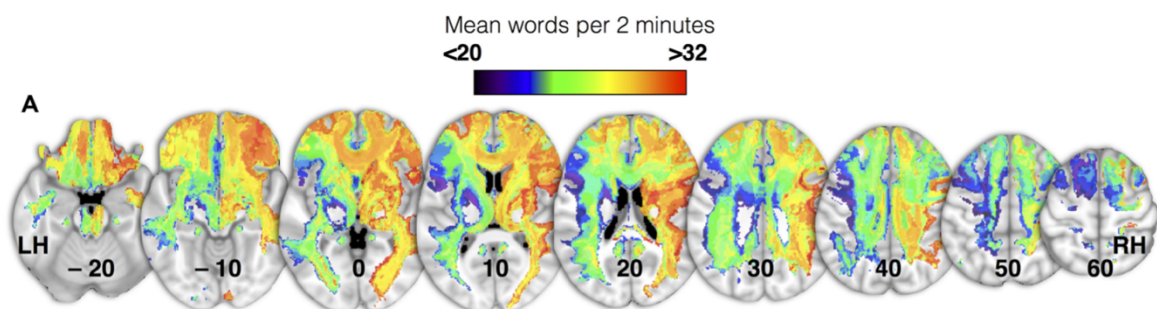
On peut ensuite visualiser l'ensemble des faisceaux déconnectés de notre population en faisant se superposer les cartes de disconnectome de l'ensemble des patients.

4.3 Attribution des scores aux cartes de disconnectome

On attribue ensuite à tous les voxels de chaque carte de disconnectome, le score obtenu par chaque patient pour un paramètre acoustique donné. Cette étape est réalisée à l'aide d'ANACOM, un outil inclus dans le logiciel BCBToolkit.

Les cartes de disconnectome scorées de l'ensemble des patients sont ensuite superposées. On obtient ainsi une seule et même carte de disconnectome, et chaque voxel de cette carte de chevauchement se voit attribuer un score unique. Ce score correspond à la moyenne des scores de tous les voxels superposés issus des différentes cartes de disconnectome des patients. Ainsi, plus on a de voxels déconnectés superposés, plus représentative sera la moyenne de ce voxel.

Pour qu'un voxel soit considéré dans les analyses statistiques qui suivent, il faut qu'il soit recouvert au moins 3 fois par d'autres voxels déconnectés. Les scores des voxels qui ont été recouverts moins de 3 fois sont alors exclus des analyses statistiques car le score de ces voxels ne seraient pas représentatifs d'une population élargie.



4.4 Relation entre les réseaux de connectivité structurelle et les paramètres acoustiques

L'outil ANACOM est basé sur le principe du Voxel-Based Lesion Symptom Mapping (VLSM) qui consiste à comparer des scores chez des patients ayant un voxel donné lésé, par rapport au score des patient ayant ce même voxel préservé. Ainsi, le VLSM procède à une analyse voxel par voxel (Nakajima et al., 2018).

Toutefois, dans le but de gagner en temps et en précision, ANACOM fait des regroupements de voxels appelés « clusters » : un cluster de voxels correspond à un groupe de voxels voisins avec les mêmes recouvrements (Kinkingnehun et al., 2007). Puis, la distribution statistique de ces clusters est observée : les clusters qui ont une distribution similaire font encore l'objet d'un regroupement (Foulon et al., 2018).

Finalement, ANACOM compare les scores de patients ayant un cluster de voxels déconnecté, aux scores des patients ayant ce même cluster de voxels préservé.

Au niveau des analyses statistiques, ANACOM effectue premièrement un test de Kruskal-Wallis. Ce test permet la comparaison de trois échantillons. Dans notre étude, ANACOM compare donc :

- Les scores des patients opérés ayant un cluster de voxels déconnectés et les scores des patients opérés ayant ce même cluster de voxels préservés,
- Les scores des patients opérés ayant un cluster de voxels déconnectés et les scores des patients de ce même cluster en période préopératoire (groupe « témoin »),
- Les scores des patients opérés ayant un cluster de voxels préservés et les scores des patients de ce même cluster en période préopératoire (groupe « témoins »).

À la fin de ce test, Kruskal-Wallis indique s'il existe une différence significative entre les scores d'au moins 2 échantillons parmi les 3 sans préciser lesquels. Ce test est effectué dans le but d'augmenter les chances que, si une différence significative existe entre les scores des patients opérés ayant des voxels déconnectés et les patients en période préopératoire, celle-ci n'est pas due au hasard. Les valeurs P résultantes sont corrigées par Bonferroni-Holm pour des comparaisons multiples.

Puis, les clusters significatifs ($P < 0,05$) sont ensuite utilisés pour faire une comparaison post hoc de Mann-Whitney entre les patients opérés déconnectés et les patients en période préopératoire. Les résultats post hoc sont corrigés par Bonferroni-Holm pour des comparaisons multiples.

ANACOM aboutit finalement à la réalisation d'une carte de disconnectome qui illustre les clusters de voxels des patients opérés et déconnectés ayant un score significativement différent par rapport aux patients en période préopératoire. Autrement dit, ANACOM permet d'établir un lien entre les structures sous-corticales déconnectées et les scores obtenus par les patients pour un paramètre acoustique donné. Il permet ainsi une meilleure compréhension du réseau de connectivité structurelle potentiellement impliqué dans la variation des paramètres acoustiques à l'origine de la prosodie de la parole.

Au total, ANACOM a effectué 48 analyses statistiques :

- 45 analyses concernent le paramètre de durée. La durée des voyelles accentuées, la durée des voyelles non-accentuées, la durée des voyelles (accentuées et non-accentuées incluses), la durée des consonnes, et la vitesse d'articulation ont été analysées pour chaque épreuve (répétition linguistique, répétition émotionnelle et production émotionnelle) et chaque style de phrase (colère, joie tristesse/affirmation, ordre, question).
- 3 analyses concernent la fréquence fondamentale. L'étendue vocale a été analysée pour l'épreuve de répétition linguistique, de répétition émotionnelle et de production émotionnelle. Pour rappel, l'étendue vocale correspond à la valeur maximale de F_0 soustraite à la valeur minimale de F_0 . Pour des raisons écologiques, les styles de voix retenus ont été la question, pour l'épreuve de répétition linguistique et la joie, pour les épreuves de répétition et production émotionnelles. En effet, l'étendue vocale susceptible de varier le plus concerne l'expression de la question, pour la prosodie linguistique et l'expression de la joie, pour la répétition et production de prosodie émotionnelle.

Toutefois, seulement certaines cartes de disconnectome seront analysées et visualisées plus précisément pour les épreuves et styles de voix qui nous sembleront être les plus pertinents.

Pour étayer l'analyse des cartes de disconnectome, nous avons également utilisé l'outil Tractotron inclus dans BCBToolkit. Tractotron compare la lésion d'un patient à un atlas de faisceaux de substance blanche. Pour chaque voxel, Tractotron indique la probabilité que celui-ci appartienne à un faisceau de substance blanche. Cette procédure est répétée pour l'IRM de tous les patients. Un faisceau est considéré comme impliqué lorsque la probabilité de déconnexion d'un faisceau pour un voxel donné est estimée au-delà de 50%. Nous avons considéré un faisceau impliqué lorsque celui-ci était déconnecté chez 5 patients ou plus.

Puis, pour certains faisceaux d'intérêt et épreuves d'intérêt, un test des rangs signés de Wilcoxon a été effectué pour comparer les scores des patients en préopératoire et les patients en postopératoire en appariant les deux échantillons.

Les figures présentées dans les résultats ont été générées à l'aide des logiciels MRICroGL et Surf Ice.

PARTIE 3 : RESULTATS

Au total, 15 patients ont été inclus dans notre étude. La totalité des gliomes diffus de bas grade opérés sont situés en zone frontale.

Chez la majorité des patients, la tumeur était localisée dans l'hémisphère gauche (80%). La plupart des patients sont droitiers (73%).

Les caractéristiques de l'ensemble des patients et des tumeurs ont été résumées dans un tableau en annexe 3.

Les résultats du test post hoc de Mann-Whitney n'ayant pas abouti pour des raisons techniques, nous présenterons uniquement les résultats issus du test de Kruskal-Wallis.

Les résultats issus de ce test indiquent la présence d'une différence significative ($P < 0,001$) au moins entre deux des trois groupes comparés (patients en préopératoire, patients opérés et déconnectés et patients opérés et préservés) pour les 48 tests réalisés sur la durée et l'étendue vocale.

D'un point de vue écologique et dans un souci de cohérence, nous avons décidé de concentrer l'analyse des cartes de disconnectome sur la durée des voyelles et l'étendue vocale, pour des épreuves et styles de voix identiques. Ainsi, pour la durée des voyelles et l'étendue vocale, seules les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie) ont été retenues.

En effet, les cartes de disconnectome consacrées à la durée (voyelles, voyelles accentuées, voyelles non-accentuées, consonnes et vitesse d'articulation) étaient très similaires. Il semblait donc pertinent de ne choisir qu'un seul aspect de la durée à traiter pour l'analyse des cartes de disconnectome. Notre choix s'est porté sur la durée des voyelles dans leur ensemble puisqu'aucune distinction anatomique entre la durée des voyelles accentuées et la durée des voyelles non-accentuées n'a été notée sur les cartes de disconnectome résultantes. De plus, la voyelle constitue l'élément central de la syllabe appelée d'ailleurs « noyau vocalique » (Mertens, 2019). Il paraît donc plus pertinent de s'intéresser à la durée des voyelles qu'à la durée des consonnes. La durée des voyelles nous permet également d'avoir des indications quant à la vitesse d'articulation (la vitesse d'articulation correspond au mouvement des articulateurs et son calcul correspond au nombre de syllabes prononcées en une seconde sans la considération des pauses). En effet, l'on comprend aisément que, si la durée des voyelles diminue, alors le nombre de syllabes produites en une seconde augmente.

En résumé, pour l'analyse plus précise des cartes de disconnectome, nous avons décidé de retenir, pour la durée des voyelles et l'étendue vocale, les épreuves et styles de voix suivants :

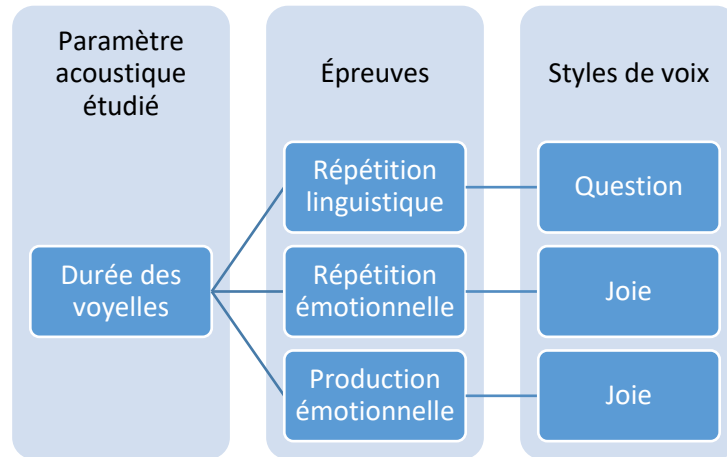


Figure 5 : schéma résumant les épreuves et styles de voix sélectionnés pour la durée de voyelles

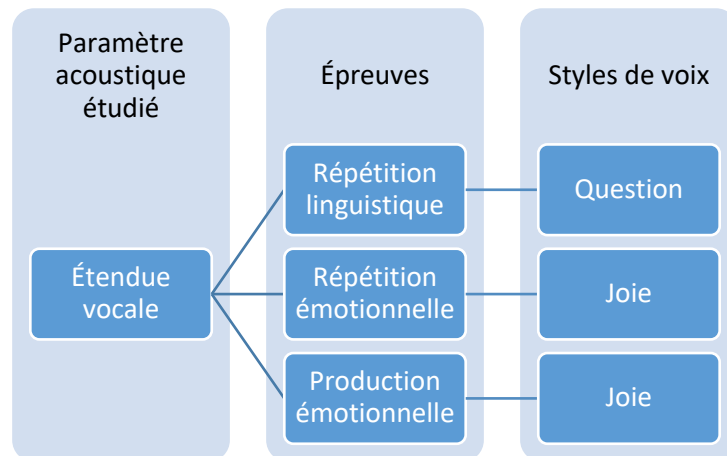


Figure 12 : schéma résumant les épreuves et styles de voix sélectionnés pour l'étendue vocale

1 Résultats pour la durée des voyelles

Pour plusieurs clusters de voxels, le test de Kruskal-Wallis a indiqué des scores significativement différents entre les patients opérés déconnectés, les patients opérés et préservés et les patients en préopératoire (tous les clusters $P < 0,001$) pour les 3 épreuves sélectionnées à savoir, la répétition linguistique (question), la répétition émotionnelle (joie) et la production émotionnelle (joie). Les scores de la durée des voyelles sont distribués au niveau des zones sous-corticales déconnectées comme ci-dessous :

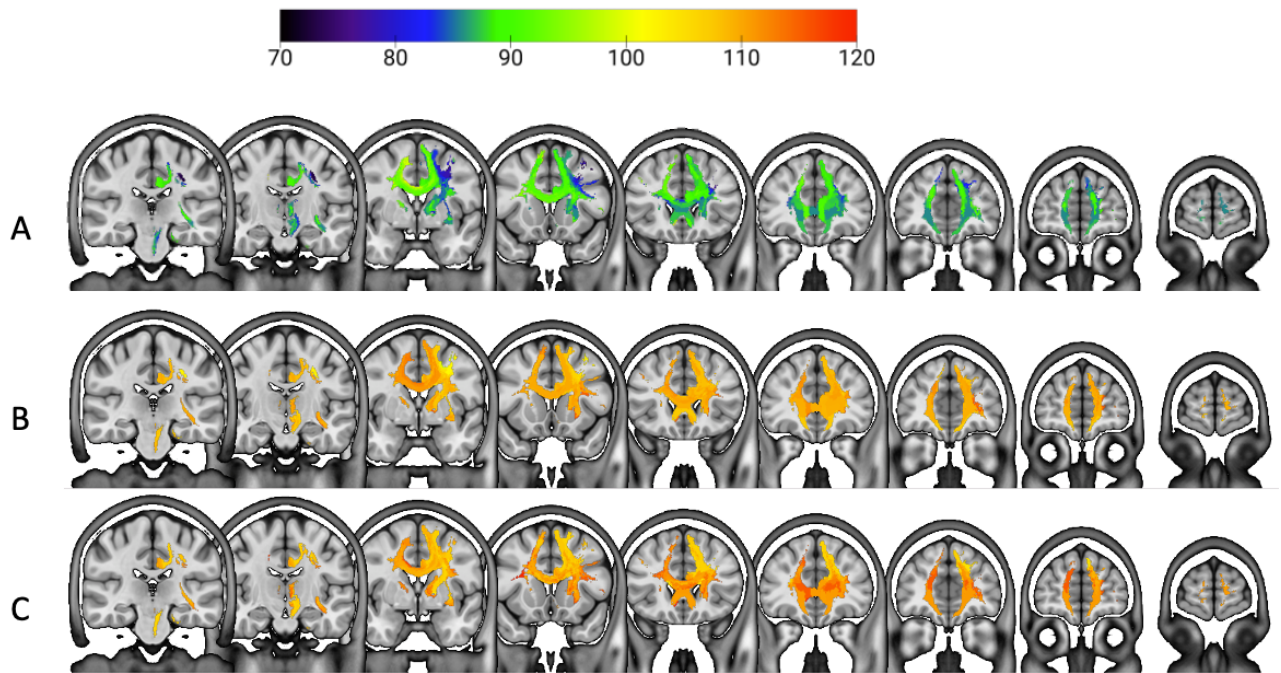


Figure 13 : coupes frontales représentant la distribution des scores de durée moyenne des voyelles au niveau des zones sous-corticales déconnectées. (A) Durée moyenne des voyelles pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) (B) Durée moyenne des voyelles pour l'épreuve de répétition émotionnelle (joie) (C) Durée moyenne des voyelles pour l'épreuve de répétition linguistique (question). Les clusters en violet et bleu indiquent une durée plus courte et les clusters orange et rouges indiquent une durée plus longue.

2 Résultats pour l'étendue vocale

Pour plusieurs clusters de voxels, le test de Kruskal-Wallis a indiqué des scores significativement différents entre les patients opérés déconnectés, les patients opérés et préservés et les patients en préopératoire (tous les clusters $P < 0,001$) pour les 3 épreuves sélectionnées à savoir la répétition linguistique (question), la répétition émotionnelle (joie) et la production émotionnelle (joie). Les scores de l'étendue vocale sont distribués au niveau des zones sous-corticales déconnectées comme ci-dessous :

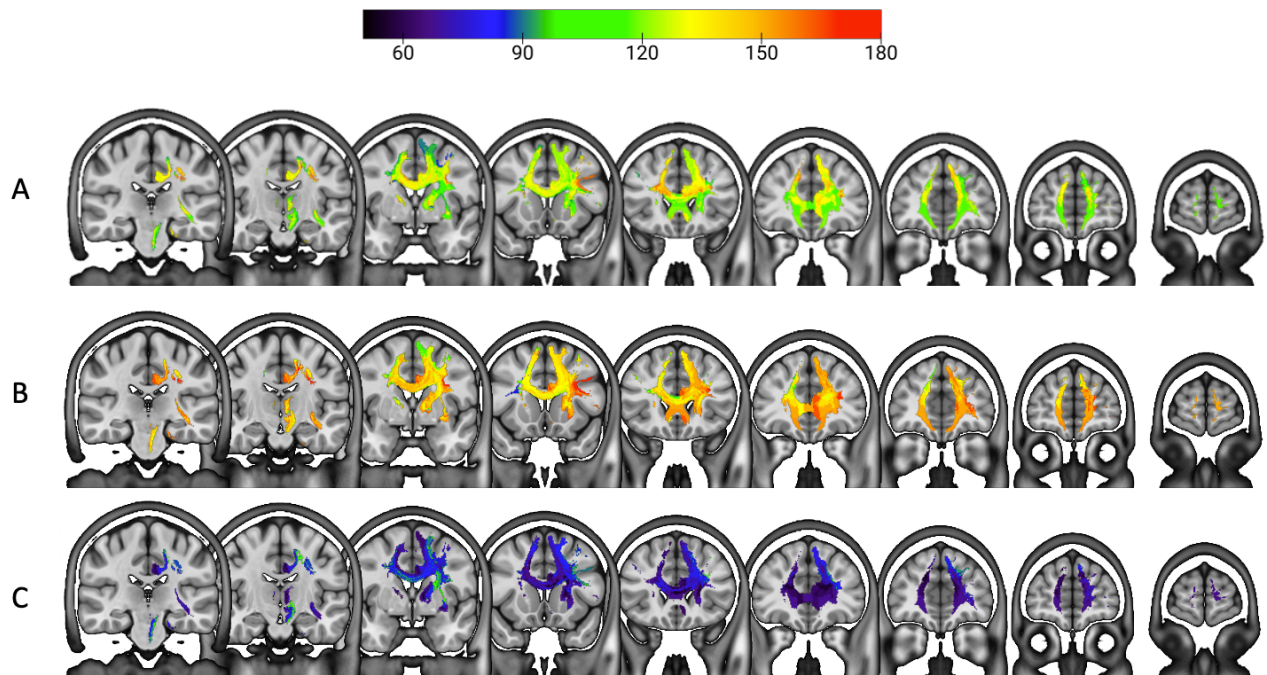


Figure 14 : coupes frontales représentant la distribution des scores de l'étendue vocale moyenne au niveau des zones sous-corticales déconnectées. (A) Étendue vocale moyenne pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) (B) Étendue vocale pour l'épreuve de répétition émotionnelle (joie) (C) Étendue vocale pour l'épreuve de répétition linguistique (question). Les clusters en violet et bleu indiquent une étendue vocale plus réduite et les clusters orange et rouges indiquent une étendue vocale plus importante.

3 Déconnexion des structures corticales et sous-corticales : analyse des cartes de disconnectome

L'analyse des cartes de disconnectome a été effectuée de la façon suivante :

Les cartes de disconnectome de la durée des voyelles pour les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie) ont été colorées en bleu foncé (3 cartes de disconnectome au total). Les cartes de disconnectome de l'étendue vocale pour les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie) ont été colorées en vert (3 cartes de disconnectome au total).

La superposition des 6 cartes de disconnectome de la durée des voyelles et de l'étendue vocale aboutit à une seule et même carte de disconnectome, sur laquelle les clusters de voxels communs à la durée des voyelles et à l'étendue vocale qui se recouvrent apparaissent en bleu turquoise sur la figure. Les clusters de voxels qui sont spécifiques pour la durée des voyelles apparaissent en bleu foncé et les clusters de voxels spécifiques à l'étendue vocale apparaissent en vert comme ci-dessous :

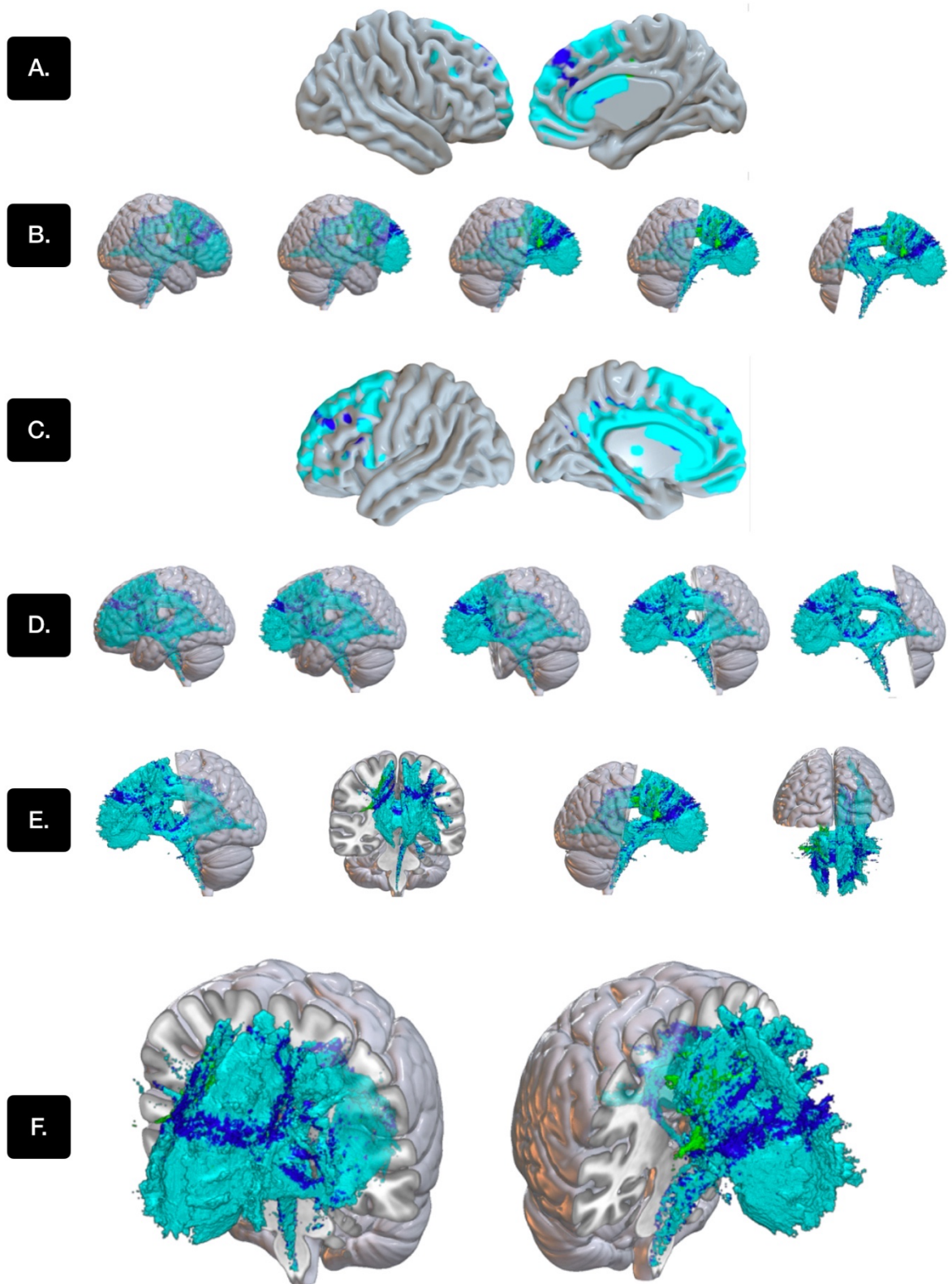


Figure 15 : carte de disconnectome résultante représentée sous différents angles en vue 3D. (A) Vue latérale et médiale de l'hémisphère droit (B) Vue latérale de l'hémisphère droit coupé frontalement (C) Vue latérale et médiale de l'hémisphère gauche (D) Vue latérale de l'hémisphère gauche coupé frontalement (E) Vue latérale gauche, de face, latérale droite et supérieure d'une coupe frontale (F) Vue isométrique d'une coupe frontale.

3.1 Déconnexion des structures corticales et sous-corticales communes pour la durée des voyelles et l'étendue vocale

Sur la figure 15, les structures corticales et sous-corticales déconnectées sont représentées en bleu turquoise.

3.1.1 Hémisphère gauche (G)

Au niveau cortical, on constate une déconnexion des gyri supérieur, moyen et inférieur G, plus précisément au niveau du cortex prémoteur G impliquant l'aire motrice supplémentaire G et pré-supplémentaire G (aire de Brodmann 6) et du cortex préfrontal G (aires de Brodmann 8, 9, 10, 11, 47). L'aire de Broca G (aires de Brodmann 44, 45), le gyrus cingulaire G, le sillon cingulaire G et le gyrus parahippocampique G sont déconnectés. Un cluster de déconnexion est également présent au niveau du gyrus temporal inférieur G.

Au niveau sous-cortical, sont déconnectés : le rostrum et tronc du corps calleux, la capsule interne G, le striatum G. Des clusters de voxels sur le trajet de l'IFOF G, du FAT G, du FST G, du SLF I G et du SLF II G semblent déconnectés.

3.1.2 Hémisphère droit (D)

Au niveau cortical, on remarque une déconnexion au niveau du cortex prémoteur D, impliquant l'aire motrice supplémentaire et pré-supplémentaire D (aire 6 de Brodmann). Le cortex préfrontal au niveau des aires 8, 10 et 11 de Brodmann est également déconnecté. Le cortex cingulaire antérieur D et le sillon cingulaire D sont déconnectés.

Au niveau sous-cortical, on constate une déconnexion du rostrum, du tronc du corps calleux et de la capsule interne D.

3.2 Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à la durée des voyelles

Sur la figure 15, les structures corticales et sous-corticales déconnectées sont représentées en bleu foncé.

3.2.1 Hémisphère gauche (G)

Au niveau cortical, on constate la présence de déconnexion au niveau de l'aire de Brodmann 9 et de l'aire de Broca G (aires de Brodmann 44 et 45).

Au niveau sous-cortical, on remarque la déconnexion du genou du corps calleux et de la capsule interne G. Il semblerait également qu'une partie du FST G soit spécifiquement déconnectée pour la durée des voyelles. La partie supérieure de l'IFOF G semble également déconnectée spécifiquement pour la durée des voyelles.

3.2.2 Hémisphère droit (D)

Au niveau cortical, on constate la déconnexion de la pré-AMS D, du gyrus et sillon cingulaire antérieurs D.

Au niveau sous-cortical, on remarque la déconnexion du genou du corps calleux, qui semble être spécifique à la durée des voyelles. Des clusters de voxels sur le trajet du FST D semblent également déconnectés.

3.3 Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à l'étendue vocale

Sur la figure 15, les structures corticales et sous-corticales déconnectées sont représentées en vert.

3.3.1 Hémisphère gauche (G)

Au niveau cortical, aucune déconnexion particulière n'est à signaler.

Au niveau sous-cortical, on constate la présence de clusters de voxels déconnectés au niveau du genou du corps calleux.

3.3.2 Hémisphère droit (D)

Au niveau cortical, aucune déconnexion particulière n'est à signaler.

Au niveau sous-cortical, des clusters de voxels au niveau du genou du corps calleux sont déconnectés. De plus, des clusters de voxels sur le trajet du le FAT D semblent déconnectés spécifiquement pour l'étendue vocale.

Le tableau suivant résume les structures corticales et sous-corticales déconnectées :

	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales communes pour la durée des voyelles et l'étendue vocale	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à la durée des voyelles	Déconnexion des structures corticales et sous-corticales spécifiques à l'étendue vocale
Niveau cortical	Cortex prémoteur G et D, AMS G et D, pré-AMS G et D	Pré-AMS D	
	Cortex préfrontal G et D	Aire de Brodmann 9	
	Aire de Broca G	Aire de Broca G	
	Gyrus cingulaire G et cingulaire antérieur D	Gyrus cingulaire antérieur D	
	Sillon cingulaire G et D	Sillon cingulaire antérieur D	
	Gyrus parahippocampique G		
	Gyrus temporal inférieur G		
Niveau sous-cortical	Rostrum et tronc du corps calleux	Genou du corps calleux	Genou du corps calleux
	Capsule interne G et D	Capsule interne G	
	Striatum G		
	IFOF G	Partie supérieure de l'IFOF G	
	FAT G		FAT D
	FST G	FST G et D	
	SLF I G		
	SLF II G		

Tableau 2 : résumé des structures corticales et sous-corticales déconnectées

4 Résultats issus du Tractotron

L'outil Tractotron a été utilisé pour analyser la probabilité de déconnexion des faisceaux de substance blanche. Cette probabilité de déconnexion a été calculée pour la durée des voyelles

et l'étendue vocale, sur les épreuves de répétition linguistique (question), l'épreuve de répétition émotionnelle (joie) et l'épreuve de production émotionnelle (joie).

Les résultats issus du Tractotron montrent une déconnexion supérieure à 50% chez 5 patients ou plus pour les faisceaux de substance blanche suivants :

- L'IFOF G chez 5 patients sur 15,
- Le cingulum antérieur G chez 9 patients sur 15,
- Le faisceau cortico-spinal G chez 9 patients sur 15,
- Le frontal superior longitudinal G chez 10 patients sur 15,
- Le cingulum G chez 11 patients sur 15,
- Le SLF I G chez 11 patients sur 15,
- Le SLF II G chez 11 patients sur 15,
- Le FAT G chez 11 patients sur 15,
- Le FST G chez 12 patients sur 15

Puis, un test des rangs signés de Wilcoxon sur échantillons appariés a été réalisé pour les faisceaux d'intérêt suivants : le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G. Le test a été effectué pour la durée des voyelles et l'étendue vocale, aux épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie). Nous avons décidé d'approfondir nos analyses sur le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G car le Tractotron a précédemment indiqué leur déconnexion chez une majorité de patients (FAT G chez 11 patients sur 15, FST G chez 12 patients sur 15, SLF I G chez 11 patients sur 15 et SLF II G chez 11 patients sur 15). De plus, l'analyse des cartes de disconnectome a montré des clusters de voxels déconnectés sur le trajet de ces différents faisceaux :

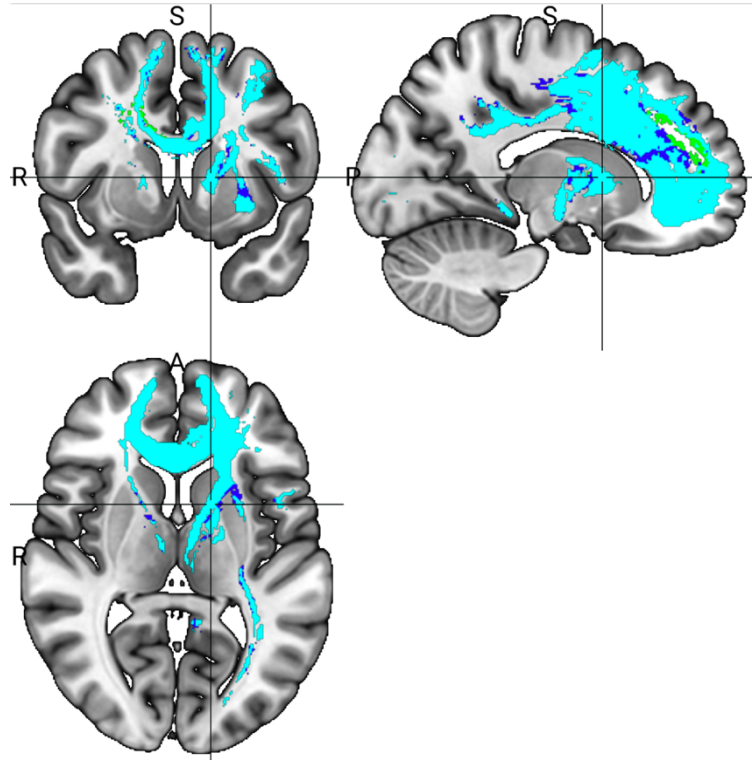


Figure 16 : carte de disconnectome en coupes frontale, sagittale et axiale représentant les clusters de voxels déconnectés sur le trajet du FAT G et du FST G

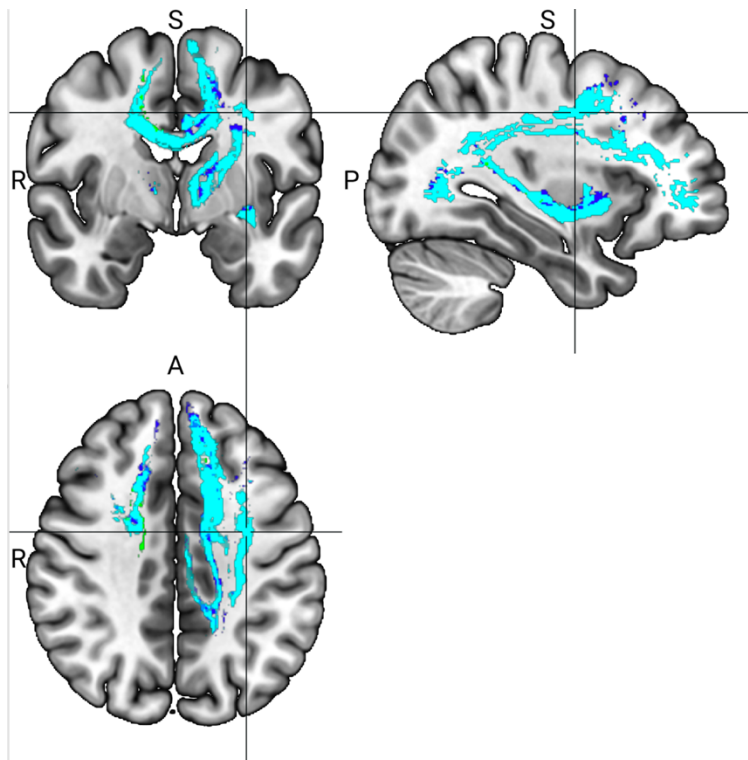


Figure 17 : carte de disconnectome en coupes frontale, sagittale et axiale représentant les clusters de voxels déconnectés sur le trajet du SLF I G et du SLF II G

	Durée des voyelles			Étendue vocale		
	Répétition linguistique (question)	Répétition émotionnelle (joie)	Production émotionnelle (joie)	Répétition linguistique (question)	Répétition émotionnelle (joie)	Production émotionnelle (joie)
FAT G	0,9291	0,4645	0,0164	0,1392	0,3848	0,0910
FST G	0,5000	0,3473	0,0114	0,5185	0,2324	0,0355
SLF I G	0,3279	0,4645	0,0029	0,2886	0,1875	0,0546
SLF II G	0,4468	0,3947	0,0163	0,2996	0,3125	0,0546

Tableau 3 : valeurs de P issues du test des rangs signés de Wilcoxon pour la durée des voyelles et de l'étendue vocale du FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G, pour les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie). Les valeurs de P en gras sont significatives ($P < 0,05$).

Pour le FAT G, la durée des voyelles postopératoire diffère significativement de la durée des voyelles en préopératoire pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) ($P=0,0164$) (cf. tableau 3). Les scores de la durée des voyelles sont distribués comme ci-dessous :

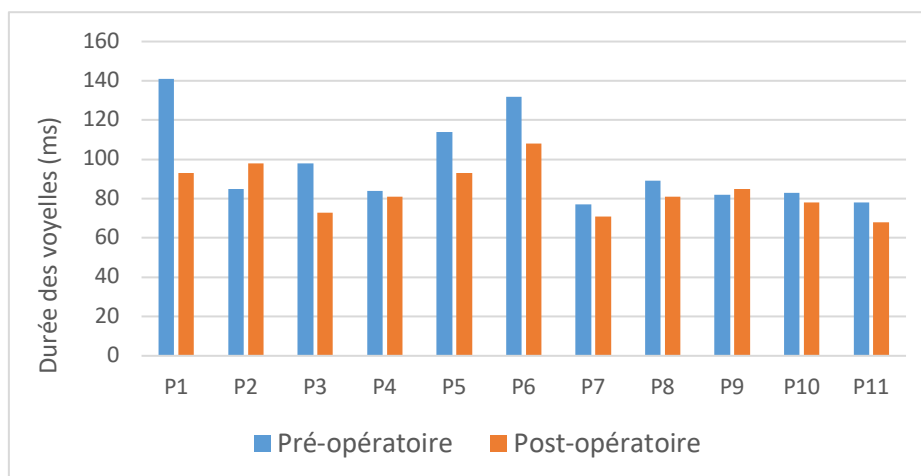


Figure 18 : comparaison de la durée des voyelles préopératoire et postopératoire pour tous les patients dont le FAT G est déconnecté à l'épreuve de production émotionnelle (joie)

La comparaison des scores préopératoires et postopératoires pour les patients dont le FAT G est déconnecté nous indique, dans l'ensemble, une diminution de la durée des voyelles en période postopératoire.

Pour le FST G, la durée des voyelles postopératoire diffère significativement de la durée des voyelles préopératoire pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) ($P=0,0114$) (cf. tableau 3). De plus, l'étendue vocale postopératoire diffère significativement de l'étendue vocale préopératoire pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) ($P=0,0355$) (cf. tableau 3). Les scores de la durée des voyelles sont distribués comme ci-dessous :

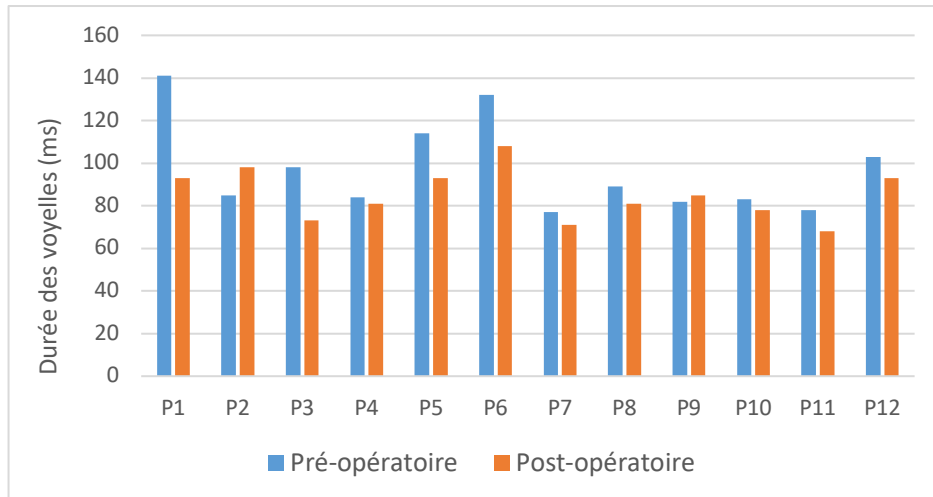


Figure 19 : comparaison de la durée des voyelles préopératoire et postopératoire pour tous les patients dont le FST G est déconnecté à l'épreuve de production émotionnelle (joie)

La comparaison des scores préopératoires et postopératoires pour les patients dont le FST G est déconnecté nous indique, dans l'ensemble, une diminution de la durée des voyelles en période postopératoire.

Pour le FST G, Les scores de l'étendue vocale sont distribués comme ci-dessous :

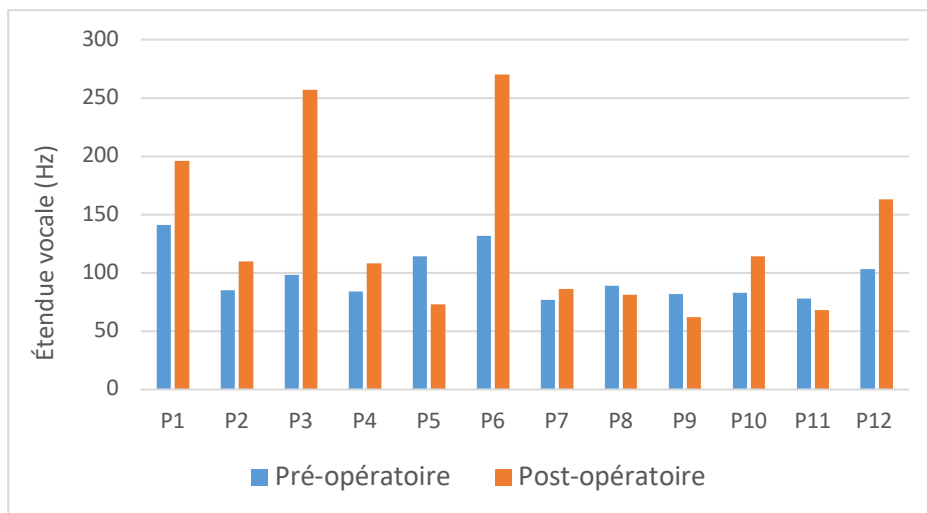


Figure 20 : comparaison de l'étendue vocale préopératoire et postopératoire pour tous les patients dont le FST G est déconnecté à l'épreuve de production émotionnelle (joie)

La comparaison des scores préopératoires et postopératoires de l'étendue vocale pour les patients dont le FST G est déconnecté nous indique qu'une majorité des patients en

postopératoire a vu son étendue vocale s'élargir par rapport à l'étendue vocale préopératoire (8 patients/12).

Pour le SLF I G, la durée des voyelles postopératoire diffère significativement de la durée des voyelles en préopératoire pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) ($P=0,0029$) (cf. tableau 3). Les scores de la durée des voyelles sont distribués comme ci-dessous :

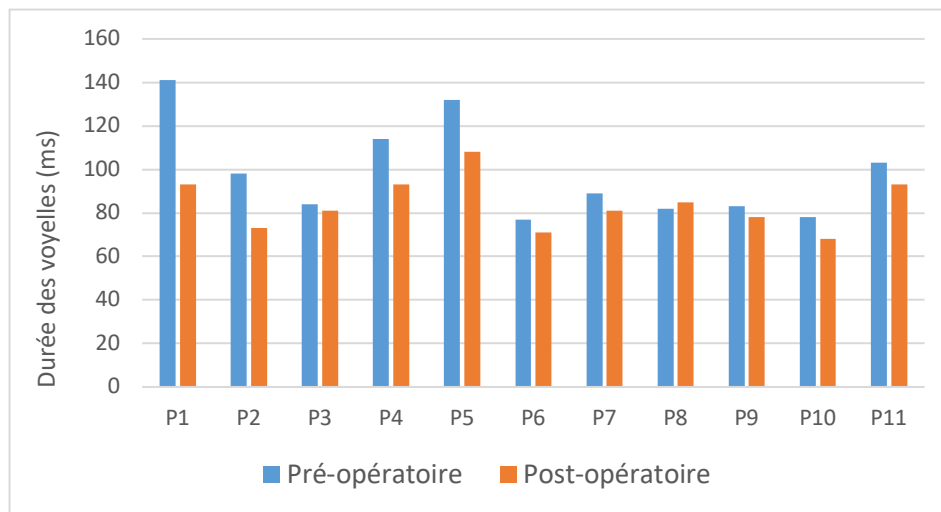


Figure 21 : comparaison de la durée des voyelles préopératoire et postopératoire pour tous les patients dont le SLF I G est déconnecté à l'épreuve de production émotionnelle (joie)

La comparaison des scores préopératoires et postopératoires pour les patients dont le SLF I G est déconnecté nous indique, dans l'ensemble, une diminution de la durée des voyelles en période postopératoire.

Pour le SLF II G, la durée des voyelles postopératoire diffère significativement de la durée des voyelles en préopératoire pour l'épreuve de production émotionnelle (joie) ($P=0,0163$) (cf. tableau 3). Les scores de la durée des voyelles sont distribués comme ci-dessous :

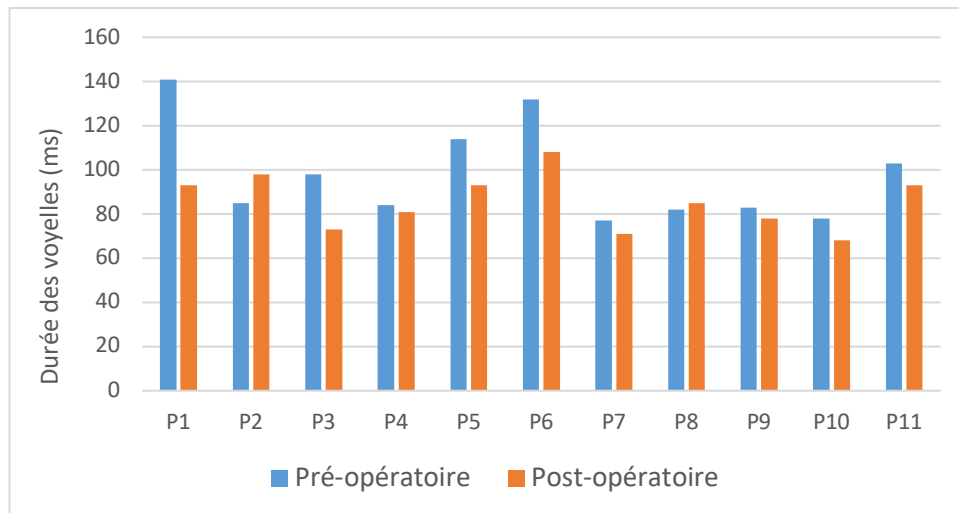


Figure 22 : comparaison de la durée des voyelles préopératoire et postopératoire pour tous les patients dont le SLF II G est déconnecté à l'épreuve de production émotionnelle (joie)

La comparaison des scores préopératoires et postopératoires pour les patients dont le SLF II G est déconnecté nous indique, dans l'ensemble, une diminution de la durée des voyelles en période postopératoire par rapport aux scores préopératoire.

PARTIE 4 : DISCUSSION

1 Synthèse globale des hypothèses théoriques et interprétation des résultats

L'hypothèse théorique 1 suggérait que les performances des patients pour un ou plusieurs paramètre(s) acoustique (s) seraient altérés trois mois après l'opération d'un GDBG frontal.

Les analyses statistiques issues du test de Kruskal-Wallis ont montré une différence significative ($P < 0,001$) entre au moins deux des trois groupes suivants : les patients en préopératoire, patients opérés et déconnectés et les patients opérés et préservés, pour l'ensemble des analyses de la durée et de l'étendue vocale (48 analyses au total). Au vu des constats cliniques de l'étude de Lemineur (2018) basé sur un jury d'écoute, affirmant la présence d'une dysprosodie postopératoire chez les patients, nous pouvons raisonnablement supposer que la différence significative observée implique la population opérée et déconnectée et la population en préopératoire. Nous supposons ainsi une altération des paramètres acoustiques de durée et d'étendue vocale chez les patients opérés et déconnectés par rapport à la population préopératoire.

Les résultats du test des rangs signés de Wilcoxon nous donnent davantage de précisions quant aux paramètres acoustiques potentiellement impliqués dans les troubles prosodiques. En effet, ce test réalisé sur le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G nous a montré d'une part, l'existence d'une différence significative ($P < 0,05$) entre le préopératoire et le postopératoire pour la durée des voyelles de l'épreuve de production émotionnelle (joie) pour les 4 faisceaux étudiés (cf. tableau 3). Les scores de la durée des voyelles pour les épreuves de production émotionnelle en période postopératoire vont majoritairement dans le sens d'une diminution de la durée des voyelles par rapport au préopératoire, supposant donc une accélération de la vitesse d'articulation (cf. figures 18, 19, 21 et 22). En effet, la vitesse d'articulation correspond à la vitesse du mouvement des articulateurs et se calcule par le nombre de syllabes produites en une seconde, sans la considération des pauses. Ainsi, si la durée des voyelles diminue, le nombre de syllabe par seconde, lui, augmente.

D'autre part, un résultat significatif au test des rangs signés de Wilcoxon concerne l'étendue vocale sur l'épreuve de production émotionnelle pour le FST G. L'étendue vocale de la majorité des patients (8/12) en postopératoire est élargie par rapport à l'étendue vocale

préopératoire (cf. figure 20). Ces scores sont surprenants car l'on s'attendait plutôt à une réduction de l'étendue vocale en période postopératoire. En effet, nous supposons que les capacités à faire varier la fréquence fondamentale en postopératoire seraient atteintes. L'étendue vocale ne semble donc pas impliquée dans les troubles prosodiques postopératoires. Son élargissement en postopératoire semble plutôt lié aux mécanismes de plasticité cérébrale notamment sollicités lors des séances d'orthophonie, de manière intensive, pendant les trois mois qui suivent l'opération.

Ainsi, le paramètre acoustique semblant être le plus impliqué dans les troubles prosodiques est la durée des voyelles pour nos faisceaux d'intérêt tels que le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G. On observe une diminution générale de la durée des voyelles en période postopératoire qui suppose une accélération de la vitesse d'articulation. Ces résultats vont dans le sens des observations réalisées par Lemineur (2018), qui associait les troubles prosodiques détectés par le jury d'écoute à des troubles prédominants de la fluence de la parole.

À la lumière de ces résultats, **nous pouvons donc valider l'hypothèse théorique 1.**

L'hypothèse théorique 2 proposait que l'altération des performances pour un ou plusieurs paramètre(s) acoustique(s) serait corrélée à la déconnexion de faisceaux de substance blanche tels que le FAT et le FST faisant partie des réseaux moteurs négatifs et/ou d'autres faisceaux de substance blanche présents dans le lobe frontal tels que l'IFOF, le SLF I à III ou encore l'AF.

Premièrement, l'analyse des cartes de disconnectome a montré des clusters de déconnexion sur le trajet du FAT G, du FST G, du SLF I G, du SLF II G et de l'IFOF G communs à la durée des voyelles et à l'étendue vocale. Certaines portions du FST G et D semblent spécifiquement déconnectées pour la durée des voyelles et certaines portions du FAT D semblent quant à elles spécifiquement déconnectées pour l'étendue vocale.

Le rostrum et tronc du corps calleux sont également déconnectés pour l'étendue vocale et la durée des voyelles. Le genou du corps calleux semble quant à lui spécifiquement déconnecté pour la durée des voyelles même si quelques clusters de voxels spécifiques pour l'étendue vocale ont été retrouvés au niveau du genou du corps calleux.

En comparant la lésion des patients à un atlas de faisceaux de substance blanche, le Tractotron a confirmé la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche pour 5 patients et plus sur le FAT G (chez 11/15 patients), le FST G (chez 12/15 patients), le SLF I G (chez 11/15 patients), le SLF II G (chez 11/15 patients) et l'IFOF G (seulement 5/15 patients). Nous avons donc décidé de concentrer nos analyses suivantes pour les faisceaux d'intérêt déconnectés chez la majorité des patients à savoir le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G.

Le test des rangs signés de Wilcoxon issu du Tractotron confirme que les scores en période postopératoire pour le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G sont significativement différents des scores en période préopératoire pour la durée des voyelles en production émotionnelle (joie) (cf. tableau 3).

La durée des voyelles pour les épreuves de production émotionnelle (joie) est diminuée en postopératoire par rapport au préopératoire. Cela suppose que la vitesse d'articulation, et donc les mouvements des articulateurs, est plus rapide en postopératoire qu'en préopératoire (cf. figures 18, 19, 21 et 22). La diminution de la durée des voyelles semble donc corrélée à la déconnexion du FAT G, du FST G, du SLF I G et du SLF II G.

Concernant l'étendue vocale, l'épreuve de production émotionnelle (joie) pour le FST G est la seule à présenter des scores postopératoires significativement différents des scores en préopératoire (cf. tableau 3). L'analyse de ces scores (cf. figure 20) montre que l'étendue vocale s'est significativement élargie par rapport au préopératoire, alors que l'on s'attendait plutôt à une réduction cette l'étendue vocale (une atteinte au niveau de la fréquence fondamentale se traduirait plutôt par une réduction de ses capacités de variation et donc par une plus faible amplitude de l'étendue vocale). L'étendue vocale ne semble donc pas impliquée dans les troubles prosodiques postopératoire identifiés.

Notre hypothèse 2 est donc validée pour nos faisceaux d'intérêt tels que le FAT G, le FST G, le SLF I G et SLF II G.

Nos résultats issus des cartes de disconnectome indiquent que le FAT G est déconnecté communément pour la durée et l'étendue vocale. De plus, le test des rangs signés de Wilcoxon

a montré des résultats significativement différents entre le préopératoire et le postopératoire pour la durée des voyelles qui concerne l'épreuve de production émotionnelle. La durée des voyelles en postopératoire est diminuée par rapport au préopératoire, supposant une augmentation de la vitesse d'articulation par rapport au préopératoire. Sur la carte de disconnectome, il semblerait que quelques clusters du FAT D soient déconnectés spécifiquement pour l'étendue vocale. Toutefois, peu de patients sont concernés par la déconnexion (4/15 patients signalés par le Tractotron).

Le FAT a un trajet oblique dans la substance blanche frontale. Il relie le gyrus frontal inférieur avec le milieu du lobe frontal au gyrus frontal supérieur, plus précisément au niveau à la pré-AMS et à l'AMS ainsi qu'au gyrus et au sillon cingulaire. Il relie de façon prédominante la pré-AMS à la pars opercularis (Dick et al., 2019).

La pars opercularis située au niveau du gyrus frontal inférieur jouerait un rôle dans la programmation de la parole (Kinoshita et al., 2015).

Le gyrus cingulaire antérieur appartiendrait au réseau moteur négatif : sa stimulation provoque une réponse motrice négative se traduisant par un arrêt de la parole (Catani et al., 2013).

Le FAT pourrait jouer un rôle dans le contrôle du langage, en particulier la planification et l'articulation de la parole (Duffau, 2016).

→ L'atteinte du FAT G pourrait alors expliquer les troubles prosodiques identifiés en postopératoire de par son rôle potentiel dans la parole et le langage.

Les résultats de la carte de disconnectome montrent que le FST G semble déconnecté pour l'étendue vocale et la durée des voyelles. Des clusters de voxels du FST G et D sont spécifiquement déconnectés pour la durée des voyelles. De plus, le test des rangs signés de Wilcoxon a montré des résultats significativement différents entre le préopératoire et le postopératoire, pour la durée des voyelles qui concerne la production émotionnelle pour le FST G. La durée des voyelles en postopératoire est diminuée par rapport au préopératoire, supposant

une augmentation de la vitesse d'articulation par rapport au préopérateur. Le FST relie le gyrus précentral aux noyaux gris centraux (Kinoshita et al., 2015). Le FST G et D semble impliqué dans l'initiation et la préparation des mouvements de la parole (Naeser et al., 1989). De plus, le FST semble soutenir une boucle cortico-sous-corticale impliquant le noyau caudé qui participerait également au contrôle du langage (sélection/inhibition). En effet, des SED appliquées à la tête du noyau caudé génèrerait des persévérations (Duffau, 2016).

→ L'implication du FST G dans l'initiation, la préparation des mouvements de parole et dans le contrôle du langage pourrait expliquer les troubles dysprosodiques identifiés.

Les résultats de la carte de disconnectome montrent que le SLF I G et le SLF II G semblent déconnectés à la fois pour l'étendue vocale et pour la durée des voyelles. De plus, le test des rangs signés de Wilcoxon a montré des résultats significativement différents entre le préopérateur et le postopérateur pour la durée des voyelles au niveau de l'épreuve de production émotionnelle. La durée des voyelles en postopérateur est diminuée par rapport au préopérateur, supposant une augmentation de la vitesse d'articulation par rapport au préopérateur pour les deux faisceaux.

Le SLF I va du lobule pariétal supérieur et du précuneus (aires de Brodmann 7 et 5) au gyrus frontal supérieur (aires de Brodmann 6, 8, 9 et 10) (Rojkova et al., 2016).

Le SLF II relie le gyrus angulaire (aire de Brodmann 39) aux régions postérieures du gyrus frontal moyen (aire de Brodmann 6) (Rojkova et al., 2016).

Ces deux faisceaux ont une fonction très similaire : le SLF I serait impliqué dans la coordination et la planification d'une action motrice. Le SFL II serait impliqué dans la coordination de l'activité des membres supérieurs dans l'espace et dans la mémoire de travail spatiale (Bykanov et al., 2017).

→ L'implication du SLF I et du SLF II dans les aspects moteurs, du point de vue de la coordination et de la planification motrices, pourrait expliquer les troubles de la fluence qui semblent à l'origine des troubles dysprosodiques repérés.

Les résultats de la carte de disconnectome montrent que l'IFOF G est déconnecté pour la durée et l'étendue vocale. Le Tractotron montre toutefois qu'il n'est déconnecté que chez peu de patients (5/15 patients). L'IFOF relie le lobe occipital au lobe frontal et aux régions temporales postérieures et basales (Rojkova et al., 2016; Sarubbo et al., 2013). Il provient plus précisément du pôle occipital (aire de Brodmann 18), du gyrus lingual et des gyri occipitaux inférieur et moyen (aire de Brodmann 19). Les fibres ventrales de l'IFOF atteignent le gyrus orbitaire (aire de Brodmann 11) et le pôle frontal (aire de Brodmann 10). Les fibres dorsales atteignent le gyrus frontal antéro-supérieur (partie la plus antérieure de l'aire de Brodmann 9 et la plus dorsale de l'aire de Brodmann 10) (Rojkova et al., 2016). Le segment ventral profond connecte l'IFOF aux régions temporales postérieures et basales. Chez certains patients, la stimulation de l'IFOF par SED provoquerait des modifications prosodiques mais aussi une suspension totale de la fluence (Libra, 2015).

→ Ainsi, l'IFOF pourrait bien avoir un impact sur le traitement prosodique.

Le rostrum, le genou et une majeure partie du tronc du corps calleux se projettent sur l'ensemble de la surface du lobe frontal hormis la pars orbitalis (Rojkova et al., 2016). Le rostrum et le tronc du corps calleux sont déconnectés pour l'étendue vocale et la durée des voyelles. Le genou du corps calleux semble plus spécifiquement déconnecté pour la durée des voyelles même si quelques clusters du genou du corps calleux spécifiques à l'étendue vocale semblent également déconnectés. Ceci semble évoquer l'importance d'un réseau bilatéral dans lequel, la communication inter-hémisphérique jouerait un rôle important. Di Cristo (2013) évoque d'ailleurs l'existence d'un réseau bilatéral cortico-sous-cortical pour la prosodie. Un fonctionnement bilatéral est également évoqué plus particulièrement concernant la prosodie émotionnelle (Ross & Monnot, 2008).

Finalement, il semblerait que les troubles prosodiques identifiés soient plutôt liés à un déficit de fluence. Lemineur (2018), dans son étude par jury d'écoute, évoquait également des déficits de fluence qui seraient à l'origine des troubles prosodiques. Cette observation est congruente avec les données de la littérature concernant certains faisceaux d'intérêt suggérés dans notre hypothèse de départ, à savoir : le FAT, le FST, le

SLF I et le SLF II, puisque ces faisceaux semblent impliqués dans les aspects moteurs, et certains très précisément au niveau de la parole.

2 Limites de l'étude

Notre population, limitée à 15 patients au total, nous a permis d'obtenir un certain nombre de résultats pour l'hémisphère G. Nous avons obtenu moins de résultats dans l'hémisphère droit, mais cela ne signifie pas qu'aucun faisceau n'a été déconnecté à droite, d'autant plus que nos résultats nous orientent vers l'existence d'un réseau bilatéral. En effet, seulement 20% de notre population a été opérée dans l'hémisphère droit. Il aurait donc été préférable d'avoir davantage de patients opérés à droite dans notre étude pour espérer avoir des résultats plus probants. De plus, ANACOM ne considère, dans les analyses statistiques, que les recouvrements de voxels supérieurs à 3. Des résultats plus probants au niveau de l'hémisphère droit seraient probablement obtenus sur une population élargie.

D'autre part, les tests post hoc de Mann-Whitney pour les cartes de disconnectome n'ont pas abouti pour des raisons techniques. Les scores issus du test de Kruskal-Wallis présentés dans cette étude mériteraient donc d'être vérifiés avec la réalisation des tests post hoc de Mann-Whitney comparant précisément la population préopératoire et postopératoire opérée et déconnectée.

Des épreuves de répétition et de production ont été réalisées. Ces deux épreuves ont été traitées indifféremment dans l'analyse des cartes de disconnectome dans le but d'isoler éventuellement des structures spécifiques à un paramètre donné. Toutefois, il aurait été intéressant de comparer les structures impliquées spécifiquement en répétition et spécifiquement en production émotionnelle.

3 Perspectives de recherche

Premièrement, comme cela a été évoqué dans les limites, l'étude réalisée mériterait d'être réalisée sur une population élargie, avec davantage de patients opérés dans l'hémisphère droit.

Au vu des résultats obtenus, nous supposons que les troubles prosodiques identifiés sont dus notamment à un déficit de fluence. De ce fait, il serait intéressant d'approfondir cet aspect en étudiant le nombre des pauses et la durée des pauses. En effet, la durée des voyelles nous renseigne sur la vitesse d'articulation. Il serait alors intéressant d'étudier le débit de parole, en observant la durée et le nombre des pauses. Ces paramètres sont d'ailleurs disponibles mais n'ont pu faire l'objet d'analyse, par manque de temps.

D'autre part, nous avons constaté que les résultats significatifs du test des rangs signés de Wilcoxon pour le FAT G, le SLF I G, le SLF II G et le FST G concernent en très grande majorité l'épreuve de prosodie émotionnelle. Il semblerait donc pertinent de poursuivre des analyses en ciblant les épreuves de production émotionnelle. Celles-ci mériteraient d'être complétées par des analyses sur des corpus plus longs comme le texte ou encore le semi-spontanée afin de mettre probablement mieux en avant les déficits de fluence qui sembleraient être à l'origine des troubles prosodiques. Ces données ont d'ailleurs été préparées mais n'ont pu faire l'objet d'analyses, par manque de temps.

De plus, les analyses qualitatives du jury d'écoute de Lemineur (2018) mériteraient d'être associées aux épreuves dont les résultats seraient significatifs, afin de vérifier ou non la congruence des résultats obtenus dans les deux études.

4 Perspectives pour l'orthophonie

La meilleure connaissance des substrats anatomo-fonctionnels liés à la prosodie permettrait aux orthophonistes d'envisager des plans thérapeutiques plus adaptés dans la prise en charge postopératoire des GDBG en fonction de la demande du patient.

Ces données seraient également intéressantes pour la prise en soins de pathologies neurologiques pour lesquelles les compétences prosodiques des patients peuvent être impactées comme dans le cas des aphasies ou dans le cas des dysarthries.

CONCLUSION

Partant du constat de troubles prosodiques postopératoires confirmés par l'étude de Lemineur (2018) et ce, malgré la réalisation d'une cartographie cérébrale peropératoire, nous nous sommes demandé si la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche du lobe frontal était responsable de l'altération d'un ou plusieurs paramètres acoustiques.

Pour répondre à cette question, nous avons premièrement extrait différents paramètres acoustiques (fréquence fondamentale, durée et énergie) à partir d'enregistrements audio. Nous avons ensuite réalisé des analyses statistiques à l'aide d'ANACOM (Kruskal-Wallis), sur différents aspects de la durée (durée des voyelles accentuées, durée des voyelles non-accentuées, durée des voyelles dans leur ensemble, durée des consonnes et vitesse d'articulation) et sur un aspect de la fréquence fondamentale : l'étendue vocale. Les 48 analyses statistiques réalisées ont montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les patients en préopératoire, les patients opérés et préservés et les patients opérés et déconnectés. Nous supposons que la différence significative observée implique la population préopératoire et la population des patients opérés et déconnectés. En effet, Lemineur (2018) identifiait chez les patients, des troubles prosodiques postopératoires. Ainsi, nous pouvons supposer que cette différence significative va dans le sens d'une altération des paramètres acoustiques étudiés en période postopératoire par rapport à la période préopératoire.

Puis, nous avons analysé les cartes de disconnectome pour la durée des voyelles et l'étendue vocale, ciblées sur les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie). L'analyse de la carte de disconnectome résultante a montré la déconnexion de l'IFOF G, du FAT G, du FST G, du SLF I G et du SLF II G. Ces faisceaux ont été déconnectés à la fois pour la durée des voyelles et pour l'étendue vocale. Des clusters de déconnexion spécifiques à la durée des voyelles sur le trajet du FST G et D ont été identifiés. De plus, des clusters de déconnexion spécifiques à l'étendue vocale sur le trajet du FAT D ont été identifiés.

Pour étayer nos observations, nous avons réalisé des analyses statistiques à l'aide de l'outil Tractotron qui évalue la probabilité de déconnexion des faisceaux de substance blanche déconnectés par la lésion, en la comparant à un atlas de faisceaux de substance blanche. Les principaux faisceaux déconnectés signalés par le Tractotron sont le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G. De plus, ces faisceaux étaient également déconnectés sur les cartes de disconnectome.

Nous avons donc sélectionné ces faisceaux d'intérêt pour effectuer un test des rangs signés de Wilcoxon en appariant les population préopératoire et postopératoire. Ce test a été réalisé sur les mêmes paramètres et épreuves ciblés pour l'analyse des cartes de disconnectome, à savoir, la durée des voyelles et l'étendue vocale, pour les épreuves de répétition linguistique (question), répétition émotionnelle (joie) et production émotionnelle (joie). Pour tous les faisceaux testés (le FAT G, le FST G, le SLF I G et le SLF II G), les résultats se sont montrés significativement différents entre la population préopératoire et postopératoire pour la durée des voyelles à l'épreuve de production émotionnelle (joie). De plus, la durée des voyelles semble diminuer par rapport au préopératoire, ce qui laisse supposer que la vitesse d'articulation, elle, augmente. Ce résultat laisse supposer que les troubles prosodiques postopératoire identifiés sont plutôt dus à des troubles de la fluence.

Pour le FST G, l'étendue vocale a présenté des scores significativement différents entre le préopératoire et le postopératoire à l'épreuve de production émotionnelle (joie). L'étendue vocale postopératoire est, pour la majorité des patients, élargie par rapport au préopératoire. Ce résultat surprenant pourrait être imputé aux mécanismes de plasticité cérébrales mis en jeu après l'opération.

Enfin, les liens avec les données de la littérature pourraient expliquer les troubles prosodiques identifiés. En effet, il semblerait que le FAT, le FST, le SLF I et le SLF II soient impliqués dans des aspects moteurs et pour certains, précisément au niveau de la parole.

Ces résultats et leur approfondissement futur permettraient d'une part, d'anticiper les troubles prosodiques postopératoires. D'autre part, ils permettraient aux orthophonistes

d'adapter au mieux le projet thérapeutique des patients opérés d'un GDBG et *in fine*, d'améliorer la qualité de vie des patients.

BIBLIOGRAPHIE

BCBToolkit. (s. d.). <http://toolkit.bcblab.com>

Bizzi, A., Nava, S., Ferrè, F., Castelli, G., Aquino, D., Ciaraffa, F., Broggi, G., DiMeco, F., & Piacentini, S. (2012). Aphasia induced by gliomas growing in the ventrolateral frontal region : Assessment with diffusion MR tractography, functional MR imaging and neuropsychology. *Cortex*, 48(2), 255-272. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.11.015>

Brouland, J.-P., & F. Hottinger, A. (2017). Nouvelle classification OMS 2016 des gliomes : Quels changements ? *Revue Médicale Suisse*, 1805-1809.

Bykanov, A. E., Pitskhelauri, D. I., Batalov, A. I., Pronin, I. N., Shkarubo, M. A., Dobrovol'skiy, G. F., Kobayakov, G. L., Buklina, S. B., Puchkov, V. L., Zakharova, N. E., Smirnov, A. S., Sanikidze, A. Z., Gol'bin, D. A., Pogosbekyan, E. L., Kudieva, E. S., Shkatova, A. M., & Potapov, A. A. (2017). Surgical anatomy of the peri-insular association tracts. Part I. The superior longitudinal fascicle system. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 81(1), 26. <https://doi.org/10.17116/neiro201780726-38>

Catani, M., & ffytche, D. H. (2005). The rises and falls of disconnection syndromes. *Brain*, 128(10), 2224-2239. <https://doi.org/10.1093/brain/awh622>

Catani, M., Mesulam, M. M., Jakobsen, E., Malik, F., Martersteck, A., Wieneke, C., Thompson, C. K., Thiebaut de Schotten, M., Dell'Acqua, F., Weintraub, S., & Rogalski, E. (2013). A novel frontal pathway underlies verbal fluency in primary progressive aphasia. *Brain*, 136(8), 2619-2628. <https://doi.org/10.1093/brain/awt163>

Dabouis, A. (2014). *Élaboration d'un livret d'aide à la prise en charge de la dysprosodie parkinsonienne*. Poitiers.

Darlix, A. (2016). *Gliomes diffus de bas grade : Données épidémiologiques et hypothèses étiologiques*. Institut des Neurosciences de Montpellier.

De Partz, M.-P., & Pillon, A. (2014). Chapitre 16 : Sémiologie, syndromes aphasiques et examen clinique des aphasies. In *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte Tome 1—Évaluation*. (2ème édition, p. 249-265). De Boeck-Solal.

Desmurget, M., Bonnetblanc, F., & Duffau, H. (2006). Contrasting acute and slow-growing lesions : A new door to brain plasticity. *Brain*, 130(4), 898-914. <https://doi.org/10.1093/brain/awl300>

Di Cristo, A. (2004). La prosodie au carrefour de la phonétique, de la phonologie et de l'articulation formes-fonctions. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence*, 23, 67-211.

Dick, A. S., Garic, D., Graziano, P., & Tremblay, P. (2019). The frontal aslant tract (FAT) and its role in speech, language and executive function. *Cortex*, 111, 148-163. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.10.015>

DiCristo, A. (2013). *La prosodie de la parole* (1re édition). De Boeck-Solal.

Duffau, H. (2005). Metabolic and Functional Brain Mapping, Connectivity and Plasticity Applied to the Surgery of Cerebral Tumors. *Current Medical Imaging Reviews*, 1(2), 131-155. <https://doi.org/10.2174/1573405054038744>

Duffau, H. (2006). Brain plasticity : From pathophysiological mechanisms to therapeutic applications. *Journal of Clinical Neuroscience*, 13(9), 885-897. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2005.11.045>

Duffau, H. (2009). Surgery of low-grade gliomas : Towards a 'functional neurooncology': *Current Opinion in Oncology*, 21(6), 543-549. <https://doi.org/10.1097/CCO.0b013e3283305996>

Duffau, H. (2016a). *L'erreur de Broca : Exploration d'un cerveau éveillé* (Michel Lafon). Michel Lafon.

Duffau, H. (2016b). Stimulation Mapping of Myelinated Tracts in Awake Patients. *Brain Plasticity*, 2(1), 99-113. <https://doi.org/10.3233/BPL-160027>

Duffau, H. (2019). Higher-Order Surgical Questions for Diffuse Low-Grade Gliomas. *Neurosurgery Clinics of North America*, 30(1), 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2018.08.009>

Duffau, H., & Capelle, L. (2004). Preferential brain locations of low-grade gliomas : Comparison with glioblastomas and review of hypothesis. *Cancer*, 100(12), 2622-2626. <https://doi.org/10.1002/cncr.20297>

Duffau, H., Capelle, L., Sichez, N., Denvil, D., Lopes, M., Sichez, J., Bitar, A., & Fohanno, D. (2002). Intraoperative mapping of the subcortical language pathways using direct stimulations. *Brain*, 125(1), 199-214. <https://doi.org/10.1093/brain/awf016>

Duffau, H., Moritz-Gasser, S., & Mandonnet, E. (2014). A re-examination of neural basis of

language processing : Proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming. *Brain and Language*, 131, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.05.011>

Foulon, C., Cerliani, L., Kinkingnéhun, S., Levy, R., Rosso, C., Urbanski, M., Volle, E., & Thiebaut de Schotten, M. (2018). Advanced lesion symptom mapping analyses and implementation as BCBtoolkit. *GigaScience*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy004>

Fox, A. (2000). *Prosodic Features and Prosodic Structure : The phonology of Suprasegmentals* (Oxford University Press).

Hickok, G. (2009). The functional neuroanatomy of language. *Physics of life reviews*, 6(3), 121-143.

Ius, T., Angelini, E., Thiebaut de Schotten, M., Mandonnet, E., & Duffau, H. (2011). Evidence for potentials and limitations of brain plasticity using an atlas of functional resectability of WHO grade II gliomas : Towards a “minimal common brain”. *NeuroImage*, 56(3), 992-1000. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.03.022>

Kinkingnéhun, S., Volle, E., Péligrini-Issac, M., Golmard, J.-L., Lehericy, S., du Boisguéheneuc, F., Zhang-Nunes, S., Sosson, D., Duffau, H., Samson, Y., Levy, R., & Dubois, B. (2007). A novel approach to clinical–radiological correlations : Anatomico-Clinical Overlapping Maps (AnaCOM): Method and validation. *NeuroImage*, 37(4), 1237-1249. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.06.027>

Kinoshita, M., de Champfleury, N. M., Deverduin, J., Moritz-Gasser, S., Herbet, G., & Duffau, H. (2015). Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech : An axonal mapping study. *Brain Structure & Function*, 220(6), 3399-3412. <https://doi.org/10.1007/s00429-014-0863-0>

Lacheret, A. (2011). *La prosodie au cœur du verbal*. 14.

Lemineur, C. (2018). *Analyse perceptive de la prosodie de patients opérés en condition éveillée d'un gliome diffus de bas grade frontal* [Mémoire d'orthophonie].

Libra, M. (2015). *Le manque du mot : Une analyse basée sur la cartographie peropératoire chez des patients opérés de gliomes de bas grade en condition éveillée* [Mémoire d'orthophonie]. Besançon.

Louis, D. N., Perry, A., Reifenberger, G., von Deimling, A., Figarella-Branger, D., Cavenee, W. K., Ohgaki, H., Wiestler, O. D., Kleihues, P., & Ellison, D. W. (2016). The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System : A summary. *Acta Neuropathologica*, *131*(6), 803-820. <https://doi.org/10.1007/s00401-016-1545-1>

Louis, M. (2003). *Etude longitudinale de la dysprosodie d'un cas d'Aphasie Progressive Primaire : Analyse des variables temporelles*.

Mandonnet, E., Delattre, J.-Y., Tanguy, M.-L., Swanson, K. R., Carpentier, A. F., Duffau, H., Cornu, P., Van Effenterre, R., Alvord, E. C., & Capelle, L. (2003). Continuous growth of mean tumor diameter in a subset of grade II gliomas. *Annals of Neurology*, *53*(4), 524-528. <https://doi.org/10.1002/ana.10528>

Martin, P. (2009). *Intonation du français* (Armand Colin).

Martin, P. (2018). *Intonation, structure prosodique et ondes cérébrales : Introduction à l'analyse prosodique* (Vol. 1). ISTE editions.

Mertens, P. (2019). *Phonétique, phonologie et prosodie du français*. 299.

Mitchel S., B., George A., O., & Ettore, L. (1990). *Neurophysiological Monitoring During Astrocytoma Surgery*. *1*(1).

Morel, M.-A., & Danon-Boileau, L. (1998). *Grammaire de l'intonation, l'exemple du français* (Ophrys).

Moritz-Gasser, S., & Duffau, H. (2010). Conséquences psychologiques de la chirurgie éveillée des tumeurs cérébrales. *Psycho-Oncologie*, *4*(2), 96-102. <https://doi.org/10.1007/s11839-010-0256-4>

Moritz-Gasser, Sylvie. (2012). *Les bases neurales du traitement sémantique : Un nouvel éclairage : Études en électrostimulations cérébrales directes*. Université de Montpellier.

Naeser, M. A., Palumbo, C. L., Helm-Estabrooks, N., Stiassny-Eder, D., & Albert, M. L. (1989). SEVERE NONFLUENCY IN APHASIA : ROLE OF THE MEDIAL SUBCALLOSAL FASCICULUS AND OTHER WHITE MATTER PATHWAYS IN RECOVERY OF SPONTANEOUS SPEECH. *Brain*, *112*(1), 1-38. <https://doi.org/10.1093/brain/112.1.1>

Nakajima, R., Yordanova, Y. N., Duffau, H., & Herbet, G. (2018). Neuropsychological evidence for the crucial role of the right arcuate fasciculus in the face-based mentalizing

- network : A disconnection analysis. *Neuropsychologia*, 115, 179-187.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.024>
- Ostrom, Q. T., Patil, N., Cioffi, G., Waite, K., Kruchko, C., & Barnholtz-Sloan, J. S. (2020). CBTRUS Statistical Report : Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2013–2017. *Neuro-Oncology*, 22(Supplement_1), iv1-iv96.
<https://doi.org/10.1093/neuonc/noaa200>
- Rojkova, K., Volle, E., Urbanski, M., Humbert, F., Dell'Acqua, F., & Thiebaut de Schotten, M. (2016). Atlasing the frontal lobe connections and their variability due to age and education : A spherical deconvolution tractography study. *Brain Structure and Function*, 221(3), 1751-1766.
<https://doi.org/10.1007/s00429-015-1001-3>
- Ross, E. D., & Monnot, M. (2008). Neurology of affective prosody and its functional–anatomic organization in right hemisphere. *Brain and Language*, 104(1), 51-74.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.04.007>
- Salvan, P., Tournier, J. D., Batalle, D., Falconer, S., Chew, A., Kennea, N., Aljabar, P., Dehaene-Lambertz, G., Arichi, T., Edwards, A. D., & Counsell, S. J. (2017). Language ability in preterm children is associated with arcuate fasciculi microstructure at term : Language Brain Organization in Preterm Neonates. *Human Brain Mapping*, 38(8), 3836-3847.
<https://doi.org/10.1002/hbm.23632>
- Sammler, D., Cunitz, K., Gierhan, S. M. E., Anwander, A., Adermann, J., Meixensberger, J., & Friederici, A. D. (2018). White matter pathways for prosodic structure building : A case study. *Brain and Language*, 183, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.05.001>
- Sarubbo, S., De Benedictis, A., Maldonado, I. L., Basso, G., & Duffau, H. (2013). Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle : Anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle. *Brain Structure and Function*, 218(1), 21-37. <https://doi.org/10.1007/s00429-011-0372-3>
- Vaissière, J. (2015). *La phonétique* (Presses Universitaires de France).

ANNEXES

Annexe 1 : le « cerveau minimal commun »

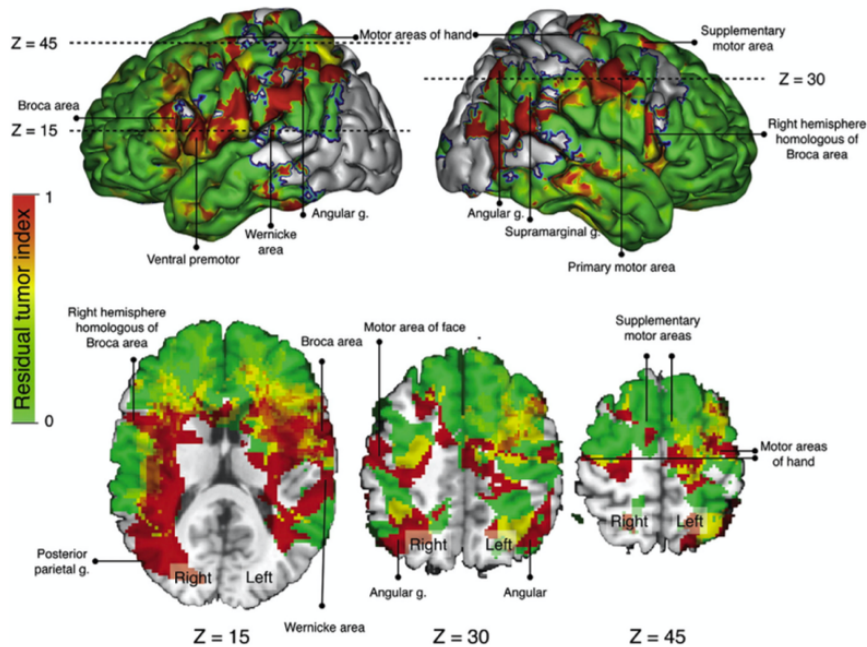


Figure 1 : carte probabiliste de résection du cortex cérébral (Ius et al., 2011).

Les probabilités de résection ont été codées selon une échelle chromatique :

- Certaines zones sont toujours résécables du fait de l'existence de la plasticité cérébrale (vert)
- Certaines zones ne sont jamais résécables car elles ont un rôle fonctionnel invariant (rouge) et correspondent au « minimal common brain »
- Certaines zones dépendent de la variabilité inter-individuelle (jaune)

N.B : les régions transparentes indiquent les zones où aucune tumeur n'a été observée et où il n'y a pas d'information sur la résécabilité.

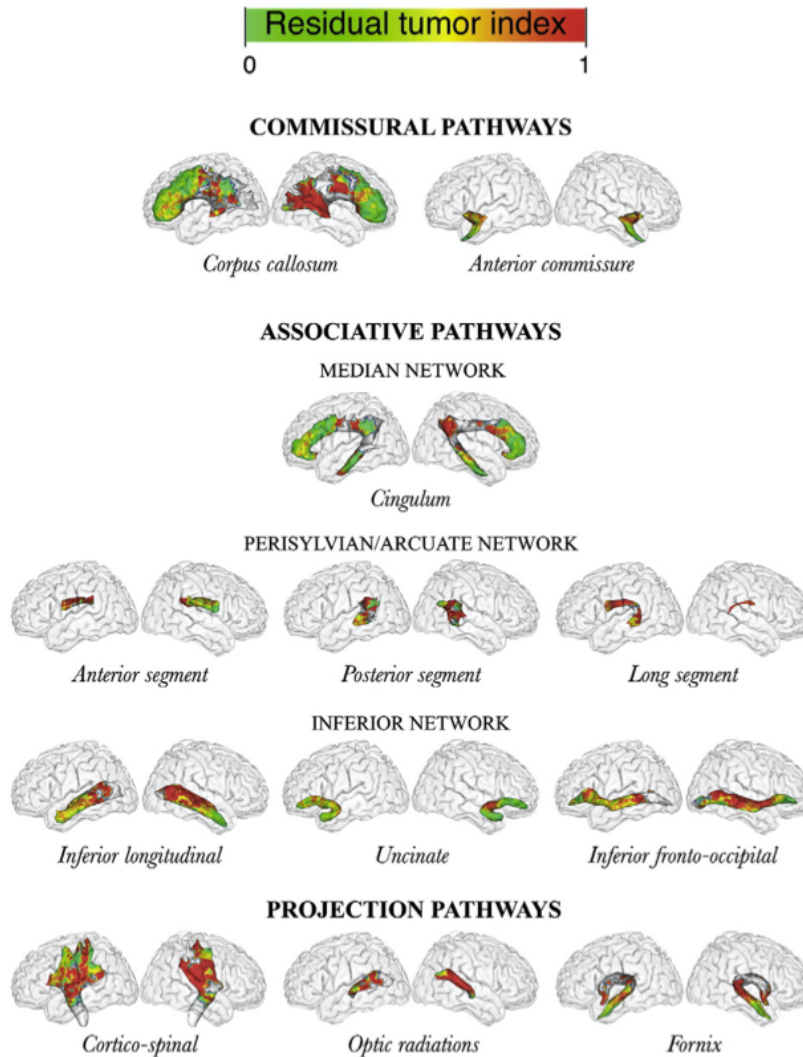


Figure 2 : carte probabiliste de résection des fibres de substance blanche sous-corticales (Ius et al., 2011).

Les probabilités de résection ont été codées selon une échelle chromatique :

- Certaines zones sont toujours résécables du fait de l'existence de la plasticité cérébrale (vert)
- Certaines zones ne sont jamais résécables car elles ont un rôle fonctionnel invariant (rouge) et correspondent au « minimal common brain »
- Certaines zones dépendent de la variabilité inter-individuelle (jaune)

N.B : les régions transparentes indiquent les zones où aucune tumeur n'a été observée et où il n'y a pas d'information sur la résécabilité.

Annexe 2 : épreuves de prosodie du protocole MEC

PHRASES	?	•	☞	COMMENTAIRES
1. Marie va travailler.				neutre <input type="checkbox"/>
2. Pierre boit du lait?				neutre <input type="checkbox"/>
3. Louise, garde le bébé.				neutre <input type="checkbox"/>
4. Jean prend du café?				neutre <input type="checkbox"/>
5. Marie va travailler?				neutre <input type="checkbox"/>
6. Pierre, bois du lait.				neutre <input type="checkbox"/>
7. Louise garde le bébé.				neutre <input type="checkbox"/>
8. Jean, prends du café.				neutre <input type="checkbox"/>
9. Marie, va travailler.				neutre <input type="checkbox"/>
10. Pierre boit du lait.				neutre <input type="checkbox"/>
11. Louise garde le bébé?				neutre <input type="checkbox"/>
12. Jean prend du café.				neutre <input type="checkbox"/>

Figure 3 : épreuve de répétition de patterns prosodiques linguistiques (question, affirmation, ordre) issue du protocole MEC

PHRASES	☹	😊	☠	COMMENTAIRES
1. Jacques va sortir.				neutre <input type="checkbox"/>
2. Claire frappe à la porte.				neutre <input type="checkbox"/>
3. René lit le journal.				neutre <input type="checkbox"/>
4. Denise mange du pain.				neutre <input type="checkbox"/>
5. Claire frappe à la porte.				neutre <input type="checkbox"/>
6. Jacques va sortir.				neutre <input type="checkbox"/>
7. René lit le journal.				neutre <input type="checkbox"/>
8. Denise mange du pain.				neutre <input type="checkbox"/>
9. Claire frappe à la porte.				neutre <input type="checkbox"/>
10. Jacques va sortir.				neutre <input type="checkbox"/>
11. René lit le journal.				neutre <input type="checkbox"/>
12. Denise mange du pain.				neutre <input type="checkbox"/>

Figure 4 : épreuve de répétition de patterns prosodiques émotionnels (tristesse, joie, colère) issue du protocole MEC

PHRASE 1 : Mon mari a brisé mon vase.

1A. Jeanne a un vase qu'elle adore. Sans le faire exprès, son mari a laissé tomber le vase et l'a brisé. Jeanne est bien triste et appelle sa soeur pour lui dire.
*Si vous étiez Jeanne et que vous étiez **triste**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

1B. Marie a reçu en cadeau un vase affreux qu'elle déteste. Son mari a accidentellement heurté le vase qui s'est brisé au sol en mille morceaux. Marie est heureuse d'être enfin débarrassée du vase. Et appelle sa soeur pour lui dire.
*Si vous étiez Marie et que vous étiez **heureuse**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

1C. Catherine a mis plusieurs semaines à faire un beau vase en poterie. Pendant une scène de ménage, son mari a pris le vase et l'a lancé par terre. Catherine est furieuse et appelle sa soeur pour lui dire.
*Si vous étiez Catherine et que vous étiez **très en colère**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

PHRASE 2 : J'ai vu mon médecin aujourd'hui.

2B. Pauline et son mari veulent avoir un enfant depuis longtemps. Pauline est allée chez le médecin et il lui a confirmé qu'elle est bel et bien enceinte. Folle de joie, elle appelle son mari pour lui dire.
*Si vous étiez Pauline et que vous étiez **heureuse**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

2C. Jean-Pierre est en attente de traitements de physiothérapie depuis plusieurs semaines. Son médecin lui a annoncé aujourd'hui qu'il faudrait attendre encore un mois avant le début des traitements. Jean-Pierre est furieux et appelle sa femme pour lui dire.
*Si vous étiez Jean-Pierre et que vous étiez **très en colère**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

2A. Édouard se rend chez son médecin pour obtenir les résultats des examens qu'il a passés. Son médecin lui annonce qu'il est atteint d'une maladie grave. La nouvelle le rend bien triste et il appelle son frère pour lui en parler.
*Si vous étiez Édouard et que vous étiez **triste**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

PHRASE 3 : J'ai reçu une lettre de mon père.

3C. Olivier a reçu une lettre de son père lui annonçant qu'il a l'intention de le déshériter suite à une querelle récente. Olivier est furieux et appelle sa femme pour lui en parler.
*Si vous étiez Olivier et que vous étiez **très en colère**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

3A. Louis a reçu une lettre de son père lui annonçant le décès d'une tante qu'il aimait bien. Cette nouvelle lui fait de la peine et il appelle sa femme pour lui annoncer.
*Si vous étiez Louis et que vous étiez **triste**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

3B. Antoine a reçu une lettre de son père lui annonçant qu'il pourra venir passer les vacances de Noël chez lui. Comme ils ont toujours eu une belle relation, Antoine est très content d'apprendre la nouvelle et il appelle sa femme pour lui dire.
*Si vous étiez Antoine et que vous étiez **heureux**, avec quelle intonation diriez-vous cette phrase?*

Figure 5 : épreuve de production émotionnelle issue du protocole MEC

Annexe 3 : caractéristiques de la population et des tumeurs

Population	
Nombre de patients	15
Âge moyen +/- écart-type (années)	34 +/- 11
Sex-ratio	0,67
Latéralité	
Droit	73%
Gauche	27%
Côté de la tumeur	
Droit	20%
Gauche	80%
Controlatéral à la latéralité	93%
Localisation de la tumeur	
Frontal	100%

Tableau 1 : caractéristiques de la population et des tumeurs



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



Charpentier Manon

Analyse des variations prosodiques chez des patients opérés en condition éveillée d'un gliome diffus de bas grade frontal et bases anatomo-fonctionnelles

Résumé : Notre étude s'intéresse aux compétences prosodiques chez les patients opérés de gliomes diffus de bas grade frontaux. En effet, malgré la réalisation d'une cartographie cérébrale peropératoire, certains patients se sont plaints de troubles prosodiques postopératoire. Nous nous demandons alors si la déconnexion de certains faisceaux de substance blanche du lobe frontal est responsable de l'altération d'un ou plusieurs paramètres acoustiques. Pour ce faire, nous avons extrait, à partir d'enregistrements audio, les performances des patients pour les différents paramètres acoustiques (fréquence fondamentale, énergie et durée) avant et après l'opération. Nos résultats semblent montrer une différence significative entre les patients en préopératoire et les patients opérés et déconnectés pour la durée et l'étendue vocale. L'analyse de durée des voyelles et d'étendue vocale pour six épreuves sélectionnées semble montrer une déconnexion de certains faisceaux de substance blanche frontale tels que le FAT gauche, le FST gauche, et le SLF I et II gauches. Le rôle de ces faisceaux dans des aspects moteurs et pour certains précisément dans la parole pourrait expliquer les troubles prosodiques postopératoire identifiés.

Mots-clés : Gliomes – Chirurgie éveillée – Dysprosodie – Paramètres acoustiques – Neurologie

Abstract : Our study focuses on prosodic skills on patients for diffuse low-grade gliomas. Indeed, despite the realisation of an intraoperative brain mapping, some patients have complained of postoperative prosodic troubles. Then, we wonder if the disconnection of certain white matter pathways from the frontal lobe is responsible for the alteration of one or more acoustic parameters. To do this, we extracted, from audio recordings, the performances of patients for different acoustic parameters (fundamental frequency, energy and duration) before and after the surgery. Our results seem to show a significant difference between preoperative patients and operated patients disconnected for the duration and the vocal range. The analysis of the vowel duration and the vocal range for six selected tests appears to show a disconnection of some frontal white matter pathways such as the left FAT, and the left SLF I and II. The role of these pathways in motor aspects and for some precisely in speech could explain the postoperative prosodic disorders identified.

Keywords : Gliomas - Awake surgery - Dysprosody - Acoustic parameters - Neurology