



HAL
open science

Perturbation de la production de la parole chez le patient atteint d'une paralysie laryngée : données acoustiques et aérodynamiques

Noé Xiu

► **To cite this version:**

Noé Xiu. Perturbation de la production de la parole chez le patient atteint d'une paralysie laryngée : données acoustiques et aérodynamiques. Linguistique. Université de Strasbourg, 2018. Français. NNT : 2018STRAC039 . tel-02133946

HAL Id: tel-02133946

<https://theses.hal.science/tel-02133946>

Submitted on 20 May 2019

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.

Faculté des LETTRES
UR 1339 Linguistique, Langues et Parole-LiLPa
ER Parole et Cognition & Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS)

THÈSE

présentée pour l'obtention du doctorat de
Sciences du Langage
par

No éXIU

le 18 décembre 2018

Spécialité: Phonétique Générale et Expérimentale

Phonétique clinique

PERTURBATION DE LA PRODUCTION DE LA PAROLE CHEZ LE PATIENT ATTEINT D'UNE PARALYSIE LARYNGÉE DONNÉES ACOUSTIQUES ET AÉRODYNAMIQUES

JURY

Mme Lise CREVIER-BUCHMANN (Rapporteur)
Chargée de recherches, CNRS / Université Paris 3, Sorbonne

M. le Professeur Bernard HARMEGNIES (Rapporteur)
Laboratoire de Phonétique, Université de Mons, Belgique

M. Yves LAPRIE (Examineur)
Directeur de recherches, Laboratoire Lorrain de Recherches en Informatique et ses
Applications – LORIA, Nancy

M. le Professeur Jean-François RODIER (Examineur)
Groupe Hospitalier St Vincent, Clinique Ste Anne / Université de Strasbourg

Dr. Pierre-Philippe Volkmar (Invité)
Groupe Hospitalier St Vincent, Clinique Ste Anne de Strasbourg

M. le Professeur Rudolph SOCK (Examineur)
IPS & U.R. 1339 LiLPa, ER Parole et Cognition, Université de Strasbourg

Mme le Professeur Beatrice VAXELAIRE (Directeur de thèse)
IPS & U.R. 1339 LiLPa, ER Parole et Cognition, Université de Strasbourg

Sommaire

Remerciements

Introduction.....	7
Organisation de la thèse	12
I. CONSIDERATIONS ANATOMIQUES ET OPERATIONS THYROÏDIENNES ...	24
I.1. Le mécanisme de la phonation	25
1. Niveau respiratoire.....	25
2. Niveau phonatoire.....	27
3. Niveau articulaire.....	30
I.2. La glande thyroïde	35
1. Anatomie	35
2. Approvisionnement sanguin.....	37
3. Les parathyroïdes	38
4. Les nerfs.....	39
I.3. Les opérations thyroïdiennes	41
1. La pathologie thyroïdienne	41
2. Les Thyroïdectomies.....	43
I.4. Les nerfs et les lésions neurologiques	45
1. Le nerf laryngé récurrent (RLN).....	45
2. Le nerf laryngé supérieur (SLN).....	48
3. La paralysie et la parésie des plis vocaux	51
4. Le traitement	52
II. ÉTAT DE LA QUESTION	56
II.1. Conséquences aérodynamiques de la thyroïdectomie	57
1. Le Temps Maximum de Phonation	57
2. Le débit d'air oral.....	60
3. Le pic du débit d'air oral.....	61
4. La pression intra-orale et la pression sous-glottique.....	61
II.2. Conséquences acoustiques de la thyroïdectomie, évaluation et traitement.....	65
1. Fréquence fondamentale	65
2. F1 / F2.....	68
3. Jitter et Shimmer	68
4. HNR (Harmonics-to-Noise Ratio)	71

5. Indice des perturbations	74
6. Harmoniques et formants	74
7. Impact sur l'Évaluation Subjective	78
8. Effet de la thérapie vocale	80
III. PARTIE EXPERIMENTALE	82
III.1. Protocole experimental	83
1. Matériel	84
2. Corpus	87
3. Locuteurs	89
4. Enregistrements	91
III.2. Paramètres retenus	91
1. Temps Maximum de Phonation (MPT)	92
2. Débit d'Air Oral (OAF)	93
3. Pic du débit d'Air Oral (Pic)	93
4. La pression intra-orale (PIO)	94
5. Espace vocalique (Triangle vocalique)	95
6. Fréquence Fondamentale (F0)	96
7. Jitter et Shimmer	96
8. Harmonics-to-Noise Ratio (NHR)	97
9. Analyses Statistiques (ANOVA)	97
IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION	102
Introduction	103
Hypothèses	103
IV.1. Résultats des expériences aérodynamiques	106
1. Le temps maximum de phonation (MPT)	106
2. Le débit d'air oral (OAF) du MPT	115
3. Le débit d'air oral (OAF) des trois voyelles extrêmes soutenues	123
4. Le Pic du débit d'air oral (PIC) des consonnes	147
IV.2. Résultats des expériences acoustiques et des évaluations subjectives	203
1. Études Formantiques	203
2. Études des indices de perturbation dans le signal acoustique	238
3. Résultats du VHI (Voice Handicap Index)	251
Synthèse générale et conclusions	258

Perspective	268
Bibliographie.....	269
Annexe	290
Corpus	291
Informations Personnelles.....	292
Script de Praat utilis é.....	293
Statistique.....	295
Auto-estimation du Handicap Vocal (Voice Handicap Index VHI).....	338
Consentement de Participation	341

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais remercier le Directeur de cette thèse, Mme Béatrice Vaxelaire de m'avoir accepté comme son doctorant et de m'avoir dirigé tout au long de ces années de thèse. Merci de m'avoir guidé, encouragé, conseillé, me permettre de beaucoup me déplacer en missions scientifiques pendant quatre ans, afin je puisse avoir de l'expérience et des perspectives différentes et précieuses dans mon domaine de recherche.

Je remercie M. Rudolph Sock d'avoir co-encadré ce travail de thèse, qui a toujours été disponible pour m'aider avec mes nombreuses questions, pour nos nombreuses discussions qui m'ont permis ainsi d'arriver à ce stade aujourd'hui. La version finale de cette thèse a bénéficié de sa relecture très attentive et de ses remarques précieuses.

Le terme en allemand *Die Doktormutter/Der Doktorvater* (le directeur de thèse) est la meilleure description pour ces deux personnes pour moi. Ils sont en effet un très *lovely couple*. Je suis très heureux et j'ai eu vraiment de la chance d'avoir pu passer quatre importantes années dans ma vie avec eux. Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes. Je les inviterai sûrement à ma jolie ville natale qui se situe loin d'ici, un jour pour la cérémonie de mon mariage, si seulement j'ai la chance de trouver quelqu'un.

Je remercie Mme Camille Fauth pour son aide et ses conseils importants pendant ces années dans le travail théorique, le *fieldwork*, la rédaction, ainsi que dans la vie de tous les jours. Elle a continué à m'aider même à l'époque où elle attendait «la livraison de la cigogne ». Je voudrais lui souhaiter mes meilleurs vœux à elle, à son époux et à leur bébé qui viendra bientôt.

Je remercie Mme Lise Crevier-Buchmann, M. Bernard Harmegnies, M. Yves Laprie, Dr. Jean-François Rodier, Dr. Pierre-Philippe Volkmar, Mme Béatrice Vaxelaire et M. Rudolph Sock d'avoir accepté de relire cette thèse, d'en être rapporteurs et pour leur participation au Jury.

Je remercie M. Yohann Meynadier et M. Alain Ghio pour leurs réponses à mes nombreuses questions avec beaucoup de patience, surtout par rapport aux traitements des données aérodynamiques.

Je tiens à remercier Dr. Jean-François Rodier et Dr. Pierre-Philippe Volkmar pour leur aide constante pendant ma formation et le travail sur terrain dans leur Clinique.

Mes remerciements vont également à mes chers collègues dans notre Institut de Phonétique : Marion Béchet, Saïl Bouzidi, Delphine Charreau, Fayssal Bouarourou et Seto Yibokou qui m'ont épaulé pour la relecture et la vérification du manuscrit.

Je remercie notre statisticien Mme Ting Liu pour son sérieux et sa rigueur dans le travail.

Je remercie également mes nombreuses «assistantes » et stagiaires tout au long de l'acquisition des données en France, ainsi que mes «assistant(e)s » pendant les missions à l'étranger.

Un remerciement à notre Secrétaire Mme Stéphanie Debaize pour les nombreuses démarches administratives qu'elle a effectuées pour moi pendant ces quatre dernières années.

Merci également à tous les autres membres de notre Institut et de notre Laboratoire LiLPa, notamment ceux avec qui j'ai eu l'occasion de travailler, et les autres simplement pour les bons moments partagés ensemble.

Je remercie particulièrement mes Parents de leur soutien moral qui traverse une distance de 10 000 Km, et je salue leur compréhension parce que j'ai rarement pu les rejoindre étant souvent très occupé et à cause aussi du décalage horaire.

Je remercie Mme Linxi Bai et M Lanerduo pour leur compagnie et leur soutien, qui m'ont permis de souvent oublier le stress et la fatigue.

Je remercie tout le monde que je n'aurais pas pu citer ici par un court remerciement : «Merci ! »

Une thèse ne se fait pas toute seule...

Introduction

Ce travail de thèse se veut une contribution aux recherches menées en linguistique et phonétique cliniques, plus particulièrement dans le cadre de l'analyse de faits compensatoires ou de réajustements mis en place par des patients, suite à une perturbation provoquée au niveau du fonctionnement de leur système phonatoire.

En effet, notre thèse vise à étudier les conséquences d'une ablation totale ou partielle de la glande thyroïde suite à un dysfonctionnement thyroïdien, suivie ou non d'un traitement radiothérapeutique, et ce dans le domaine de la phonétique clinique.

Ce type d'intervention perturbe généralement le système de production de la parole et conduit parfois à une dégradation de la qualité vocale de façon permanente (moins de 5% des cas) ou passagère.

La thyroïde est une glande située à la base du cou et qui a la forme d'un papillon avec deux lobes pesant environ 30 grammes chez les adultes. Son rôle est extrêmement important. Elle produit la triiodothyronine et la thyroxine, qui sont liées au fonctionnement normal des cellules de l'organisme. De plus, elle est responsable de la sécrétion des hormones thyroïdiennes, qui ont des effets majeurs tels le fonctionnement du système nerveux central (lenteur d'idéation, dépression, excitabilité, anxiété, etc.), la croissance avant et après la naissance, le rythme cardiaque, la pression artérielle, la transpiration, etc. (Tappy *et al.*, 1987).

Les thyroïdectomies sont des interventions très fréquentes. En France, il y a entre 35.000 et 45.000 thyroïdectomies réalisées par an, ainsi que d'autres opérations qui pourraient entraîner une paralysie laryngée. Elles concernent les femmes dans 80% des cas. Pour les patients, ces conséquences sont souvent plus graves qu'une cicatrice, lesquelles peuvent aboutir souvent à un arrêt transitoire d'activité, un traitement substitutif et parfois une dysphonie temporaire ou permanente (Trésallet & Menegaux 2015). Les complications apparaissent souvent au niveau de la respiration, de la déglutition, de la phonation et des échelles de qualité de vie. Les troubles de la phonation, de la déglutition et la dyspnée sont des facteurs majeurs de gravité.

Les nerfs récurrents sont une des trois branches du nerf vague (nerf crânien X), lequel est responsable de l'innervation des muscles laryngés intrinsèques, avec le reste des nerfs innervant les muscles extrinsèques, lorsque ce nerf vague sort du tronc cérébral. Lors de l'ablation (totale ou partielle) de la glande thyroïde, le chirurgien prend soin de préserver les nerfs récurrents responsables de la mobilité de tous les muscles intrinsèques du larynx, dont les plis vocaux, à l'exception du crico-thyroïdien. Le nerf laryngé récurrent a un long parcours, et il est par conséquent plus exposé et vulnérable (Aronson & Bless. 2009).

La section du nerf ainsi que sa manipulation entraînent une paralysie des plis vocaux. La paralysie peut surprendre un grand nombre de chirurgiens thyroïdiens expérimentés, qui sont convaincus que le nerf a été laissé intact (Sulica *et al.* 2006). Netto *et al.* (2006) indiquent d'un point de vue subjectif qu'une dégradation de la qualité vocale est souvent provoquée par la thyroïdectomie, même si les nerfs laryngés n'ont pas été abîmés.

Bien que les deux nerfs récurrents (droit et gauche) puissent être réparés et repoussés après l'intervention, ils pourraient également rester lésés à différents niveaux, ce qui entraîne souvent un trouble de la voix (instabilité, raucité, souffle, etc.). Ces complications surviennent dans 1 à 2 % des thyroïdectomies. La voix peut être récupérée à l'aide d'une rééducation orthophonique. La lésion des deux nerfs récurrents est rare et exceptionnelle, elle peut entraîner parallèlement des troubles de la voix ainsi que des difficultés respiratoires.

Un trouble vocal post-thyroïdectomie n'est pas vécu de façon identique par tous les individus. Aujourd'hui, le patient est bien informé sur les risques d'immobilité laryngée suite à l'ablation de la glande thyroïde. Cependant, les troubles vocaux, transitoires et définitifs sont souvent sous-estimés. Il existe différents types d'immobilité laryngée. Les phénomènes paralysants qui concernent notre étude représentent deux cas de figure : les paralysies unilatérales ou bilatérales. Ces deux complications comportant elles-mêmes deux cas : soit une paralysie en abduction, soit une paralysie en adduction.

Notre étude entend suivre une cohorte de patients opérés de la glande thyroïde durant une année au moins, à raison d'une acquisition de données par mois, l'examen post-opératoire ayant révélé ou non une lésion de la mobilité des plis vocaux.

Le travail a été effectué en collaboration avec le Groupe Hospitalier Saint-Vincent, et plus particulièrement avec la Clinique Sainte-Anne de Strasbourg (67), où se trouve le département de chirurgie thyroïdienne. Pendant la collaboration, nous avons pu assister à des consultations préopératoires et post-opératoires dans différentes phases. De nombreuses séances de collecte de données sur place ont été nécessaires pour recueillir des informations de première main, ainsi que des données relatives à notre recherche actuelle et à venir.

Notre recherche est longitudinale afin que soient étudiées les possibles stratégies de *compensation* ou de *réajustement* que les patients ont pu mettre en place seuls ou à l'aide d'une rééducation orthophonique, et ce afin d'évaluer la flexibilité du système de production de la parole. Il s'agit, comme précisé *supra*, d'étudier la flexibilité du système de production et de perception de la parole et de tenter de comprendre ce système à partir d'un dysfonctionnement d'origine pathologique. Il est ainsi question de déterminer les limites des déviations physiques (articulatoires et acoustiques) imposées par les exigences linguistiques de clarté du système de perception de la parole (Sock *et al.*, 2001). L'on a tâché alors de repérer les patrons spatio-temporels résistants, et ainsi d'analyser les différentes stratégies utilisées par les locuteurs pour maintenir la «distinctivité» phonétique des catégories phonologiques dans des conditions de production d'entités linguistiques pathologiques, conditions de communication donc difficiles, en tentant de mettre notamment au jour les divers phénomènes de compensation linguistique (Sock & Vaxelaire 2004 ; Vaxelaire 2007 ; Xiu *et al.* 2016a, 2016b). Par les différentes investigations qui seront menées, on tâchera de rendre compte de la *viabilité* (Aubin, 1991) possible des unités phonétiques et phonologiques perceptivement stables, malgré une variabilité omniprésente dans le substrat physique, articulatoire, physiologique et acoustique.

Nous tenterons aussi de définir des contraintes liées à la dégradation et à l'évolution des différents indices, afin de pouvoir fournir des données objectives qui pourraient servir au développement de moyens et d'outils de diagnostic et de remédiation plus précis, plus complets et moins invasifs.

Une attention particulière est accordée aux dimensions sociétales liées à la qualité de vie (fatigue vocale, satisfaction des productions linguistiques, considération de soi, etc.).

L'*originalité* majeure de notre étude repose sur le fait que nous avons cherché à mettre en parallèle la pertinence des paramètres acoustiques traditionnels, permettant d'étudier la perturbation du signal (comme le jitter, le shimmer, le F0, etc.), avec des paramètres aérodynamiques (tels que le temps maximum de phonation, le débit d'air oral, le pic du débit d'air, la pression intra-orale).

Pour résumer...

Nous étudions ici les conséquences d'une ablation totale ou partielle de la glande thyroïde (thyroïdectomies) suite à un dysfonctionnement thyroïdien, une intervention qui peut perturber le système de production de la parole avec des conséquences sur la qualité de la voix. La thyroïde est une glande située à la base du cou et son rôle est extrêmement important au niveau du fonctionnement normal des cellules de l'organisme et du système nerveux central.

Les thyroïdectomies concernent les femmes dans 80% des cas et peuvent, dans certains cas, provoquer une paralysie récurrentielle. Les nerfs récurrents sont une des trois branches du nerf vague (nerf crânien X), lequel est responsable de l'innervation des muscles laryngés intrinsèques. Notre étude entend suivre une cohorte de patients opérés de la glande thyroïde durant une année au moins, à raison d'une acquisition de données par mois, l'examen post-opératoire ayant révélé ou non une lésion de la mobilité des plis vocaux.

Organisation de la thèse

Notre étude est constituée de quatre parties principales, précédées de l'*Introduction*.

La première partie I, intitulée « Considérations anatomiques et opérations thyroïdiennes » et composée de quatre sections :

La Section 1 correspond au *Mécanisme de la phonation*.

La Section 2 présente la *Glande thyroïde*.

La Section 3 expose les *Opérations thyroïdiennes*.

La Section 4 traite des *Nerfs et les lésions neurologiques*.

La deuxième partie II, intitulée « État de la question », comprend deux sections :

La Section 1 correspond aux *Conséquences aérodynamiques de la thyroïdectomie*.

La Section 2 présente les *Conséquences acoustiques de la thyroïdectomie, évaluation et traitement*.

La troisième partie III, intitulée « Partie expérimentale » est divisée en deux sections :

La Section 1 correspond au *Protocole expérimental*.

La Section 2 présente les *Paramètres retenus*.

La quatrième partie IV, intitulée « Résultats expérimentaux et discussion » est divisée en deux sections :

La Section 1 présente les *Résultats des expériences aérodynamiques*.

La Section 2 présente les *Résultats des expériences acoustiques et des évaluations subjectives*.

Une *Synthèse générale et conclusions* sont proposées pour clore la thèse.

La présentation de nos résultats peut, parfois, être rébarbative. Ne pouvant pas faire l'économie d'une analyse systématique de nos données, par souci de fournir au lecteur les détails sur lesquels reposent les enseignements que nous tirerons de nos analyses, nous présentons, tout au long du travail, des conclusions partielles et des résumés, afin de faciliter la lecture de la thèse. Nous avons gardé les titres dans les graphiques et les tableaux en anglais, cela pour rendre la compréhension de projections accessibles à une communauté scientifique aussi large que possible. Il en va de même du « point » que nous avons utilisé au lieu de la virgule fractionnaire.

A propos de la Théorie de la Viabilité et de la perturbation pathologique en production et en perception de la parole

Il s'agit d'une théorie mathématique développée par Aubin (1991) qui, par la suite est transposée au domaine de la production et la perception de la parole par des chercheurs à l'Institut de Phonétique de Strasbourg et au sein de l'Equipe de Recherche Parole et Cognition, de l'Unité de Recherche Linguistique, Langues et Parole – LiLPa.

L'approche propose, au vu de données articulatoires et acoustiques obtenues et analysées, de concevoir une « cible » phonologique ou linguistique comme un espace de réalisation de possibles articulatoire-acoustiques, perceptivement acceptables (Sock & Vaxelaire, 2001; Sock, 1998; Vaxelaire, 2007). En d'autres termes, cet espace de réalisation de possibles linguistiques est en fait un espace de l'émergence de trajectoires de gestes articulatoires pour atteindre des configurations adéquates du conduit vocal, ce substrat articulatoire ayant pour résultat des conséquences acoustiques temporelles et fréquentielles désirées, c'est-à-dire viables.

Il est bien connu que dans le domaine de la linguistique et de la phonétique cliniques, l'analyse des données, rarement de grande taille, ne permet pas toujours de mettre au jour des régularités statistiques robustes. Le cadre conceptuel proposé par Aubin (2009) est donc intéressant pour nos propos dans cette thèse. En effet, il part du constat que certaines variables, sur lesquelles se fondent des systèmes évolutionnaires, ne sont pas toujours soumises à des régularités statistiques. En examinant de telles variables, on ne connaît que l'ensemble dans lequel elles peuvent évoluer ; il les caractérise de variables *aléatoires ou stochastiques*.

« Dans le cadre des systèmes impliquant des êtres vivants, l'évolution de certaines variables échappe à toute régularité statistique. La question se pose d'adjoindre aux modèles stochastiques d'autres traductions mathématiques de l'incertitude. L'idée modeste est la suivante : On ne connaît sur ces variables que l'ensemble (éventuellement flou) dans lequel elles peuvent évoluer. » (Aubin, 2005a).

Aubin oppose ainsi cette perspective évolutive *stochastique* à une approche *déterministe*, où à chaque état initial ne correspond qu'une seule évolution, dont on peut étudier la dépendance continue.

En revanche, les multiples possibilités aléatoires observées dans le cadre d'une approche stochastique ne permettent pas d'anticiper une évolution préférée pour un état spécifique du système. Cela dit, il serait toutefois possible de définir ces variables.

« Mais la théorie peut permettre à ces ensembles de dépendre du temps et surtout, de l'état dans lequel se trouve le système étudié, contrairement au cas stochastique tel qu'il existe actuellement. Par exemple, dans le cas de variables vectorielles, chaque composante doit évoluer entre deux bornes, qui peuvent dépendre du temps et de l'état du système. Nous proposons de qualifier ces variables de « tyches », r éfi és par la d éesse Tyche. »

Le terme et concept d'une « évolution tychastique », emprunté à Charles Peirce (1839-1914), permet, selon Aubin, de rationaliser l'évolution de l'état d'un système dépendant de tyches, et échappant aux régularités statistiques.

« Three modes of evolution have thus been brought before us: evolution by fortuitous variation, evolution by mechanical necessity, and evolution by creative love. We may term them tychastic evolution », écrit-il en 1883 dans l'article *Evolutionary Love*.

Les événements auxquels sont soumis les états initiaux sont *contingents*, c'est-à-dire imprévisibles (par ex. une paralysie récurrentielle), et demandent au système (par ex. de production-perception de la parole) de s'y adapter, par nécessité, pour maintenir sa survie (la fonction phonologique ou linguistique).

« Nous pouvons traduire mathématiquement ce concept de nécessité par la soumission de l'évolution du système à des contraintes dites de viabilité qui peuvent dépendre du temps et surtout, de l'état du système. » (Aubin, 2005a).

Le système sera capable de réagir de manière continue à ces contraintes grâce à l'usage de régulateurs, sortes de décideurs, ou pilotes (les stratégies de réajustements en fonction du temps), qui gèrent l'adaptation du système afin d'assurer sa viabilité.

« Régulateurs » ou « commandes de pilotage » permettent de réguler le système pour que les propriétés évolutionnaires soient satisfaites quelles que soient les composantes stochastiques ou tychastiques imprévisibles ou inconnues. » (Aubin, 2005a).

Comme le dit Stéble (2014) dans sa thèse :

Pour tenter de résumer globalement la vision de l'évolution des systèmes dans cette théorie, il est possible de dire que les variables conditionnant les événements dans les systèmes ne sont pas déterministes, c'est-à-dire guidés de manière unique et linéaire vers un but prévisible. Il existerait plutôt des commandes de régulation qui permettent de trouver des mécanismes de sélection viable, qui donnent la possibilité au système d'atteindre ses cibles, et d'assurer sa survie.

La formalisation de cette théorie se fait mathématiquement :

« L'objet de la théorie de la viabilité est d'expliquer mathématiquement et numériquement les évolutions gouvernées par des « systèmes évolutionnaires », qui apparaissent en économie, en sciences cognitives, en théorie des jeux, en biologie, etc., aussi bien qu'en automatique. De tels systèmes ne sont pas déterministes, mais régissent sous incertitude

des évolutions soumises à des contraintes de viabilité (ou d'optimalité intertemporelle) et guident ces évolutions vers des cibles afin de les atteindre en temps fini. Il s'agit essentiellement de faire émerger les rétroactions sous-jacentes qui permettent de réguler le système et de trouver des mécanismes de sélection pour les mettre en œuvre. » (Aubin, 2005b)

En production et en perception de la parole, Sock (1998) a tâché de mettre au jour des phasages (ou des régularités spatiotemporelles) articulatoires et acoustiques de la quantité vocalique et consonantique (la gémiation) comparables, prônant ainsi, à partir de ces phasages articulatoire-acoustiques, l'existence d'un système unique qu'il qualifie de *système de production-perception de la parole*. Il s'agirait d'un système unique dont les composantes articulatoires et acoustiques se spécifieraient mutuellement, fonctionnant alors en *clôture opérationnelle*. De ce système vont émerger non une solution optimale et unique (idéale et déterministe) mais un *ensemble de solutions et de productions linguistiquement possibles*. Parmi de multiples trajectoires ou configurations possibles, le système ne garderait que celles qui lui permettent d'assurer sa viabilité, c'est-à-dire le sous-espace de viabilité linguistique. Nous retrouvons ici l'objectif principal de la théorie de la Viabilité suivi des deux autres objectifs :

« The main purpose of viability theory is to characterize and compute the viability kernel, that is the set of initial states from which, for at least an adequate feedback regulon (control), and whatever the tiches, if any, the evolution is viable (in the sense that it satisfies the viability constraints for ever ».

En d'autres termes, le premier objectif de la théorie de la Viabilité serait de déterminer les noyaux de viabilité, ces ensembles d'états de départ desquels, grâce à au moins un régulon de contrôle (*feedback*), et quelles que soient les tiches si elles existent, l'évolution reste viable (dans le sens où ces paramètres satisfont les contraintes de viabilité) (Aubin, 1990).

Dans cette optique, le système n'est pas géré par un contrôle externe ou supérieur qui lui dicterait des comportements à adopter, mais fonctionnerait selon *sa propre clôture opérationnelle* : un ensemble d'activités sensori-motrices, tant articulatoires qu'acoustiques et perceptives (*feedback*), qui permettraient de ne retenir que les entités sensori-motrices appropriées, à chaque instant.

« The second objective is then to reveal the concealed feedbacks, which allow the system to regulate viable evolutions and provide selection mechanisms for implementing them ».

Ainsi, le deuxième objectif de la théorie est de révéler les feedbacks sous-jacents, qui permettent au système de réguler des évolutions viables et offrent des mécanismes de sélection pour les enrichir.

Chaque nouvelle commande, chaque nouvel état du système est une nouvelle base pour la dynamique de cette clôture opérationnelle, qui peut être modifiée par des diverses afférences sensorielles ou par une perturbation inhérente au système lui-même (voir *infra*). Lorsque qu'aucun état cohérent ne parvient à être maintenu, le système de production-perception cesse de fonctionner, ce qui permet de définir les bornes de son domaine de fonctionnement correct ou de sa désintégration (Sock & Vaxelaire, 2001). Ainsi, le système est capable de négocier lui-même un comportement viable au sein d'un espace de survie, en évitant de se désintégrer et de pouvoir générer un nouvel état qui pourrait assurer sa survie :

« The third one is to find ways of restoring viability when it is at stakes. »

Le troisième objectif est donc de trouver des moyens de restaurer la viabilité lorsqu'elle a été mise en péril.

Ainsi, selon Sock et Vaxelaire (2001), le système auto-organisé de production-perception de la parole ne serait pas un système de production et /ou de perception d'intentions ou de buts linguistiques, mais plutôt une capacité à faire émerger les contraintes sensori-motrices linguistiquement viables. Comme le dit B échet (2011) :

« La construction d'une nouvelle conduite articulatoire-acoustique se fait au niveau de ce système, soit comme le résultat d'une interaction globale ou locale, soit à travers des changements viables, suivant les contraintes spécifiques aux transitions d'un état relativement stable ou identifiable à un autre. » (B échet, 2011).

Suivant le paradigme de la contingence tel qu'il est présent é dans la th éorie de la viabilité il serait impossible pour le système de d éterminer à l'avance la conduite à tenir. Nous parlerons plutôt de sa capacité à s'adapter aux contraintes externes et internes au fur et à mesure qu'elles sont perçues, de manière à faire émerger des activités sensori-motrices viables. Dès lors, l'anticipation, par exemple, d'un geste à des fins d'optimisation de la transmission du message linguistique ne serait, selon Sock (1998, 2001), que l'extension ou l'expansion de ce geste dans un autre domaine d'émergence d'activités sensori-motrices coh érentes. Comme on peut le lire chez B échet (2011):

« L'anticipation correspondrait donc à la coproduction de gestes linguistiques viables et structurellement variables selon les individus. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, le système se désintègre, provoquant l'émergence d'activités sensori-motrices incongrues, situ ées hors du domaine des structures viables pour une communauté linguistique d éfinie. » (Sock, 1998 in B échet, 2011, in Fauth, 2012, in Steibl é, 2014).

Le fonctionnement du système est, de ce point de vue, davantage celui d'une logique proscriptive que prescriptive (VARELA et al., 1991). Cela signifie qu'on ne devrait plus consid érer que tout ce qui n'est pas permis est interdit mais plutôt que tout ce qui n'est pas

interdit est permis. En d'autres termes, tout ce qui n'entrave pas la viabilité du système, et ne menace pas la stabilité de son état, est dans le domaine des possibles.

En production-perception de la parole, de multiples trajectoires peuvent être empruntées, et ce d'autant plus que le système fait face à des perturbations. Mais cette multiplicité des trajectoires (variabilité) n'empêche pas, par exemple, la viabilité des oppositions phonétiques ou phonologiques, même en vitesse d'élocution rapide (Sock & Vaxelaire, 2001; Sock, 1998). Sock et Lofqvist (1995) ont montré que les durées absolues des consonnes occlusives sonores ou sourdes pouvaient varier beaucoup sans que cette variabilité ne nuise à la récupération perceptive de la catégorie de la consonne (Sock & Lofqvist, 1995). En d'autres termes, tant que la variabilité reste dans le domaine de sa viabilité, la compréhension du message linguistique sera assurée, et ce, même face à la perturbation, grâce à la *plasticité* du système capable de déployer ses propres stratégies de réajustements face à une perturbation.

En effet les perturbations, de manière générale, peuvent engendrer des transformations et des réorganisations tant articulatoires qu'acoustiques. Ces changements peuvent être de deux natures, selon Vaxelaire (2007 *in* Steiblé 2014) :

« Les changements conservateurs : dans ce cas, seules les relations entre les segments se modifient. Le système conserve une stabilité : dans le cadre d'une vitesse d'élocution plus rapide, par exemple, seules les durées seraient comprimées ; on ne constaterait pas de réorganisation des stratégies de production des phonèmes. »

Les changements innovateurs, au contraire, impliquent de nouvelles stratégies : l'ensemble du système met en œuvre de nouvelles méthodes pour résister aux perturbations. »

Dans nos investigations, la perturbation est de source pathologique, face à laquelle nous pensons que le système de production-perception de la parole va se réorganiser pour compenser les effets de la thyroïdectomie. Étant donné que la présente thèse traite explicitement de la parole pathologique en tant que phénomène perturbateur du système

de production-perception de la parole, le cadre conceptuel de nos recherches et l'analyse de nos données aérodynamiques et acoustiques prennent place parmi d'autres travaux traitant de ce phénomène de la perturbation à l'Institut de Phonétique de Strasbourg et dans l'Équipe de Recherche Parole et Cognition de LiLPa (Béchet, 2011; Fauth, 2012; Vaxelaire), sous l'impulsion de Vaxelaire (1993 ; 2007). Nous serons attentif en conséquence, dans le cadre général du paradigme de la perturbation et des réajustements, aux éventuelles déviations des variables mesurées relatives aux *phases d'acquisition postopératoires* chez nos patients.

S'il est vrai que la variation de la vitesse d'élocution est le perturbateur naturel par excellence du signal de parole (Gaitenby, 1965), nous n'avons pas requis aux patients la variation de celle-ci en tant que facteur de l'expérience. Cependant, nous savons que les locuteurs sont capables de faire varier eux-mêmes leur vitesse d'élocution, afin de s'ajuster au mieux aux besoins de la situation de communication dans laquelle ils sont engagés ; il s'agit là de caractéristiques idiosyncrasiques.

Signalons que Harmegnies & Poch-Olivé (1992) ont pu mettre au jour le fait que la variabilité était plus saillante dans la production des locuteurs en parole spontanée, comparée à une parole de laboratoire. Ils avaient constaté le rapprochement des différents sons en parole spontanée, avec une tendance à la centralisation des valeurs de F1 et de F2. Une autre étude de Harmegnies & Poch-Olivé (1994) sur les variations des valeurs formantiques, en fonction du style de parole, a révélé différentes valeurs de F1 et de F2 selon le style de parole. Ils en concluent donc que produire la parole dans différentes situations de communication peut engendrer des différences de fréquences formantiques, ce qui aboutirait à de nouvelles catégorisations.

Gaitenby (1965) est parmi les premiers à parler de *l'élasticité temporelle du signal de parole*, décrite comme la capacité à comprimer ou à étendre des segments du signal de parole, en fonction de la vitesse d'élocution propre à chaque locuteur et/ou en fonction d'une tâche d'augmentation ou de ralentissement de la vitesse d'élocution exigée expérimentalement par l'investigateur. Tous les segments ne vont pas se comprimer de la même manière, certains pourront subir une compression plus importante que d'autres (voir Vaxelaire, 1993 ; Sock, 1998).

Si nous n'avons pas retenu comme variable la mesure des durées des segments vocaliques et consonantiques dans notre thèse (focalisant davantage sur les mesures aérodynamiques), une variable aérodynamique temporelle devrait toutefois être particulièrement sensible à la perturbation induite par la thyroïdectomie en phases postopératoires : le Temps Maximum de Phonation. Nous verrons comment ce paramètre temporel, ainsi que les autres paramètres aérodynamiques et acoustiques seront maintenus envers et contre tout en phases postopératoires par rapport à la phase préopératoire de référence, cela pour préserver la distinctivité des catégories consonantiques (voisé vs. non voisé) ou des timbres vocaliques (/i/ vs. /a/ vs. /u/), ou encore « simplement » l'intégrité perceptive d'une entité vocalique ou consonantique donnée. Nous parlons ici, non seulement de la viabilité de ces entités, mais également de la viabilité des oppositions catégorielles dans lesquelles sont impliqués ces entités.

En effet, les limites de clarté imposées par le système de production-perception de la parole fournissent des seuils ou de bornes spatiotemporels qui permettent de relativiser l'élasticité du signal de parole, tout comme le degré de flexibilité des systèmes pulmonaire, phonatoire et articulatoire. Les patients, pour rester dans un cadre fonctionnellement viable, devraient mettre en place des stratégies compensatoires en évitant de dépasser certaines bornes.

Nous espérons voir comment, face à la thyroïdectomie, le système de production-perception de la parole va se réorganiser afin de permettre tout de même l'émergence de catégories linguistiquement viables. Il est fort probable que certains *patterns* resteront relativement stables, par rapport à la phase préopératoire, et que d'autres seront sensiblement modifiés en phases postopératoires. Lorsque les *patterns* restent stables en termes absolus (valeurs mesurées) et/ou relatifs (l'évolution de la trajectoire des patterns), on parlera de leur *robustesse*. À l'inverse, s'ils sont sujets à des changements, il sera question de leur *fragilité* (Vaxelaire, 2007).

Ces changements devraient révéler ainsi les éventuelles stratégies de compensation motrice que les patients seront *capables* de mettre en place dans la limite des contraintes physiques et biomécaniques qui restreignent leurs capacités motrices, chaque patient obéissant différemment à la perturbation induite par l'opération, et du fait aussi de ses propres caractéristiques idiosyncrasiques.

L'essentiel est au patient de « se débrouiller » pour *satisfaire* deux fonctions primordiales du système linguistique : les contrastes phonologiques et le maintien de ces contrastes quelle que soit la condition d'exécution de la tâche. Comme le dit Sock (1998) :

Il s'agit d'analyser les processus évolutifs en termes de satisficing, à savoir l'adoption d'une solution sous-optimale mais toutefois acceptable, au sens où elle se situe au-dessus d'un seuil critique de satisfaction (SIMON, 1981). Selon cette perspective, la sélection fonctionnerait comme un large filtre de survie acceptant toute structure suffisamment robuste pour persister (STEARNS, 1982) ; il ne s'agirait plus, de ce point de vue, de l'optimisation d'une valeur adaptative quelconque. Cette conception postdarwinienne de l'évolution veut que l'analyse ne soit plus focalisée sur le détail des traits mais plutôt sur les formes d'organisation prises par les organismes au long de leur histoire. Nous retrouvons là la métaphore de « bricolage » souvent utilisée pour formuler cette conception des processus évolutifs. Il est suggéré dans cette optique, que l'évolution est le résultat d'assemblages de composantes et d'objets en structures complexes possibles, n'ayant pas pour finalité de réaliser un plan défini et idéal (JACOB, 1977). Cette nouvelle manière de concevoir l'évolution ne cherche plus à comprendre comment une trajectoire précise et unique se définit à partir de contraintes imposées par une valeur adaptative optimale ; on s'efforcera seulement de déterminer l'ensemble des trajectoires viables pour la survie de l'organisme (pour une formalisation mathématique de cette notion de viabilité voir AUBIN et CELLINA, 1984).

Nous projetons que la translation de nos catégories phonétiques, accompagnant les phases postopératoires, ne suivra pas une trajectoire unique et optimale pour la préservation de ces catégories, ou pour le maintien des oppositions linguistiques. Il est possible que différentes trajectoires puissent être empruntées et qu'elles seront plus ou moins variables selon les patients. Il s'agit là de cette notion de *satisficing*, puisqu'il serait plus approprié de concevoir ces trajectoires en termes de solutions sous-optimales dans la préservation des entités produites, vu la grande variabilité des solutions articulatoires-acoustiques possibles. En cas de variabilité intra-classe

(au sein d'une même entité) qui devrait parfois remarquable, notamment dans le cas de données pathologiques, la séparation entre les catégories phonétiques devrait rester suffisamment différente, assurant ainsi une solution qui se situerait au-dessus d'un seuil critique de satisfaction. Pour Sock et Vaxelaire (2001) :

[..., le système linguistique fonctionnerait, comme pour les processus liés à l'évolution, sous forme d'un large filtre n'acceptant que les trajectoires assurant une distinction entre les catégories, de manière plus ou moins robuste. [...] La production-perception de catégories [linguistiques] semble être un processus qui consiste à sélectionner les trajectoires possibles, tant qu'elles ne violent pas la cohérence du système sémiotique.

Nous proposons, dans ce qui suit, de rappeler brièvement quelques notions de base relatives notamment à la physiologie de la production de la parole. Celles-ci devraient permettre une lecture plus aisée du manuscrit, notamment pour le lecteur qui ne serait pas spécialiste du domaine.

PARTIE I :

I. CONSIDERATIONS ANATOMIQUES ET OPERATIONS THYROÏDIENNES

Cette partie est composée de quatre sections :

- LA SECTION 1 CORRESPOND AU *MECANISME DE LA PHONATION*.
- LA SECTION 2 PRESENTE LA *GLANDE THYROÏDE*.
- LA SECTION 3 EXPOSE LES *OPERATIONS THYROÏDIENNES*.
- LA SECTION 4 TRAITE DES *NERFS ET LES LESIONS NEUROLOGIQUES*.

I.1. Le mécanisme de la phonation

La voix, les sons sont les conséquences acoustiques des mouvements aérodynamiques réalisés par les organes de la phonation. Il y a trois groupes d'organes qui interviennent quasi simultanément pour assumer les fonctions essentielles de la phonation et de l'articulation (Figure I-1) :

- Niveau respiratoire - La source pulmonaire (poumons / diaphragme)
- Niveau phonatoire - Le vibrateur laryngé (cavité laryngée)
- Niveau articuloire - Les résonateurs (cavité pharyngée / buccale / nasale / labiale)

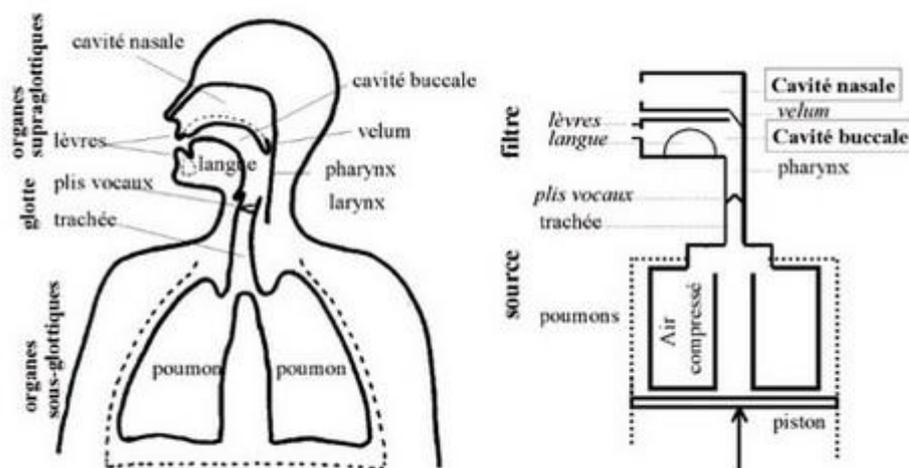


Figure I-1 Les organes phonatoires

(Source <http://www.afaf.asso.fr/>)

1. Niveau respiratoire

Au premier niveau (Figure I-2), l'air et son énergie sont généralement engendrés par l'appareil respiratoire (diaphragme, poumons, trachée) avec des cycles respiratoires. Il y a plusieurs muscles qui contribuent à l'inspiration et à l'expiration.

Le diaphragme et les muscles intercostaux externes conduisent la respiration pour une respiration normale et étendue. Le diaphragme est le muscle principal qui sert à conduire

la respiration. Il s'agit d'un muscle mince, en forme de dôme, qui sépare la cavité abdominale et la cavité thoracique. Pour l'inspiration, le diaphragme se contracte pour permettre l'expansion de l'air jusqu'aux poumons. Lorsque le diaphragme se détend et revient à une position neutre, le recul élastique de la paroi thoracique provoque la contraction de la cavité thoracique pour pousser l'air à sortir des poumons (Ratnovsky *et al.*, 2008).

Les muscles intercostaux sont rattachés aux côtes qui régularisent la largeur de la cage thoracique. Il y a trois couches de muscles intercostaux. La contraction de ces muscles élève chaque côte vers celle au-dessus, ce qui a pour effet général de relever la cage thoracique pour favoriser l'inspiration.

Les muscles intercostaux internes peuvent aider à l'abaissement de la cage thoracique, ajoutant de la force à l'expiration (Ratnovsky *et al.*, 2008).

Les muscles accessoires de la respiration sont généralement utilisés dans des conditions de demande métabolique élevée. Les muscles sterno-clédo-mastoïdiens et scalènes sont généralement considérés comme des muscles accessoires typiques de la respiration.

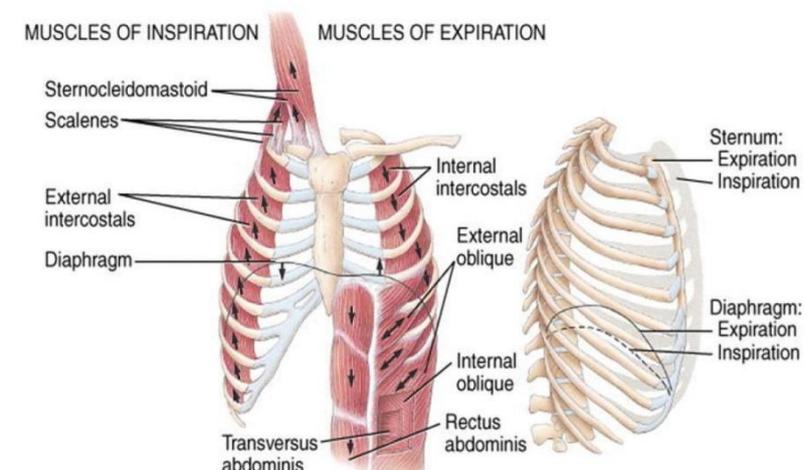


Figure I-2 Muscles respiratoires

(source <https://www.hnchawaii.org/anatomy-lungs-location/>)

D'ordinaire, l'afflux d'air est provoqué par le mouvement du diaphragme et des muscles pulmonaires. Dans certains cas non pulmonaires, c'est la glotte qui fournit la source d'énergie mécanique pour la phonation (voir le niveau suivant).

2. Niveau phonatoire

À la deuxième étape, les muscles respiratoires et le larynx coordonnent le débit d'air pour la phonation.

Le larynx (Figure I-3), organe situé dans la gorge, sépare la voie aérienne (trachée) de la voie digestive (œsophage). Le larynx abrite les plis vocaux et manipule la fréquence fondamentale et le volume. Il est constitué de cartilage, de ligaments, de muscles et de muqueuses.

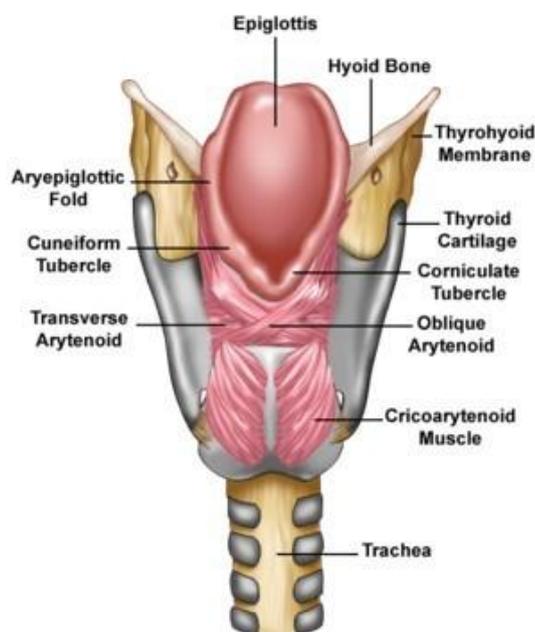


Figure I-3 Le larynx

(Source <http://www.stjames.ie>)

Cartilages

Il y a cinq cartilages principaux :

- Le cartilage thyroïdien, le plus grand cartilage du larynx (*voice box*), se situe devant le larynx et au-dessus de la glande thyroïde. Il forme la bosse visible sur le cou. Il est composé de deux lobes obliques qui se rencontrent au milieu pour former un sommet en avant appelé proéminence laryngée (*alias* la pomme d'Adam). Celle-ci est beaucoup plus proéminente chez les hommes que chez les

femmes.

- Le cartilage cricoïde connecte différents ligaments, cartilages et muscles, ce qui facilite l'ouverture et la fermeture du passage de l'air et la phonation.
- L'épiglotte recouvre la trachée lors de la déglutition afin d'empêcher la pénétration de corps étrangers dans la voie respiratoire.
- Les (deux) cartilages aryénoïdes sont attachés aux plis vocaux, ce qui leur permet d'être tendues, détendues ou rapprochées.

-

Muscles (Figure I-4)

- Les muscles laryngés agissent sur le déplacement des composants du larynx pour le mouvement de l'épiglotte pour la respiration et le mouvement des plis vocaux pour la phonation. Les muscles du larynx peuvent être divisés en deux groupes : les muscles intrinsèques et extrinsèques.
- Les muscles intrinsèques : les muscles crico-aryénoïdiens postérieurs sont responsables de l'abduction (ouverture) de la glotte ; les muscles crico-aryénoïdiens latéraux et le muscle aryénoïdien transverse sont responsables de l'adduction (fermeture). Les muscles crico-thyroïdiens et les muscles thyro-aryénoïdiens sont des muscles qui contrôlent la tension des plis vocaux.
- Les muscles extrinsèques permettent d'élever ou d'abaisser le larynx pendant la déglutition. Ils agissent sur le déplacement des composants individuels du larynx et jouent un rôle vital dans la respiration et la phonation.

LARYNGEAL MUSCLES

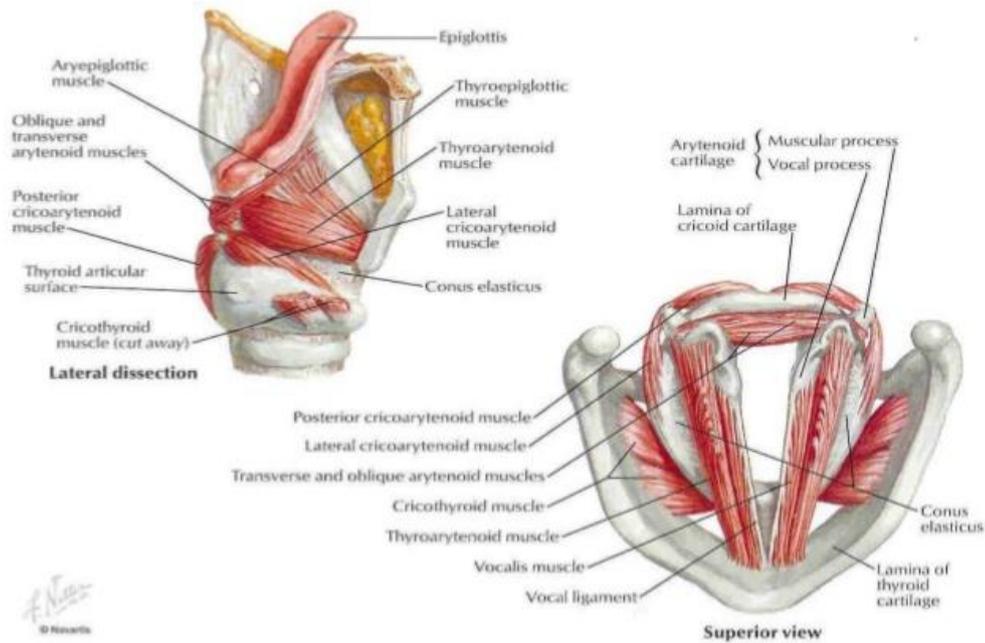


Figure I-4 Les muscles laryngés

(Source <https://homesecurity.press/quotes/laryngeal-abductor-muscle.html>)

Innervation

Le larynx est innervé par le nerf récurrent (RLN, nerf laryngé inférieur) et le nerf supérieur (SLN), qui sont des branches du nerf vague (CN X). Le SLN innerve le muscle crico-thyroïdien, qui tend et ajuste les plis vocaux. L'innervation de tous les autres muscles du larynx est réalisée par le RLN. Généralement, une lésion du SLN ne cause pas de danger mais peut entraîner des modifications de la qualité de la voix. En revanche, une lésion RLN unilatérale aboutit à une paralysie des plis vocaux en abduction. La paralysie bilatérale des plis vocaux peut provoquer une obstruction partielle ou totale de la voie respiratoire, ce qui nécessite souvent une trachéostomie ou une intubation.

Passons maintenant au troisième et dernier niveau, à savoir le niveau articulaire à proprement parler.

3. Niveau articulatoire

Selon Roubeau (2007), « La dimension aérodynamique de la production vocale concerne les pressions, les débits et les volumes aériens mis en jeu lors de la phonation ». Lorsque l'air passe par le larynx, le débit d'air et la tension musculaire font vibrer les plis vocaux, et le son est alors produit. Les résonateurs (le pharynx, la cavité buccale, la cavité nasale et la cavité labiale) forment des zones de résonance.

Selon la théorie du *source-filter* (Fant, 1960), la production de la parole est un processus qui comporte deux étapes (Figure I-5) :

La génération d'une source sonore, avec sa propre forme spectrale.

Le filtrage par les propriétés résonantes du tractus vocal.

La source laryngée (phonation) est la première étape de la production de la parole. Le tractus vocal est un résonateur (articulation) qui modifie la source sonore.

La vibration des plis vocaux produit des ondes périodiques complexes. Le spectre de ces ondes contient de l'énergie pour la fréquence fondamentale qui provient de la vibration laryngée et de ses harmoniques. Chaque harmonique est un multiple de la fréquence fondamentale.

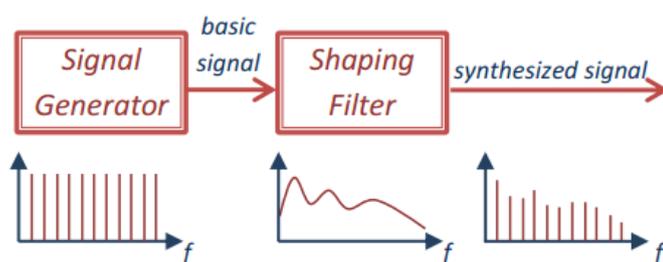


Figure I-5 la théorie du source-filter

(Source <http://felipeespica.com/246-2/>)

Dans un cycle de vibration des plis vocaux (Figure I-6), les parties inférieures des plis vocaux sont d'abord éclatées, puis elles entraînent les parties supérieures avec elles. Lorsque les parties supérieures se séparent, l'air passe dans l'ouverture de la glotte. La pression d'air entre les plis inférieurs diminue et les parties inférieures se rapprochent.

Lorsqu'elles se rapprochent, elles s'assemblent rapidement à l'aide de l'effet Bernoulli. Les sections supérieures sont tirées.

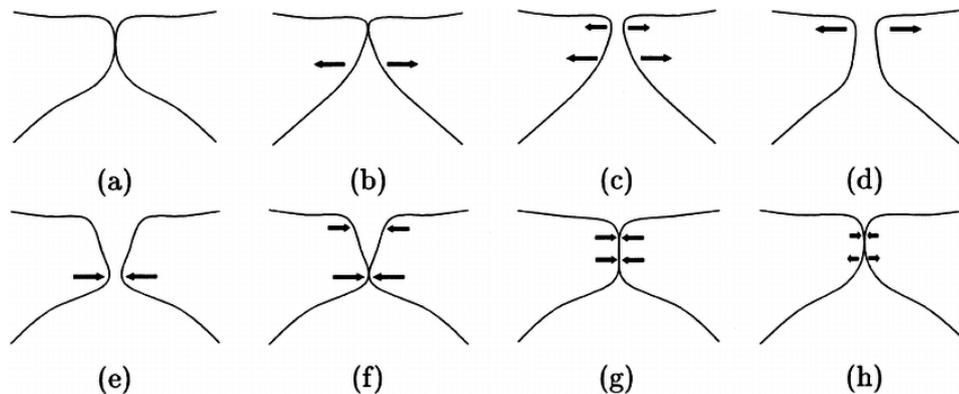


Figure I-6 Le cycle de vibration vocale

(Source B. Story, 2002)

Rappelons que les vibrations laryngées ne sont pas parfaitement sinusoïdales. Le son est produit avec un réglage particulier des plis vocaux qui comprend la phonation modale qui est produite avec une qualité de voix dite normale, et la phonation non modale correspond à des productions de types *breathy* ou *creaky voice*.

Nous pouvons identifier, ci-dessous, plusieurs modes de phonation :

Breathy :

Lorsque les plis vocaux sont complètement adduits, le flux d'air provenant des poumons est bloqué, tandis que lorsqu'elles sont largement abductées les vibrations sont impossibles. Dans les deux cas, aucun son n'est généré et aucune énergie acoustique n'est introduite dans le tractus vocal. On observe une haute vitesse d'écoulement qui provoque une turbulence, même avec les plis vocaux largement ouvertes. Ce type de phonation s'appelle *breath*, comme la consonne [h].

Breathy Voice peut être considéré comme une combinaison de deux modes : une phonation vocale normale et un chuchotement ou murmure. Cela est généralement représenté par une vibration le long des ligaments des plis vocaux, mais avec les plis

légèrement écartés au niveau des aryténoïdes, comme ils le sont pour le murmure. Ainsi, le terme *breathy voice* implique à la fois la vibration des plis vocaux et, simultanément, une fuite continue du flux d'air sans vibrations des plis à travers les aryténoïdes - d'où le nom de «breathy ».

Breathy voice :

En *breathy voice*, la fermeture de la glotte est incomplète, une fuite constante de la glotte provoque la production d'un bruit de friction. L'air traverse ainsi les plis vocaux à un débit élevé. La fréquence des vibrations est juste en dessous de la valeur typique de la voix modale.

Le chuchotement :

Il est produit par une ouverture triangulaire de la glotte cartilagineuse. La qualité sonore des chuchotements est provoquée par les turbulences générées par la friction de l'air dans et au-dessus du larynx ; il n'y a pas de vibration des plis vocaux.

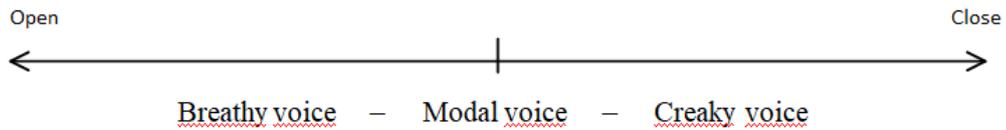
La voix modale :

C'est le mode neutre de la phonation. La vibration des plis vocaux est (presque) périodique avec une fermeture complète de la glotte. Il n'y a (presque) pas de bruit de friction audible lorsque l'air traverse la glotte. La voix modale est le registre vocal le plus fréquemment utilisé dans la parole quotidienne et le chant dans la plupart des langues.

Creaky voice :

La phonation de *creaky voice* est également produite avec les plis vocaux qui vibrent, mais à une fréquence très basse. Les plis vocaux sont fortement accolés. La tension est très faible. Cela provoque l'épaississement des plis vocaux. En outre, les faux plis vocaux peuvent être concernés, créant une structure inhabituellement épaisse et molle.

Nous pouvons résumer les différents modes de phonation selon le niveau de fermeture de la glotte, du plus fermé au plus ouvert :



Les résonateurs (le pharynx, la cavité buccale, la cavité nasale et la cavité labiale) constituent un filtre qui peut sélectivement laisser passer certaines choses et bloquer d'autres choses. Ils ajustent les composantes de fréquence de la source vocale. L'énergie provenant du larynx doit traverser le tractus vocal supérieur, qui est ensuite mis en forme ou filtré par les propriétés de résonance du tractus vocal. Il agit comme un filtre pour accentuer et atténuer les sons à des fréquences particulières.

Le filtre comprend toujours une partie de la cavité buccale et inclut facultativement la cavité nasale selon l'ouverture ou la fermeture du vélum.

Dans notre étude, nous nous focalisons surtout sur la phonation, c'est-à-dire sur la partie liée à la source phonatoire.

Pour résumer...

La voix et les sons du langage sont les conséquences acoustiques des mouvements aérodynamiques réalisés par les organes de la phonation. Habituellement, l'on identifie schématiquement trois niveaux qui constituent le système de production de la parole : 1) le niveau respiratoire ou la source d'énergie pulmonaire ; 2) le niveau phonatoire, à savoir le vibreur laryngé ; 3) le niveau articulaire qui correspond aux résonateurs supraglottiques, avec différentes structures et articulateurs intervenant dans la formation des sons du langage. Etant donné que nous nous focalisons surtout sur la phonation, c'est-à-dire sur la partie liée à la source phonatoire et aux dysfonctionnements qui pourraient y apparaître, donnons quelques précisions ici liées au larynx. Le larynx est innervé par le nerf récurrent (RLN, nerf laryngé inférieur) et le nerf supérieur (SLN), qui sont des branches du nerf vague (CN X). Le SLN innerve le muscle crico-thyroïdien, qui tend et ajuste les plis vocaux. L'innervation de tous les autres muscles du larynx est réalisée par le RLN. Généralement, une lésion du SLN ne provoque pas de danger mais peut entraîner des modifications de la qualité de la voix. En revanche, une lésion RLN unilatérale aboutit à une paralysie des plis vocaux en abduction. La paralysie bilatérale des plis vocaux pourrait provoquer une obstruction partielle ou totale de la voie respiratoire, ce qui nécessite souvent une trachéostomie.

I.2. La glande thyroïde

1. Anatomie

La glande thyroïde (Figure I-7) est un organe en forme de papillon situé à la base du cou, qui s'étend du niveau de la cinquième vertèbre cervicale jusqu'à la première vertèbre thoracique. La glande est divisée en 2 lobes (droite et gauche) de 5 cm de long, 3 cm de large et 2 cm d'épaisseur (Figure I-8). Ils sont reliés au milieu par l'isthme, d'environ 1,25 cm de hauteur, qui traverse la ligne médiane de la trachée supérieure aux deuxième et troisième anneaux trachéaux. Chacun des lobes thyroïdiens est intégré aux glandes parathyroïdes, principalement sur leurs surfaces postérieures. Dans les cas normaux, le poids de chaque lobe est d'environ 1 à 1,5 gramme chez les nouveau-nés, et de 10 à 15 grammes chez les adultes. La glande est généralement plus grande chez les femmes. La taille de la glande thyroïde peut augmenter en raison de certaines conditions comme la puberté, la grossesse, la lactation ou le tabagisme.

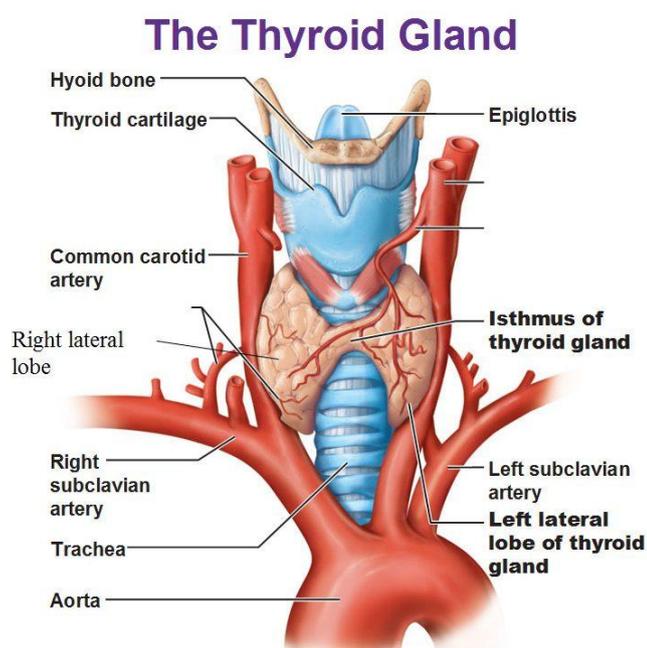


Figure I-7 La glande thyroïde

(Source <https://www.slideshare.net/jagdishsamabd/hyperthyroidism-hypothyroidism>)



Figure I-8 Un lobe de la glande thyroïde

On peut voir la forme et la taille

La thyroïde fait partie du système endocrinien ; elle sécrète des hormones qui régulent les fonctions vitales de l'organisme, comme la respiration, le rythme cardiaque, la température corporelle, la motilité de l'intestin, l'appétit, le sommeil, l'équilibre du poids corporel, etc.

La thyroïde a besoin d'iode pour fabriquer ces hormones thyroïdiennes. Le sel iodé est une source d'iode alimentaire.

La glande thyroïde utilise l'iode pour produire deux hormones principales : la triiodothyronine (T3) et la thyroxine (T4) pour réguler la température, le métabolisme et le rythme cardiaque du corps. La quantité d'hormones thyroïdiennes sécrétées est contrôlée par la thyroïdostimuline (TSH), qui est fabriquée par l'hypophyse. La TSH stimule la thyroïde pour produire T3 et T4. L'hypothalamus et l'hypophyse communiquent pour maintenir l'équilibre entre T3 et T4 (Figure I-9). Ce symptôme est appelé l'hyperthyroïdie lorsqu'il y a un excédent de T3 et T4 et hypothyroïdie lorsqu'il y en a trop peu.

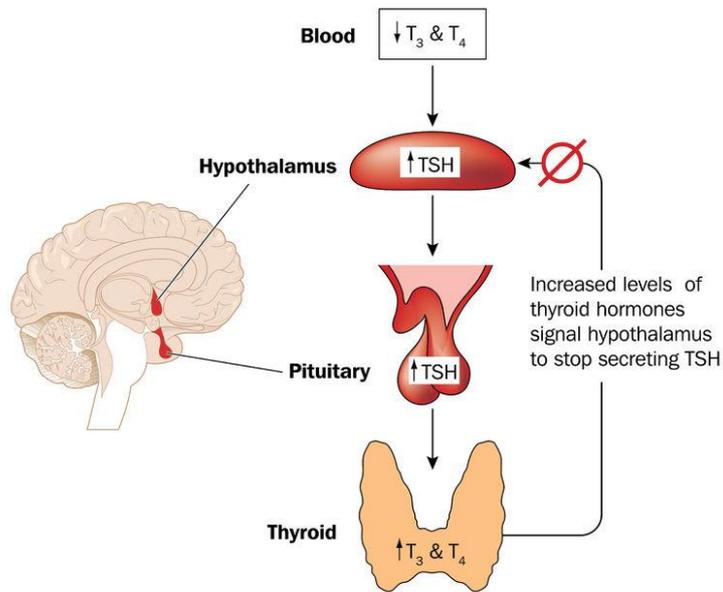


Figure I-9 Le système de sécrétion de T_3 , T_4 et TSH

(Source <https://homesecurity.press/quotes/diagram-of-medical-information-release.html>)

Une autre hormone, la calcitonine, est produite par les cellules parafolliculaires (*alias* cellules C de la glande thyroïde), qui épinglent le tissu entre les follicules distincts. Elle participe à la régulation du taux de calcium et de phosphate du sang. Les niveaux de calcitonine sont déterminés par la quantité de calcium dans le sang. Lorsque le taux de calcium dans le sang diminue, moins de calcitonine est sécrétée.

2. Approvisionnement sanguin

La glande thyroïde sécrète des hormones directement dans le sang (Figure I-10). Par conséquent, il doit être hautement vascularisé. Cette fonction est assurée par deux artères principales qui sont des artères jumelées apparaissant à la fois à gauche et à droite :

L'artère thyroïdienne supérieure provient de l'artère carotide externe et se termine dans la glande thyroïde.

L'artère thyroïdienne inférieure est la plus grande branche du tronc thyrocervical.

Les artères thyroïdiennes supérieure et inférieure expédient du sang oxygéné au larynx, à la glande thyroïde et aux tissus environnants.

Un faible nombre de personnes présente une artère supplémentaire : l'artère thyroïdienne ima qui n'est présente que chez environ 3 à 10% de la population. Elle fournit la glande thyroïde en dehors des deux autres artères thyroïdiennes.

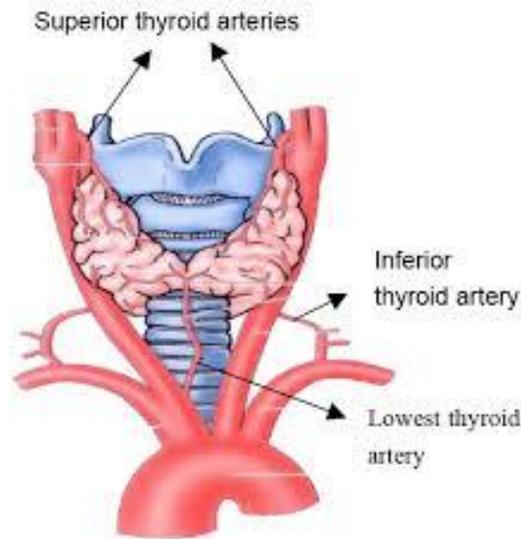


Figure I-10 Alimentation vasculaire de la glande thyroïde

(Source Zhao et al., 2009)

Trois séries de veines drainent le sang veineux à travers la glande thyroïde :

- Les veines thyroïdiennes supérieures
- Les veines thyroïdiennes moyennes
- Les veines thyroïdiennes inférieures

3. Les parathyroïdes

Les glandes parathyroïdes (Figure I-11) sont de petites glandes de la taille d'un pois, situées derrière la glande thyroïde. La plupart des gens ont quatre glandes parathyroïdes, avec deux glandes parathyroïdes situées derrière chaque lobe de la glande thyroïde.

Les glandes parathyroïdes produisent une hormone appelée hormone parathyroïdienne (PTH) pour ramener les taux de calcium dans une valeur normale. Lorsque le taux de calcium augmente, les glandes cessent de libérer la PTH.

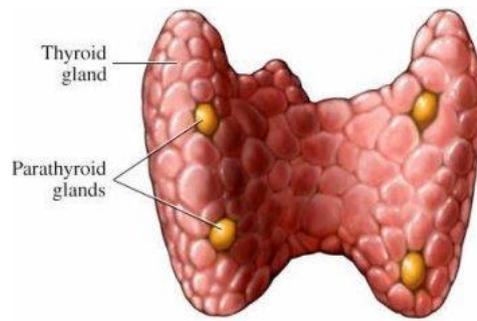


Figure I-11 Les glandes parathyroïdes

(Source <https://homesecurity.press/quotes/parathyroid-gland-vs-thyroid-gland.html>)

La calcitonine produite par la glande thyroïde agit pour réduire le calcium sanguin (Ca^{2+}), en s'opposant aux effets de la PTH.

4. Les nerfs

La glande thyroïde est innervée par des branches dérivées du tronc sympathique. Ces nerfs ne contrôlent pas la sécrétion endocrinienne mais influencent principalement la vascularisation. La libération d'hormones est en fait régulée par l'hypophyse.

Le nerf laryngé récurrent et le nerf laryngé supérieur et/ou sa branche externe (deux branches du nerf vague) traversent la glande thyroïde.

Après avoir rappelé ces notions physiologiques et anatomiques de base, nous suggérons de passer à présent à l'organe qui nous intéresse particulièrement, à savoir la thyroïde et à ses dysfonctionnements.

Pour résumer...

La glande thyroïde est un organe en forme de papillon situé à la base du cou, qui s'étend du niveau de la cinquième vertèbre cervicale jusqu'à la première vertèbre thoracique. La glande est divisée en 2 lobes (droite et gauche). La thyroïde fait partie du système endocrinien, elle sécrète des hormones qui régulent les fonctions vitales de l'organisme. Le nerf laryngé récurrent et le nerf laryngé supérieur et/ou sa branche externe (deux branches du nerf vague) traversent la glande thyroïde.

I.3. Les opérations thyroïdiennes

La maladie thyroïdienne est l'une des maladies typiques de notre époque. Comme de nombreuses maladies d'aujourd'hui, les maladies de la thyroïde peuvent être causées par la pollution de l'air, de l'eau et des aliments (Elizabeth *et al.*, 2009).

Environ 45.000 thyroïdectomies sont pratiquées chaque année en France, 60.000 en Allemagne et 4.000 en Suisse (Fortuny *et al.*, 2015). Le nombre moyen de chirurgies thyroïdiennes annuelles a augmenté de 39% entre 2001 et 2008 (Loyo *et al.*, 2013). 70% du risque de maladie thyroïdienne auto-immune est imputable à des facteurs génétiques. Les raisons environnementales (radiation externe, iode, sélénium) et d'autres facteurs comme le tabagisme, les virus, les drogues, les métaux lourds, etc. peuvent déclencher le développement de la maladie thyroïdienne (Brent, 2010) (Ferrari *et al.*, 2017).

1. La pathologie thyroïdienne

a) Le Nodule

En France, chaque année, il y a environ 4.000 nouveaux cas de cancers de la thyroïde. Il concerne les femmes dans 75% des cas (Leenhardt *et al.*, 2011). Le plus souvent, le premier symptôme d'un cancer de la thyroïde est un nodule dans la région thyroïdienne du cou. Les nodules thyroïdiens sont très fréquents, la moitié des personnes présente au moins un nodule à l'âge de 60 ans. Bien que 75% de la population soit atteinte de nodules thyroïdiens, la grande majorité est bénigne, moins de 10% de ces nodules sont malins (cancéreux) (Durant *et al.*, 2018).

Les nodules thyroïdiens peuvent être des tissus solides ou remplis de sang ou d'autres liquides. Le tissu d'un nodule pourrait surproduire des hormones T3 et T4. Un nodule de grande taille peut causer des difficultés de déglutition ou de respiration.

Nous ne connaissons pas encore les causes d'apparition de la plupart des nodules thyroïdiens. Plusieurs conditions peuvent provoquer le développement de nodules thyroïdiens : une carence en iode, un kyste thyroïde, un goitre multinodulaire, un cancer de la thyroïde. Cette pathologie a aussi une base génétique.

b) Le Goitre

Un goitre est un agrandissement de la glande thyroïde. La cause d'apparition d'un goitre la plus fréquente est le manque d'iode.

Selon le type de lésion, nous pouvons les classer en goitre bénin et malin. Nous pouvons les ordonner selon leurs structures ou leurs fonctions différentes :

Structure :

Goitre nodulaire/ multinodulaire : Il forme un ou plusieurs nodules sur le goitre. Il se forme généralement comme l'extension d'un goitre simple. Les nodules sont également produits par les hormones thyroïdiennes. Cette situation pourrait causer une hyperthyroïdie.

Goitre diffus : Il est réparti dans toute la glande thyroïde de façon homogène.

Fonction :

Goitre euthyroïdien : il est le plus fréquent et le moins grave. Il est souvent inoffensif.

Goitre nodulaire toxique (TNG) : il contient des nodules thyroïdiens fonctionnant de manière autonome, entraînant une hyperthyroïdie.

c) L'hyperthyroïdie

L'hyperthyroïdie survient lorsque la thyroïde est en hyperactivité. Donc la glande thyroïde produit trop d'hormone thyroxine. L'hyperthyroïdie peut accabler de manière significative le métabolisme qui entraîne une perte de poids, un rythme cardiaque rapide ou irrégulier, de la transpiration, de la fatigue, une faiblesse musculaire, etc. L'hyperthyroïdie touche environ 1,2% de la population (Bahn *et al.*, 2011).

d) L'hypothyroïdie

Contrairement à l'hyperthyroïdie, l'hypothyroïdie survient lorsque la glande thyroïde ne produit pas suffisamment d'hormone thyroïdienne. Les symptômes les plus courants de l'hypothyroïdie sont la fatigue, la dépression, la sensation de froid, la peau sèche, le gain de poids, le rythme cardiaque ralenti, etc. Sa prévalence est de près de 3 % de la population (Vaidya & Pearce, 2008). Le manque d'iode dans l'alimentation est la cause la plus fréquente de l'hypothyroïdie (Garber *et al.*, 2012).

e) Le thyroidite

La thyroidite est l'inflammation de la glande thyroïde. La thyroidite est généralement causée par un dysfonctionnement du système immunitaire entraînant une inflammation et des dommages aux cellules thyroïdiennes.

Plusieurs types de thyroidites existent :

- Thyroidite de Hashimoto : elle est souvent provoquée par une glande thyroïde sous-active (hypothyroïdie) (Zaletel & Gaberšček, 2011).
- Thyroidite de Quervain : la glande se gonfle, ce qui s'accompagne de douleurs et de fièvre. L'absorption d'iode est très faible. (Bhadoria *et al.*, 2011).
- Thyroidite de Riedel : elle implique une inflammation potentiellement auto-immune et une fibrose de la glande thyroïde et des tissus environnants (Darouichi & Constanthin, 2016).

Il existe également d'autres thyroïdites.

2. Les Thyroïdectomies

Une thyroïdectomie (Figure I-12) est l'ablation chirurgicale partielle ou totale de la glande thyroïde. Différents types de thyroïdectomie existent. Les principes des opérations sont les mêmes mais les quantités de tissu retirées varient.

- Lobectomie thyroïdienne : un lobe de la thyroïde est enlevé
- Lobectomie partielle de la thyroïde : une partie d'un lobe de la glande thyroïde est enlevée.
- Lobo-isthmectomie : tout un lobe thyroïdien est enlevé ainsi que la section de l'isthme entre les deux lobes.
- Thyroïdectomie sub-totale : presque toute la thyroïde est enlevée en laissant une partie pour la sécrétion des hormones.
- Thyroïdectomie totale : la glande thyroïde entière est enlevée

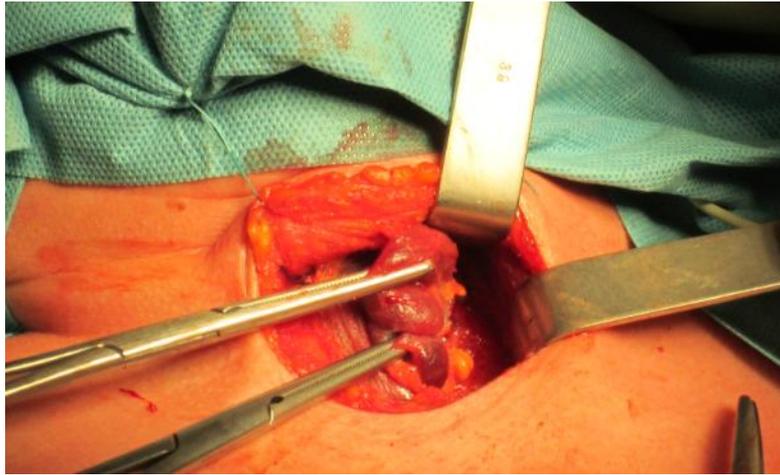


Figure I-12 Une lobectomie thyroïdienne : un lobe de la thyroïde est enlevé

Il est possible de réaliser une énucléation seule d'un ou plusieurs nodule(s) thyroïdien(s) ou une isthmectomie thyroïdienne.

Une thyroïdectomie totale ou partielle peut présenter des difficultés en raison de l'anatomie complexe de la glande, de l'espace limité dans la région cervicale et des structures environnantes telles que les nerfs et plusieurs couches musculaires. Excepté dans les situations comme l'hémorragie et l'infection, les complications possibles incluent :

- Blessure au nerf laryngé récurrent : le nerf RLN innerve les plis vocaux. Sa blessure peut entraîner une paralysie des plis vocaux.
- Blessure à une partie du nerf laryngé supérieur : le nerf SLN innerve le muscle crico-thyroïdien pour contrôler la hauteur de la voix.
- Hypoparathyroïdie : cette situation aboutit à un manque d'hormones parathyroïdiennes qui aident à maintenir le taux de calcium dans le sang à un seuil normal.
- Tempête thyroïdienne (rare) : les hormones thyroïdiennes risquent de pénétrer dans le sang pendant la pratique d'une thyroïdectomie. Si cela se produit pour une glande hyperactive (comme la thyroïde), la fréquence cardiaque, la tension artérielle et la température corporelle d'un individu peuvent atteindre des niveaux dangereusement élevés.

Dans notre recherche, nous nous focalisons sur les conséquences vocales des blessures des deux nerfs : le nerf laryngé récurrent (RLN) et le nerf laryngé supérieur (SLN).

I.4. Les nerfs et les lésions neurologiques

Les plis vocaux sont innervés par le nerf laryngé récurrent (RLN) et le nerf laryngé supérieur (SLN) qui sont issus tous les deux du nerf vague, X^e paire des nerfs crâniens. Le SLN est divisé en deux parties, une branche interne et une externe. La branche interne procure une sensation au larynx au-dessus du niveau des plis vocaux et le nerf laryngé récurrent procure une sensation en dessous (Francis *et al.*, 2011). Le nerf laryngé récurrent est aussi appelé le nerf laryngé inférieur. Il innerve tous les muscles intrinsèques du larynx et des muscles crico-thyroïdiens (CTM) (Masuoka *et al.*, 2016). Mais les fonctions de ce muscle, ainsi que les variations anatomiques ne sont pas complètement comprises (Orestes & Chhetri, 2014). Les communications existent entre le RLN et le SLN (Sanders *et al.*, 1993).

1. Le nerf laryngé récurrent (RLN)

Il y a deux RLNs, gauche et droit non symétriques, avec des chemins différents (Figure I-13). Le nerf gauche tourne autour de l'arc aortique avant de pénétrer dans le larynx. Le nerf droit tourne autour de l'artère sous-clavière droite puis se déplace vers le haut. Le nerf gauche a un trajet plus long que le droit. Ils ont le nom récurrent parce qu'ils traversent tous deux le long de la trachée et suivent un parcours récurrent en se déplaçant dans la direction opposée à la direction initiale. Le nerf laryngé gauche est plus vulnérable que le nerf droit à cause de son trajet plus long dans la cavité thoracique à proximité du lobe pulmonaire gauche.

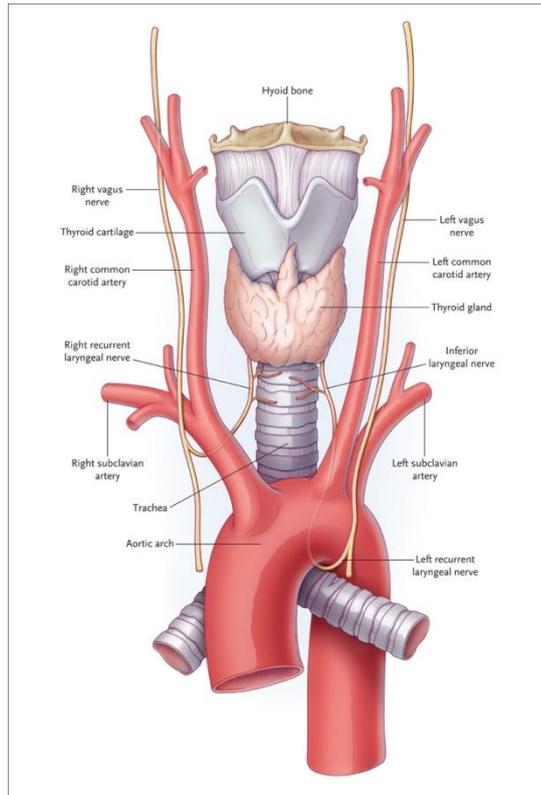


Figure I-13 Nerf laryng é r écurrent

(Source Vikram et al., 2011)

Environ 5 personnes sur 1.000 ont un nerf laryng é non r écurrent sur la droite (Figure I-14). Un nerf laryng é non r écurrent se trouve uniquement à droite, sauf dans les rares cas de *situs inversus* (Adam *et al.*, 2007) (Francis *et al.*, 2011). Dans ce cas-l à il est issu du nerf vague au niveau du cartilage crico ïle et p én ètre directement dans le larynx, sans boucler autour de l'art ère sous-clavi ère.

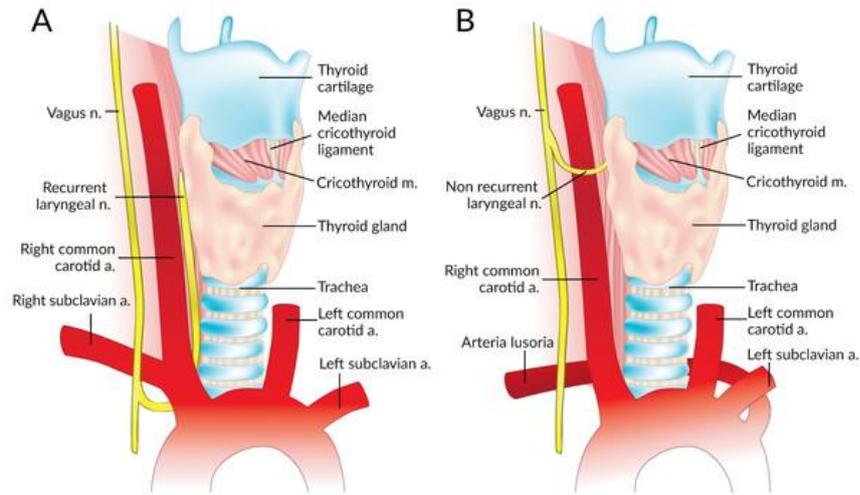


Figure I-14 RLN normal (A) et RLN non récurrent (B)

(Source Brandon et al., 2017)

Le RLN joue un rôle important dans la respiration, la phonation et la déglutition. Il innerve quatre des muscles intrinsèques du larynx :

- Les muscles thyro-aryténoïdiens (TA)
- Les muscles crico-aryténoïdiens latéraux (LCA)

Les muscles TA et LCA sont responsables de l'adduction des plis vocaux. Le dysfonctionnement de ces muscles entraîne une incapacité à fermer la glotte.

- Les muscles crico-aryténoïdiens postérieurs (PCA)

Les muscles PCA sont responsables de l'abduction. La dénervation unilatérale provoque une incapacité de l'ouverture pendant l'inspiration et la dénervation bilatérale aboutit à une obstruction des voies respiratoires, ce qui est dangereux pour le patient.

- Les muscles inter-aryténoïdes (IA)

Les muscles IA restent les muscles laryngés intrinsèques les moins compris. Ils peuvent aider à l'adduction des plis vocaux et à la compression médiale pour fermer la glotte postérieure, mais les fonctions complètes des muscles IA ne sont pas tout à fait claires (Crumley, 1994).

Le risque de paralysie récurrentielle après chirurgie de la thyroïde varie de 0,3 à 13% (SFORL, 2002). Selon Francis (2011), la thyroïdectomie est la chirurgie avec le deuxième taux le plus élevé de dommages au RLN.

La probabilité diminue avec l'expérience du chirurgien. Selon les études de Rosato *et al.* (2004), le taux de paralysie définitive des plis vocaux (qui est lié au traumatisme du nerf laryngé récurrent (RLN)) est de 1% ; la paralysie transitoire est de 2%, celui de la paralysie laryngé supérieure est de 3,7%.

Le *neuromonitoring* du RLN est un nouvel outil pour éviter les blessures des nerfs pendant l'opération. Une sonde d'intubation est équipée d'électrodes placées entre les plis vocaux après l'anesthésie et avant l'opération. Les nerfs vagues et les RLN peuvent être stimulés par des stimulations de signal sonore. Les chirurgiens peuvent confirmer l'existence de nerf avant les coupures. La pratique du *neuromonitoring* diminue ainsi largement le danger d'une paralysie récurrentielle.

2. Le nerf laryngé supérieur (SLN)

Les muscles crico-thyroïdiens (Figure I-15) peuvent tirer la voûte du cartilage cricoïde et inclinent le bord supérieur du lobe du cartilage cricoïde. Ainsi, ils contrôlent la fréquence fondamentale (F0) par la tension et l'allongement sur les plis vocaux qui modifient la distance entre les processus vocaux et l'angle de la thyroïde. Ils sont innervés par le nerf laryngé supérieur. Le nerf laryngé supérieur (SLN) et ses fonctions ne sont pas tout à fait compris (Orestes & Chhetri, 2014). Il est probablement dû au fait que les lésions RLN sont cliniquement plus fréquentes et plus faciles à identifier et à traiter, d'autant plus qu'il y a moins de recherche sur le SLN par rapport au RLN, ce qui explique aussi le fait que nous comprenions le SLN beaucoup moins clairement que le RLN.

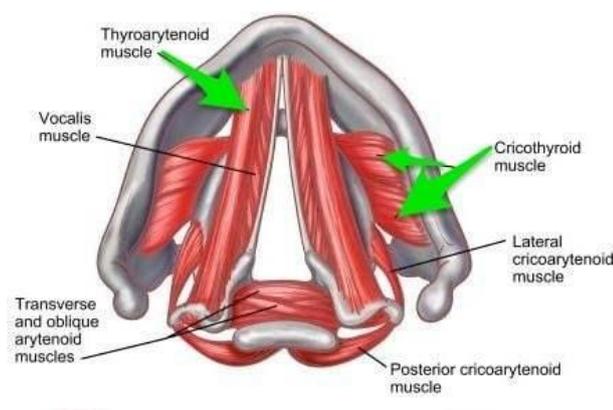


Figure I-15 Les muscles crico-thyroïdiens

(Source http://followtheheart.info/kareff-Wed_14_16.html)

Une paralysie du nerf laryngé supérieur modifie la hauteur de la voix et empêche de produire des sons plosifs en raison de la paralysie du muscle crico-thyroïdien. Précisons toutefois que le nerf laryngé supérieur (NLS) n'est pas seul responsable de la production des plosives.

Les lésions du SLN sont difficiles à diagnostiquer en raison de sa grande variabilité. Selon ses effets sur la voix, sa fonction est probablement plus que l'élévation de la hauteur de F0.

Il existe des variations anatomiques de la branche externe du nerf laryngé supérieur (EBSLN). L'étude de Kierner (Kierner *et al.*, 2015) les classifie en 4 types (Figure I-16) en se basant sur le travail de Cernea *et al.* (1992).

- Type I : dans 42% des cas, le nerf passe à plus de 1 cm au-dessus de l'artère thyroïdienne supérieure du pôle supérieur de la glande thyroïde.
- Type II : dans 30% des cas, le nerf passe à moins de 1 cm au-dessus de l'artère thyroïdienne supérieure du pôle supérieur de la glande thyroïde.
- Type III : dans 14% des cas, le nerf passe sous l'artère thyroïdienne supérieure du pôle supérieur de la glande thyroïde.
- Type IV : dans 14% de cas, le nerf descend derrière l'artère et traverse les branches de la STA immédiatement au-dessus du pôle supérieur de la glande thyroïde.

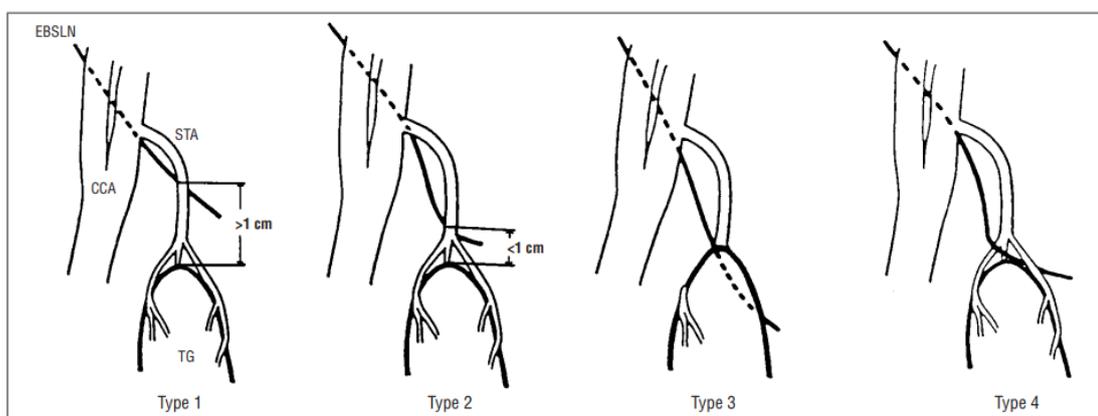


Figure I-16 Les variations anatomiques de l'EBSLN

(source Kierner *et al.*, 1998)

Pour résumer...

Environ 45.000 thyroïdectomies sont pratiquées chaque année en France. En France, chaque année, il y a environ 4.000 nouveaux cas de cancers de la thyroïde. Le plus souvent, le premier symptôme d'un cancer de la thyroïde est un nodule dans la région thyroïdienne du cou. Un goitre est un agrandissement de la glande thyroïde. Une thyroïdectomie est l'ablation chirurgicale partielle ou totale de la glande thyroïde. Les complications possibles de la thyroïdectomie incluent : 1) une blessure au nerf laryngé récurrent (ce nerf RLN innerve les plis vocaux et sa blessure peut entraîner une paralysie des plis vocaux) ; 2) une blessure à une partie du nerf laryngé supérieur (ce nerf SLN innerve le muscle crico-thyroïdien et intervient dans le contrôle de la hauteur de la voix. Le RLN joue un rôle important dans la respiration, la phonation et la déglutition. Il innerve quatre des muscles intrinsèques du larynx : 1) les muscles thyro-aryténoïdiens (TA), responsables de l'adduction des plis vocaux ; 2) les muscles crico-aryténoïdiens latéraux (LCA), également responsables de l'adduction des plis vocaux ; 3) les muscles crico-aryténoïdiens postérieurs (PCA), responsables de l'abduction ; 4) les muscles inter-aryténoïdiens (IA) qui, semble-t-il, peuvent aider à l'adduction des plis vocaux et à la compression médiale pour fermer la glotte postérieure.

3. La paralysie et la parésie des plis vocaux

La paralysie est différente de la parésie. La paralysie signifie une immobilité complète d'un muscle mais non une dénérvation complète. Une réinnervation peut survenir. La parésie est une hypomobilité secondaire en raison d'une lésion neurologique.

Les plis vocaux peuvent adopter les positions adductive et abductive. En étant paralysés, elles pourraient rester dans deux positions : la paralysie adductive et la paralysie abductive (une position intermédiaire existe). Dans les deux cas, il y a une différence entre la paralysie unilatérale et bilatérale (Figure I-17). Selon Blondeau (1996), en situation d'adduction, il s'agira d'une paralysie du nerf laryngé récurrent (RLN). Lors de la situation d'abduction et intermédiaire, on aura affaire à une paralysie à la fois du nerf laryngé récurrent (RLN) et du nerf laryngé supérieur (SLN). La paralysie a été remarquée 1,4 à 2,5 fois plus fréquemment sur la gauche que sur la droite, selon plusieurs études (Parnell *et al.*, 1970) (Yamada *et al.*, 1983) (Furukawa *et al.*, 1994).

Les paralysies récurrentielles peuvent provoquer une dysphonie. Il s'agit d'un trouble de la voix qui peut avoir des incidences sur divers paramètres acoustiques comme le timbre, l'intensité ou la fréquence fondamentale (Dubreuil & Céruse, 2004). Elle a été définie par Le Huche & Allali (2010) comme « un trouble momentané ou durable de la fonction vocale ressenti comme tel par le sujet lui-même ou son entourage » (p.47). Ghio & Pinto (2008) parlent d'une perturbation de l'émission du son laryngé, perçu comme anormal par un locuteur et/ou un auditeur. Les tentatives de classement des dysphonies n'ont pas été concluantes, même si trois catégories majeures de dysphonies sont habituellement citées dans la littérature : 1) les dysphonies d'origine dysfonctionnelle ; 2) celles d'origine organique et enfin ; 3) celles d'origine neurologique. Fauth (2012) signale le fait :

« [...] qu'il n'est pas toujours aisé de déterminer si les atteintes organiques sont les causes ou les conséquences d'une dysphonie, c'est pourquoi le clivage organique/fonctionnel est largement discuté dans la communauté scientifique. En outre, il est utile d'ajouter que les classifications sont loin de faire consensus, et que les paralysies récurrentielles ne sont pas classées dans les mêmes catégories (organiques ou neurologiques) suivant les auteurs. »

Crevier-Buchman, et al. (2005) définit les dysphonies dysfonctionnelles comme « le résultat d'une inadéquation du comportement vocal responsable d'une diminution de l'efficacité du geste de la parole » (p.353).

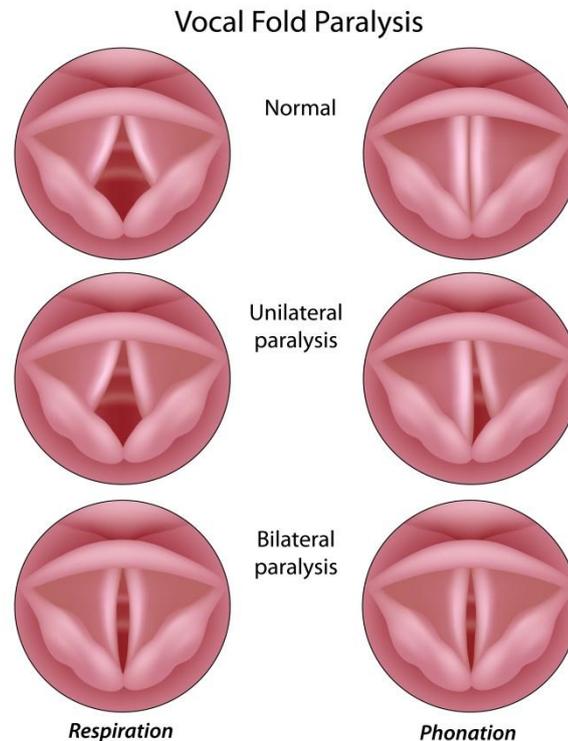


Figure I-17 Paralysies des plis vocaux

A gauche, la configuration de la glotte lors de la respiration et à droite, sa configuration lors de la phonation.

En haut, la position habituelle des plis vocaux ; au milieu, leur position en cas de paralysie unilatérale ; en bas, leur position en cas de paralysie bilatérale. (Source <http://getyourimage.club/resize-november-14.html>)

Quels sont les traitements possibles de ces dysfonctionnements au niveau de la glotte ? C'est ce que nous proposons d'exposer dans ce qui suit.

4. Le traitement

La plupart des patients ont une guérison spontanée. Le temps et l'auto réajustement du corps permettent une récupération vocale et une « standardisation » des paramètres précédemment évoqués. Les paramètres seraient alors comparables aux valeurs mesurées en phase préopératoire (Xiu *et al.*, 2016a, 2016b).

En outre, plusieurs genres de traitement de la paralysie des plis vocaux existent pour améliorer la voix.

- *Thérapie vocale*

La thérapie vocale évite parfois la nécessité d'une intervention chirurgicale. Les patients peuvent donc éviter d'être exposés à des risques inutiles.

Le rôle de la thérapie vocale (rééducation) dans le traitement d'une paralysie et d'une parésie vocale est controversé (Hoffman & McCulloch, 1996). Certains exercices concernant la fermeture de la glotte ont été signalés par des chercheurs qui pensent que ces types d'adduction forcée peuvent être nocifs pour le rétablissement (Benninger *et al.*, 1994). Selon l'étude de MacKenzie *et al.* (2001), la thérapie vocale améliore efficacement les mesures de qualité de la voix auto-évaluées et évaluées par les observateurs. Cependant, elle n'affecte pas significativement le rétablissement au niveau physiopathologique du larynx des patients atteints de dysphonie.

L'efficacité de la thérapie reste à discuter, étant donné qu'il n'existe pas encore d'étude sur le nombre et la durée des séances, ainsi que sur la méthode de thérapie vocale pour une paralysie laryngée (Laccourreya *et al.*, 2003). Certaines études indiquent que le rôle principal de la thérapie vocale pour le patient n'est pas seulement d'éduquer son comportement vocal, mais aussi de lui apporter un soutien psychologique. L'étude de Kelchner *et al.* (1994) admet l'efficacité de la thérapie vocale sur la dysphonie légère. En cas de dysphonie avec des symptômes plus graves, l'intervention chirurgicale est demandée.

L'étude de Heuer *et al.* (2007) démontre l'importance de la thérapie vocale chez les patients présentant une paralysie récurrente unilatérale. Les données objectives montrent des différences entre les groupes de patients pouvant être traités par la thérapie vocale seule et ceux qui nécessiteront une intervention chirurgicale.

Dans notre étude, nous avons deux patients paralysés avec des symptômes typiques. Un patient a fait de grands progrès après les séances thérapeutiques. Mais nous manquons de données précises pour démontrer une relation directe entre les progrès faits par ces patients et les procédures thérapeutiques retenues, comme le nombre de séances, les évaluations objectives et subjectives après chaque séance, la durée, les méthodologies, etc. Un autre patient avec des symptômes typiques a eu un rétablissement sans thérapie vocale. Cela semble indiquer que la guérison spontanée peut jouer un rôle important.

- *Intervention chirurgicale*

Les deux méthodes principales d'intervention chirurgicale pour les patients qui présentent une paralysie unilatérale des plis vocaux sont la médialisation et la réinnervation.

a) Médialisation

Les procédures de médialisation comprennent la laryngoplastie par injection et la LFS (*Laryngeal Framework Surgery*).

La thyroplastie par injection est souvent choisie en raison de sa nature temporaire, la facilité et la réparabilité. De nombreux matériaux peuvent être appliqués. Le téflon (il n'est plus utilisé en raison d'un risque élevé de réaction inflammatoire), la silicone, la graisse, etc.

La LFS permet d'influencer la biomécanique du larynx en modifiant la forme et/ou la position des cartilages laryngés pour que les plis vocaux se ferment mieux ou aient plus de tension, ce qui permet aux plis vocaux de mieux vibrer pour la phonation.

b) Réinnervation

La réinnervation est la restauration de la fonction nerveuse après sa perte. Selon l'étude de Crumley (1991), une amélioration de la qualité vocale a eu lieu.

Pour résumer...

La paralysie est différente de la parésie. La paralysie signifie une immobilité complète d'un muscle mais non une dénervation complète. Dans ce cas, une réinnervation peut survenir. La parésie est une hypomobilité secondaire en raison d'une lésion neurologique. Les plis vocaux peuvent adopter les positions adductive et abductive. En étant paralysés, elles peuvent rester dans deux positions : la paralysie adductive et la paralysie abductive (une position intermédiaire existe). En situation d'adduction, il s'agira d'une paralysie du nerf laryngé récurrent (RLN), alors qu'en situation d'abduction et intermédiaire, on aura affaire à une paralysie à la fois du nerf laryngé récurrent (RLN) et du nerf laryngé supérieur (SLN). Outre une guérison spontanée, il existe plusieurs genres de traitement de la paralysie des plis vocaux pour améliorer la qualité de la voix : 1) la thérapie vocale qui évite parfois la nécessité d'une intervention chirurgicale ; 2) l'intervention chirurgicale par médialisation ou par réinnervation.

II. ÉTAT DE LA QUESTION

Cette partie est composée de deux sections :

- LA SECTION 1 CORRESPOND AUX *CONSEQUENCES AERODYNAMIQUES DE LA THYROÏDECTOMIE*.
- LA SECTION 2 PRESENTE LES *CONSEQUENCES ACOUSTIQUES DE LA THYROÏDECTOMIE, EVALUATION ET TRAITEMENT*.

II.1. Conséquences aérodynamiques de la thyroïdectomie

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les troubles vocaux post-thyroïdectomies varient en fonction des individus. Selon beaucoup de chirurgiens et de chercheurs, une dégradation au niveau de la qualité vocale est possible et a été constatée plusieurs fois même dans les cas où les nerfs laryngés sont intacts et non abîmés. De toutes les complications connues, la paralysie des plis vocaux unilatérale ((UVFP) *unilateral vocal fold (cord) paralysis*) et bilatérale ((BVFP) *bilateral vocal fold (cord) paralysis*) causée par la paralysie récurrentielle constitue un des phénomènes les plus étudiés dans la recherche des conséquences sur la qualité vocale (Fauth, 2012). Mais la méthode de diagnostic traditionnelle de l'ORL est limitée et ne permet pas de mettre au jour les modifications vocales aérodynamiques et acoustiques dans les cas de paralysie laryngée. Dans cette section, nous nous intéresserons au même sujet resté à l'état de question dans les études précédentes, nous tenterons d'y apporter des réponses à l'aide de nos expérimentations. La méthode expérimentale aérodynamique permet de mettre non seulement en lumière ces modifications mais aussi leurs causes, et de nouvelles méthodes de diagnostic pourraient également se développer pour les examens médicaux futurs (Xiu, 2016a).

Les mesures aérodynamiques permettent de mesurer les caractéristiques biomécaniques du système pneumo-phonatoire (Leuchter, 2010).

Bien que les évaluations aérodynamiques soient très importantes dans l'étude des dysfonctionnements laryngiens, elles sont malheureusement peu accessibles parce qu'au niveau du matériel, les évaluations aérodynamiques sont beaucoup plus complexes que les évaluations acoustiques (Teston, 2004).

1. Le Temps Maximum de Phonation

L'analyse la plus simple des paramètres aérodynamiques est le temps maximum de phonation (MPT), mesuré en secondes. Il se compose d'une phonation d'une voyelle, /a/

normalement, le plus longtemps possible après une inspiration profonde, avec une hauteur et un volume spontanés et confortables. Le MPT est l'une des mesures cliniques les plus couramment utilisées dans l'évaluation vocale dans le monde entier, et ce depuis longtemps (Hirano, 1981).

En 1984, Hong *et al.* ont essayé de dévoiler le rapport entre les modifications du MPT et les phénomènes postopératoires des complications de la thyroïdectomie. Une diminution du MPT a été remarquée 6 mois après l'opération de chirurgies endocriniennes cervicales. Étant donné que ces études ont été réalisées à une époque où la précision des techniques chirurgicales et expérimentales était limitée, l'exactitude des résultats obtenus n'est pas convaincante à cause des imprécisions. En 1997, dans une recherche faite par Hong et Kim, le MPT de la voyelle soutenue /i/ n'a pas été modifié significativement après une opération de la thyroïde. Les MPT ont été enregistrés pendant 4 phases : Une phase préopératoire (Préop) et trois phases postopératoires. La phase post-opératoire 1 (PO1), réalisée un mois après l'opération ; la phase post-opératoire 2 (PO2), effectuée trois mois après l'opération ; la phase post-opératoire 3 (PO3), réalisée six mois après l'opération.

Le MPT moyen était de 21.7 secondes (7.0) en Préop, puis de 18.8 secondes (7.6) en PO1, 20.3 secondes (9.2) en PO2 et 19 secondes (6.7) en PO3. La valeur n'a pas été modifiée significativement ($p > 0.05$).

Van Lierde *et al.* ont effectué des mesures aérodynamiques en 2010. Ils ont étudié le MPT moyen de la voyelle /a/ sur 44 patients post-thyroïdectomies en 4 phases : une Préop et trois Post. La PO1, réalisée une semaine après l'opération ; la PO2, effectuée après six semaines ; puis le PO3 après trois mois. Le MPT moyen des patientes féminines était de 18.5 secondes (4.72) en Préop, de 18.36 secondes (5.48) en PO1, puis de 18.2 secondes (4.46) en PO2, et de 18.27 secondes (6.49) en PO3. Et le MPT moyen des patients masculins était de 25.3 secondes (9.89) en Préop, de 25.5 secondes (6.14) en PO1, puis de 21.3 secondes (4.66) en PO2, et de 30.2 secondes (13.1) en PO3. Les écarts-types restent importants dans toutes les phases comme dans les études précédentes.

Dans l'étude qui inclut le MPT en relation avec la thyroïdectomie de Solomon *et al.* (2012), le MPT des évaluations post-opératoires n'a pas significativement changé par rapport à celui des évaluations préopératoires. Ils ont constaté que le MPT avait diminué après la thyroïdectomie. Il y a 3 phases d'enregistrement : la phase préopératoire (Préop)

et deux phases postopératoires. La phase post-opératoire 1 (PO1), réalisée deux semaines après l'opération et la phase post-opératoire 2 (PO2), effectuée trois mois après l'opération. Le MPT de la voyelle /a/ moyen était de 24.68 secondes (9.86) en Préop, de 22.35 secondes (9.52) en PO1, puis de 21.64 secondes (7.25) en PO2 ($p>0.05$).

Cela est probablement dû au fait que la plupart des patients n'avaient pas de problèmes vocaux substantiels après la thyroïdectomie et que des changements subtils ne seraient pas détectés par le MPT.

Les rapprochements des phases post-opératoires sont différents selon les études. Pour que nous puissions mieux comparer les résultats transversalement dans les nombreuses recherches, nous avons résumé tous les paramètres dans le tableau ci-dessous (Tableau II-1).

Tableau II-1 Les valeurs du MPT selon différentes études

MPT			Preop	Post-op					
			\	1 wk	2 wks	4 wks	6 wks	12 wks	24 wks
Hong & Kim	1997	/i/	21.7s (7.0)	\	\	18.8s (7.6)	\	20.3s (9.2)	19s (6.7)
Van Lierde & al.	2010	/a/	18.5 s (4.72)	18.36 s (5.48)	\	\	18.2 s (4.46)	18.27 s (6.49)	\
Solomon et al.	2012	/a/	24.68 s (9.86)	\	22.35 s (9.52)	\	\	21.64 s (7.25)	\

Ici, nous revenons à la limite de la mesure du MPT. Tout d'abord, il existe une grande variabilité inter-individus et une grande variabilité au cours du temps. Selon la fréquence et l'intensité choisies arbitrairement, même s'il s'agit du même sujet dans les différents enregistrements, la phonation demande une pression sous-glottique différente (Baken *et al.*, 2000). Le MPT peut varier largement selon les exemples que les examinateurs ont montrés aux sujets et selon les stratégies compensatoires postopératoires mises en place par les sujets.

Après la paralysie récurrentielle, un effort est demandé pour réaliser la phonation, ce qui s'observe souvent par une efficacité phonatoire diminuée ainsi que par un effet de fatigue vocale.

Dans l'étude de Hartl *et al.* (2001), il est fait mention d'un patient atteint de paralysie des plis vocaux unilatérale (UVFP), dont le MPT de la voyelle /a/ était de 14,8 secondes en Préop et de 3,50 secondes en PO.

La durée moyenne d'un /a/ tenu varie entre 15 et 20 secondes. Dans son étude, Teston (2004) fait mention, quant à lui, d'un sujet normal avec une durée d'émission de presque 20 secondes et d'un autre sujet atteint d'une paralysie laryngée dont la durée d'émission est inférieure à 10 secondes.

2. Le débit d'air oral

Le débit d'air oral et la pression sous-glottique estimée (EPSG) des patients post-thyroïdectomie permettent d'évaluer les troubles vocaux. En outre, nous pouvons calculer la valeur de la résistance glottique à l'aide du rapport de la « pression sous-glottique estimée » et du débit d'air oral. Le débit d'air oral permet d'évaluer le rendement glottique.

L'OAF est associé aux paramètres acoustiques, et il a été démontré qu'un OAF élevé était significativement corrélé au phénomène de *breathy voice* (Dejonckere, 1990) dans le cas d'UVFP (Hartl *et al.*, 2001).

Sur un sujet normal, Teston (2004) a constaté une légère instabilité à long terme sur l'intensité et un fort OAF au départ de la phonation qui devient très stable après quelques secondes. Puis sur un sujet atteint d'une paralysie laryngée, un très difficile départ du voisement a été constaté avec un retard important de plus d'une seconde par rapport au début de l'OAF. Par ailleurs, plusieurs désynchronisations ont été détectées pendant les 3 premières secondes de l'émission vocale. Même si l'OAF avait une bonne stabilité, les vibrations du larynx restent instables.

L'étude de Yu *et al.* (2001) et celle de Hartl *et al.* (2001) s'inscrivent dans la même perspective.

Dans les quatre degrés de catégorisation par l'échelle GRBAS, les valeurs moyennes de l'OAF de la voyelle /a/ pour les sujets de G0 sont de 157 cm³/s (45.5), puis de 205 cm³/s (109), 295 cm³/s (110), 385 cm³/s (202) pour les sujets de G1, G2 et G3 dans l'étude de Yu *et al.* (2001) sur des sujets dysphoniques.

Selon l'étude de Hartl *et al.* la même année, l'OAF de la voyelle /a/ est de 135 cm³/s pour un sujet normal, et dans le cas d'UVFP, cette valeur peut s'élever jusqu'à 623 cm³/s. Il indique aussi dans cette étude qu'en cas d'UVFP, l'augmentation du débit d'air moyen et

de la pression intra-orale est nécessaire, étant donné que la résistance glottique et l'efficacité vocale diminuent.

3. Le pic du débit d'air oral

Le pic du débit d'air varie avec l'intensité de la phonation (Hixon, 1966). Il est donc important que les expérimentateurs contrôlent avec attention l'intensité de la parole pendant le test. Selon Brown *et al.* (1976), un feedback visuel pourrait améliorer la qualité d'enregistrement et minimiser la variation d'intensité de la phonation. Et une grande variabilité (grand écart-type) est une constatation aussi significative qu'une moyenne anormale (Ronald *et al.*, 2000).

Dans l'étude d'Emanuel et Counihan (1970), 25 sujets masculins et 25 sujets féminins ont été interrogés pour mesurer le pic du débit d'air moyen dans plusieurs syllabes porteuses. Dans une syllabe de structure CVC, nous pouvons voir les résultats suivants (Tableau II-2). Les paramètres originaux sont en unité de mesure de L/minute, nous les avons convertis en dm^3/s pour mieux comparer avec les autres études et avec notre propre recherche.

Tableau II-2 Pic du débit d'air moyen de 25 sujets masculins et 25 sujets féminins

CVC	M	F
apa	0.357	0.27
ata	0.441	0.42
aka	0.363	0.31
aba	0.218	0.11
ada	0.148	0.077
aga	0.118	0.082

4. La pression intra-orale et la pression sous-glottique

Teston (2004) a mentionné 4 paramètres aérodynamiques dans son étude : les débits d'air nasal et oral ainsi que la pression intra-orale qui est impliquée dans l'évaluation pratique. Toutefois, la pression sous glottique, elle, du fait de son caractère invasif, n'aurait pas pu être utilisée.

Les recherches sur la pression intra-orale (PIO) ont commencé très tôt, dès 1897 avec Rousselot (1897, 1901), qui a mis au jour la relation entre l'OAF et la PIO. S'en sont

suivies de nombreuses recherches prenant en compte la différence d'âge des sujets (Bernthal & Beukelman, 1978), ainsi que leur genre (Subtelny *et al.*, 1986).

Floyd et Donald (1970) ont mesuré les paramètres de la PIO des consonnes occlusives : /t/, /p/, /k/ et /d/, /b/, /g/ dans les contextes des logatomes CVC et CV avec les voyelles /i/ et /a/. Dans son étude, il a utilisé le litre/min comme unité de mesure. En convertissant à dm³/secondes, nous pouvons voir ces consonnes produites avec la voyelle /a/ dans le tableau suivant (Tableau II-3).

Tableau II-3 PIO des consonnes occlusives

CVC	M	F	CV	M	F
t	0.441	0.42	t	1.324	1.162
p	0.357	0.27	p	1.103	0.88
k	0.363	0.31	k	1.143	0.904
d	0.218	0.11	d	0.598	0.347
b	0.148	0.076	b	0.425	0.233
g	0.13	0.082	g	0.415	0.258

La mesure de la PIO a souvent été utilisée dans les recherches en pathologie de la parole. Dalston *et al.* (1988) l'ont étudiée pour 267 sujets présentant une insuffisance vélopharyngée pour la production de la consonne /p/. Les résultats qui nous intéressent concernent le groupe âgé de plus de 18 ans. La PIO moyenne est de 4.9 hPa (1.8) pour les sujets masculins (32 personnes) et 4.0 hPa (1.7) pour les sujets féminins (26 personnes) (P<0.05) (Tableau II-4).

Tableau II-4 PIO selon l'âge et le sexe

Age	M	F
< 7	8.3 (3.3)	5.8 (2.2)
7 to 9	6.9 (2.9)	5.8 (3.0)
10 to 12	6.6 (2.4)	6.2 (2.4)
13 to 15	6.3 (2.8)	5.5 (1.7)
16 to 18	5.7 (2.1)	3.6 (1.7)
>18	4.9 (1.8)	4.0 (1.7)

Dans l'étude de Yu *et al.* (2001) sur 63 patients atteints de dysphonie et 21 sujets contrôlés, la pression sous glottique estimée (ESGP) de la consonne /p/ est plus importante chez les sujets dysphoniques que chez les sujets contrôlés. Dans les quatre degrés de catégorisation par l'échelle GRBAS, l'ESGP moyenne des sujets de G0 est de

6.1 hPa (1.3), puis de 9.4 hPa (3.1), 12.7 hPa (4.2), 14.4 hPa (5.5) pour les sujets de G1, G2 et G3.

La réduction de l'efficacité laryngale aboutit à une augmentation du PIO et a été confirmée par l'étude de Hartl *et al.* (2001) : dans le cas de la paralysie récurrentielle, la PIO augmente avec l'OAF.

Hartl avait déclaré dans son étude en 2001 avec ses collègues, qu'il n'y aurait aucune étude acoustique ou aérodynamique effectuée sur les mêmes patients avant et après l'apparition d'une paralysie unilatérale dans son époque.

Aujourd'hui, il y existe certaines études effectuées sur les mêmes patients avant et après l'apparition d'une paralysie unilatérale ou bilatérale, mais elles restent rares.

Dans notre étude, nous allons combiner les méthodes acoustique, aérodynamique et perceptive, sur les mêmes sujets dans les phases avant et après l'intervention de thyroïdectomie afin de mettre en lumière les rapports entre les conséquences liées à la post-thyroïdectomie et les phénomènes pathologiques.

Pour résumer...

Les données attestées dans la littérature montrent que les troubles vocaux post-thyroïdectomies varient en fonction des individus. Selon beaucoup de chirurgiens et de chercheurs, une dégradation au niveau de la qualité vocale est possible et a été constatée plusieurs fois même dans les cas où les nerfs laryngés sont intacts et non abîmés. De toutes les complications connues, la paralysie des plis vocaux unilatérale ((UVFP) *unilateral vocal fold (cord) paralysis*) et bilatérale ((BVFP) *bilateral vocal fold (cord) paralysis*) causée par la paralysie récurrentielle constitue un des phénomènes les plus étudiés dans la recherche des conséquences sur la qualité vocale. Cela dit, la méthode de diagnostic traditionnelle de l'ORL est limitée et ne permet pas de mettre au jour les modifications vocales aérodynamiques et acoustiques dans les cas de paralysie laryngée. La méthode expérimentale aérodynamique permet de mettre non seulement en lumière ces modifications mais aussi leurs causes.

La mesure la plus simple des paramètres aérodynamiques, et aussi la plus utilisée, est le temps maximum de phonation (ou *Maximum Phonation Time*, MPT), mesuré en secondes. Les données obtenues pour ce paramètre dans diverses études restent assez variables.

D'autres mesures, le débit d'air oral et la pression sous-glottique estimée (ou *Estimated EPSG*) des patients post-thyroïdectomie permettent aussi d'évaluer les troubles vocaux. Le débit d'air oral (ou *Oral Air Flow* - OAF) permet d'évaluer le rendement glottique. L'OAF peut aussi être associé à des paramètres acoustiques.

Le pic du débit d'air varie avec l'intensité de la phonation, d'où l'importance de contrôler la variation de l'intensité de la parole pendant l'acquisition des données.

La pression intra-orale est utile dans l'évaluation pratique. La pression sous glottique, elle, du fait de son caractère invasif, ne peut pas être utilisée.

Nous proposons, dans nos recherches, de combiner les méthodes acoustique, aérodynamique et perceptive, sur les mêmes sujets dans les phases avant et après l'intervention de thyroïdectomie.

II.2. Conséquences acoustiques de la thyroïdectomie, évaluation et traitement

Dans cette section, nous allons voir les conséquences de la qualité vocale des patients ayant subi une thyroïdectomie. L'opération de la thyroïdectomie entraîne des mouvements laryngés irréguliers qui présentent des altérations vocales acoustiques. Comme nous en avons parlé précédemment, la voix n'est qu'une conséquence acoustique de phénomènes aérodynamiques, lesquels se produisent dans le conduit vocal (Teston, 2004). En analysant les réalisations acoustiques, nous pouvons obtenir des informations sur leurs origines notamment en étudiant les attaques vocaliques perturbées (Revis *et al.*, 1999).

Nous nous focalisons d'abord sur les études évaluant la modification des paramètres vocaux des patients qui ne présentent pas d'immobilité laryngée après l'opération de thyroïdectomie.

1. Fréquence fondamentale

La fréquence fondamentale (F0) est peut-être le paramètre le plus couramment utilisé dans le domaine de l'étude sur la qualité vocale. De ce fait, il y a de nombreuses recherches reliées à l'étude de la fréquence fondamentale.

Selon l'étude de Hong et Kim (1997), le paramètre de la fréquence fondamentale (F0) d'une voyelle soutenue, comme /i/, n'est pas significativement modifié après la thyroïdectomie ($p > 0.05$). Dans son étude, le F0 a été enregistré au cours de quatre phases : une phase préopératoire (Prép) et trois phases postopératoires (PO1 réalisé un mois après l'opération, PO2 trois mois après l'opération, PO3, réalisé six mois après l'opération). Le F0 était à 207 Hz (47) en Prép. Elle est descendue à 196 Hz (35) en PO1 puis montée à 214 Hz (51) en PO2 et retournée à 204 Hz (39) en PO3. Une large variabilité inter- et intra- individuelle peut être observée via les écart-types importants, indiqués entre parenthèses.

Le même type de patron a été montré dans l'étude de Stojadinovic *et al.* (2002) avec 3 phases d'enregistrement qui n'ont pas montré de changements significatifs de le F0 chez les patients, peu importe si le patient présentait ou non un symptôme vocal postopératoire parmi les différentes phases d'enregistrement ($p>0.05$). En revanche, chez les patients symptomatiques, les modifications des paramètres objectifs étaient plus fréquentes que chez les patients asymptomatiques. Pour les locuteurs féminins, le F0 était à 183.15 Hz (26.66) en Préop, à 186.49 Hz (32.87) une semaine après l'opération (PO1) et à 184.21 Hz (27.49) trois mois après l'opération (PO2). Pour les locuteurs masculins, le F0 était à 108.59 Hz (11.84) en Préop, à 106.46 Hz (14.04) une semaine après l'opération (PO1) et à 108.64 Hz (16.62) trois mois après l'opération (PO3).

L'étude de Netto *et al.* (2006) a comparé les différents paramètres entre la phase préopératoire et la seule phase post-opératoire (PO) deux semaines après l'intervention. Ces paramètres n'ont pas montré de modifications significatives après la thyroïdectomie. Le F0 était 114.2 Hz (23.0) en Préop pour les sujets masculins et 196.8 Hz (20.6) en Préop pour les sujets féminins, puis 110.3 Hz (7.5) pour les sujets masculins en PO et 197.8 Hz (27.1) pour les sujets féminins en PO.

Dans l'étude de Lombardi *et al.* (2006), ils ont comparé la modification post thyroïdectomie de la voix, chez des patients n'ayant pas eu de lésions du nerf laryngé inférieur. Le F0 de la phase préopératoire a été comparée avec la seule phase post-opératoire (PO) trois mois après l'intervention. En Préop, le F0 était à 190.4 Hz (37.4) et à 191.5 Hz (36.2) en PO. La modification n'était pas significative ($P>0.05$).

L'étude de Lierder *et al.* (2010) indique une diminution significative de la fréquence fondamentale de la dysphonie dans la première phrase postopératoire. Leur analyse de variance sur mesures répétées conclut qu'aucun indice objectif de la voix ne montre une différence significative. Le F0 a été enregistré pendant une phase préopératoire et trois phases postopératoires. La phase post-opératoire 1 (PO1) a eu lieu une semaine après l'opération ; la phase post-opératoire 2 (PO2) était six semaines après l'opération ; la phase post-opératoire 3 (PO3) trois mois après l'opération. Le groupe masculin et le groupe féminin ont été analysés séparément. Pour le groupe masculin, le F0 était à 115.3 Hz (18.13) en Préop. Elle était à 106.7 Hz (19.19) en PO1, 102.8Hz (16.09) en PO2 et

117.4 Hz (8.88) en PO3. Pour le groupe féminin, le F0 était à 191.7 Hz (25.49) en Prép. Elle était à 187.4 Hz (21.38) en PO1, 190.8 Hz (32.24) en PO2 et 189.2 Hz (28.53) en PO3.

Dans l'étude de Lee *et al.* (2016), le F0 n'a pas diminué significativement au cours du suivi postopératoire. Les F0s ont été enregistrés pendant 6 phases dans cette étude : une préopératoire et cinq phases post-opératoires. La phase post-opératoire 1 (PO1), réalisée une semaine après l'opération ; la phase post-opératoire 2 (PO2), effectuée un mois après l'opération ; la phase post-opératoire 3 (PO3), réalisée trois mois après l'opération, ensuite la phase post-opératoire 4 (PO4), réalisée six mois après l'opération, la phase post-opératoire 5 (PO5), réalisée un an après l'opération. Le F0 était 191.38 Hz en Prép, puis elle est descendue progressivement dans les deux phases suivantes, 190.18 Hz en PO1 et 189.1 Hz en PO2. Quant à la suite, le F0 s'est élevée à 192.64 Hz en PO3 puis restait à 195.14 Hz, laquelle est identique pour le PO4 et PO5.

L'étude de Hong *et al.* (2017) a porté sur 29 patientes féminines. Les F0s ont été enregistrés pendant 3 phases dans cette étude : une préopératoire et deux phases post-opératoires. La phase post-opératoire 1 (PO1), réalisée une semaine après l'opération ; la phase post-opératoire 2 (PO2), réalisée trois mois après l'opération. Le F0 de la voyelle /a/ était 195.17 Hz en Prép, puis 187.56 Hz en PO1 et 222.67 Hz en PO2.

Nous constatons, en faisant un rapprochement des résultats en phases post-opératoires, que ceux-ci sont différents selon les études. Pour que nous puissions mieux comparer les résultats transversalement dans de nombreuses recherches, nous avons résumé les résultats de tous les paramètres dans le tableau suivant (Tableau II-5) :

Tableau II-5 Les paramètres de le F0 selon les études différentes

F0	PREOP	POST-OP						
		1 wk	2 wks	4 wks	6 wk	12 wks	24 wks	48 wks
Hong et Kim (1997)	207 Hz (47)			196 Hz (35)		214 Hz (51)	204 Hz (39)	
Stojadinovic et al. (2002)	F 183.15 Hz (26.66)	186.49 Hz (32.87)				184.21 Hz (27.49)		
	M 108.59 Hz (11.84)	106.46 Hz (14.04)				108.64 Hz (16.62)		
Lombardi et al. (2006)		190.4 Hz (37.4)				191.5 Hz (36.2)		
	M 114.2 Hz (23.0)		110.3 Hz (7.5)					
Netto et al. (2006)	F 196.8 Hz (20.6)		197.8 Hz (27.1)					
	M 115.3 Hz (18.13)	106.7 Hz (19.19)			102.8 Hz (16.09)	117.4 Hz (8.88)		
Lierder et al. (2010)	F 191.7 Hz (25.49)	187.4 Hz (21.38)			190.8 Hz (32.24)	189.2 Hz (28.53)		
		191.38 Hz	189.1 Hz		189.1 Hz		192.64 Hz	195.14 Hz
Lee et al. (2016)							195.14 Hz	195.14 Hz
Hong et al. (2017)	F 195.17 Hz	187.56 Hz				222.67 Hz		

Nous pouvons observer, à partir de ce tableau, une grande variabilité inter et intra-individuelle à travers les divers paramètres (en observant de près les écart-types dans cette comparaison inter-étude).

2. F1 / F2

L'étude de Hong *et al.* (2017), portant sur 29 patientes, a analysé également les modifications des F1 et F2 après l'opération. Ils ont travaillé sur plusieurs voyelles, dont les trois voyelles extrêmes /i/, /a/, /u/ qui montrent pas de différence significative au niveau statistique, comme indiqué dans le tableau suivant (Tableau II-6).

Tableau II-6 Les valeurs des F1 et F2 dans les travaux de Hong *et al.*, (2017)

values on the F1, F2 of vowels dependent on surgery times

Variable	a		i		u		e		o		ʌ		ɯ	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1*	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
Preoperative	859	1,412	371	2,576	451	946	599	2,255	499	832	629	1,109	442	1,438
Postoperative														
7 day	889	1,397	337	2,525	435	926	702*	2,231	489	840	638	1,065	432	1,398
3 mo	857	1,412	339	2,554	459	909	560	2,217	489	857	657	1,091	442	1,409

*P<0.05.

3. Jitter et Shimmer

Le jitter désigne une perturbation aléatoire et involontaire de la durée du cycle glottique. Les motifs sont très divers, notamment certains mouvements irréguliers, tels que les propriétés du cycle vocal et des interférences neurologiques. À l'égard du domaine clinique, le jitter est un des indices de la perturbation du signal acoustique. L'augmentation du jitter est considérée souvent comme un indice pathologique. La modification du jitter peut être causée par la perturbation du système laryngé. Il est important de noter que le jitter est aussi un phénomène de base qui est observable dans tous les sons vocaux. Notons toutefois que Schoentgen (2001) montre que le jitter ne serait pas nécessairement affecté par une pathologie (Schoentgen, 2001).

Le shimmer désigne une perturbation de l'amplitude du cycle glottique. C'est une variation d'amplitude entre des périodes successives. Les causes de modification du shimmer d'une voix sont les mêmes que celles du jitter.

Dans l'étude de Hong et Kim (1997), le jitter a été retenu comme indice de la perturbation. Il n'est pas significativement modifié parmi les différentes phases d'enregistrement, avant ou après la thyroïdectomie ($p > 0.05$). Dans cette étude, le jitter a été analysé en 4 phases : Une phase préopératoire et trois phases postopératoires. Le PO1 a été réalisé un mois après l'opération ; le PO2 était à trois mois après l'opération ; le PO3 était à six mois après l'opération. Le jitter était à 0.44% (0.10) en Préop, à 0.41% (0.06) en PO1, 0.38% (0.11) en PO2 et 0.49% (0.15) en PO3.

Ces résultats sont confirmés par l'étude de Stojadinovic *et al.* (2002) avec des résultats proches de ceux de l'étude précédente. Les patients ont été enregistrés en trois phases. Après la phase préopératoire, la phase post-opératoire 1 était enregistrée une semaine après l'opération, puis la phase post-opératoire 2 trois mois après l'opération. Le jitter et le shimmer n'ont pas été modifiés significativement durant les différentes phases d'enregistrement ($p > 0.05$) selon les données de cette étude. Le jitter était mesuré à 0.63% (0.34) en Préop, puis à 0.65% (0.42) une semaine après l'opération en PO1 et à 0.60% (0.35) trois mois après l'opération en PO2. Le shimmer était mesuré à 1.8% (0.78) en Préop, ensuite à 1.88% (0.78) une semaine après l'opération en PO1 et à 0.1.9% (0.81) trois mois après l'opération en PO2.

Dans l'étude de Zhang *et al.* (2005), chez les patients qui étaient atteints d'une paralysie laryngée unilatérale, les valeurs du jitter et du shimmer étaient significativement plus élevées que celles des voix normales. La moyenne des valeurs du jitter des sujets normaux et de ceux présentant une paralysie étaient respectivement de 0,681% et de 1,399%. Les valeurs moyennes du shimmer des sujets normaux et de ceux présentant une paralysie étaient de 2,188% et 3,592%.

Dans l'étude de Lierder *et al.* (2010), entre les sujets qui ont subi une thyroïdectomie partielle et ceux qui ont eu une thyroïdectomie totale, aucune différence significative n'a été observée. Les mesures répétées prises en compte dans l'évaluation de la phase préopératoire et des phases postopératoires n'ont révélé aucune différence significative pour le jitter et le shimmer. Le PO1, le PO2 et le PO3 étaient respectivement à une semaine, six semaines, et trois mois après l'opération. Pour le Jitter, il était à 1% (0.59) en préopératoire, puis il était à 1.2% (0.75) en PO1, 1.18% (0.59) en PO2, 1.1% (0.92) en PO3 chez les sujets féminins. Il était à 1% (0.61) en Préop, ensuite, il était à 1.1% (1.00)

en PO1, 1.4% (1.24) et 0.7% (0.31) en PO2 et PO3 chez les sujets masculins. Pour le Shimmer, il était à 2.5% (0.97) en Prép, puis il était à 2.8% (1.52) en PO1, 2.5% (0.99) en PO2, 2.5% (1.02) en PO3 chez les sujets féminins. Il était à 2.5% (0.94) en Prép, ensuite à 3% (2.34) en PO1, 2.5% (1.14) et 1.9% (0.64) en PO2 et PO3 chez les sujets masculins.

Dans l'étude de Lee *et al.* (2016), le jitter et le shimmer n'ont pas été modifiés significativement dans les phases postopératoires. Le jitter et le shimmer ont été enregistrés pendant quatre phases : le jitter et le shimmer, respectivement, étaient mesurés à 0.84% et à 2.88% en préopératoire. Dans les phases postopératoires, le jitter et le shimmer étaient à 0.97% et à 3.03% une semaine après l'opération (PO1), puis à 0.96% et à 3.03% un mois après l'opération (PO2), ensuite à 0.87% et à 2.92% trois mois après l'opération (PO3), après à 0.78% et 2.83% six mois après l'opération (PO4), enfin à 0.81% et 2.85 % un an après l'opération (PO5).

Selon l'étude de Lombardi *et al.* (2006), chez les patients sans lésions du nerf laryngé inférieur, la modification du jitter et du shimmer après thyroïdectomie n'était pas non plus significative. Le jitter et le shimmer de la phase préopératoire étaient respectivement à 0.5% (0.2) et à 3.6% (1.2). Dans la seule phase post-opératoire trois mois après l'intervention, le jitter restait à 0.5% (0.3) avec un écart-type légèrement augmenté et le shimmer était à 3.3% (1.0).

Pour que nous puissions observer les résultats concrètement parmi de nombreuses études, nous avons résumé tous les paramètres du jitter et du shimmer dans un tableau (Tableau II-7, Tableau II-8). Notons que ce tableau ne contient pas de résultats de Zhang *et al.* (2005), puisque leur étude a comparé le groupe pathologique avec le groupe contrôle, le résultat ne relevant pas d'une modification linéaire (au niveau du temps) des phases opératoires :

Tableau II-7 Les paramètres du jitter selon les différentes études

Jitter	PREOP	POST-OP						
		1 wk	2 wks	4 wks	6 wks	12 wks	24 wks	48 wks
Hong et Kim (1997)	0.44% (0.10)	\	\	0.41% (0.06)	\	0.38% (0.11)	0.49% (0.15)	\
Stojadinovic et al. (2002)	0.63% (0.34)	0.65% (0.42)	\	\	\	0.60% (0.35)	\	\
Lombardi et al. (2006)	0.5% (0.2)	\	\	\	\	0.5% (0.3)	\	\
Lierder et al. (2010)	F	1% (0.59)	1.2% (0.75)	\	\	1.18% (0.59)	1.1% (0.92)	\
	M	1% (0.61)	1.1% (1.00)	\	\	1.4% (1.24)	0.7% (0.31)	\
Lee et al. (2016)	0.84%	0.97%	\	0.96%	\	0.87%	0.78%	0.81%

Tableau II-8 Les paramètres du shimmer selon les différentes études

Shimmer	PREOP	POST-OP							
		1 wk	2 wks	4 wks	6 wks	12 wks	24 wks	48 wks	
Stojadinovic et al. (2002)	1.8% (0.78)	1.88% (0.78)	\	\	\	\	0.1.9% (0.81)	\	\
Lombardi et al. (2006)	2.5% (0.97)	\	\	\	\	\	0.5% (0.3)	\	\
Lierder et al. (2010)	F	2.5% (0.97)	2.8% (1.52)	\	\	2.5% (0.99)	2.5% (1.02)	\	\
	M	2.5% (0.94)	3% (2.34)	\	\	2.5% (1.14)	1.9% (0.64)	\	\
Lee et al. (2016)	2.88%	3.03%	\	3.03%	\	2.92%	2.83%	2.85%	

Les résultats des études précédentes sont différents de ceux de l'étude de Debruyne *et al.* (1997), selon laquelle le premier examen postopératoire a montré une valeur du jitter considérablement augmentée pour l'ensemble du groupe et pour le groupe avec une intervention bilatérale. Mais pour le groupe qui a subi une lobectomie unilatérale, après deux semaines, le jitter et le shimmer ne présentaient aucune différence entre les conditions pré et post-opératoires dans l'un ou l'autre groupe. Comme indiqué dans le tableau de cette étude (Tableau II-9), le jitter est modifié significativement en PO1, pour le groupe féminin ayant subi une thyroïdectomie totale. Puis, à partir du PO2, les paramètres sont à nouveau comparables à ceux mesurés en pré-opératoire. Le même type de patron a été observé pour la prééminence au niveau des harmoniques (harmonic prominence) (Fauth, 2012).

Tableau II-9 Les paramètres du jitter et du shimmer en Préop et Post

	Pre	Post 1 – pre	Post 2 – pre
Jitter (%)			
47 women	1.14 ± 0.89	+0.23 ^a	-0.014 ^b
Bilateral (n = 32)	1.23 ± 0.96	+0.309 ^a	-0.026 ^b
Unilateral (n = 15)	0.95 ± 0.72	+0.083 ^b	+0.01 ^b
Shimmer (dB)			
47 women	0.52 ± 0.36	+0.023 ^b	-0.07 ^b
Bilateral (n = 32)	0.48 ± 0.38	+0.115 ^a	0 ^b
Unilateral (n = 15)	0.58 ± 0.38	-0.17 ^b	-0.20 ^b

Pre, preoperative; Post 1, fourth postoperative day; Post 2, 15th postoperative day.

^a p < .05.

^b p > .05.

(Source Debruyne *et al.* 1997)

4. HNR (Harmonics-to-Noise Ratio)

Harmonics-to Noise Ratio (HNR) est une mesure qui nous permet de quantifier la quantité de bruit additif dans le signal acoustique. Il s'agit d'un rapport entre les composantes périodiques et la composante aperiodique comprenant un segment de la parole sonore (Murphy & Akande, 2005). Le HNR est composé de la vibration des plis vocaux et du

bruit glottal, exprimé en dB. La mesure entre ces deux composantes reflète l'efficacité vocale. Ainsi, si une voyelle est moins envahie par le bruit, le HNR sera plus grand. En revanche, un HNR faible désigne une voix asthénique et une dysphonie (Teixeira *et al.*, 2013). S'il est mesuré à moins de 7 dB, il sera considéré comme un indice pathologique (Boersma *et al.*, 1993).

Nous remarquons que dans l'étude de Stojadinovic *et al.* (2002), le HNR n'a montré aucune modification significative après la thyroïdectomie. Pendant les trois phases d'enregistrement, le NHR était à 0.12 dB (0.03) (=12 dB (3) HNR) en préopératoire. Une semaine après la thyroïdectomie, en PO1, le NHR a augmenté légèrement jusqu'à 0.13 (=13 dB (4) HNR) dB et cette valeur a été maintenue à 0.13 dB (0.05) (=13 dB (5) HNR) trois mois après l'opération (PO2).

L'étude de Lombardi *et al.* (2006) n'a relevé aucune modification significative, en comparant la valeur de la phase préopératoire avec celui du HNR qui est obtenu trois mois après la thyroïdectomie. Le HNR était à 0.1 dB (0.01) en préopératoire et il restait à 0.1 dB (0.0) en PO.

Dans l'étude de Netto *et al.* (2006), il n'y a pas non plus de modification significative relevée. Le HNR a été comparé après la thyroïdectomie par rapport à ses valeurs préopératoires. Le NHR était à 0.1 dB (0.02) (=10 dB (2) HNR) en Préop pour le groupe masculin et 0.2 dB (0.03) (=20 dB (3) HNR) pour le groupe féminin. Deux semaines après l'opération, le NHR a augmenté jusqu'à 0.2 dB (0.03) (=20 dB (3) HNR) pour le groupe masculin puis il a diminué à 0.1 dB (0.02) (=10 dB (2) HNR) pour le groupe féminin en PO.

Dans l'étude très récente en 2016 de Lee *et al.*, le HNR n'a pas été modifié significativement dans les phases postopératoires comme les autres études précédentes. Le NHR a été enregistré pendant quatre phases. Il est mesuré à 0.12 dB (=12 dB HNR) en préopératoire. Dans les phases postopératoires, le NHR était à 0.12 dB (=12 dB HNR) une semaine après l'opération (PO1), puis à 0.16 dB (=16 dB HNR) un mois après l'opération (PO2), ensuite il a commencé à diminuer à 0.14 dB (=14 dB HNR) trois mois après l'opération (PO3). Finalement, il restait à 0.12 dB (=12 dB HNR) six mois après l'opération (PO4), et ainsi un an après l'opération (PO5).

Pour que nous puissions mieux comparer les résultats transversalement dans les nombreuses recherches, nous avons résumé tous les paramètres dans le tableau suivant (Tableau II-10) :

Tableau II-10 Les paramètres du NHR selon les différentes études

NHR	PREOP	POST-OP						
		1 wk	2 wks	4 wks	12 wks	24 wks	48 wks	
Stojadinovic et al. (2002)	0.12 dB (0.03)	0.13 dB (0.04)	\	\	\	0.13 dB (0.05)	\	\
Lombardi et al. (2006)	0.1dB (0.01)	\	\	\	\	0.1 dB (0.0)	\	\
Netto et al. (2006)	M	0.1dB (0.02)	\	0.2 dB (0.03)	\	\	\	\
	F	0.2 dB (0.03)	\	0.1 dB (0.02)	\	\	\	\
Lee et al. (2016)	0.12 dB	0.12 dB	\	0.16 dB	0.14 dB	0.12 dB	0.12 dB	

Bien que la prévention de l'atteinte de la voix soit un des objectifs principaux de la chirurgie de la thyroïde, la qualité vocale peut être également dégradée dans les cas où la fonction des nerfs laryngés a été conservée partiellement. (Stojadinovic, 2002 et Debruyne *et al.*, 1997). En revanche, une lésion du nerf ne provoque pas nécessairement d'une dysphonie (Meek *et al.*, 2008).

Avec le développement des connaissances sur l'anatomie et la technique chirurgicale thyroïdienne, le taux de lésions récurrentes du nerf laryngé a considérablement diminué. Le taux de paralysie nerveuse récurrente après chirurgie thyroïdienne est assez faible, 0,3% à 2% (Debruyne, 1997). Par contre, une voix altérée peut survenir après l'opération de la thyroïdienne. Des études démontrent qu'entre 25% et 90% des patients déclarent une voix anormale dans les premières semaines après l'opération. 11% à 15% des patients signalent des problèmes de voix persistants 3 à 6 mois après l'opération (Leonard *et al.*, 2010). De plus, les problèmes de déglutition et de respiration ont été rapportés chez des patients atteints d'une lésion unilatérale du nerf laryngé inférieur récurrent (Bou-Malhab *et al.*, 2000 et Randolph *et al.*, 2003). Jusqu'à aujourd'hui, le nombre d'études de phonétique clinique réalisées reste très limité sur des patients atteints de paralysies laryngées.

Nous en arrivons aux études qui évaluent la modification des différents paramètres vocaux des patients présentant une immobilité laryngée après l'opération de la thyroïdectomie.

5. Indice des perturbations

L'étude de Inagi *et al.* (1997) a travaillé sur la qualité vocale suite à une paralysie récurrentielle unilatérale (UVFP). Cette étude a conseillé d' diminuer les mesures de perturbation à des fins cliniques. En effet, si la dysphonie est sévère, les mesures du jitter et du shimmer dans le signal acoustique pourraient représenter plus de 10%. Si la voix est très perturbée, les mesures de la perturbation peuvent être non pertinentes. Les patients avec une paralysie de la corde vocale ont typiquement des valeurs de perturbation élevées. Cette grande valeur de perturbation peut avoir la plus grande valeur prédictive lors de la production des voyelles tendues. Et même si les cliniciens peuvent examiner certaines valeurs de mesures avec prudence, l'exactitude de ces valeurs n'est pas négligeable non plus.

L'étude de Hartl *et al.* (2001) a investigué sur deux locuteurs avant et après leur paralysie récurrentielle unilatérale (UVFP) à gauche. Les échantillons de voix ont été enregistrés avant le début de l'UVFP et ainsi sept jours après le début l'UVFP. Les mesures sur jitter étaient respectivement de 2.25% et 0.71% pour deux patients avant l'UVFP. Puis elles ont augmenté remarquablement à 10.99% et 6.66% après l'UVFP. Les mesures du shimmer étaient respectivement de 6.49% et 2.42% pour deux patients avant l'UVFP. Ensuite, elles ont aussi augmenté remarquablement à 21.78% et 11.26% après l'UVFP. Le HNR était à 5.67% et 7.34% pour deux patients respectifs avant l'UVFP, puis les mesures ont diminué à 1.23% et 3.29% après l'UVFP.

Faute de spécificité et de sensibilité cette étude montre encore des insuffisances et des limites au sein des mesures de la perturbation. C'est la raison pour laquelle ils ont recommandé une analyse multidimensionnelle de la fonction laryngée dans tous les cas qu'ils n'ont pas pu encore recommander l'utilisation quantitative de ces paramètres.

6. Harmoniques et formants

Hartl *et al.* (2001) ont aussi étudié les conséquences de l'UFVP à l'aide de mesures spectrales. Ils ont mesuré la différence de l'amplitude entre le premier harmonique (H1 ou F0) et le second harmonique (H2) en décibels (H1- H2). Également, ils ont mesuré la

différence de l'amplitude entre le premier harmonique et le premier formant (H1-L1), ainsi que celle entre le premier harmonique et le troisième formant (H1-L3) (Tableau II-11).

Tableau II-11 Les différences de l'amplitude de H1-H2, H1-L1 et H1-L3

	Patient 1		Patient 2	
	Préop	PO	Préop	PO
H1 – H2	15,25	8,07	2,91	19,37
H1 – L1	12,22	0,13	10,55	20,39
H1 – L3	38,29	12,6	37,19	33,13

La variation de la relation entre les niveaux harmonique et formant variait chez les deux patients. Il y avait une diminution des différences H1-H2 et H1-L1 pour le patient 1. Mais ces différences ont augmenté chez le patient 2. Dans les deux cas, les différences H1-L3 ont diminué montrant une diminution relative de H1 et / ou augmentation de L3.

Dans l'étude Hartl *et al.* (2001), une augmentation relative du niveau du H1 n'a pas été observée pour le patient 1 (H1-H2). Un niveau élevé de H1 (Patient 1) est probablement l'indice d'un phénomène hypofonctionnel, alors qu'un niveau relativement bas de H1 (Patient 2) est probablement l'indice d'un phénomène hyperfonctionnel (Hammarberg *et al.*, 1986). Ces résultats ont corrélés aux voix soufflées.

Pour résumer...

L'opération de la thyroïdectomie entraîne des mouvements laryngés irréguliers qui présentent des altérations vocales acoustiques.

La fréquence fondamentale (F0) est peut-être le paramètre le plus couramment utilisé dans le domaine de l'étude de la qualité vocale. Les résultats obtenus dans différentes recherches en phases post-opératoires varient selon les études, avec une grande variabilité inter et intra-locuteur.

Les études sur les valeurs des deux premiers formants (F1 et F2) sont beaucoup plus rares. Les modifications post-opératoires observées (dans une unique étude) n'indiquent pas de différences statistiquement significatives.

L'augmentation du jitter, un des indices de la perturbation du signal acoustique, peut être considérée comme la présence d'une production vocale pathologique. Ce paramètre désigne une perturbation aléatoire et involontaire de la durée du cycle glottique. Néanmoins, la variation de ce paramètre ne serait pas nécessairement et systématiquement due à une production déviante.

Le shimmer désigne une perturbation de l'amplitude du cycle glottique. C'est une variation d'amplitude entre des périodes successives, lorsque le locuteur tente de tenir la phonation à une hauteur de fréquence fixe et à une intensité constante. En principe, l'augmentation du shimmer peut être interprétée comme un indice de dysfonctionnement au niveau glottique. Cependant, les résultats attestés dans la littérature ne sont pas toujours convergents et parfois pas concluants du tout.

Le HNR est une mesure qui nous permet de quantifier la quantité de bruit additif dans le signal acoustique. Il s'agit du rapport entre les composantes périodiques et la composante aperiodique d'un segment de la parole. Lorsqu'une voyelle est moins envahie par du bruit, le HNR sera plus grand. En revanche, un HNR faible désigne une voix asthénique et une dysphonie.

Bien que la prévention de l'atteinte de la voix soit un des objectifs principaux de la chirurgie de la thyroïde, la qualité vocale peut être également dégradée dans les cas où la

fonction des nerfs laryngés a été conservée partiellement. En revanche, une lésion du nerf ne provoque pas nécessairement d'une dysphonie. Avec le développement des connaissances sur l'anatomie et la technique chirurgicale thyroïdienne, le taux de lésions récurrentes du nerf laryngé a considérablement diminué. Le taux de paralysie nerveuse récurrente après chirurgie thyroïdienne est assez faible. Par contre, la voix altérée le reste couramment après l'opération thyroïdienne. De plus, des problèmes de déglutition et de respiration ont été rapportés chez des patients atteints d'une lésion unilatérale du nerf laryngé inférieur récurrent. Jusqu'à aujourd'hui, le nombre d'études de phonétique clinique réalisées reste très limité sur des patients atteints de paralysies laryngées.

7. Impact sur l'Évaluation Subjective

Certaines voix perturbées ne peuvent pas être analysées qu'au niveau acoustique, en raison de leurs modes de vibration erratique (*cf. supra*). Les mesures acoustiques et aérodynamiques sont les mesures les plus efficaces et donnent une image plus complète de la production vocale lorsqu'elles sont utilisées en conjonction avec des mesures perceptives (Carding *et al.*, 2004). En effet, suite à une paralysie des plis vocaux, les paramètres d'évaluation vocale pourraient être très peu adaptés aux évaluations de la dysphonie. Lorsque la qualité de la voix est trop dégradée, il convient de combiner les mesures objectives et les mesures perceptives pour tenter de quantifier la dysphonie (Fauth, 2012).

Bien que l'évaluation de la voix soit une auto-évaluation (donc subjective), elle a une importance croissante dans la pratique clinique quotidienne (Dejonckere *et al.*, 2001) car les patients doivent vivre avec leurs voix, donc les aspects sociaux et culturels peuvent être pris en compte non seulement concernant la qualité de la voix mais également celle de la vie.

Dans les sections précédentes, nous nous sommes attardé sur les conséquences que peut avoir une opération de l'ablation de la thyroïde aux niveaux acoustique et aérodynamique, en se focalisant sur des évaluations objectives. Ces conséquences peuvent apparaître, même dans le cas où les nerfs laryngés sont préservés.

L'évaluation de la santé et les résultats avant et après les traitements médicaux ne sont pas suffisants pour indiquer la gravité d'une maladie, selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) (*World Health Organization (WHO)*) (WHO, 1997 et Seifpanahi *et al.*, 2015). Ainsi, l'évaluation subjective de la qualité de vie est devenue une évaluation complémentaire indispensable. La méthode la plus commune pour évaluer la qualité de vie des patients est un questionnaire. Il existe plusieurs tests pour y parvenir, mais l'un des plus utilisés pour la voix est le VHI (*Voice Handicap Index*), développé et validé par Jacobson *et al.* (1997). Le VHI est une échelle d'auto-évaluation composée de trois domaines, comprenant les aspects fonctionnels, physiques et émotionnels des problèmes de la voix, quel que soit le type de trouble vocal dans une échelle de cinq niveaux, de 0 =

jamais à 4 = toujours pour chaque article (Jacobson, 1997). La version complète comporte 30 questions, et le score total peut donc être compris entre 0 et 120 points.

Il y a plusieurs études qui cherchent à évaluer les changements vocaux à l'aide des différentes versions, complètes ou réduites, du VHI.

L'étude de Netto *et al.* (2006) a montré qu'en comparant les scores de VHI des patients avant et 15 jours après la thyroïdectomie, les résultats ont indiqué qu'il y avait 3,4% des patients qui présentaient une différence supérieure à 8 points dans les sous-échelles fonctionnelles, 2,3% dans le physique et 1,1% dans les sous-échelles émotionnelles. Au score total du VHI, 2,2% des patients présentaient une différence de score supérieure à 18 points.

Ces résultats sont confirmés par l'étude d'Inabnet *et al.* (2009). Ils ont réalisé dans leur étude une comparaison du score des questionnaires VHI-10 entre les deux phases : avant et 3 semaines après la chirurgie. Le résultat n'a pas montré de différence statistiquement significative.

L'étude de Leonard *et al.* (2010) et l'étude de Van Lierde *et al.* (2010) ont été conduites à partir du DSI (*Dysphonia Severity Index*). Dans l'étude de Van Lierde *et al.* (2010), les modifications vocales transitoires ont été observées. Et les modifications vocales n'étaient que transitoires. Mais dans les deux études, il n'y avait aucune différence significative observée sur des patients ayant subi une thyroïdectomie entre la phase préopératoire et les phases post-opératoires pour les mesures de VHI.

Dans l'étude de Lee *et al.* (2016), les évaluations de la voix ont utilisé les méthodes subjectives et objectives, préopératoires et postopératoires à 1 semaine, 1 mois, 3 mois, 6 mois, et 12 mois. Cette étude révèle que même si la fréquence fondamentale (F0), le shimmer et le rapport bruit / harmonique (NHR) n'ont pas été modifiés significativement post-opératoirement, le VHI a montré une aggravation significative dans la période post-opératoire précoce par rapport aux valeurs préopératoires, et récupérées au postopératoire à 1 an.

Après avoir parcouru des différentes études fondées sur des patients avec leurs langues maternelles diverses, le VHI semble être un instrument valide et relativement fiable pour évaluer les impacts des troubles vocaux sur la qualité de vie du patient. En outre, le VHI

peut être appliqué pour des troubles divers de la voix postopératoire ainsi que les effets des différentes interventions telles que la thérapie vocale.

Examinons maintenant quels sont les effets possibles de la thérapie.

8. Effet de la thérapie vocale

La thérapie vocale a généralement un effet positif sur la qualité vocale postopératoire. Elle vise à améliorer la fermeture de la glotte en évitant les comportements compensatoires indésirables.

L'étude de Shindler et al. (2006) a analysé rétrospectivement les modifications de la voix chez des patients atteints de paralysie récurrentielle unilatérale avant et après la thérapie vocale. La thérapie vocale a commencé entre 20 et 30 jours après l'apparition de la paralysie.

Une différence significative de la mesure aérodynamique a été observée. Les patients avaient un temps maximum phonatoire de 5,5 secondes (2,2) avant la thérapie vocale et de 12,0 secondes (2,3) après la thérapie.

Une réduction générale de F0 non significative a été observée après la thérapie vocale. Le F0 était de 176.7 Hz (66.6) avant la thérapie vocale et de 159.8 Hz (39.7) après la thérapie. Mais une amélioration significative très visible pour les valeurs moyennes de jitter, shimmer et NHR a été montrée par les résultats. Le jitter, le shimmer et le HNR étaient respectivement de 4.43% (3.63), 9.95% (5.1) et 0.27 dB (0.18) avant la thérapie vocale et de 1.33% (0.91), 5.22% (3.03) et 0.14 dB (0.04) après la thérapie.

Pour les valeurs totales ainsi que pour les sous-échelles physiques, fonctionnelles et émotionnelles de VHI avant et après la thérapie vocale, on note qu'une amélioration a été observée et que les différences étaient significatives.

Pour résumer...

Certaines voix perturbées ne peuvent pas être étudiées qu'au niveau acoustique, en raison des vibrations erratiques du signal acoustique. Aussi, les mesures acoustiques, combinées aux mesures aérodynamiques sont les données les plus efficaces et présentent une image plus complète de la production vocale lorsqu'elles sont utilisées en conjonction avec des mesures perceptives.

Bien que l'évaluation de la voix soit une auto-évaluation subjective, elle a une importance croissante dans la pratique clinique quotidienne car les patients doivent vivre avec leurs voix, en conséquence les aspects sociaux et culturels doivent être pris en compte non seulement concernant la qualité de la voix mais également celle de la vie.

La méthode la plus commune pour évaluer la qualité de vie des patients est un questionnaire. Il existe plusieurs tests pour y parvenir, mais l'un des plus conventionnels est le VHI (*Voice Handicap Index*). Le VHI est une échelle d'auto-évaluation composée de trois domaines, comprenant les aspects fonctionnels, physiques et émotionnels des problèmes de la voix, quel que soit le type de trouble vocal. Le VHI semble être un instrument valide et relativement fiable pour évaluer les impacts des troubles vocaux sur la qualité de vie du patient. En outre, le VHI peut être appliqué pour des troubles divers de la voix postopératoire ainsi que les effets des différentes interventions, telles que la thérapie vocale.

III. PARTIE EXPERIMENTALE

Cette partie est compos ée de deux sections :

- LA SECTION 1 CORRESPOND AU *PROTOCOLE EXPERIMENTAL*.
- LA SECTION 2 PRESENTE LES *PARAMETRES RETENUS*.

Cette partie présentera le protocole général appliqué pour les enregistrements de ces travaux de recherche : les conditions d'enregistrement, le matériel, le corpus et les locuteurs. Des contraintes inévitables dues au milieu hospitalier expliquent l'adoption de certaines procédures dans ces conditions inhabituelles.

III.1. Protocole experimental

Le travail est effectué en collaboration avec le groupe hospitalier Saint Vincent et plus particulièrement avec la Clinique Sainte-Anne de Strasbourg. Cette clinique pratique environ 700 thyroïdectomies par an. Cette situation nous offre une opportunité de conduire des recherches expérimentales et des analyses statistiques systématiques sur les conséquences et les effets sur la voix des patients qui ont subi la chirurgie thyroïdienne.

C'est dans la clinique Sainte-Anne de Strasbourg que nous avons réalisé les enregistrements des données aérodynamiques et acoustiques auprès des patients. Pour la dernière phase d'enregistrement d'un nombre réduit de patients (4 patients), nous avons pu acquies les données (aérodynamiques / acoustiques) à l'Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS), de l'Université de Strasbourg.

Tous les sujets inclus dans notre étude ont signé un consentement de participation (disponible en annexe) les informant des objectifs et du contenu de l'étude et permettant l'utilisation des enregistrements et autres données personnelles dans le cadre de cette recherche.

Les données acquises dans le cadre de ce protocole ont été anonymisées et versées dans la base de données (Plateforme Unistra en Linguistique et de Phonétique Cliniques – PULP) de l'Institut de Phonétique de Strasbourg.

Un soin particulier a été apporté aux conditions d'enregistrement. Il est toutefois évident que puisque les enregistrements ont eu lieu en milieu hospitalier, les conditions d'enregistrement ne peuvent pas être toujours optimales, que ce soit d'un point de vue logistique et/ou humain. Les patients ont été enregistrés durant la phase préopératoire et les phases post-opératoires dans un endroit calme après les consultations. Mais, parfois, les enregistrements ont été faits dans leur chambre individuelle durant la première phase après l'opération, étant donné la situation médicale de certains patients. Ce contexte peut être stressant pour le locuteur, aussi nous sommes appliqués à lui ménager si

nécessaire des temps de pause dans la réalisation des tâches demandées. Ces conditions particulières expliquent le choix d'un corpus restreint pour alléger la charge en raison de la fatigue de la tâche répétitive pour l'enregistrement aérodynamique et acoustique.

1. Matériel

Afin d'acquies des données aérodynamiques et acoustiques, deux méthodes différentes d'acquisition ont été utilisées. L'enregistrement à la Clinique Sainte de Strasbourg et à l'Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS) ont été effectués selon les mêmes méthodes. Pendant l'enregistrement aérodynamique et acoustique, les sujets sont assis confortablement sur un tabouret sans dossier pour forcer les patients à tenir un geste droit devant le masque du dispositif aérodynamique ou à environ 25 – 30 cm du microphone.

a) Aérodynamique

Pour les données aérodynamiques, le dispositif EVA2 (Evaluation Vocale Assistée) a été utilisé. Développée par l'Université d'Aix-en-Provence, ce système d'Evaluation Vocale Assistée (EVA2) est un équipement d'analyse des mécanismes de productions de la parole au niveau aérodynamique. Avec ses nombreux capteurs, elle permet d'enregistrer le débit d'air oral et nasal, la pression intra-orale (etc.) lors de la production de parole.

Dans ce projet de recherche, EVA2 sera utilisée afin d'acquies et d'analyser les indices de pression intra-orale (PIO) PIO et débit d'air oral (OAF) qui illustrent les stratégies au niveau aérodynamique pendant la phonation et l'articulation. Pour les données OAF, il suffit d'utiliser le masque traditionnel d'EVA2, puis, pour les données de PIO, un embout (Figure III-1 à gauche) a été ajouté entre la partie principale d'EVA2 et le masque (Figure III-1 droite).



Figure III-1 Embout pour la mesure de la pression intra-orale (à gauche) et après installation au système EVA2 (à droite)

Au centre du masque, un petit tube en plastique a été ajouté. Sa longueur est variable selon les sujets (entre 1.5 – 2.0 cm). Le tube est introduit dans la cavité orale jusqu'à la zone alvéolaire (Figure III-2). Cependant, il faut faire attention à ce que le tube ne soit pas introduit plus en arrière de la cavité buccale car il viendrait gêner l'articulation. Dans le cas où un tube trop long serait utilisé, on pourrait assister à une double compensation : le sujet chercherait à compenser non seulement son trouble de la phonation mais également à neutraliser la présence du tube dans la cavité buccale. De plus, celui-ci risquerait d'être touché par la langue et de se boucher à cause de la salive.

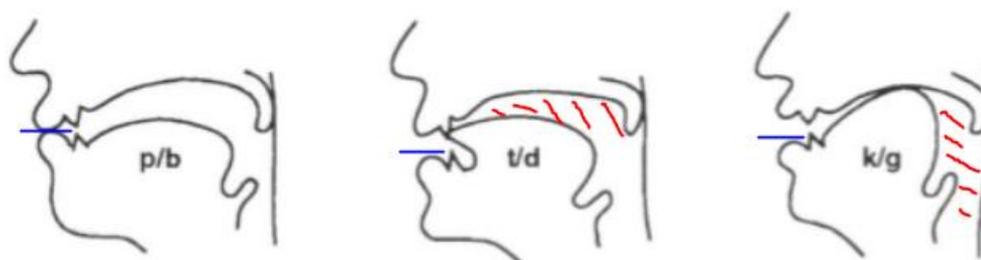


Figure III-2 Position du tube dans la cavité orale en fonction des consonnes produites

(Source <https://fr.slideshare.net/Michel7803/consonnes-intro>)

La PIO (pression intra orale) ne se mesure que sur les consonnes /b/ et /p/ car les autres consonnes ne sont pas bilabiales. Sans fermeture de la cavité buccale, les données obtenues ne sont pas valables.

Puis, la zone de pression (occlusive) pour les consonnes alvéolaires /t/, /d/ est observable sur la figure 8-2. La barre bleue représente le tube introduit dans la cavité buccale, et la partie rayée rouge est la zone de pression de ces consonnes. Les données de PIO des consonnes alvéolaires ne sont donc pas valables.

Les données des consonnes vélares /k/, /g/ ne sont pas non plus valables dans la mesure où, comme on peut le voir dans la figure 2, la pression (occlusive) est dans la cavité laryngée. La barre bleue représente le tube introduit et la zone barrée rouge est la zone analysée par PIO pour les consonnes vélares. Ainsi, les données de PIO des consonnes alvéolaires ne sont pas valables.

Les autres consonnes auraient pu être analysées en passant ce tube par la cavité nasale mais cette méthode entraînant beaucoup d'inconfort et quelques risques pour les sujets n'a pas été adoptée. Pour cette raison, les consonnes fricatives n'ont donc pas pu être analysées. Ce ne sont donc que les consonnes bilabiales qui seront analysées lors de cette recherche.

b) Acoustique

Les données acoustiques ont été enregistrées par l'enregistreur numérique Marantz professional© PMD661, avec microphone Sennhaiser© e 835. Les enregistrements sont stockés par l'enregistreur numérique sur une carte SD de SanDisk© avec niveau de vitesse 4 (30MB/S).

c) VHI

Afin de mesurer l'impact de la modification potentielle de la qualité vocale, laquelle serait influencée par la qualité de vie des patients, une auto-évaluation vocale leur a été proposée.

Cette évaluation doit être soigneusement quantifiée, comparée et corrélée avec les données des évaluations objectives. L'objectif de cette évaluation consiste à discerner la déviance de la qualité de voix au sens strict avec la gravité de l'incapacité dans la vie sociale et / ou professionnelle quotidienne (Dejonckere *et al.*, 2001).

Un indice de handicap vocal peut être calculé selon le score des réponses d'un patient à un questionnaire. Nous avons retenu le Voice Handicap Index (ou VHI) (Jacobson *et al.* 1997). Les patients ont été priés de compléter le questionnaire lors de chaque séance d'enregistrement. Grâce à celui-ci, les patients pourraient prendre conscience de leur niveau de difficultés ainsi que rendre compte des répercussions sur leur vie quotidienne pour enfin préciser leurs attentes en termes de la qualité de leur voix (Tessier, 2009).

Le questionnaire contient 30 champs d'investigations appartenant à trois catégories qui correspondent aux aspects fonctionnel (F), émotionnel (E) et physique de la voix (P). Une échelle d'évaluation à 5 points (de 0 à 4 soit « Jamais », « Presque jamais », « Parfois », « Presque toujours » et « Toujours ») permet au locuteur de quantifier l'impact de la modification vocale sur sa qualité de vie. Notons qu'il s'agit d'une échelle d'insatisfaction.

2. Corpus

Nous avons réduit le corpus par nécessité pour respecter des conditions et des contraintes hospitalières. Mais aussi pour nous adapter, d'une part, à des situations physiologiques provoquées par la souffrance vocale et la douleur postopératoire d'autre part à des situations psychologiques causées non seulement par la lésion vocale, un handicap temporaire, ou encore par le sentiment d'être condamné que peuvent provoquer des maladies cancéreuses ou tumorales. Il est indispensable de prendre en compte ce facteur psychologique et d'adapter notre corpus au patient dans les meilleures conditions.

Le corpus vise à accomplir les quatre tâches :

- La première tâche consiste à faire produire la voyelle /a/ en MPT sur les dispositifs aérodynamiques et acoustiques.
- La deuxième tâche consiste à prononcer trois voyelles soutenues durant environ cinq secondes (variable selon la capacité des patients) sur le dispositif aérodynamique. Les trois voyelles ont été répétées cinq fois.
- La troisième tâche consiste dans la lecture de douze logatomes sur le dispositif aérodynamique. La série a été répétée cinq fois également.
- La quatrième tâche consiste en la lecture d'un texte court.

Les trois premières tâches faisaient l'objet d'une acquisition aérodynamique, la quatrième tâche n'a été enregistrée qu'en acoustique. Si le sujet ne supportait pas l'acquisition aérodynamique, nous l'avons fait uniquement pratiquer les quatre tâches en acoustique.

À noter que si les tâches de lecture d'un texte ont été effectuées par nos patients, elles ne sont pas traitées dans ce travail, mais feront l'objet d'analyses ultérieures.

a) Voyelles

Le corpus des voyelles contient deux parties :

Dans la première partie, les voyelles correspondent aux voyelles soutenues, /i/, /a/, /u/, qui permettent d'explorer la modification du mécanisme phonatoire et de comparer l'espace vocalique maximal des locuteurs entre la phase avant l'opération et la phase après l'opération. On a demandé au patient de prononcer ces voyelles puis de tenir la phonation pendant cinq secondes. Chaque voyelle a été répétée sept fois. Nous n'avons pris que les cinq premières répétitions, les 2 dernières fois ont été exclues. En effet, nous nous sommes rendu compte que certains enregistrements n'étaient pas correctement réalisés. Il y a souvent eu des relâchements ou des renforcements chez les patients dans la (les) dernière(s) répétition(s). De même, l'intensité acoustique et la résistance aérodynamique ont été beaucoup perturbées. Comme certains athlètes ralentissent ou se précipitent devant le point final, les voyelles sont présentées sous leurs formes graphiques en liste sur un carton donné au patient : -i- -a- -ou- pour s'assurer que le patient soit le plus à l'aise pendant la lecture du corpus. La raison pour laquelle nous avons choisi cette expérimentation, c'est qu'après certaines lésions de paralysie et cérébrales, une réduction de l'espace du triangle vocalique serait engendrée (Liu *et al.*, 2005).

Dans la deuxième partie, une seule voyelle /a/ a été enregistré deux fois en MPT : une fois avec le dispositif aérodynamique, une autre fois avec le dispositif acoustique. La voyelle /a/ est la plus facile à prononcer. En effet, celle-ci est l'une des trois voyelles extrêmes du triangle vocalique. Par contre, les deux autres voyelles, /i/ et /u/, lors de leur phonation, contiennent des frictions causées potentiellement par l'élévation de la langue. Donc il n'y aura pas de biais dans la mesure des HNR à corriger. De plus, la voyelle /a/ a été aussi recommandée par le protocole de base pour l'évaluation fonctionnelle de la pathologie vocale élaboré par le Comité de Phoniatrie de la Société Laryngologique Européenne (Dejonckere *et al.*, 2001).

b) Logatomes

Les logatomes ont été présentés sous la forme de séquences VCV, où V est /a/. Les consonnes sont une des six occlusives /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/ ou une des six fricatives /f/, /v/, /s/, /z/, /ʃ/, /ʒ/ du français.

Notre corpus se présente de la façon suivante :

Occlusives : [apa], [ata], [aka], [aba], [ada], [aga]

Fricatives : [afa], [ava], [asa], [aza], [aʃa], [aʒa]

Ce corpus a été présenté aux sujets dans cinq listes différentes, dans lesquelles les logatomes ont été placés aléatoirement. Cette méthode permet d'éviter de passer par une phase de familiarisation avec une séquence fixée, ce qui aurait perturbé potentiellement le patient et par conséquent certaines de ses productions.

Ces séquences VCV ont été transcrites orthographiquement afin que les sujets puissent les lire et les prononcer sans difficulté. Le corpus est donc le suivant :

/aba/, /acha/, /ada/, /aja/, /apa/, /afa/, /aga/, /aza/, /ata/, /ava/, /aka/, /assa/.

Les logatomes ne sont insérés dans aucune phrase porteuse de sens pour éloigner le rapport entre la prononciation des logatomes et l'émotion que peut provoquer la phrase, il faut que la réalisation des logatomes soit dans un environnement neutralisé en maximum.

3. Locuteurs

L'acquisition des données était longitudinale. Cela a posé beaucoup de difficultés pour les enregistrements. Les conditions physiologiques et psychologiques (*cf. supra*), les situations imprévisibles des actes médicaux ou/et personnels non programmés sont les facteurs principaux d'échec ou de rupture de l'enregistrement. Certains locuteurs n'ont pas pu être sélectionnés étant donné qu'ils n'arrivaient pas à effectuer les tâches demandées.

Ensuite, des critères d'inclusion (*cf. infra*) ont été établis, si bien que certains locuteurs qui ne les remplissaient pas ont été exclus de nos enregistrements. Pour toutes ces raisons, nous avons interrogé et suivi au total 350 – 400 patients pendant 7 mois, mais il n'y a que 31 patients, dont 21 patientes et 10 patients, qui ont pu réaliser l'ensemble des tâches. Le taux de réussite est de moins de 10%.

Pour ce travail, deux types de sujets ont été enregistrés :

- Des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et ne présentant pas d'immobilité laryngée ;
- Des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et présentant une

immobilité laryngée ;

Tous nos locuteurs étaient francophones et de langue maternelle française ou éventuellement alsacienne pour neutraliser les différences issues de la provenance géographique. Les patients ne présentaient aucune pathologie vocale ou auditive avant l'opération chirurgicale en fonction des diagnostics ORL préopératoires. Ils sont tous capables de produire la totalité du corpus sémantique. Il convient donc de souligner que les caractéristiques des patients et les critères de sélections en post-opératoire reposent sur les possibilités d'acquérir des données acoustiques et aérodynamiques mais ni sur la qualité vocale ni sur l'examen clinique.

Les locuteurs ont été informés de l'objet de cette étude dans des termes généraux. Ils ont signé un consentement de participation pour l'autorisation d'enregistrement.

Il est rare d'effectuer les études acoustiques ou aérodynamiques sur les mêmes patients avant et après apparition d'une paralysie unilatérale (Hartl, 2001), puisque les expérimentateurs ne peuvent absolument pas prévoir l'apparition de la paralysie unilatérale. Autrement, il faut suivre un très grand nombre des patients qui subissent une thyroïdectomie sur une longue période. La paralysie récurrentielle transitoire affecte entre 5 et 10% des patients après thyroïdectomie (Sancho et al., 2008). Ce pourcentage tombe à entre 1 et 3% pour la paralysie permanente (Caruso et al., 2012). Avec l'application du neuro-monitoring intra-opératoire, le pourcentage se réduit encore plus (Chan et al., 2006 et Lee et al., 2011). C'est la raison pour laquelle dans les autres études, les comparaisons des indices ont souvent eu lieu entre les patients qui montraient déjà une paralysie du nerf récurrent avec un groupe de sujets contrôles. Dans notre étude, nous avons comparé les mesures post-opératoires avec les mesures obtenues avant l'opération. Ainsi, nous n'avons pas eu besoin de constituer un groupe contrôle.

Pendant la période d'acquisition des données portées sur les patients francophones et alsaciens, parmi les nombreux patients, nous avons finalement réussi à en suivre 30, dont 4 patients ont présenté une immobilité laryngée après l'opération. Les locuteurs ne présentaient aucune pathologie vocale avant l'opération de la thyroïdectomie.

Trois patientes parmi les quatre sujets pathologiques avaient une paralysie unilatérale, cependant le diagnostic d'ORL n'a pas pu préciser leurs situations étant en abduction ou en adduction. Le dernier patient masculin présentait une paralysie bilatérale, en adduction.

4. Enregistrements

Les enregistrements ont eu lieu avant et après l'ablation de la glande thyroïde en quatre phases. Le premier enregistrement a eu lieu le jour précédant l'opération et les suivants ont eu lieu après l'opération : La PO1 était le lendemain de l'opération ; la PO2 était 15-20 jours après l'opération et PO3 était 1 mois après l'opération. Les enregistrements se sont déroulés comme indiqués dans le tableau suivant (Tableau III-1 Déroulement de l'enregistrement):

Tableau III-1 Déroulement de l'enregistrement

Pré-opératoire	J-1 jours
Post-opératoire 1	J+1 jours
Post-opératoire 2	15-20 jours après l'opération
Post-opératoire 3	1 mois après l'opération

Nous sommes conscients du fait que le choix du timing post-opératoire est délicat, surtout à PO1 (= 1 jour post-opératoire), car il existe de nombreux facteurs non contrôlables à ce stade. Il serait effectivement intéressant d'avoir des enregistrements sur une plus longue période.

III.2. Paramètres retenus

Nous avons étudié et corrigé les résultats en nous appuyant sur les analyses aérodynamiques, acoustiques et de l'auto-évaluation, dans l'intention de mettre en lumière les diverses perturbations après la thyroïdectomie ainsi que leurs conséquences.

Les comparaisons des mesures se répartissent selon deux dimensions. D'une part, nous avons comparé les mesures de façon inter-individuelle entre les locuteurs qui présentent une immobilité laryngée et les locuteurs qui n'en présentent pas. D'autre part, nous avons effectué une comparaison intra-individuelle entre les productions post-opératoire et pré-opératoire.

Nous analysons les données en séparant les deux groupes de patients. L'étude des données du Groupe Normal est basée sur des valeurs moyennes suivie par des analyses statistiques. Les patients qui ont des valeurs anormales (valeurs anormales) au niveau statistique seront ôtés du calcul. Les patients qui ont des valeurs comparables à celles du Groupe présentant une paralysie mais non anormales au niveau statistique (valeurs atypiques) ne seront pas enlevés du calcul, mais ils seront présentés individuellement.

Les données des quatre patients du Groupe présentant une paralysie sont étudiées individuellement. Elles ne sont pas étudiées avec des valeurs moyennes parce qu'il existe des différences énormes entre les patients.

1. Temps Maximum de Phonation (MPT)

Le Temps Maximum de Phonation (*Maximum Phonation Time (MPT)*), aussi connu sous le nom de Temps Maximum Phonatoire dans certains articles, est la mesure du temps maximum d'une émission continuée tenue après une inspiration profonde sur une voyelle, avec une fréquence fondamentale (Pitch, F0) et une intensité la plus stable possible. Nous expliquons ces deux paramètres (F0 et intensité) aux patients respectivement en termes de hauteur et de « volume » de la voix afin que la tâche requise soit plus facile à comprendre. Cette mesure est un indice général des capacités de l'organe vocal par rapport à l'organe respiratoire à maintenir une vibration dans le temps. Le paramètre du MPT dépend du rapport de la capacité pulmonaire et de la consommation du démarrage ainsi que du maintien de la vibration des plis vocaux. Il est également un indicateur de l'efficacité de la consommation de l'air pulmonaire puisque plus la fuite glottique est conséquente, moins important est le paramètre du MPT. Donc le MPT manifeste le rendement de la source vocale. Le paramètre du MPT peut se recueillir à la fois avec l'équipement aérodynamique et acoustique.

Cette mesure comporte des avantages et des inconvénients. Elle est rapide, facile à réaliser et à calculer. C'est pourquoi elle est très utilisée dans beaucoup de recherches et de méthodes diagnostiques traditionnelles de l'ORL et de l'unité de réadaptation.

La voyelle soutenue /a/ en MPT a été analysée. Nous avons traité les données aérodynamiques à l'aide du logiciel PhonEdit (Ghio et al., 2012) (YU et al., 2001). Ce

logiciel nous permet de traiter en associant toutes les données aérodynamiques en synchronique avec les références des signaux acoustiques acquis par l'EVA2.

2. Débit d'Air Oral (OAF)

L'air se déplace d'un espace de haute pression vers un espace de basse pression. Il peut être mesuré par un système aérodynamique de ventilation. La mesure du débit (Q) est le multiple de la vitesse de l'air (V) et la section de passage (S).

$$Q = V \times S$$

Le débit d'air oral (OAF (oral air flow) est le débit aérien pendant la phonation. La fuite glottique pathologique pourrait être évaluée à partir de l'OAF. L'OAF est inversement corrélé avec le MPT à partir d'un volume pulmonaire certain qui s'apparente au rendement de la source vocale.

Les fuites d'air peuvent être directement mesurées sur le plan aérodynamique à l'aide de l'OAF pendant la phonation. La fuite peut ainsi être indirectement mesurée par le MPT. Cette mesure dépend de la capacité vitale (VC), la quantité d'air disponible dans les poumons. Le quotient de phonation permet de corriger le MPT avec le VC. Donc, il est moins compliqué et plus spécifique si nous mesurons directement l'OAF.

Nous mesurerons deux types d'OAF :

- L'OAF des voyelles soutenues ;
- L'OAF du MPT.

La prise de ces deux types de mesure devrait permettre de comparer les différentes stratégies suivant une production soutenue et une production le plus longtemps possibles. Dans le premier cas, la durée d'émission du son n'est pas le plus important, alors que dans le second cas, elle l'est.

3. Pic du débit d'Air Oral (Pic)

Le pic du débit d'air oral est la vitesse maximale du débit oral lors de la phonation. La mesure du pic d'air moyen des consonnes est généralement obtenue en utilisant des logatomes du type de CV ou CVC, ou dans une phrase porteuse. La variable du débit d'air

maximum des consonnes est examiné. Nous pourrions calculer la moyenne et les écarts types des pics de débit en faisant plusieurs répétitions.

Dans notre étude, les 12 consonnes ont été analysées pour le pic débit d'air avec le logiciel «PhonEdit ».

4. La pression intra-orale (PIO)

La pression sous-glottique (PSG) correspond à la pression d'air créée par le flux d'air pulmonaire entrant au contact des plis vocaux en position de fermeture. Lors de la phonation, les pressions pulmonaires expiratoires sont supérieures à celles de la respiration normale. En position fermée, les plis vocaux sont un obstacle, c'est la pression sous-glottique qui va permettre le passage du flux d'air pulmonaire et ainsi générer la mise en vibration des plis vocaux.

La PSG permet d'évaluer le rendement laryngien, des activités irrégulières glottiques comme la fuite glottique pendant la phonation. En l'associant avec l'OAF et le pic du débit d'air, la pression sous glottique permet de définir la résistance glottique et l'efficacité glottique. Mais les méthodes générales pour procéder à ces mesures sont souvent invasives voire potentiellement dangereuses, elles sont de ce fait difficiles à appliquer.

Avec une méthode indirecte et non invasive, nous travaillons à partir de la pression intra-oral (PIO) dans certaines circonstances : la valeur de la pression intra-orale pendant l'occlusion non voisée du /p/ peut être considérée comme celle de la pression sous glottique. Etant donné que cette occlusive est sourde, la glotte est ouverte pendant sa production et la PIO s'équilibre avec la PSG (Figure III-3).

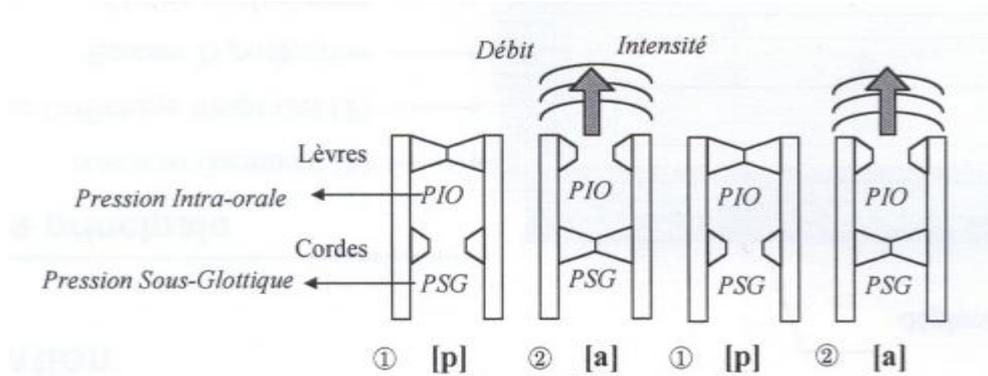


Figure III-3 Evaluation du PSG via PIO

(Source <http://www.lpl-aix.fr/>)

5. Espace vocalique (Triangle vocalique)

L'espace vocalique est une représentation abstraite graphique de l'appareil vocal humain. Il se présente sous la forme d'un système de coordonnées cartésiennes, lequel permet de déterminer la position d'une voyelle dans un espace affine (Seconde Dimension). Dans ce système, les valeurs de F2 sont corrélées en abscisses et les valeurs de F1 sont corrélées en ordonnées. La position d'une voyelle est un nuage de points non linéaires.

Afin de structurer l'espace vocalique, nous avons relevé les valeurs F1 et F2 des voyelles soutenues /i/, /a/, /u/, à l'aide du logiciel Praat[®]. Il s'agit d'une procédure semi-automatique. D'abord, les structures formantiques ont été détectées par le logiciel. Puisque, les formants ne sont pas toujours stables en début et en fin de voyelle, notamment dans les phases postopératoires et les cas pathologique, nous avons mesuré à l'aide du script de Gendrot, nous mesurons à l'aide du script de Gendrot (voir le script en annexe) les valeurs au milieu de la voyelle. De manière générale, les mesures automatiques effectuées sur les patients n'ont pas posé de problèmes, mais sur certains cas particuliers, il a fallu contrôler et corriger manuellement les valeurs. Les résultats nous permettent d'observer les modifications de l'espace vocalique suite à l'opération ainsi que d'inférer les stratégies compensatoires au niveau de la configuration du conduit vocal lors de la production des voyelles étudiées.

6. Fréquence Fondamentale (F0)

La mesure de la fréquence fondamentale a été détectée automatiquement par le logiciel Praat[®] chez les patients qui ne présentent pas d'immobilité laryngée. Pour les patients présentant une immobilité laryngée, étant donné qu'il y a trop de ruptures et de perturbations pour F0, il a fallu l'obtenir manuellement pour. De surcroît, dans certains cas, le logiciel n'a pas du tout pu détecter la fréquence fondamentale.

Pour que notre analyse ait plus de finesse, les paramètres du logiciel par défaut du *Pitch Settings* ont été modifiés. Le seuil de le F0 à détecter a été modifié entre 20 et 350 Hz. La méthode d'analyse était la *cross-correlation*, la meilleure pour une analyse vocale pour le F0.

7. Jitter et Shimmer

Le jitter et le shimmer sont exprimés en pourcentages. Ils représentent les variations qui se produisent dans la fréquence fondamentale et dans l'intensité. Ainsi, ils sont les indices des perturbations dans les signaux acoustiques (Figure III-4).

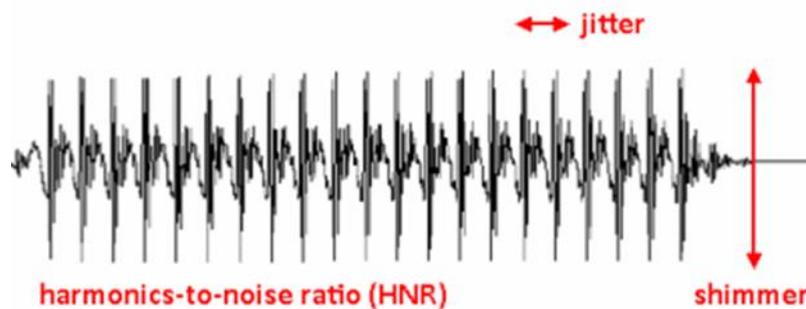


Figure III-4 Le jitter, le shimmer et le HNR

(Source <https://www.sltinfo.com/instrumental-measurement-of-voice/>)

Le jitter se réfère aux variations involontaires minuscules dans la fréquence des cycles vibratoires adjacents des plis vocaux. Essentiellement, c'est une mesure de la variabilité de le F0. Les voix pathologiques présentent souvent un pourcentage plus élevé Le jitter décrit un désordre vocal, causé généralement par un dysfonctionnement neurologique. La frontière entre la voix normale et la voix pathologique est de 1.04% selon le manuel du Praat[®].

Alors que le jitter est une mesure du pourcentage d'irrégularité dans le F0, le shimmer est une mesure du pourcentage d'irrégularité dans son amplitude. Le shimmer mesure la variabilité de l'intensité des cycles vibratoires adjacents des plis vocaux. Comme pour le jitter, les voix pathologiques présenteront généralement un pourcentage plus élevé. La frontière entre la voix normale et la voix pathologique pour le shimmer est de 3.07% selon le manuel du Praat[®].

Les mesures du jitter et du shimmer ont été détectées et calculées automatiquement pour les sujets non pathologiques. Pour les sujets pathologiques, nous les avons détectées manuellement parce que ces valeurs de la mesure de F0 et que les formants sont difficiles à identifier avec les perturbations (*cf. supra*).

8. Harmonics-to-Noise Ratio (NHR)

HNR est une mesure qui quantifie la quantité de bruit présente dans le signal harmonique de la voix. Les ondes produites par les vibrations des plis vocaux sont complexes. Elles sont constituées des ondes périodiques et aperiodiques (figure 8-3). Les ondes aperiodiques sont des bruits aléatoires introduits dans les signaux vocaux en raison de l'adduction irrégulière ou asymétrique des plis vocaux.

Nous avons pu mesurer les proportions d'ondes périodiques et aperiodiques dans les signaux vocaux. À cet égard, HNR est le rapport entre le bruit et l'harmonique dans une voyelle. La pathologie laryngée pourrait conduire à une mauvaise adduction des plis vocaux qui augmentera la quantité de bruit aléatoire dans le signal. Plus cette proportion de bruit est élevée moins la valeur de l'HNR est importante et plus la voyelle est envahie par du bruit.

Les valeurs du HNR ont été détectées à l'aide de Praat[®] selon les cas et les niveaux pathologiques des sujets, comme pour les valeurs du jitter et shimmer.

9. Analyses Statistiques (ANOVA)

Les résultats présentés dans ce travail reposent sur environ 15 000 répétitions.

Nous avons analysées données brutes statistiquement. Elles n'étaient significatifs que si la probabilité était supérieure à cinq pour cent ($p < 0.05$).

Les résultats expérimentaux de cette thèse sont obtenus en appliquant des mesures multiples sur les données aérodynamiques et acoustiques du patient à différentes phases (préopératoire et postopératoire) ; il s'agit donc de données de mesures répétées. Etant donné qu'il n'y a qu'un seul facteur (« opération ») dans le protocole expérimental, nous choisissons par conséquent des ANOVA à mesures répétées pour explorer les différences entre les groupes. Notons que nous n'avons pas retenu le « temps » en tant que facteur. En effet, il n'y a qu'un seul type d'intervention chirurgicale dans nos recherches, c'est-à-dire ceux qui ont subi une intervention chirurgicale de la thyroïde. S'il s'agissait de deux types de chirurgie, l'un serait une chirurgie de type A, et l'autre une chirurgie de type B. Les données des deux groupes de patients qui auraient subi les deux types d'opérations seraient soumises aux mêmes critères de mesures durant les quatre phases d'acquisition des données. Dans ce cas-là, il existerait deux facteurs, correspondant aux deux types d'intervention chirurgicale. Cela n'a pas été notre cas. Pour nous, la même mesure se réfère aux quatre phases de collectage de données pour la même chirurgie. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi l'analyse *one-way* de mesures répétées ANOVA.

Le logiciel d'analyse statistique que nous avons utilisé est SPSS. Toute méthode d'analyse statistique a certaines conditions d'utilisation. D'abord, pour toutes les données, avant de procéder à l'analyse ANOVA, une analyse par *Box Plot* et le *test de Shapiro-Wilk* a été appliqué afin de tester l'homogénéité et la normalité des données. Deux cas peuvent se présenter. Dans un premier cas, soit les données de chaque groupe obéissent à une distribution normale selon le *test de Shapiro-Wilk* et elles ne contiennent pas de valeurs anormales, soit elles contiennent un petit nombre de valeurs anormales ou erratiques. En retirant manuellement ces dernières après inspection des données, celles restantes deviennent naturellement normales. Dans le second cas, il peut y avoir des valeurs aberrantes ou des fluctuations de données. Le reste des données demeurent anormales même si les valeurs anormales ont été exclues. En d'autres termes, ces données restantes n'obéissent toujours pas à une distribution normale.

Nous appliquons différentes méthodes d'analyse dans les deux cas. L'ANOVA avec mesures répétées unidirectionnelles a été appliqué dans le premier cas. La mesure répétée suivant des méthodes d'analyse non paramétrique, le *test de Friedman*, a été appliqué dans le deuxième cas. Effectuer des mesures répétées ANOVA doit répondre aux conditions générales ANOVA, et il est également nécessaire de répondre à la nature

sphérique de la matrice de covariance. Par conséquent, *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly* a été utilisé pour vérifier la symétrie sphérique des données. Selon les résultats du test sphérique, si les données satisfont à la symétrie sphérique ($P > 0,05$), il faut sélectionner la valeur F et la valeur P correspondantes de la première ligne directement sortie par le logiciel pour effectuer une inférence statistique, sinon le degré de liberté doit être corrigé. Il s'agit de multiplier le degré de liberté de chaque variation du sujet avec le facteur de symétrie sphérique de la méthode de *Greenhouse Geisser*, puis faire une inférence statistique basée sur les valeurs F et P corrigés. Si les résultats de l'ANOVA montrent une différence statistiquement significative, nous utilisons ensuite *le Bonferroni post hoc test* pour une analyse plus approfondie, afin de déterminer si le résultat est statistiquement significatif.

Pour résumer...

C'est à la clinique Sainte-Anne de Strasbourg que nous avons réalisé les enregistrements des données aérodynamiques et acoustiques auprès des patients. Pour les données aérodynamiques, le dispositif EVA2 (Evaluation Vocale Assistée) a été utilisé. Avec ses nombreux capteurs, il permet d'enregistrer le débit d'air oral et nasal, la pression intra-orale (etc.) lors de la production de parole. Pour les investigations aérodynamiques, nous n'avons étudié que les occlusives bilabiales dans nos recherches, les occlusives alvéolaires, et vélares, ainsi que les constrictives posant des problèmes pour une acquisition de données aérodynamiques fiables ou de contraintes pour les patients, en ce qui concerne les constrictives.

Afin de mesurer l'impact de la modification potentielle de la qualité vocale, laquelle influencerait la qualité de vie des patients, une auto-évaluation vocale a été proposée aux patients. Pour ce faire, nous avons retenu le Voice Handicap Index (ou VHI).

Le corpus retenu vise à accomplir les quatre tâches suivantes: 1) produire la voyelle /a/ en Temps Maximum de Phonation utilisant les dispositifs aérodynamique et acoustique ; 2) prononcer trois voyelles extrêmes /i, a, u/ soutenues durant environ 5 secondes (variable selon la capacité des patients) avec le dispositif aérodynamique (les trois voyelles ont été répétées 5 fois) ; 3) lire 12 logatomes utilisant le dispositif aérodynamique (la série a été répétée 5 fois également) ; 4) lire un texte court.

L'acquisition des données était longitudinale. Nous avons interrogé et suivi au total 350 – 400 patients pendant 7 mois, mais pour diverses raisons, il n'y a que 31 patients, dont 21 patientes et 10 patients, qui ont tenu jusqu'à la fin des différentes phases de nos investigations. Deux types de sujets ont été enregistrés : 1) des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et ne présentant pas d'immobilité laryngée (26) ; 2) des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et présentant une immobilité laryngée (4).

Suite du résumé...

Dans notre étude, nous avons suivi tous les patients ayant subi une thyroïdectomie. Nous avons comparé les indices post-opératoires avec les indices avant l'opération. Aussi, nous n'avons pas eu besoin d'un groupe contrôlé, ainsi les biais éventuels pouvant provenir de différences interindividuelles ont pu être évités.

Les enregistrements ont eu lieu avant et après l'ablation de la glande thyroïde en 4 phases. Le premier enregistrement a eu lieu le jour précédant l'opération et les suivants ont eu lieu après l'opération : Le PO1 était le lendemain de l'opération ; le PO2 était 15-20 jours après l'opération et le PO3 était 1 mois après l'opération.

Nous avons étudié et corrigé les résultats en nous appuyant sur les analyses aérodynamiques, acoustiques et d'auto-évaluation, dans l'intention de mettre en lumière ces diverses manifestations des perturbations après la thyroïdectomie ainsi que leurs conséquences.

Les paramètres retenus ont été : 1) l'espace vocalique ; 2) la fréquence fondamentale (F0) ; 3) le jitter ; 4) le shimmer ; 5) le Harmonics-to-Noise Ratio (HNR) ; 6) le Temps Maximum de Phonation (*Maximum Phonation Time* (MPT)), 7) le Débit d'Air Oral (Oral Air Flow ou OAF) 8) le Pic du débit d'Air Oral (Pic) ; 9) la pression intra-orale (PIO) ou la Pression Sous-Glottique (PSG).

Nous avons analysé nos résultats statistiquement. Ils n'étaient significatifs que si la probabilité était supérieure à cinq pour cent ($p < 0.05$).

Partie IV

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

Cette partie est compos ée de deux sections :

- LA SECTION 1 PRESENTE LES *RESULTATS DES EXPERIENCES AERODYNAMIQUES.*
- LA SECTION 1 PRESENTE LES *RESULTATS DES EXPERIENCES ACOUSTIQUES ET DES EVALUATIONS SUBJECTIVES.*

Introduction

Notre recherche est longitudinale. Elle vise à étudier à la fois les conséquences aérodynamiques et les conséquences acoustiques dans les signaux aérodynamiques et acoustiques chez les patients qui ont subi une opération de thyroïdectomie totale ou partielle, soit une isthmolobectomie. Les données de ces patients ont été acquises lors de quatre phases différentes : une phase avant l'opération et trois phases après l'opération. Les données des patients qui présentent une paralysie récurrentielle post-thyroïdectomie et les données des patients qui ne présentent pas de paralysie récurrentielle post-thyroïdectomie sont traitées séparément. Ces deux groupes ont été constitués selon le diagnostic ORL post-opératoire.

Dans le groupe des non-paralysés, en fonction des différentes investigations, les données de certains patients qui présentent des valeurs anormales ont été traitées individuellement. Puis, lorsque nécessaire, nous retirerons et comparerons les valeurs anormales dans les deux groupes.

Les résultats des patients ayant une paralysie laryngée post-thyroïdectomie seront présentés sous la forme de valeurs moyennes par patient. Cependant, les valeurs anormales seront exclues du calcul. Afin de faciliter la comparaison entre les valeurs normales et les valeurs anormales, elles seront présentées ensemble dans les mêmes figures et dans les mêmes tableaux qui seront commentés.

Rappelons que nous avons au total 31 patients dans nos investigations. Pour une recherche dans le domaine de la phonétique expérimentale, ce nombre est suffisant, mais dans le cadre d'une recherche clinique qui vise à améliorer la procédure d'évaluation post-opératoire, cet échantillon risque d'être faible. Pour mieux expliquer nos résultats au lecteur, nous présentons chaque étape d'analyse statistique en donnant les détails.

Hypothèses

La littérature (voir *supra*) indique qu'une opération de la glande thyroïde peut avoir des conséquences sur la voix des patients, même lorsque la mobilité laryngée est préservée. Notre étude cherche, d'une part, à comparer les productions de patients présentant une paralysie laryngée avec celles de patients n'en présentant pas et, d'autre part, à vérifier si

les mesures aérodynamiques et acoustiques pourraient être corrigées. Nous formulons les hypothèses suivantes :

Au niveau aérodynamique

Les patients, avec ou sans symptôme typique de la mobilité laryngée (groupe N/P), pourraient avoir des difficultés à atteindre les valeurs de temps maximum de phonation (MPT) enregistrées en phase préopératoire. De plus, le débit d'air oral (ou OAF), paramètre retenu pour les voyelles, pourrait être un indice permettant d'illustrer les efforts respiratoires que les patients doivent fournir en phase post-opératoire pour conserver une efficacité vocale (cf. *infra*). Ainsi, les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P) présenteraient un MPT plus réduit que les patients sans atteinte de la mobilité laryngée (groupe N). Cela proviendrait du fait que l'opération, qui impacte le fonctionnement normal des plis vocaux, provoquerait une nécessité d'augmenter le débit d'air oral, en compensation de la parésie ou paralysie des plis vocaux.

L'efficacité vocale serait affectée après la chirurgie du fait que la phonation exigerait une consommation plus élevée du débit d'air oral (OAF) qu'avant la réalisation de l'opération. Ainsi, l'augmentation de l'OAF des patients du groupe P serait beaucoup plus marquée que celle des patients du groupe N.

Pour les deux groupes, la valeur du pic du débit d'air oral (PIC), paramètre mesuré pour les consonnes, serait plus importante après l'opération, et cette valeur augmenterait encore plus remarquablement chez les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P). Cette prédiction tient, ici aussi, au fait qu'en cas de parésie ou de paralysie des plis vocaux, la manœuvre compensatoire viendrait de l'augmentation de l'OAF, et précisément de son Pic.

Le rendement laryngé pendant la phonation serait affecté après l'opération à cause des activités irrégulières glottiques et la fuite glottique. Ce dysfonctionnement au niveau des activités irrégulières glottiques et de la fuite glottique aura un effet sur la pression sous-glottique et la pression intra-orale qui sont deux valeurs associées. Ainsi, pour compenser l'influence de la modification de la pression sous-glottique (PSG), la pression intra-orale (PIO) serait, elle aussi, modifiée de façon corrigée avec augmentation de la valeur des de la PIO.

Au niveau acoustique

La voix des deux groupes, sans ou avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe N/P), pourrait se trouver modifiée dans les phases post-opératoires précoces. La modification de la voix pourrait affecter les valeurs de la fréquence fondamentale (F0). Les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P) présenteraient une modification plus importante que les patients dits normaux (groupe N).

L'activité irrégulière au niveau du larynx pourrait avoir des conséquences sur les mesures de perturbations du signal, augmentant le jitter et le shimmer. Le cas des patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P) s'aggraverait plus notablement que chez les patients dits normaux (groupe N).

Avec les activités irrégulières au niveau du larynx, la voyelle serait affectée par des bruits, abaissant les valeurs de *Harmonics to Noise Ratio* (HNR). Pour les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P), les valeurs du HNR s'abaisseraient plus significativement.

Les activités irrégulières au niveau du larynx créent une instabilité de la source laryngée qui provoquerait une réduction et/ou une déformation de l'espace vocalique. Ce phénomène serait visible plus significativement chez les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P).

Au niveau général

Il existerait une variabilité importante inter- et intra-locuteurs. En conséquence, il y aurait des écarts-types très importants qui seraient observés surtout dans la phase post-opératoire la plus précoce PO1, puis se réduiraient à la phase PO3. Mais cette variabilité serait persistante chez les patients du groupe avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe P).

Enfin, le temps devrait permettre aux patients ne présentant pas de paralysie laryngée de retrouver rapidement les valeurs obtenues lors de l'enregistrement préopératoire. En revanche, pour les patients présentant une immobilité laryngée, cette récupération serait plus lente et devrait être accompagnée d'une rééducation orthophonique.

IV.1. Résultats des expériences aérodynamiques

Les résultats des expériences aérodynamiques de notre étude comprennent :

- Le débit d'air oral (OAF) à partir de la voyelle /a/ du MPT ;
- Le débit d'air oral (OAF) à partir des 3 voyelles extrêmes /i/, /a/, /u/ ;
- Le temps maximum de phonation (MPT) ;
- Le Pic du débit d'air oral (PIC) ;
- La pression intra-orale (PIO) ;

Nous rappelons que les 31 patients ont été séparés dans deux groupes selon les diagnostics ORL postopératoires. Dans le Groupe Normal, où il y a 27 patients au total, dont 20 patientes et 7 patients, aucun patient n'est atteint de paralysie vocale. Dans le Groupe présentant une paralysie, il y a 4 patients au total, dont 1 patiente et 3 patients ; un patient était atteint d'une paralysie bilatérale, les 3 autres d'une paralysie unilatérale.

Les corpus, ainsi que les faits liés au nombre de répétitions et à l'assiduité du patient sont des éléments qui varient pour chaque expérience. Nous donnerons des précisions sur ces faits lors de la présentation des résultats de chacune des expériences.

1. Le temps maximum de phonation (MPT)

La diminution du MPT est inversement corrélée à l'augmentation de l'OAF lorsque le volume pulmonaire est constant. Dans les phases postopératoires, plus la consommation d'air augmente, plus le MPT diminue.

En ce qui concerne cette expérience, 31 patients et divisés en deux groupes. Le groupe normal est constitué de (20 femmes, 7 hommes) et tandis que le groupe des paralysés est constitué de 4 patients (1 femme, 3 hommes).

Le corpus suit les recommandations de la Société Européenne de Laryngologie (Dejonckere *et al.* 2003). Étant donné que l'enregistrement des résultats de la phase PO1 se déroule le lendemain de l'opération, la tâche de la voyelle /a/, qui consiste à la prononcer le plus longtemps possible, est très éprouvante pour le patient. Elle ne se fait donc qu'à une seule reprise.

Nous avons ainsi 31 répétitions au total pour cette expérience.

Le MPT dépend de nombreuses variables, à savoir le volume pulmonaire, la capacité vitale pulmonaire, qui varie avec l'âge, la stature, le débit d'air, qui est affecté par les différentes stratégies de phonation, la compréhension de la tâche, etc. Les stratégies de phonation ne se font pas obligatoirement dans l'intention d'une éventuelle compensation. Il peut s'agir de stratégies adoptées par des personnes exerçant des professions qui utilisent constamment leur voix, comme l'enseignant, l'avocat, le journaliste à la télévision, le chanteur, etc. Ces personnes ont besoin d'économiser leur effort laryngal. C'est la raison pour laquelle la différence interindividuelle est souvent très importante en ce qui concerne la mesure du MPT.

Analyse des données du MPT du groupe normal (Groupe N)

À travers l'analyse statistique à l'aide de *Box Plot*, nous pouvons observer que les répétitions n°10 et n°20 correspondant aux patients n°12 et n°23 sont anormales (Figure IV-1). Après une inspection manuelle des données de ces deux patients, nous considérons que cette anomalie est due à des facteurs non contrôlés chez les patients (c'est-à-dire des caractéristiques propres aux patients). En conséquence, ces données ont été éliminées du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique générale. Les analyses ont porté sur les 25 répétitions restantes. Les données des patients n°12 et n°23 sont présentées individuellement.

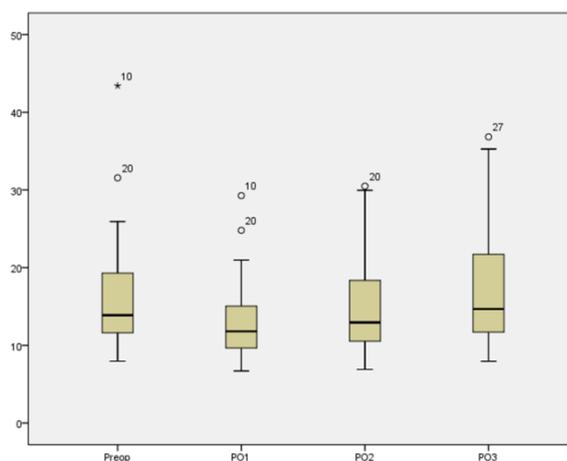


Figure IV-1 Résultats de l'analyse Box Plot des données du MPT du Groupe Normal

Comme nous pouvons l'observer dans la Figure IV-4Figure IV-1, il existe plusieurs données anormales. Sur cet ensemble de données après avoir éliminé les données ci-

dessus (les données n° 10 et n° 20), le problème lié aux valeurs anormales a été résolu, mais il ne répond pas à la distribution normale. Même si nous avons continué à exclure d'autres valeurs anormales, d'autres émergeraient toujours, ce qui ne répondrait toujours pas à une distribution normale. Ce problème survient souvent à cause d'un nombre insuffisant d'échantillons.

Pour le Groupe Normal, la valeur (Figure IV-2) (Tableau IV-1) moyenne du MPT (en secondes) diminue immédiatement après l'opération : de 14.81 s en Preop à 12.37 s en PO1. Cela signifie que l'efficacité laryngale a été aussitôt atteinte par ce genre d'intervention. En PO2, le MPT remonte à 13.77 s, proche de la valeur préopératoire. En PO3, cette valeur dépasse même celle observée en Preop, soit 16.45 s.

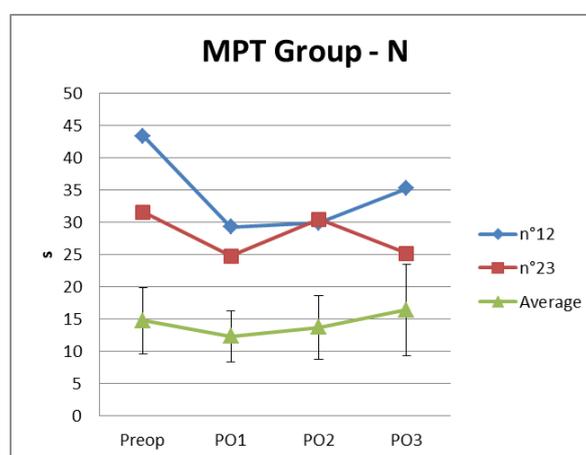


Figure IV-2 Le résultat du MPT des 4 phases du Groupe Normal

Tableau IV-1 Valeur moyenne du Groupe Normal

MPTs	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	14.81	12.37	13.77	16.45
St.Dev	5.14	3.98	4.92	7.11

La PO1 est la phase où les patients font face à une nouvelle situation dans laquelle leurs anciennes stratégies aérodynamiques ne sont plus adéquates pour une production postopératoire efficace. À partir de la PO2, les patients commencent à résoudre cette difficulté en adoptant de nouvelles stratégies compensatoires de phonation. À la suite du perfectionnement de ce système compensatoire, l'efficacité laryngale dépasse même son état préopératoire, c'est-à-dire que la valeur du MPT, comme nous venons de le voir, et devient plus élevée qu'en phase préopératoire.

Après l'opération, les activités laryngales et les stratégies individuelles sont beaucoup plus limitées qu'auparavant (5.14 s en Preop). Cela crée une diminution de la différence interindividuelle.

La réduction de l'écart-type dans une comparaison de données interindividuelles signifie que les valeurs des individus tendent à se confondre. *A contrario*, lorsque l'écart-type augmente, on comprend que les valeurs des individus tendent plutôt à se différencier.

L'écart-type est donc réduit après l'intervention, surtout en phase PO1 (3.98 s), où les patients ne sont pas encore habitués à leur nouvelle configuration au niveau glottique. En PO2, la situation s'améliore par rapport à la PO1. Cependant, l'écart-type est à 4.92 s, il est encore légèrement inférieur mais proche de la phase préparatoire (Prép). Cette valeur dépasse finalement celle de la Preop en PO3, soit 7.11 s.

Les patients n°12 et n°23 ont des valeurs (Tableau IV-2) beaucoup plus élevées que les autres patients. En Preop, ils sont respectivement à 43.41 s et 31.56 s, soit 2.93 et 2.13 fois la valeur moyenne du GN. En PO1, ces patients affichent une diminution des valeurs qui deviennent à 29.27 s et 24.8 s. Le patient n°12 garde presque la même valeur en PO3 qu'en PO2 ; il remonte légèrement à 29.96 s. Le patient n°23 retrouve un niveau comparable à celui en Preop, soit 30.49 s. Ces patients ont des valeurs très proches en PO2. En PO3, le MPT continue à remonter pour le patient n°12 : il est à 35.28 s. Pour le patient n°23, la valeur rechute au niveau de la PO1, soit 25.24 s.

Tableau IV-2 Valeurs MPT anormales du Groupe Normal

MPTs	Preop	PO1	PO2	PO3
n°12	43.41	29.27	29.96	35.28
n°23	31.56	24.80	30.49	25.24

Analyse des données du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Nous représentons ici les valeurs du groupe P (Figure IV-3) (Tableau IV-3). Le patient n°27 est atteint d'une paralysie bilatérale (*Bilateral vocal fold paralysis (BVFP)*), les trois autres sont atteints de paralysie unilatérale (*Unilateral vocal fold paralysis (UVFP)*).

Comme nous pouvons le voir à partir de la figure 9-3, il est difficile de trouver un modèle qui résumerait le comportement de tous les patients. Nous ne trouvons même pas de

similitudes entre deux sujets. Il semble que les patients adoptent chacun une stratégie individuelle pour répondre au changement postopératoire.

Le MPT du patient n°4 est très réduit en Preop, soit 5.83 s. Son OAF (voir *infra*) est de 0.291 dm/s en Preop, l'OAF moyen en Preop du Groupe Normal étant de 0.160 dm/s. Celui du patient n°4 est donc de 1.82 fois plus important que la valeur normale. Selon le diagnostic ORL préopératoire, il n'avait pas d'immobilité ou de faiblesse laryngale avant l'opération. Nous considérons que ce patient a une stratégie de phonation différente des autres. En PO1, la valeur de l'OAF diminue à 4.73 s. Elle continue à baisser jusqu'à 3.21 s en PO2. Lors de la dernière phase (PO3), son OAF s'allonge jusqu'à 4.18 s.

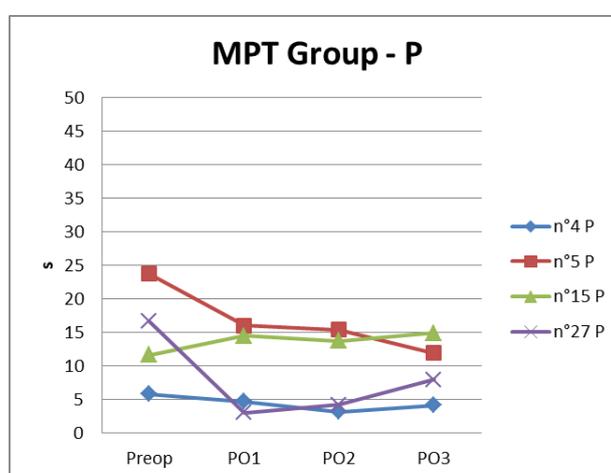


Figure IV-3 Résultat du MPT des 4 phases du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-3 Valeurs de MPT du Groupe présentant une paralysie

MPTs	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	5.83	4.73	3.21	4.18
n°5 P	23.75	16.05	15.4	11.97
n°15 P	11.64	14.54	13.74	14.96
n°27 P	16.7	3.04	4.22	8.01

L'OAF du patient n°5 a tendance à baisser par rapport au niveau de la Preop, soit, 23.75 s en Preop, et 16.05 s, 15.4 s, 11.97 s pour les 3 phases suivantes (PO1, PO2, PO3).

Le patient n°15 voit son MPT augmenter en PO1 (14.54 s) par rapport à la Preop (11.64 s). Nous retrouvons ce phénomène également dans le Groupe Normal. Il y a un petit nombre de patients qui augmentent leur MPT après l'intervention. Puis, en PO2, il montre une tendance à l'abaissement, soit à 13.74 s, toujours plus élevé qu'en Preop. En PO3, la valeur remonte jusqu'au niveau le plus haut parmi les 4 phases, soit 14.96 s.

L'OAF décroît considérablement pour le patient n° 27 après la Preop. Sa valeur est à 16.7 s avant l'opération et à 3.04 en PO1. Cette valeur monte légèrement en PO2 à 4.22 s. En PO3, ce patient atteint 8.01 s, soit presque la moitié de sa valeur en Preop.

Les cas comparables dans les deux groupes

Certains cas issus du Groupe Normal (Figure IV-4) (Tableau IV-4) sont comparables à ceux du Groupe présentant une paralysie. Nous observons certains cas similaires/comparables dans les deux groupes. Il existe certains cas du Groupe Normal qui sont comparables avec certains cas du Groupe présentant une paralysie.

Nous présentons 4 patients du Groupe Normal qui montrent des tendances comparables à celles des patients du Groupe présentant une paralysie. Ce phénomène a été observé dans toutes nos investigations. Nous en parlerons dans la partie *Perspectives*.

Les valeurs de l'OAF des patients n° 18 et n° 29 augmentent lors de la première phase suivant l'opération. Elles sont respectivement à 16.49 s et 13.2 s en Preop, et à 19.9 s et 18.69 s en PO1. Ces valeurs diminuent à 12.94 s et 11.31 s en PO2. En PO3, l'OAF du patient n° 18 augmente à 17.37 s, tandis que celui du patient n° 29 continue à baisser, soit à 9.1 s.

Ces tendances sont comparables à celles des patients n° 4 et n° 15 du Groupe présentant une paralysie.

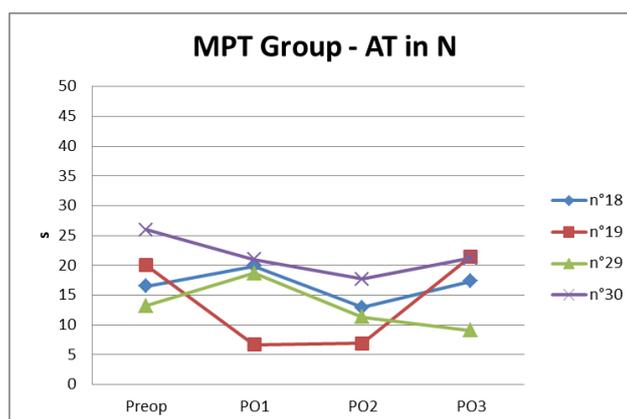


Figure IV-4 Valeurs MPT atypiques dans le Groupe Normal

Tableau IV-4 valeurs MPT atypiques dans le Groupe Normal

MPTs	Preop	PO1	PO2	PO3
n°18	16.49	19.9	12.94	17.37
n°19	20.04	6.7	6.9	21.52
n°29	13.2	18.69	11.31	9.1
n°30	25.94	20.98	17.68	21.21

Les données du patient n° 19 tendent à ressembler à celles du patient n° 27 du GP. Sa valeur chute remarquablement en PO1, soit à 6.7 s, par rapport à la Preop (20.04 s). Il maintient son OAF à 6.9 s en PO2, puis le rehausse à 21.52 s en PO3.

Le patient n°30 a une tendance similaire avec le patient n°5 du GP. En Preop, son OAF est à 25.94 s. Ensuite, il est à 20.98 s, 17.68 s et 21.21 s pour les trois phases postopératoires.

L'analyse statistique

Selon *le test de Shapiro-Wilk*, les données de la PO1 et PO2 obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, nous pouvons voir que la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=14.029$, $P=0.016$). Etant donné que nous disposons de données individuelles en liste, la covariance d'une variable avec elle-même (autocovariance) est tout simplement la variance.

Ces données ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons par *la méthode Greenhouse & Geisser* : $\varepsilon=0.730$.

Les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du MPT de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 14.81 ± 5.14 , 12.37 ± 3.98 , 13.77 ± 4.92 , 16.45 ± 7.11 (s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur F ajustée (2.189 , 52.532) = 5.952 , $P = 0.004 < 0.05$.

Ensuite, nous appliquons *le test post-hoc Bonferroni*. La différence du MPT entre PO1 et PO3 est statistiquement significative (les valeurs de $P = 0.033$). La valeur de PO3 est de

4.081 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance 95% : 0.003-0.056). La valeur de PO3 est de 0,092 de plus que celle de la Preop (intervalle de confiance à 95% : 0.242-7.919). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres combinaisons de phases.

Pour résumer...

En comparant les patients du Groupe présentant une paralysie avec les patients du Groupe Normal, nous trouvons, mis à part pour le patient n° 5 du GP, qu'il n'y a pas de différences très remarquables entre les 2 groupes. De larges différences interindividuelles existent dans les mesures. Les stratégies individuelles développées à partir des capacités vitales, des professions, des sports pratiqués quotidiennement ont une influence remarquable sur les résultats. Les données de cette investigation ne sont pas seulement associées à la plaie postopératoire et la surconsommation d'air provoquée par celle-ci. Comme nous pouvons l'observer sur la Figure IV-5, elle confirme une grande variabilité interindividuelle.

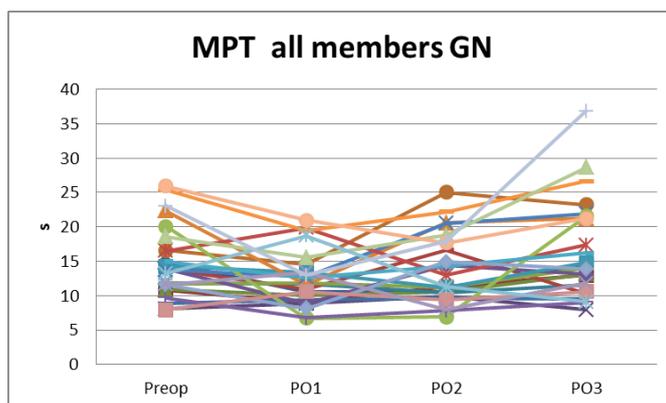


Figure IV-5 MPT de tous les patients du GN

Cela démontre que le test du MPT ne peut pas à lui seul aider à diagnostiquer le niveau d'immobilité laryngée des patients. Si nous voulons avoir un tableau général de la situation, il faudrait associer ces résultats à ceux de nos autres investigations. C'est ce que nous proposons dans ce qui suit.

2. Le débit d'air oral (OAF) du MPT

Après une thyroïdectomie ou une isthmolobectomie, une surconsommation d'air pourrait être directement observée à partir des données aérodynamiques des valeurs de l'OAF. Cela pourrait être une explication de la diminution du MPT.

En ce qui concerne cette expérience, 31 patients au total y ont participé. Le Groupe Normal est constitué de 27 patients (20 femmes, 7 hommes) et le Groupe présentant une paralysie de 4 patients (1 femme, 3 hommes).

La tâche consiste à prononcer la voyelle /a/ à une seule reprise lors de l'enregistrement du temps maximum de phonation (MPT) en même temps que celui de l'OAF, cela pour mieux mettre au jour la corrélation éventuelle entre le MPT et l'OAF.

Ici aussi, le choix du corpus est fait selon les recommandations de la Société Européenne de Laryngologie (Dejonckere *et al.* 2003).

Nous aboutissons ainsi à un total de 31 répétitions pour cette expérience, comme pour l'investigation relative au MPT.

Pour la mesure du MPT, les patients doivent assurer une phonation la plus soutenue possible. Ainsi, nous pouvons étudier les différentes stratégies compensatoires déployées au niveau du MPT durant la phonation « normale » des voyelles soutenues, bien qu'il y ait très rarement de phonation normale après ce genre d'intervention. La durée de la performance vocale peut être courte, néanmoins il existe (Debruyne *et al.*, 1997), dans la plupart des cas, une période durant laquelle la mise en place de stratégies compensatoires est nécessaire.

Analyse des données du Groupe Normal (Groupe N)

À travers l'analyse effectuée à l'aide de *Box Plot*, nous pouvons observer que la valeur n° 15, correspondant au patient n° 18, est anormale (Figure IV-6). Après un examen manuel des données des deux patients, nous expliquons cette anomalie en termes d'une réalisation du locuteur ou d'une acquisition erronée des données. En conséquence, cette

valeur a été éliminée du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées à partir des 26 valeurs restantes. La valeur du patient n° 18 est présentée séparément.

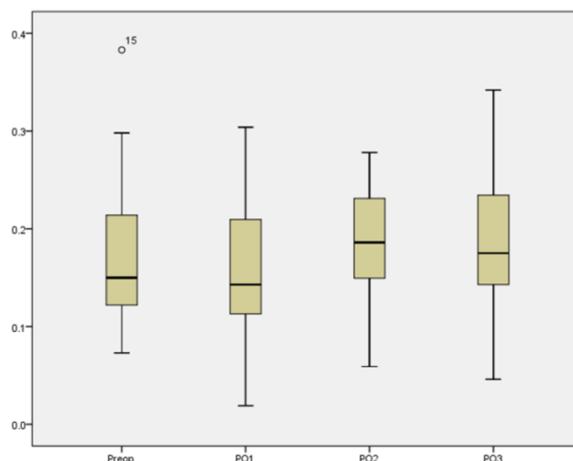


Figure IV-6 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du Groupe Normal

Après l'opération, l'OAF est modifié pour tous les sujets du groupe N (Figure IV-7) (Tableau IV-5). La valeur moyenne des patients est mesurée plus basse au lendemain de l'opération. L'OAF est mesuré à $0.154 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.068) en PO1, par rapport à sa valeur initiale de $0.16 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.059) avant l'opération (Preop). Dans la deuxième phase post-opératoire (PO2), la plupart des patients montrent une augmentation de la valeur de ce paramètre, soit à $0.189 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.056) en moyenne. Ensuite, l'OAF continue d'augmenter en PO3, soit à $0.190 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.074) en moyenne. L'OAF du patient n° 18 présente une valeur très importante après l'opération, soit à $0.383 \text{ dm}^3/\text{s}$. Cette valeur diminue progressivement dans les deux phases postopératoires, soit à $0.186 \text{ dm}^3/\text{s}$ en PO1 et à $0.109 \text{ dm}^3/\text{s}$ en PO2. Cette valeur augmente en PO3 et devient identique à celle observée en PO1, soit $0.186 \text{ dm}^3/\text{s}$.

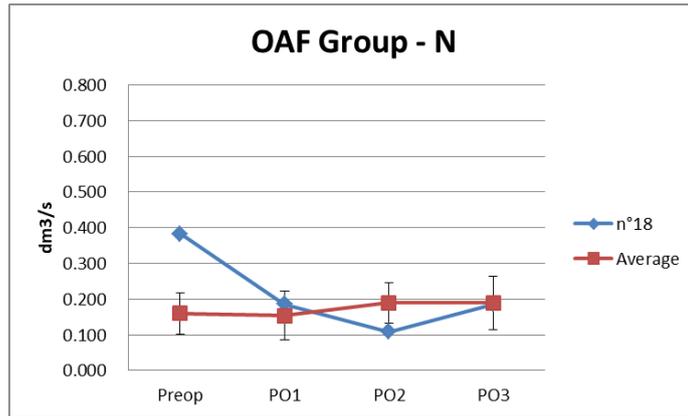


Figure IV-7 Résultats de l'OAF des 4 phases du Groupe Normal

Tableau IV-5 Valeur moyenne de l'OAF du Groupe Normal

OAF dm³/s	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	0.160	0.154	0.189	0.190
StDev.	0.059	0.068	0.056	0.074

Pour le patient n° 18 (Tableau IV-7), sa valeur est très importante en Preop, soit 0.383 dm³/s (voir Tableau IV-6). Il s'agit peut-être d'une « sur-phonation » due à une mauvaise compréhension des consignes d'enregistrement. Sa valeur réelle serait probablement à un niveau comparable à celle de sa valeur en PO1 ou en PO2. Étant donné que son contrôle préopératoire par l'ORL était normal, il n'y avait pas de symptôme vocal avant l'opération. Cette valeur continue de baisser pour les phases suivantes, soit 0.186 dm³/s en PO1 et 0.109 dm³/s en PO2, puis remonte à un niveau identique à celui observé en PO1.

Tableau IV-6 Valeurs de l'OAF anormale du patient du Groupe Normal

OAF dm³/s	Preop	PO1	PO2	PO3
n°18	0.383	0.186	0.109	0.186

Analyse sur le Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Sur la Figure IV-8 sont représentés les valeurs du groupe GP. Les 4 patients paralysés ont participé à cette expérience comme à l'expérience du MPT (Tableau IV-7).

Nous pouvons observer sur la figure que les valeurs des patients n°4 et n°27 montrent de grandes similitudes dans leurs patterns durant les phases postopératoires. Les valeurs

augmentent remarquablement après l'opération, puis, lors de la phase postopératoire 1 (PO1), la tendance est à un abaissement de l'OAF pour les deux patients.

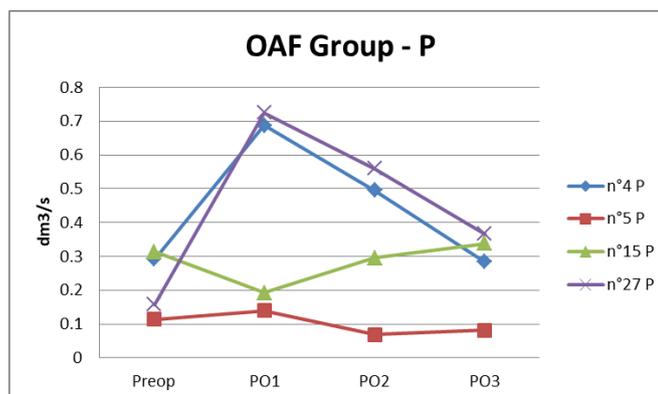


Figure IV-8 Résultats de l'OAF des 4 phases du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-7 Valeurs de l'OAF du Groupe présentant une paralysie

OAF dm ³ /s	Preop	PO1	PO2	PO3
n° 4 P	0.291	0.688	0.496	0.284
n° 5 P	0.114	0.139	0.069	0.082
n° 15 P	0.314	0.192	0.295	0.338
n° 27 P	0.157	0.725	0.56	0.367

Les valeurs initiales des patients n°4 et n°27 avant leurs opérations sont respectivement de 0.291 dm³/s et 0.157 dm³/s. Des augmentations importantes des valeurs sont observées pour ces deux patients. La valeur du patient n°4 augmente jusqu'à 0.688 dm³/s en PO1 et diminue progressivement en PO2, soit à 0.496 dm³/s et finalement à 0.284 dm³/s en PO3, ce qui est comparable avec le niveau en Preop. La valeur du patient n°27 augmente après l'opération à 0.725 dm³/s en PO1, puis diminue progressivement en PO2, soit à 0.56 dm³/s et finalement à 0.367 dm³/s en PO3, ce qui n'est toujours pas comparable avec la valeur en Preop, mais tend à s'en approcher.

Les patients n°5 et n°15 présentent moins de déviations dans leurs valeurs après leurs opérations.

Pour le patient n°5, nous pouvons observer une augmentation de son OAF en PO1, mesurée à 0.139 dm³/s, par rapport à 0.114 dm³/s en Preop. Cette valeur baisse dans la phase suivante, devenant plus basse que sa valeur initiale en Preop, soit 0.069 dm³/s en PO2. Ensuite, cette valeur remonte à 0.082 dm³/s en PO3.

En ce qui concerne le patient n° 15, nous observons d'abord un abaissement en PO1 (0.192 dm³/s par rapport à la phase préopératoire : 0.314 dm³/s). Puis, nous pouvons constater une augmentation importante en PO2, où la valeur de l'OAF est de 0.295 dm³/s. Cette valeur est de 0.338 dm³/s en PO3 ; il tend alors à s'approcher des valeurs mesurées en préopératoire.

Les cas comparables dans les deux groupes

Nous pouvons observer certains cas dans le Groupe Normal (Tableau IV-9) qui sont comparables à certains cas dans le Groupe présentant une paralysie.

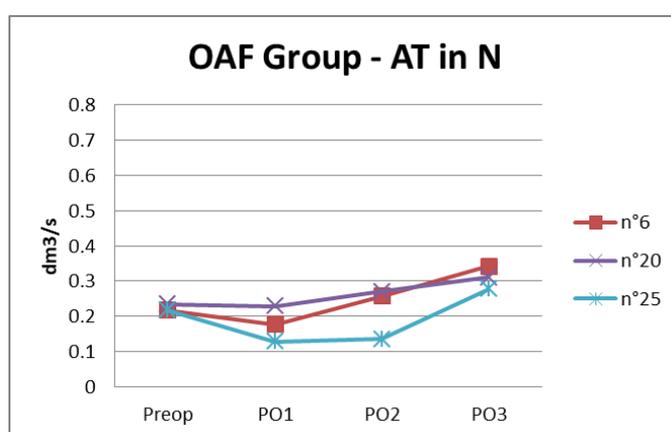


Figure IV-9 Valeurs atypiques de l'OAF dans le Groupe Normal

Le Tableau IV-8 présente trois patients dans le Groupe Normal qui ont des valeurs postopératoires comparables ou plus importantes que les patients n° 5 et n° 15 du Groupe présentant une paralysie.

Tableau IV-8 Valeurs atypiques de l'OAF dans le Groupe Normal

OAF dm ³ /s	Preop	PO1	PO2	PO3
n° 6	0.218	0.177	0.257	0.342
n° 20	0.234	0.229	0.271	0.311
n° 25	0.218	0.128	0.135	0.278

Les valeurs de la phase préopératoire des patients n° 6, n° 20 et n° 25 sont de 0.218 dm³/s, 0.234 dm³/s et 0.218 dm³/s. Ils montrent tous un abaissement en PO1, soit 0.177 dm³/s, 0.229 dm³/s et 0.128 dm³/s. Ces valeurs augmentent continuellement dans les phases suivantes, soit 0.257 dm³/s, 0.271 dm³/s et 0.135 dm³/s en PO2, jusqu'à 0.342 dm³/s, 0.311 dm³/s et 0.278 dm³/s en PO3.

L'analyse statistique des données de l'OAF

Suivant *le test de Shapiro-Wilk*, nous constatons que les données de chaque groupe obéissent à la distribution normale ($P > 0,05$). Puis, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, nous voyons que la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=19.013$, $P=0.002$).

Ces données ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons par *la méthode Greenhouse & Geisser* : $\varepsilon=0.638$.

Les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'AOF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.16 ± 0.06 , 0.15 ± 0.07 , 0.19 ± 0.06 , 0.19 ± 0.07 (dm³/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur F ajustée (1.913, 47.813=6.155, $P=0.005 < 0.05$).

Ensuite, nous appliquons *le test post-hoc Bonferroni*. La différence des OAF entre Preop et PO2, Preop et PO3, PO1 et PO2 est statistiquement significative (les valeurs de P sont respectivement de 0.020, 0.006, 0.003). La valeur de PO2 est de 0.102 de plus que celle de Preop (intervalle de confiance 95% : 0.003-0.056). La valeur de PO3 est de 0.092 de plus que celle de Preop (intervalle de confiance à 95% : 0.007-0.053). La valeur de PO2 est de 0.035 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.01-0.06). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres groupes.

Pour résumer...

L'augmentation de la consommation d'air peut être expliquée par la diminution de l'efficacité vocale après l'opération. Les patients ont besoin de plus de débit d'air pour démarrer et maintenir la vibration laryngée qu'avant cette intervention.

L'augmentation de la valeur moyenne de l'OAF du Groupe Normal n'est pas observée tout de suite après l'opération. En revanche, cette valeur diminue légèrement à la première phase postopératoire. Ce phénomène est provoqué par la procédure à la fin de l'opération de thyroïdectomie. Des compresses absorbables sont appliquées là où se situe(nt) le(s) lobe(s) thyroïdien(s) (Figure IV-10). Puis, un redon est mis en place pour canaliser le sang et les sécrétions humaines (Figure IV-11).



Figure IV-10 Compresses absorbables



Figure IV-11 Anesthésie locale pour le Redon

Suite résumé...

La pression des compresses et la présence du redon occasionnent une douleur et une gêne plus ou moins fortes. Pour éviter l'inconfort, les patients ne se forcent pas à augmenter le débit d'air pour démarrer une phonation. Au contraire, ils le diminuent, sauf dans le cas où cela est absolument nécessaire. Les compresses seront absorbées par le corps humain environ une semaine après son application. Le redon sera enlevé trois jours après la fermeture de la plaie. Les patients peuvent donc augmenter le débit d'air (OAF) pour ajuster leur voix ; cela semble être la raison pour laquelle nous observons une augmentation de l'OAF à partir de la PO2, deux semaines après l'opération.

Excepté dans les cas de paralysie, une immobilité grave est apparue. La plupart des patients démarrant très difficilement l'activité des plis vocaux s'ils n'augmentent pas l'OAF tout de suite après l'opération.

Aussi, dans les deux dernières phases, la valeur moyenne des patients du Groupe Normal augmente continuellement tandis que les valeurs des patients du Groupe présentant une paralysie diminuent.

3. Le débit d'air oral (OAF) des trois voyelles extrêmes soutenues

Différente de la tâche requise pour le MPT, qui consistait à maintenir une phonation la plus longue possible, la sollicitation de produire des voyelles soutenues est d'assurer une phonation la plus standard et plus proche possible de celle d'une production normale, de la vie quotidienne.

Au total, 28 patients ont participé à cette expérience : 25 patients dans le Groupe Normal (18 femmes, 7 hommes), 3 patients dans le Groupe présentant une paralysie (1 femme, 2 hommes).

La tâche est de prononcer les 3 voyelles extrêmes /i/, /a/, /u/, avec lesquelles l'espace vocalique sera établi. Nous avons obtenu cinq répétitions pour chaque voyelle.

Nous aboutissons ainsi à un total de 420 mesures pour cette expérience.

Analyse des données du Groupe Normal (GN)

Dans cette partie, nous allons d'abord décrire les résultats des voyelles /i/, /a/ et /u/ des patients du Groupe Normal en excluant les valeurs anormales, à l'aide de l'outil mathématique cité *supra*. Les valeurs anormales seront étudiées séparément afin qu'il y ait le moins d'interférences possibles entre les deux types de données.

Les données de l'OAF de la voyelle /i/ du GN

À travers l'analyse par *Box Plot*, nous pouvons observer que la valeur n° 14, correspondant au patient n° 19, est anormale (Figure IV-12). Après une inspection des données de ce patient, nous ne considérons pas qu'il y ait anomalie. Ainsi, cette valeur a été conservée pour le calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec les données des 25 patients. La valeur du patient n° 19 ne sera pas présentée individuellement.

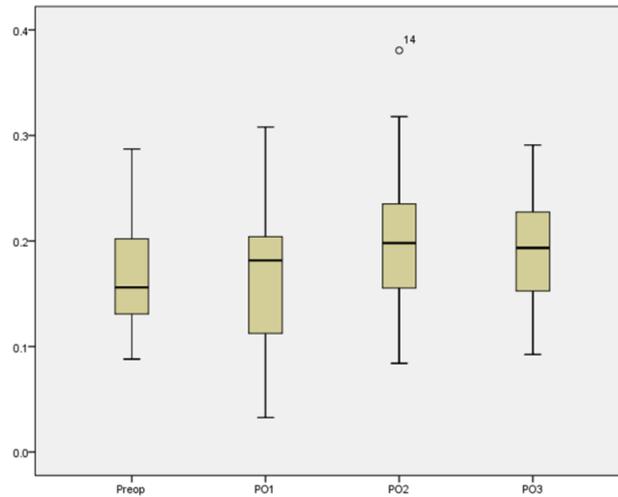


Figure IV-12 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF pour le /i/ du Groupe Normal

L'OAF de la voyelle soutenue /i/ (Figure IV-13) (Tableau IV-9) est mesuré légèrement plus bas au lendemain de l'intervention. Il est à $0.171 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.054) durant la phase préopératoire (Preop), mais lors la première phase post-opératoire (PO1), il descend à $0.167 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.074) avec une différence interindividuelle la plus importante (écart-type) par rapport aux quatre phases d'enregistrement. Dans la deuxième phase post-opératoire (PO2), cette valeur montre une augmentation à $0.2 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.068), et la différence interindividuelle diminue par rapport à la phase précédente. À la dernière phase (PO3), l'OAF diminue, soit à $0.191 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.056) en moyenne, et l'écart-type est à nouveau comparable à sa valeur de Preop.

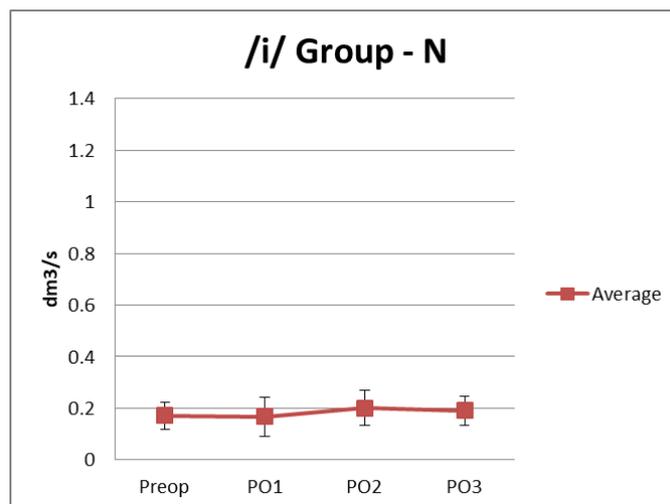


Figure IV-13 Résultats de l'OAF pour le /i/ du Groupe Normal

Tableau IV-9 Valeurs moyennes de l'OAF du /i/ du Groupe Normal

OAF dm ³ /s	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	0.171	0.167	0.200	0.191
St.Dev	0.054	0.074	0.068	0.056

L'analyse statistique de l'OAF de la voyelle /i/ du GN

Par *le test de Shapiro-Wilk*, nous observons que les données de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=14.809$, $P=0.011$).

Ces données ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons par *la méthode Greenhouse & Geisser* : $\varepsilon=0.771$.

Les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.17 ± 0.05 , 0.16 ± 0.07 , 0.20 ± 0.07 , 0.19 ± 0.06 . Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur F ajustée ($2.313,55.513$) $=2.762$, $P= 0.064 > 0.05$. Donc, la différence au niveau statistique ne pourra pas être assurée.

Les données de l'OAF de la voyelle /a/ du GN

À travers l'analyse par *Box Plot*, nous pouvons observer que les données n° 10 et n° 13, qui correspondent aux patients n° 14 et n° 18, sont anormales (Figure IV-14). Après les examens manuels des données de ces patients, la valeur n° 13 est éliminée du calcul statistique et la valeur n° 10 est devenue normale. Les analyses ont donc été effectuées avec vingt-quatre données. La valeur du patient n° 18 sera présentée individuellement.

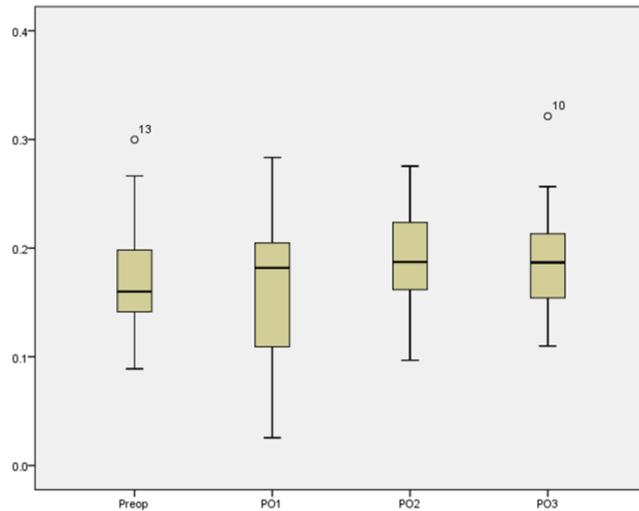


Figure IV-14 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du /a/ du Groupe Normal

Avant l'opération (Preop), l'OAF de la voyelle soutenue /a/ est de 0.161 dm³/s (0.047) (Figure IV-15) (Tableau IV-10). À la première phase post-opératoire (PO1), il diminue légèrement, soit à 0.160 dm³/s (0.07). Dans cette phase, l'écart-type est le plus important par rapport aux quatre phases d'acquisition de données. Dans les deux phases post-opératoires suivantes (PO2 et PO3), l'OAF continue à augmenter, soit à 0.187 dm³/s (0.049) en PO2 0.191 dm³/s (0.052) en PO3. En PO2, l'écart-type est presque le même que celui de la phase préopératoire, puis, il remonte légèrement en PO3, mais reste toujours à un niveau comparable à celui de la Preop.

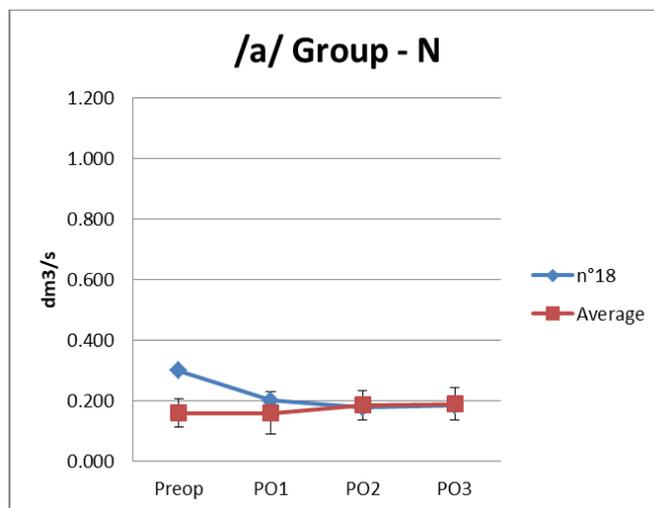


Figure IV-15 Résultats de l'OAF du /a/ du Groupe Normal

Tableau IV-10 Valeurs moyennes de l'OAF du /a/ du Groupe Normal

OAF dm ³ /s	Preop	PO1	PO2	PO3
n°18	0.300	0.202	0.178	0.185
Average	0.161	0.160	0.187	0.191
St.Dev	0.047	0.070	0.049	0.052

Par rapport à la valeur anormale exclue de la moyenne de ce groupe (Patient n° 18), la production de ce patient est à nouveau considérée comme étant anormale. Le pattern de variations des valeurs de ce patient reste comparable à celui de l'investigation précédente, dont il était exclu (soit l'investigation sur l'OAF du MPT). Sa valeur est très élevée en Preop, mesurée à 0.3 dm³/s. Dans les phases suivantes, elle montre une tendance à la diminution. L'OAF est de 0.202 dm³/s en PO1 et de 0.178 dm³/s en PO2. Dans la dernière phase post-opératoire (PO3), elle remonte à 0.185 dm³/s, ce qui reste toujours moins important que lors de la phase de Preop.

L'analyse statistique de l'OAF de la voyelle /a/ du GN

En appliquant *le test de Shapiro-Wilk*, nous constatons que les données de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, on voit que la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=21.079$, $P=0.001$).

Ces données ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons en conséquence par *la méthode Greenhouse & Geisser* : $\epsilon=0.601$.

Les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.16 ± 0.05 , 0.16 ± 0.07 , 0.18 ± 0.05 , 0.19 ± 0.05 . Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur F ajustée (1.804,41.503) = 3.959, $P = 0.03 < 0.05$.

Ensuite, nous appliquons *le test post-hoc Bonferroni*. Les différences de la valeur OAF entre Preop et PO2, Preop et PO3, PO1 et PO2 sont statistiquement significatives (les valeurs de P sont respectivement de 0.020, 0.006, 0.003). La valeur de PO2 est de 0.102 de plus que celle observée en Preop (intervalle de confiance 95%: 0.003-0.056); la valeur de PO3 est de 0,092 de plus que celle en Preop (intervalle de confiance à 95%: 0.007-

0.053). La valeur de PO2 est de 0.035 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95%: 0.01-0.06). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres combinaisons de phases.

Les données de l'OAF de la voyelle /u/ du GN

À travers l'analyse par *Box Plot*, nous pouvons observer que la valeur n°1, correspondant au patient n°1, est anormale (Figure IV-16). Après une analyse des données de ce patient, nous considérons que l'anormalité n'est pas due à un problème d'enregistrement. Etant donné que cette valeur erratique risque de biaiser le calcul de la valeur moyenne ainsi que l'analyse statistique, elle a été éliminée. Les analyses ont été effectuées sur les 24 données restantes. La valeur du patient n°1 sera néanmoins présentée individuellement.

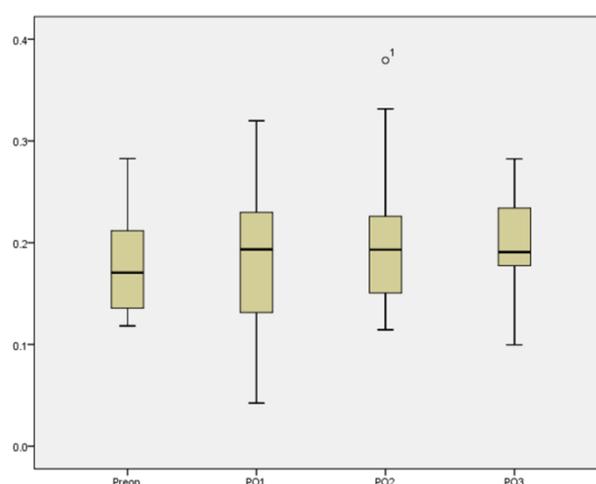


Figure IV-16 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du /u/ du Groupe Normal

Pour la voyelle /u/ (Figure IV-17) (Tableau IV-11), l'OAF post-opératoire se maintient presque au même niveau qu'avant l'opération, en restant relativement stable, soit 0.182 (0.053) dm³/s en Preop et 0.181 dm³/s (0.075) en PO1. Dans les phases suivantes, l'OAF augmente à 0.195 dm³/s (0.059) en PO2, puis à 0.198 dm³/s (0.043) en PO3.

L'écart-type augmente immédiatement après cette intervention de 0.053 dm³/s en Preop à 0.075 dm³/s en PO1, puis baisse graduellement, soit à 0.059 dm³/s en PO2 et 0.043 dm³/s en PO3.

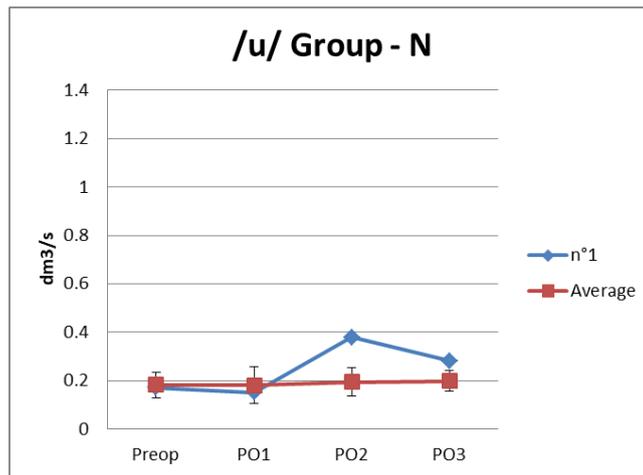


Figure IV-17 Résultats de l'OAF du /u/ du Groupe Normal

Tableau IV-11 Valeur moyenne de l'OAF du /u/ du Groupe Normal

OAF dm3/s	Preop	PO1	PO2	PO3
n°1	0.171	0.151	0.379	0.282
Average	0.182	0.181	0.195	0.198
St.Dev	0.053	0.075	0.059	0.043

La tendance des variations des valeurs du patient n° 1 correspond à celle des autres patients dans le Groupe Normal. Avant l'opération, son OAF est de 0.171 dm3/s. Il baisse légèrement en PO1, soit à 0.151 dm3/s. Différent des autres, en PO3, il est mesuré à 0.379 dm3/s. En PO4, son OAF baisse encore à 0.282 dm3/s, mais n'est toujours pas comparable à son niveau en Preop.

L'analyse statistique de l'OAF de la voyelle /u/ du GN

En retenant *le test de Shapiro-Wilk*, nous avons vu que les données de chaque groupe n'obéissent pas à une distribution normale ($P > 0,05$). En revanche, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=7.695$, $P=0.174$).

Les données sont exprimées en valeurs moyennes \pm écarts-types. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.18 ± 0.05 , 0.18 ± 0.07 , 0.19 ± 0.06 , 0.20 ± 0.04 . Les résultats de l'analyse de la variance ne montrent pas une différence statistiquement significative, Valeur F ajustée (3, 69) = 1.150, $P=0.335 > 0.05$.

En guise de conclusion partielle...

Nous proposons, dans ce qui suit, une étude croisée de l'OAF des trois voyelles extrêmes, en guise de conclusion partielle.

Etude croisée des 3 voyelles du GN

Dans les paragraphes *supra*, nous avons décrit les valeurs après l'intervention. Dans cette partie, nous allons les comparer pour voir si elles suivent le même modèle ou si nous observons des tendances différentes.

Nous pouvons observer sur la Figure IV-18 (Tableau IV-12) que les trois voyelles adoptent la même tendance d'augmentation et de diminution. L'OAF de toutes les voyelles analysées baissent durant la première phase post-opératoire (PO1). Les valeurs montrent également une tendance à se converger à partir de PO1. Puis, cette convergence augmente graduellement lors des phases suivantes. Durant la dernière phase, les trois valeurs moyennes sont très similaires.

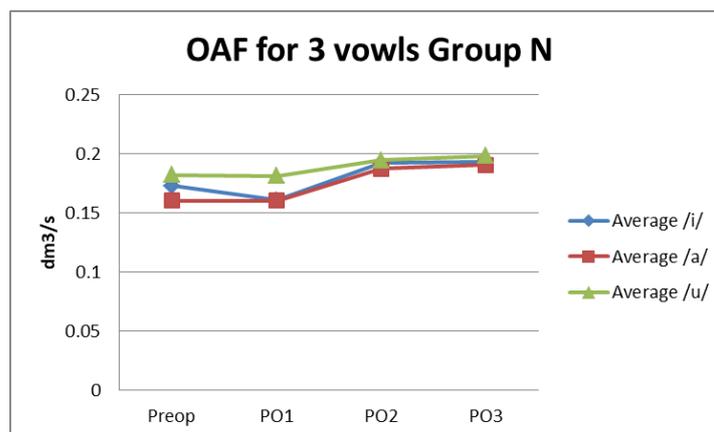


Figure IV-18 Résultats de l'OAF des 3 voyelles du Groupe Normal

Tableau IV-12 Comparaison des trois voyelles du Groupe Normal

3 Vowls OAF	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /i/	0.173	0.161	0.192	0.194
St.Dev	0.054	0.070	0.058	0.055
Average /a/	0.161	0.160	0.187	0.191
St.Dev	0.047	0.070	0.049	0.052
Average /u/	0.182	0.181	0.195	0.198
St.Dev	0.053	0.075	0.059	0.043

Pour les trois voyelles, les écart-types ont les valeurs les plus élevées au lendemain de l'opération. Ensuite, ils diminuent graduellement, sauf pour la voyelle /a/ en PO3, pour qui l'écart-type remonte. Cependant, la hausse est très légère (Figure IV-19).

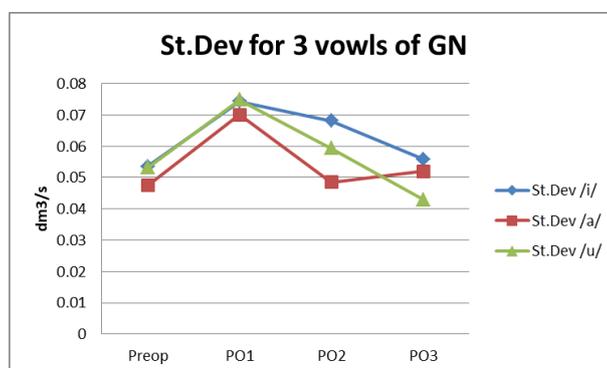


Figure IV-19 Ecart-types de l'OAF des 3 voyelles du Groupe Normal

Les patterns des courbes sont comparables, sauf pour le cas du /a/ en PO3.

Nous pouvons donc dire, pour résumer que :

Les valeurs moyennes de l'OAF des patients non paralysés n'augmentent pas tout de suite après l'opération. Au contraire, ces valeurs décroissent faiblement, puis montrent une augmentation significative en PO2. Cette augmentation continue progressivement en PO3.

L'écart-type de toutes les voyelles augmente à la première phase post-opératoire et décroît ensuite. Dans certains cas, il garde approximativement le même niveau en PO3 qu'en PO2.

Nous rappelons que la tendance de la valeur de l'OAF, est une valeur moyenne semblable pour de nombreux patients du Groupe Normal (GN). La tendance de chaque patient peut ainsi se fondre dans les données avec le traitement statistique. Étant donné que le nombre total des patients du GN est assez élevé les variations ne seraient pas claires si nous les montrions toutes sur une seule figure. Ainsi, nous sortons aléatoirement dix patients du Groupe Normal pour projeter leurs données. Sur les Figure IV-20, Figure IV-21 et Figure IV-22, nous pouvons ainsi observer les différentes tendances de variation des courbes chez ces dix patients.

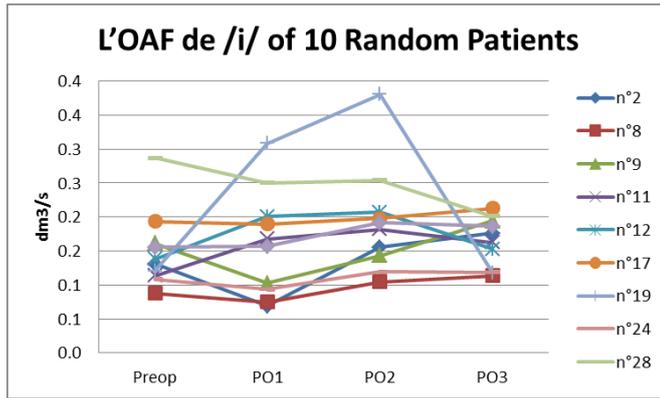


Figure IV-20 L'OAF du /i/ de 10 patients choisis aléatoirement

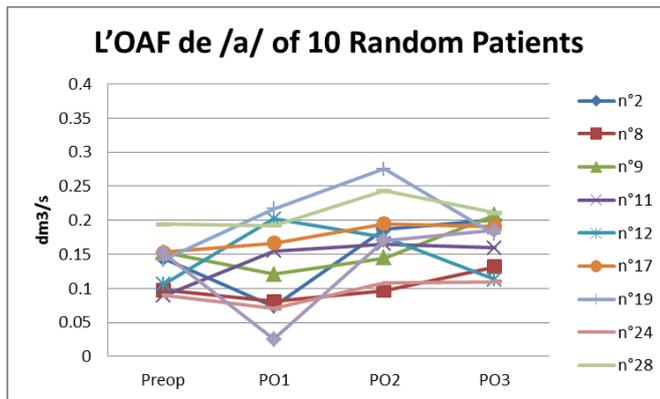


Figure IV-21 L'OAF du /a/ de 10 patients choisis aléatoirement

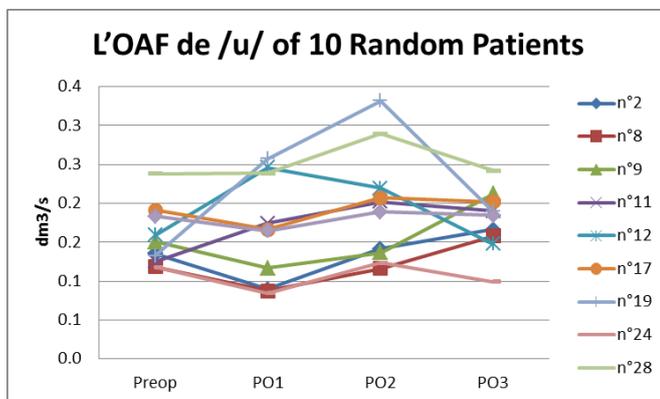


Figure IV-22 L'OAF du /u/ de 10 patients choisis aléatoirement

Les patients ajustent leurs stratégies après l'opération pour s'adapter à leurs nouvelles conditions tout au long de leur rétablissement. Les courbes sur la figure semblent très désordonnées. Cela signifie-t-il que le choix et le déploiement des stratégies chez ces patients sont aléatoires ?

Ci-dessous, nous présentons les valeurs de l'OAF de ces dix patients choisis al éatoirement *supra* dans les 3 figures. Les courbes de l'OAF des trois voyelles sont dans les mêmes figures, chaque figure correspondant aux données d'un seul patient (Figure IV-23 à IV-32). Dans les figures précédentes, chaque figure présentait les données d'une seule voyelle pour dix patients différents.

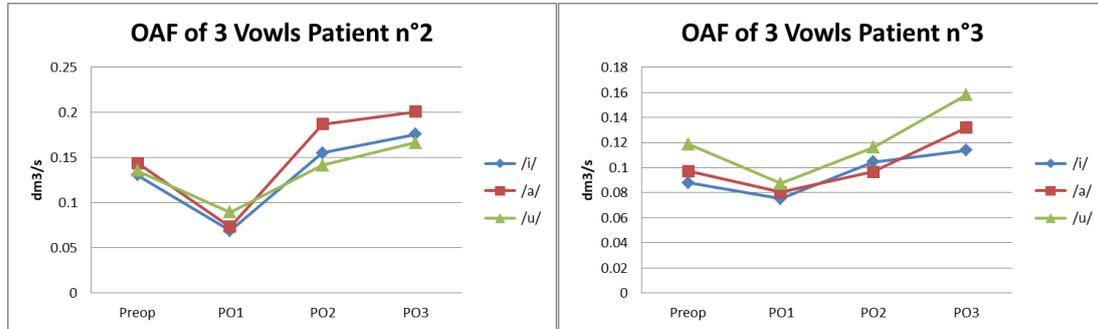


Figure IV-23 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°2

Figure IV-24 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°3

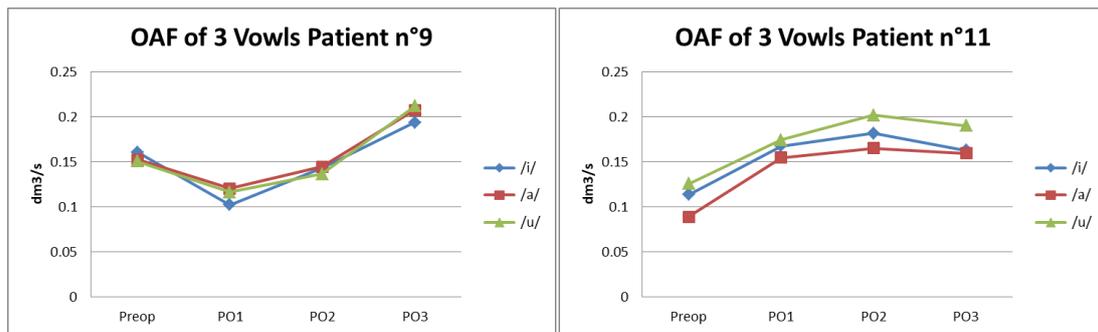


Figure IV-25 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°11

Figure IV-26 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°9

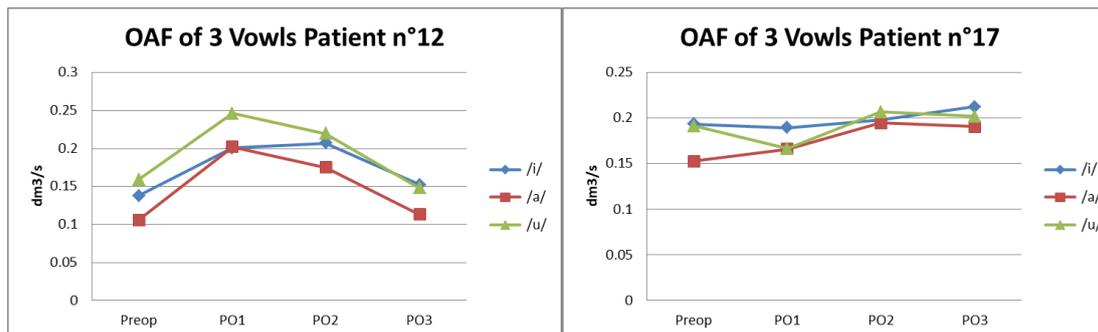


Figure IV-27 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°12

Figure IV-28 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°17

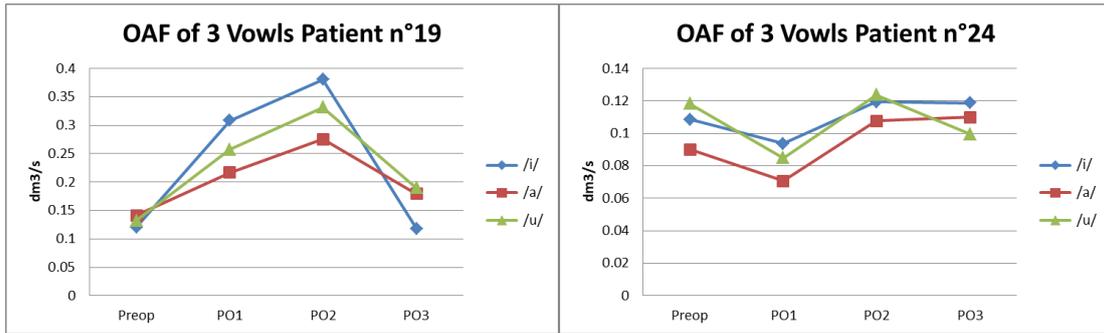


Figure IV-29 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n °24

Figure IV-30 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n °19

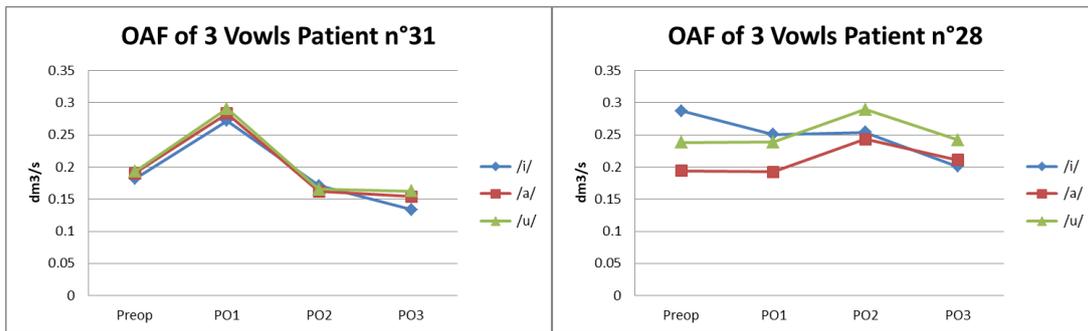


Figure IV-31 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n °28

Figure IV-32 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n °31

Sur cette série de figures, nous pouvons observer que les courbes des différentes voyelles prennent une forme presque parallèle ou quasiment superposée. Cela veut dire que les patients ont des réajustements compensatoires différents au niveau interindividuel, tandis qu'au niveau intraindividuel, un même patient utilise plus ou moins la même stratégie pour l'ensemble des trois voyelles.

Analyse des données de l'OAF du Groupe présentant une paralysie (GP)

Dans cette partie, les résultats des trois voyelles /i/, /a/ et /u/ des patients du Groupe présentant une paralysie sont présentés. Nous étudions les données de façon croisée afin d'observer les stratégies compensatoires des différents patients après l'opération. Le patient n°15 est une femme, et les patients n°4 et n°27 sont des hommes.

Les données de l'OAF de la voyelle /i/ du GP

Les trois patients ont des courbes avec des tendances variables (Figure IV-33) (tableau Tableau IV-13). Les différences de stratégies sont très marquées. En phase préopératoire, les valeurs des patients sont proches. En Preop, le patient n°4 est de 0.247 dm³/s, le

patient n° 15 est de 0.267 dm³/s et 0.191 dm³/s pour le patient n° 27. La première phase postopératoire (PO1) est celle où les patients affichent la divergence la plus importante. L'OAF augmente à 0.56 dm³/s pour le patient n° 4 et jusqu'à 1.172 dm³/s pour le patient n° 27. A l'inverse, celle du patient n° 15 baisse à 0.214 dm³/s durant cette phase. En PO2, la valeur du patient n° 27 continue d'augmenter, soit 1.311 dm³/s. Le patient n° 4 baisse à 0.234 dm³/s et le patient n° 15 augmente à 0.294 dm³/s. En PO3, la valeur du patient n° 27 a tendance à se rapprocher de son niveau préopératoire, elle baisse à 0.596 dm³/s, mais toujours loin de la valeur en Preop. Les courbes entre PO2 et PO3 pour les patients n° 4 et n° 15 sont presque parallèles. L'OAF de cette dernière phase est de 0.203 dm³/s pour le patient n° 4 et de 0.263 dm³/s pour le patient n° 15.

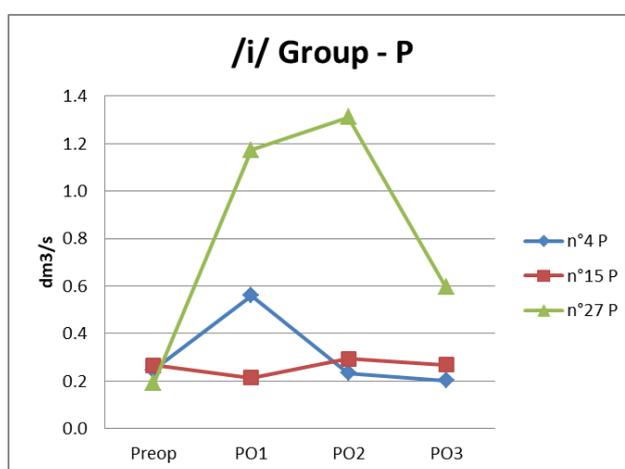


Figure IV-33 Résultats de l'OAF du /i/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-13 OAF de /i/ de trois patients paralysés

OAF /i/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.247	0.560	0.234	0.203
n°15 P	0.267	0.214	0.294	0.263
n°27 P	0.191	1.172	1.311	0.596

Les données de l'OAF de la voyelle /a/ du GP

Les courbes de ces trois patients (Figure IV-34) (Tableau IV-14) ont des tendances très variées comme pour la voyelle /i/ (voir *supra*). La différence interindividuelle la moins importante est celle observée durant la phase Preop. En Preop, l'OAF est respectivement de 0.209 dm³/s, 0.280 dm³/s et 0.184 dm³/s pour les patients n° 4, n° 15 et n° 27. Le patient n° 27 a l'augmentation la plus marquée parmi les 3 patients en PO1, soit à 0.762 dm³/s. Le patient n° 4 montre une augmentation de l'OAF moins importante que celle du

patient n°27, même si cette élévation reste très marquée, soit à 0.530 dm³/s. Le patient n°15 baisse à 0.207 dm³/s en PO1, ce qui correspond à une assez grande différence par rapport aux deux autres. Dans cette phase, la différence interindividuelle est bien visible. Cette différence diminue graduellement à partir de la PO2 jusqu'à la PO3 notamment entre les patients n°4 et n°15. En PO2, l'OAF du patient n°27 continue d'augmenter à 1.018 dm³/s. L'OAF du patient n°15 augmente aussi en PO2, à 0.352 dm³/s. Cet accroissement est beaucoup moins considérable que celui du patient n°27. En effet, pour le patient n°4, l'OAF est revenu à un niveau similaire à celui observé en Preop, soit à 0.175 dm³/s. Durant la dernière phase, les valeurs des différents patients se rapprochent. Une chute des valeurs est observée pour le patient n°27, soit à 0.538 dm³/s. La valeur du patient n°15 baisse à nouveau à 0.307 dm³/s et celle du patient n°4 remonte légèrement à 0.194 dm³/s.

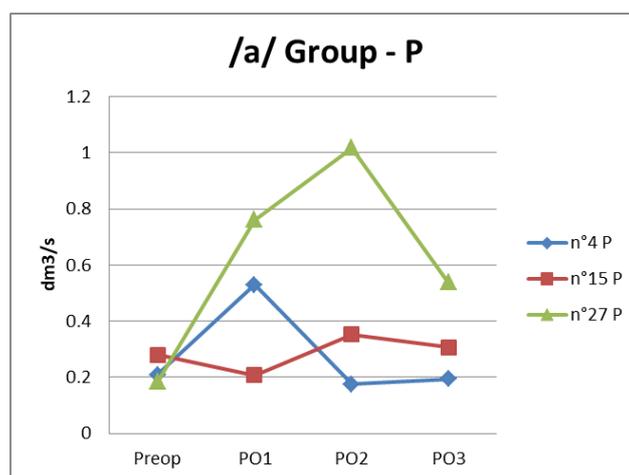


Figure IV-34 Résultats de l'OAF du /a/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-14 OAF de /a/ de trois patients paralysés

OAF /a/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.209	0.530	0.175	0.194
n°15 P	0.280	0.207	0.352	0.307
n°27 P	0.184	0.762	1.018	0.538

Les données de l'OAF de la voyelle /u/ du GP

Nous remarquons ici aussi que différentes stratégies sont adoptées par nos locuteurs, lors de la réalisation de la voyelle /u/ (Figure IV-35) (Figure IV-15). En Preop, l'OAF est respectivement de 0.209 dm³/s, 0.28 dm³/s et 0.184 dm³/s pour les patients n°4, n°15 et n°27. Pour le patient n°27, cette valeur continue à augmenter remarquablement durant

les deux phases suivantes, soit à 0.967 dm³/s en PO1 et à 1.262 dm³/s en PO2. Puis, cette valeur baisse à nouveau en PO3, soit à 0.689 dm³/s. Pour le patient n° 4, la valeur de l'OAF est deux fois plus élevée en PO1. En PO2 et PO3, elle diminue graduellement, soit à 0.293 dm³/s et 0.237 dm³/s. Comme pour les 2 voyelles précédentes, une tendance irrégulière est présente chez le patient n° 15. Une légère diminution des valeurs est remarquée en PO1. En PO2, elle remonte à 0.327 dm³/s, puis retombe à 0.287 en PO3.

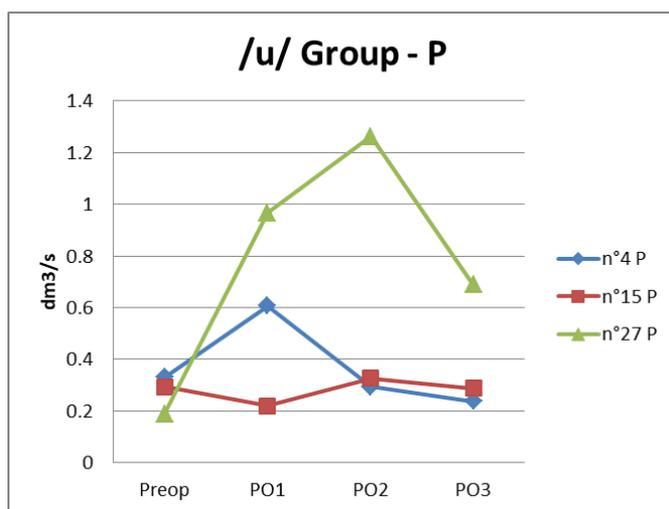


Figure IV-35 Résultats de l'OAF du /u/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-15 OAF de /u/ de trois patients paralysés

OAF /u/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.331	0.606	0.293	0.237
n°15 P	0.293	0.219	0.327	0.287
n°27 P	0.189	0.967	1.262	0.689

En guise de conclusion partielle...

Procédons ici à une étude croisée des données de l'OAF des trois voyelles extrêmes. Une telle analyse devrait nous permettre de mieux faire ressortir les tendances que les trajectoires des différents patterns suivent d'une phase à l'autre. Nous verrons aussi, en analysant les données des patients séparément, si des stratégies individuelles comparables sont déployées quelle que soit la voyelle produite.

Étude croisée de l'OAF des 3 voyelles du GP

Nous avons décrit les valeurs du Groupe présentant une paralysie après l'intervention en fonction des différentes voyelles (voir *supra*) (figure 9-35 à 9-37). Les courbes des trois patients paraissent effectivement chaotiques.

Cela dit, nous proposons ici de les comparer en modifiant notre angle d'analyse, pour voir s'ils suivent, comme pour le Groupe Normal, un modèle ou une tendance similaire dans l'évolution de leurs trajectoires.

Dans les figures ci-dessous (Figure IV-36 à Figure IV-38), nous présentons les valeurs de l'OAF des trois patients dans le Groupe présentant une paralysie (GP). Pour chaque patient, nous affichons l'OAF des trois voyelles dans les mêmes figures.

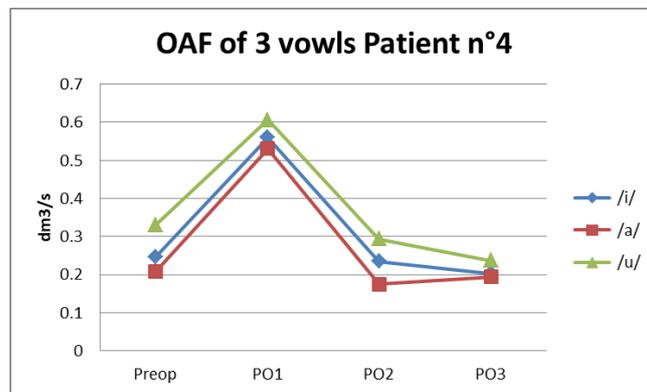


Figure IV-36 OAF des 3 voyelles du Patient n°4

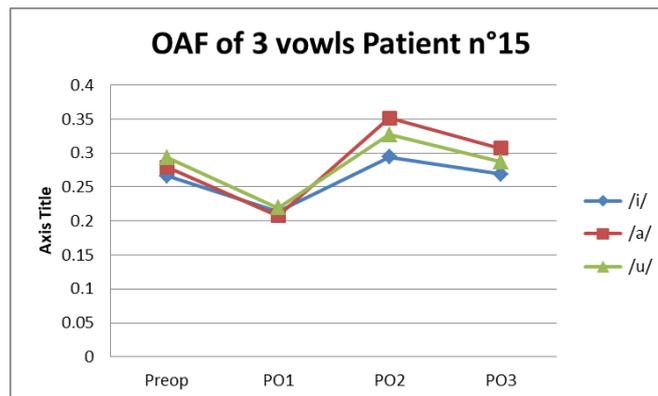


Figure IV-37 OAF des 3 voyelles du Patient n°15

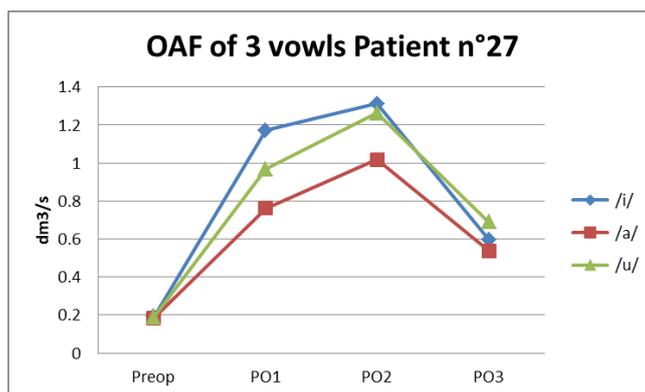


Figure IV-38 OAF des 3 voyelles du Patient n °27

À partir de ces figures, nous voyons que si nous classons les données par patient, les résultats sont similaires à ceux que nous avons obtenus pour le Groupe Normal. Les tendances de ces trois patients dans le Groupe présentant une paralysie sont différentes au niveau interindividuel, mais les tendances au niveau d'un seul patient pour les 3 voyelles sont similaires.

Nous pouvons dire que l'OAF de tous les patients se modifie après l'opération, quel que soit le groupe auquel ils appartiennent. Les différences interindividuelles de ces 2 groupes sont proches dans la phase préopératoire (Tableau IV-16, Tableau IV-17). À partir de la phase PO1, la divergence de la différence interindividuelle entre les 2 groupes augmente. Elle atteint sa valeur extrême en PO2, puis retombe à partir de PO3.

Tableau IV-16 Ecart-types de l'OAF de 3 voyelles du Groupe présentant une paralysie

GP dm³/S	Preop	PO1	PO2	PO3
St.Dev /i/	0.039	0.485	0.605	0.210
St.Dev /a/	0.050	0.278	0.444	0.175
St.Dev /u/	0.074	0.374	0.550	0.248

Tableau IV-17 Ecart-types de l'OAF de 3 voyelles du Groupe Normal

GN dm³/S	Preop	PO1	PO2	PO3
St.Dev /i/	0.054	0.074	0.068	0.056
St.Dev /a/	0.047	0.070	0.049	0.052
St.Dev /u/	0.053	0.075	0.059	0.043

Puis, pour les patients des deux groupes, normal ou paralysé ils appliquent des stratégies compensatoires différentes pour maintenir une phonation plus proche de celle d'avant l'opération. Néanmoins, si les patients ont des réajustements différents aux niveaux inter-individuel et intra-individuel, cela reste quasiment équivalent. Pour les deux groupes, un

même patient déploie la même stratégie pour les trois voyelles. Les comportements sont comparables dans les deux groupes.

Nous observons certains cas atypiques dans le Groupe Normal et dans le Groupe présentant une paralysie. On constate que certains cas observés dans le Groupe Normal sont comparables avec des cas du le Groupe présentant une paralysie.

Comme nous pouvons le voir sur les trois figures, ce phénomène se produit pour les trois voyelles.

Nous rappelons que pour la voyelle /i/, du patient n° 15 du Groupe présentant une paralysie est à 0.267 dm³/s en Preop, et à 0.214 dm³/s, 0.294 dm³/s, 0.269 dm³/s en PO1, PO2 et PO3.

Par rapport à ces données, les valeurs obtenues à partir de la même voyelle produite par les patients n° 1 et n° 26 du Groupe Normal, sont plus importantes (Figure IV-39 Valeurs atypiques (AT) du /i/ dans le Groupe Normal) (Tableau IV-18).

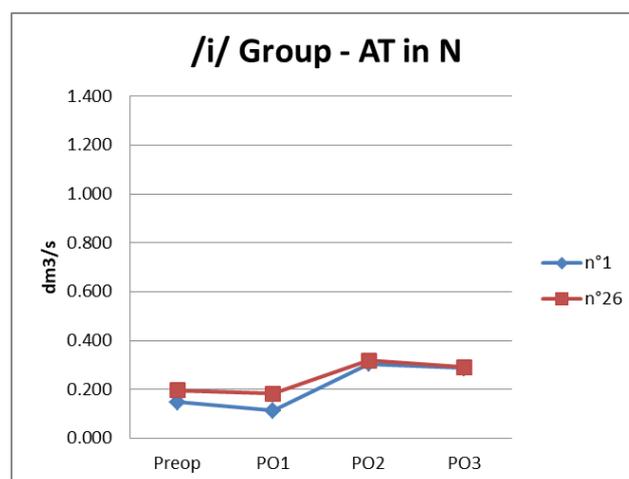


Figure IV-39 Valeurs atypiques (AT) du /i/ dans le Groupe Normal

Tableau IV-18 Valeurs atypiques (AT) du /i/ dans le Groupe Normal

ONE /i/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°1	0.1472	0.1124	0.3044	0.2868
n°26	0.1964	0.1816	0.3178	0.291

Les patients n° 1, n° 26 du Groupe Normal dont les valeurs sont respectivement à 0.147 dm³/s et 0.196 dm³/s, présentent un abaissement en PO1, soit à 0.112 dm³/s et à 0.182

dm³/s. L'OAF augmente en PO2 et diminue en PO3, soit à 0.304 dm³/s et à 0.318 dm³/s en PO2, et à 0.287 dm³/s et à 0.291 dm³/s en PO3.

Les voyelles /a/ et /u/ affichent des patterns similaires.

Pour la voyelle /a/, l'OAF du patient n° 15 du Groupe présentant une paralysie est mesuré à 0.280 dm³/s en Preop. Pour la voyelle /a/, les valeurs sont respectivement de 0.207 dm³/s, 0.352 dm³/s, 0.307 dm³/s en PO1, PO2 et PO3.

En PO1, les valeurs des patients n° 1, n° 19 et n° 28 du Groupe Normal sont respectivement à 0.198 dm³/s, 0.141 dm³/s et 0.194 dm³/s. En PO1, ces trois patients présentent des tendances différentes : la valeur du patient n° 28 en PO1 (0.192 dm³/s) est presque identique à celle mesurée en Preop ; le patient n° 1 montre une diminution importante par rapport à son niveau de Preop, soit à 0.080 dm³/s en PO1 ; la valeur du patient n° 19 est plus élevée en PO1 qu'en Preop, soit à 0.217 dm³/s. Les trois courbes montrent une tendance convergente en PO2 et le point de convergence de la PO2 est plus haut que celui de la Preop (Figure IV-40) (Tableau IV-19).

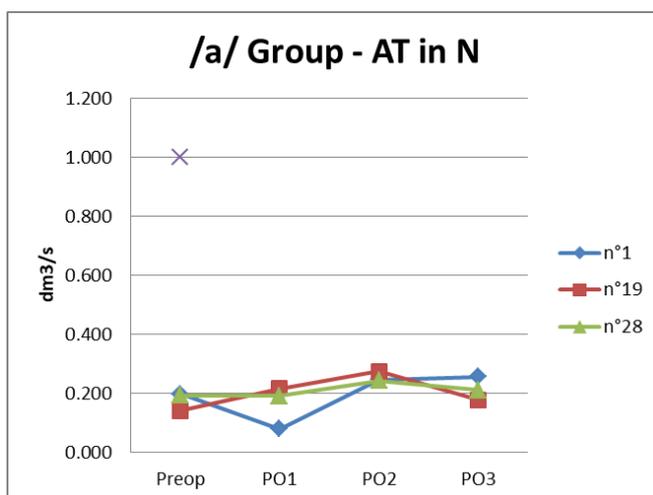


Figure IV-40 Valeurs atypiques du /a/ dans le Groupe Normal

Tableau IV-19 Valeurs atypiques (AT) du /a/ dans le Groupe Normal

OAF /a/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°1	0.198	0.080	0.246	0.257
n°19	0.141	0.217	0.275	0.179
n°28	0.194	0.192	0.243	0.211

Les valeurs des patients n° 19 et n° 28 baissent en PO3, soit à 0.179 dm³/s et à 0.211 dm³/s. Le niveau du patient n° 1 continue d'augmenter légèrement en PO3, soit à 0.257 dm³/s.

Ces valeurs atypiques post-opératoires sont moins importantes que celles du patient n° 15 (GP), mais elles restent proches.

Pour la voyelle /u/, l'OAF du patient n° 15 du Groupe présentant une paralysie est à 0.293 dm³/s en Preop, puis à 0.219 dm³/s, 0.327 dm³/s et 0.287 dm³/s en PO1, PO2 et PO3.

Dans le Groupe Normal (GN), les valeurs de certains patients peuvent dépasser ou se rapprocher de celles du patient n° 15 du GP.

Les patients n° 26 et n° 28 du Groupe Normal (Figure IV-41) (Tableau IV-20) présentent respectivement des valeurs en PO1 à 0.276 dm³/s et 0.238 dm³/s. En PO1, le patient n° 28 garde une valeur (0.239 dm³/s) similaire à celle de la Preop ; nous pouvons constater une diminution à 0.199 dm³/s chez le patient n° 26 en PO1. Les segments des deux courbes sont presque superposés entre PO2 et PO3. En PO2, les patients n° 26 et n° 28 ont des valeurs plus élevées, soit à 0.304 dm³/s et à 0.290 dm³/s. En PO3, elles diminuent à 0.252 dm³/s et à 0.242 dm³/s ce qui correspond à des valeurs comparables avec celles de la phase Preop.

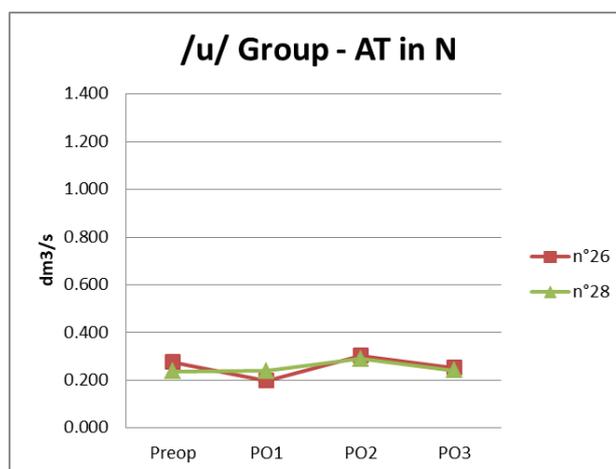


Figure IV-41 Valeurs atypiques (AT) du /u/ dans le Groupe Normal

Tableau IV-20 Valeurs atypiques (AT) du /u/ dans le Groupe Normal

CAF /u/	Preop	FO1	FO2	FO3
n°26	0.276	0.199	0.304	0.252
n°28	0.238	0.239	0.290	0.242

Pour résumer...

L'OAF de toutes les voyelles analysées baissent durant la première phase post-opératoire (PO1). Les valeurs montrent également une tendance à se converger à partir de PO1. Puis, cette convergence augmente graduellement lors des phases suivantes. Durant la dernière phase, les trois valeurs moyennes sont très similaires.

Pour les trois voyelles, les écart-types ont les valeurs les plus élevées au lendemain de l'opération. Ensuite, ils diminuent graduellement.

Les patients ajustent leurs stratégies après l'opération pour s'adapter à leurs nouvelles conditions tout au long de leur rétablissement. Les patients ont des réajustements compensatoires différents au niveau interindividuel, tandis qu'au niveau intra-individuel, un même patient utilise plus ou moins la même stratégie pour l'ensemble des trois voyelles.

Nous pouvons dire que l'OAF de tous les patients se modifie après l'opération, quel que soit le groupe auquel ils appartiennent. Les différences interindividuelles de ces 2 groupes sont proches dans la phase préopératoire.

Comparaison des deux genres d'OAF : OAF soutenue vs. OAF du MPT

Pour mieux comparer les données aérodynamiques de l'OAF de la voyelle soutenue avec celles obtenues en MPT, nous plaçons les deux séries de données dans la même figure (Figure IV-42).

Nous arrivons ainsi à observer les faits suivants :

Pour le Groupe Normal (GN), les trajectoires des deux courbes sont presque parallèles en Preop, PO1 et PO2. Cependant, les données de la voyelle du MPT sont toujours inférieures à celle de la voyelle soutenue avec un décalage constant.

Ce phénomène peut être expliqué par le fait que les patients utilisent des stratégies légèrement différentes lors de la mesure du MPT, l'objectif étant d'économiser l'air autant que possible pour assurer une phonation plus longue et plus stable. Dans le cas de l'OAF, l'objectif est de maintenir une phonation plus standard.

Les deux courbes convergent en PO3 à une valeur presque identique, soit à 0.191 dm³/s pour la voyelle soutenue et à 0.190 dm³/s pour la voyelle du MPT (Tableau IV-21). Cette convergence est une preuve d'un certain rétablissement et d'un équilibre que les patients obtiennent à travers les deux types de stratégie. En d'autres termes, ils arrivent à atteindre ces deux objectifs en même temps.

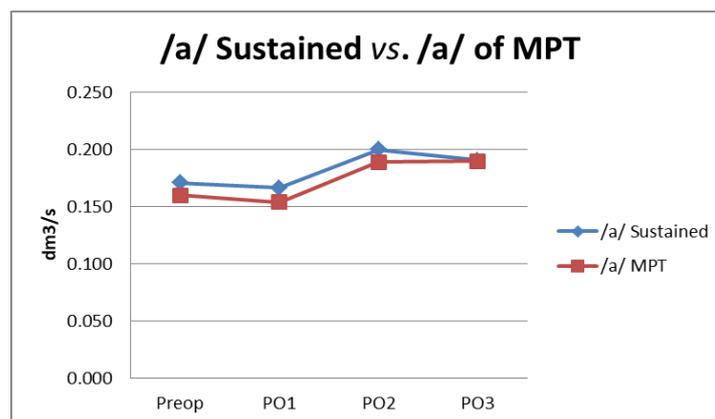


Figure IV-42 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (GN)

Tableau IV-21 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (GN)

OAF dm ³ /s	Preop	PO1	PO2	PO3
/a/ Sustained	0.171	0.167	0.200	0.191
St.Dev	0.054	0.074	0.068	0.056
/a/ MPT	0.160	0.154	0.189	0.190
St.Dev.	0.059	0.068	0.056	0.074

Pour le Groupe présentant une paralysie (GP), la situation est plus compliquée, comme le montrent les trois figures suivantes (Figure IV-43 à Figure IV-45).

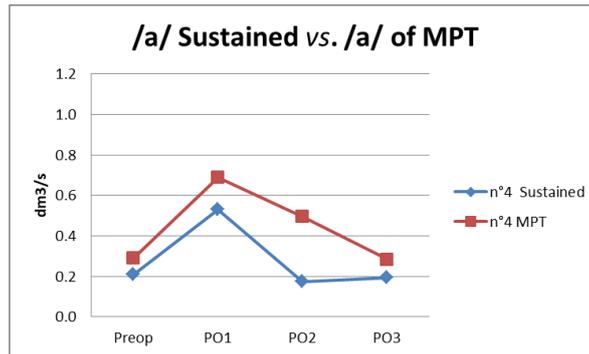


Figure IV-43 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°4 du GP)

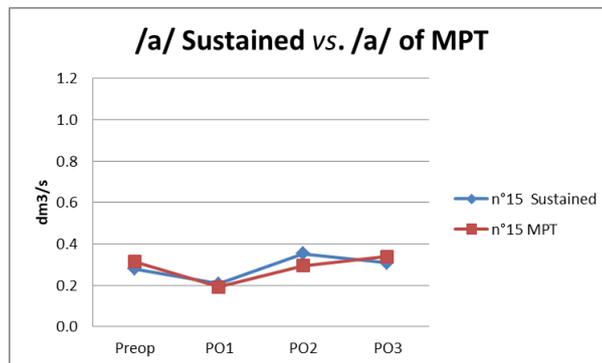


Figure IV-44 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°15 du GP)

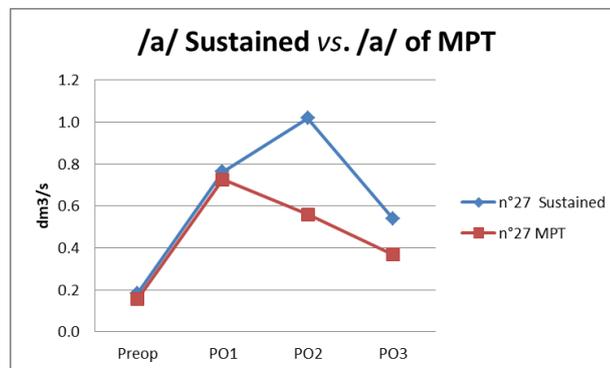


Figure IV-45 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°27 du GP)

L'OAF de la voyelle pendant la réalisation du MPT des patients du Groupe présentant une paralysie n'est pas forcément inférieure à celui de la voyelle soutenue. La valeur de l'OAF du patient n° 4 en Preop est supérieure à celle de la voyelle soutenue. Cela peut être la conséquence d'une différence intra-individuelle. Le décalage est plus conséquent en PO1. Des activités irrégulières du larynx peuvent provoquer des instabilités de consommation d'air au cours des phases post-opératoires. Les trois patients du GP présentent tous un décalage plus important en PO2. Nous y voyons deux raisons possibles : soit le symptôme de la faiblesse vocale n'a pas été remarqué immédiatement après l'intervention, soit le symptôme de la faiblesse vocale est déjà apparu après l'intervention mais les patients n'ont pas encore trouvé les stratégies appropriées pour compenser cette nouvelle situation. Pour en trouver la cause, il faudrait disposer de plus de données et conduire des examens neurologiques dans des recherches à venir.

Ce décalage diminue en PO3 pour de multiples raisons. Le rétablissement semble se mettre en œuvre au fur et à mesure et les stratégies sont optimisées pour qu'elles soient le plus économiques possible au niveau de la consommation d'air.

Examinons maintenant un autre paramètre, le Pic du débit d'air oral qui renseigne spécifiquement sur la production des consonnes.

4. Le Pic du débit d'air oral (PIC) des consonnes

Cette expérience permet de découvrir l'impact d'une thyroïdectomie sur le pic du débit d'air oral (Pic), lors de la production de consonnes. En raison du démarrage inertiel des vibrations des plis vocaux, le Pic pourrait être plus ou moins important pour certaines consonnes, afin de compenser l'immobilité laryngale de la fermeture (obstruction) des plis vocaux (l'effet Bernoulli, voir *supra*). Il y aurait probablement une différence de valeurs du Pic entre consonnes voisées et consonnes non voisées.

En ce qui concerne cette investigation, 31 patients au total y ont participé. Il y a 27 patients dans le Groupe Normal (20 féminins, 7 masculins), 4 patients dans le Groupe présentant une paralysie (1 féminin, 3 masculins).

La tâche est de prononcer les logatomes sous la forme de séquences /a/C/a/. Les consonnes sont 6 occlusives /p/, /t/, /k/, /b/, /d/, /g/ et 6 fricatives /f/, /v/, /s/, /z/, /ʃ/, /ʒ/.

Nous avons obtenu 5 répétitions par consonne. Pour 30 patients, nous avons pu avoir 1800 mesures au total.

Les consonnes seront présentées d'abord sous la forme de paires : /b/ vs. /p/ ; /d/ vs. /t/ ; /g/ vs. /k/ et /v/ vs. /f/ ; /z/ vs. /s/ ; /ʒ/ vs. /ʃ/. Ces paires sont étudiées en termes des deux catégories majeures : les consonnes occlusives et les consonnes fricatives. Nous proposons d'observer, dans un premier temps, les valeurs moyennes à partir des différentes productions par les deux groupes de patients séparément. Cela devrait permettre de mettre au jour différentes tendances éventuelles au sein d'un groupe de patients. Dans un second temps, nous chercherons concrètement des cohérences dans les stratégies, mais aussi des divergences, ce qui nous permettrait d'aboutir à une analyse plus fine.

Dans cette expérience, nous présenterons une grande quantité de données. Nous tâcherons, toutefois, de ne pas rendre la lecture trop ébarbative.

Analyse des données du Pic du Groupe Normal (Groupe N)

Nous étudions dans cette section les données des patients normaux. Lorsque deux courbes sont proches dans une figure, les segments représentant l'écart-type se superposeront, en conséquence les informations relatives à l'écart-type ne seront pas affichées dans les figures, cela pour assurer une meilleure lecture des courbes.

Les données du Pic de la paire /b/ vs. /p/ du GN

Pour la consonne /b/, à travers l'analyse par *Box Plot*, nous observons que la valeur n° 18, correspondant à la valeur du patient n° 21, semble être erratique (Figure IV-46). Après des analyses manuelles des valeurs de ce patient, nous ne considérons pas qu'il s'agisse d'une anomalie. Cette valeur n'est donc pas éliminée du calcul de la valeur moyenne ni de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées à partir de 26 valeurs.

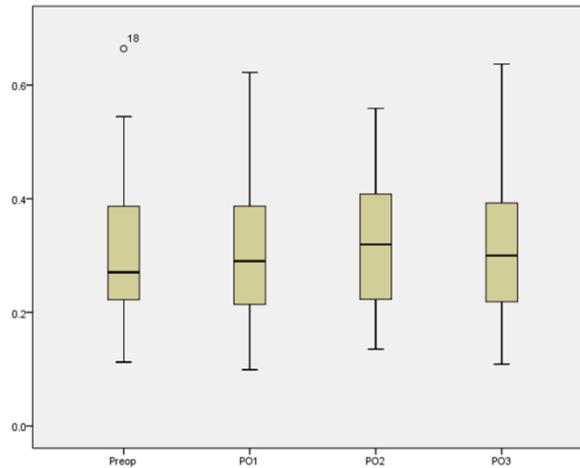


Figure IV-46 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Pic du /b/ du Groupe Normal

Ensuite, pour la consonne /p/, à travers l'analyse par *Box Plot*, nous observons que la valeur n° 11, correspondant à la valeur du patient n° 13, est anormale (Figure IV-47). Notre inspection des données nous indique que cette valeur est toutefois admissible pour l'analyse statistique. Cette valeur n'est donc pas éliminée du calcul de la valeur moyenne ni de la statistique. Les analyses ont été effectuées à partir de 25 valeurs.

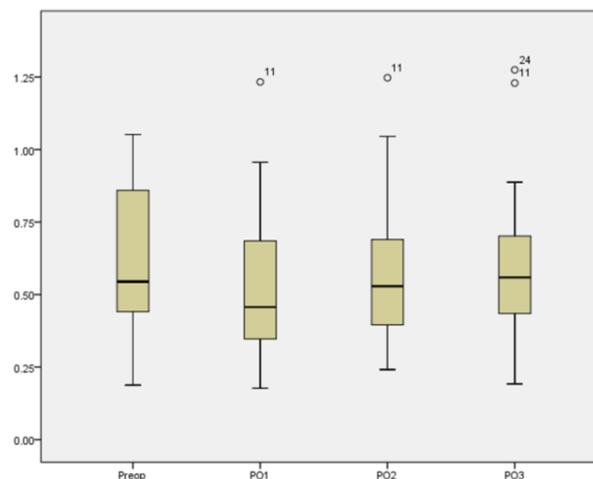


Figure IV-47 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs de Pic du /p/ du Groupe Normal

En Preop, les valeurs du Pic de l'OAF (Figure IV-48) (Tableau IV-22) des consonnes /b/ et /p/ sont de $0.305 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.128) pour /b/ et $0.588 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.250) pour /p/. Elles diminuent ensemble à la première phase d'après l'opération. Néanmoins, la valeur de /p/ chute beaucoup plus que celle de /b/ (dont la baisse est très légère), soit à $0.296 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.125) pour /b/ et à $0.486 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.201) pour /p/. En PO2, les 2 valeurs remontent ; celle de /b/ dépasse son état préopératoire, soit à $0.313 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.114) et celle de /p/ monte à 0.547

dm³/s (0.207). À la dernière phase, la valeur de /b/ baisse à nouveau à 0.310 dm³/s (0.116) et celle de /p/ continue à augmenter jusqu'à 0.578 dm³/s (0.237). Les 2 valeurs reviennent aux niveaux comparables à leurs niveaux d'avant l'opération.

Les différences inter-individuelles de ces deux consonnes diminuent toutes après l'intervention. La valeur de /p/ continue à s'élever pendant les 3 phases postopératoires pour approcher le niveau de la Preop. L'écart-type de /b/ baisse encore en PO2, soit à 0.114 dm³/s, puis il garde le même niveau en PO3, soit à 0.116 dm³/s.

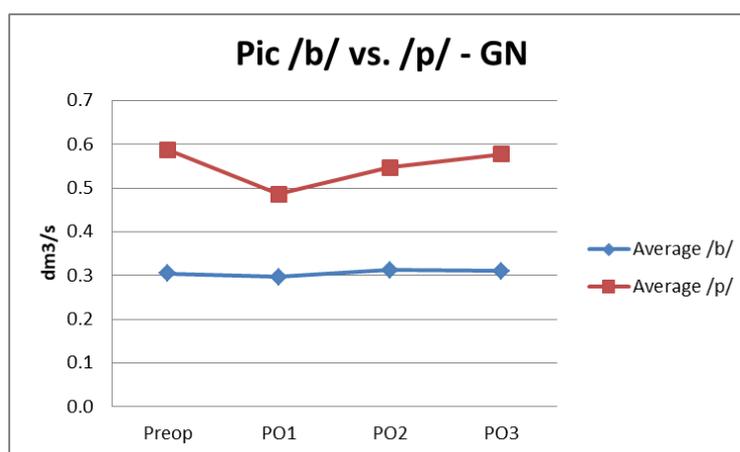


Figure IV-48 Résultat du Pic de l'OAF de /b/ vs. /p/ du Groupe Normal

Tableau IV-22 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /b/ vs. /p/ du Groupe Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /b/	0.305	0.296	0.313	0.310
St.Dev /b/	0.128	0.125	0.114	0.116
Average /p/	0.588	0.486	0.547	0.578
St.Dev /p/	0.250	0.201	0.207	0.237

Pour le patient n ° 13 (Figure IV-49) (Tableau IV-23), la valeur est plus importante que la valeur moyenne de la Preop, soit 0.880 dm³/s. En examinant le résultat de l'OAF du GN (voir *supra*), nous pensons que la valeur anormale du patient n ° 13 pourrait provenir d'une mauvaise compréhension des consignes de l'expérience. En effet, sa valeur en Preop est très élevée par rapport à la valeur moyenne. Lors de la phase PO1, elle chute largement, puis la fluctuation dans les trois phases post-opératoires se situe toujours dans une fourchette normale. Cependant, dans cette expérience, la valeur du patient n ° 13 augmente en PO1, par rapport à son niveau en Preop, soit de 0.88 dm³/s jusqu'à 1.233 dm³/s en PO1. Puis, la valeur se maintient à ce niveau, soit 1.247 dm³/s en PO2 et à 1.299 dm³/s en PO3.

Ainsi, il ne s'agirait probablement pas d'une erreur de compréhension ni d'enregistrement, mais simplement d'un cas atypique dans le Groupe Normal.

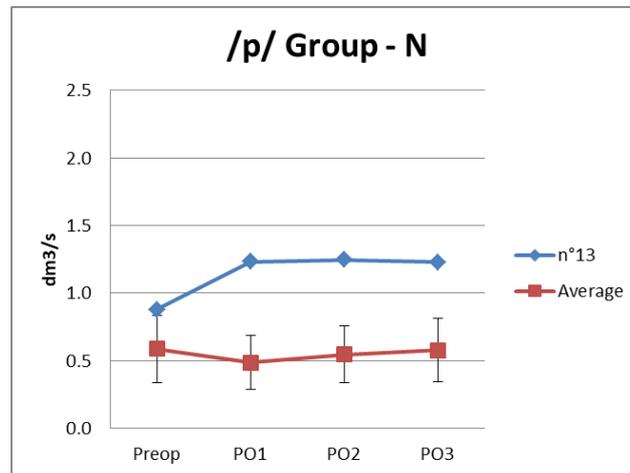


Figure IV-49 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /p/ du patient n° 13 du Groupe Normal

Tableau IV-23 Valeur anormale de l'OAF du patient n° 13 du Group Normal

Pic /p/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°13	0.880	1.233	1.247	1.229

Analyse statistique des données du Pic de la paire /b/ vs. /p/ du GN

Pour la consonne /b/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) selon *le test de Shapiro-Wilk*.

À travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=3.424$, $P=0.635$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.30 ± 0.13 , 0.29 ± 0.13 , 0.31 ± 0.11 , 0.31 ± 0.12 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3, 75) = 6.155$, $P = 0.853 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Pour la consonne /p/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) suivant *le test de Shapiro-Wilk*.

À travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=5.447$, $P=0.364$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.58 ± 0.25 , 0.48 ± 0.20 , 0.55 ± 0.21 , 0.58 ± 0.24 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur $F(3, 72) = 4.700$, $P = 0.005 < 0.05$.

Selon le test *post-hoc* Bonferroni, la différence des valeurs de l'OAF entre Preop et PO1, PO1 et PO3 est statistiquement significative (les valeurs de P sont respectivement de 0.037, 0.008). La valeur de PO1 est de 0.102 de plus que celle de Preop (intervalle de confiance 95%: 0.004-0.199). La valeur de PO3 est de 0,092 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.019-0.165). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres combinaisons de phases.

Les valeurs du Pic de la paire /d/ vs. /t/ du GN

Pour la consonne /d/ d'abord, à travers l'analyse par *Box Plot* (Figure IV-50), on constate qu'il n'existe pas de valeurs anormales. Les analyses ont été effectuées avec l'ensemble des 26 valeurs.

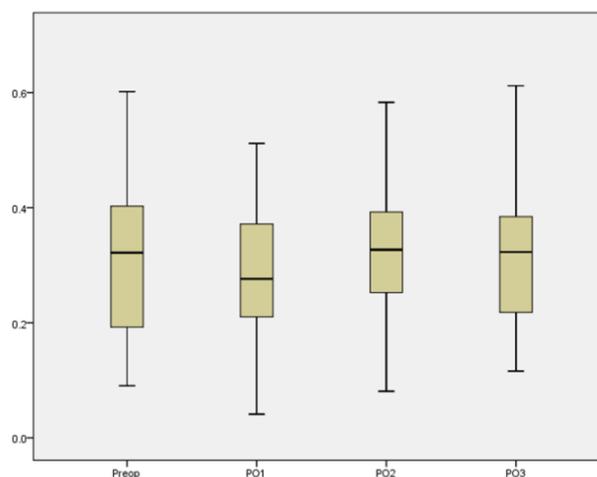


Figure IV-50 Résultat de l'analyse par *Box Plot* des valeurs du Pic de /d/ du Groupe Normal

Ensuite, pour la consonne /t/, à l'aide de l'analyse par *Box Plot* (Figure IV-51), nous n'observons pas non plus de valeurs anormales. Les analyses ont été effectuées à partir des 26 valeurs, comme pour la consonne /d/.

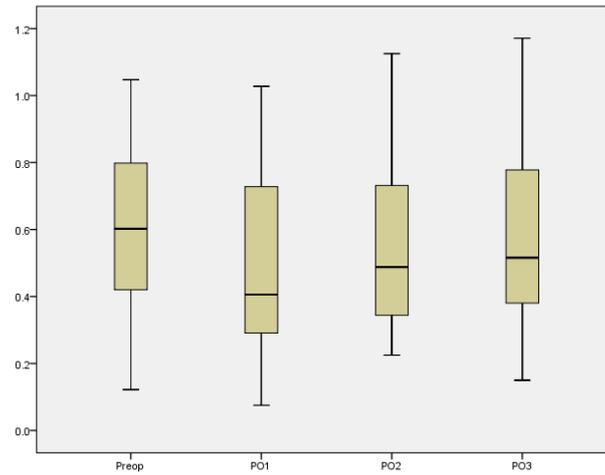


Figure IV-51 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic de /t/ du Groupe Normal

Les valeurs du Pic de l'OAF (Figure IV-52) (Tableau IV-24) des consonnes /d/ et /t/ sont respectivement de 0.312 dm³/s (0.134) et 0.577 dm³/s (0.244) avant l'opération. À la PO1, la valeur de /t/ chute à 0.496 dm³/s (0.276), celle de /d/ diminue à 0.289 dm³/s (0.126). En PO2, le pic de l'OAF de /d/ augmente en dépassant son niveau initial en Preop, soit à 0.321 dm³/s (0.122). Pour /t/, cette valeur augmente en se rapprochant de celle observée en Preop, soit à 0.543 dm³/s (0.247), mais elle ne la dépasse pas. À la PO3, la valeur de /d/ diminue et correspond à la valeur en Preop, soit à 0.313 dm³/s (0.128). La valeur de /t/ continue d'augmenter légèrement jusqu'à 0.565 dm³/s (0.251), puis revient finalement à un niveau comparable à celle de la Preop.

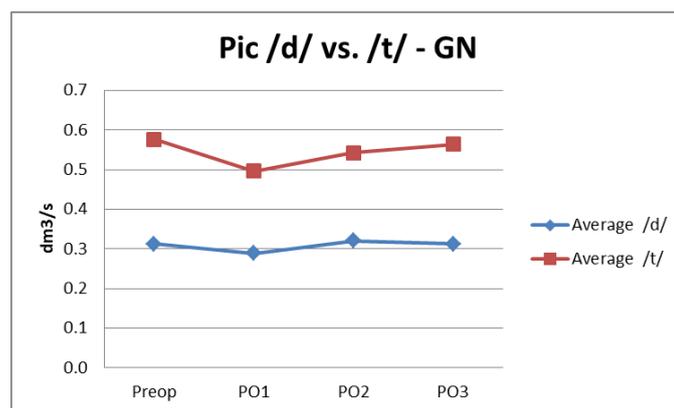


Figure IV-52 Résultat du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du Groupe Normal

Tableau IV-24 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du Group Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /d/	0.312	0.289	0.321	0.313
St.Dev /d/	0.134	0.126	0.122	0.128
Average /t/	0.577	0.496	0.543	0.565
St.Dev /t/	0.244	0.276	0.247	0.251

La différence inter-individuelle des valeurs (écart-type) de la consonne /d/ diminue après l'opération, de 0.134 dm³/s en Preop à 0.126 dm³/s en PO1. Pour les 2 phases suivantes, elle ne fluctue pas remarquablement, soit à 0.122 dm³/s en PO2 et à 0.128 dm³/s en PO3. Cet écart-type de la consonne /t/ augmente après l'opération, de 0.244 dm³/s en Preop à 0.276 dm³/s en PO1. La valeur baisse à nouveau en PO2, soit à 0.247 dm³/s, et elle se maintient plus ou moins au même niveau en PO3, soit à 0.251 dm³/s.

Analyse statistique des données du Pic de la paire /d/ vs. /t/ du GN

Pour la consonne /d/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) comme l'indique *le test de Shapiro-Wilk*.

Par *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=2.612$, $P=0.760$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.31 ± 0.13 , 0.29 ± 0.13 , 0.32 ± 0.12 , 0.31 ± 0.13 (dm³/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3, 75) = 0.843$, $P = 0.475 > 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Pour la consonne /t/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) à partir du *test de Shapiro-Wilk*.

Par *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=2.583$, $P=0.764$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement 0.58 ± 0.24 , 0.50 ± 0.28 , 0.54 ± 0.25 , 0.56 ± 0.25 (dm³/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la

différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3, 75) = 2.5$, $P = 0.066 > 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Les données du Pic de la paire /g/ vs. /k/ du GN

Pour la consonne /g/, selon l'analyse par *Box Plot* (Figure IV-53), il n'existe pas de valeur anormale. Les analyses ont été effectuées avec les 26 valeurs.

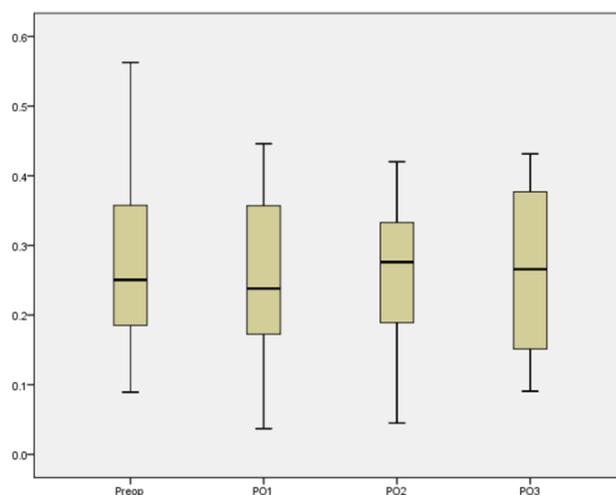


Figure IV-53 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /g/ du Groupe Normal

Pour la consonne /k/, suivant la même analyse (Figure IV-54), il n'existe pas non plus de valeur anormale. Les analyses ont été effectuées également avec les 26 valeurs.

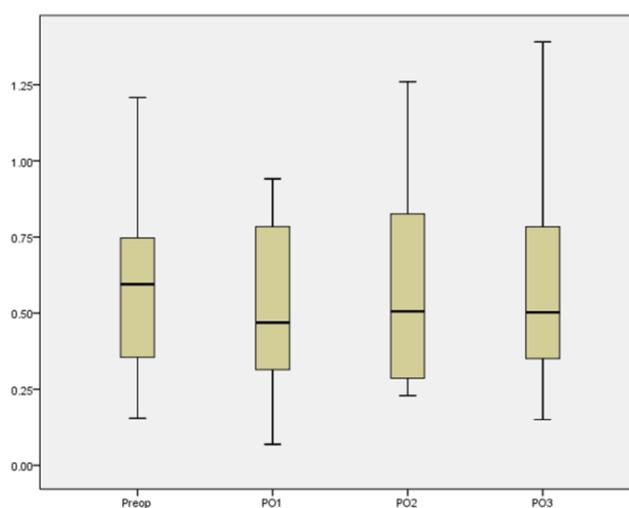


Figure IV-54 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /k/ du Groupe Normal

En Preop, la valeur du Pic de l'OAF (Figure IV-55) (Tableau IV-25) est de 0.266 dm³/s (0.118) pour la consonne /g/ et 0.582 dm³/s (0.272) pour la consonne /k/. Ces deux valeurs diminuent à la première phase après l'opération (PO1), soit à 0.251 dm³/s (0.114) pour /g/ et à 0.514 dm³/s (0.266) pour /k/. À partir de la PO2, ces deux valeurs se stabilisent relativement autour de leurs niveaux préopératoires. La valeur de /g/ est de 0.263 dm³/s (0.101) et 0.261 dm³/s (0.112) respectivement en PO2 et en PO3. Celle de /k/ est de 0.587 dm³/s (0.289) et 0.573 dm³/s (0.298) respectivement dans ces deux dernières phases.

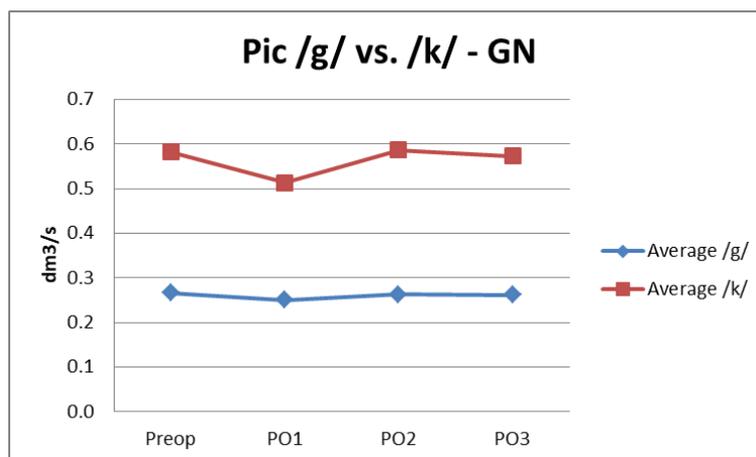


Figure IV-55 Résultat du Pic de l'OAF de /g/ vs. /k/ du Groupe Normal

Tableau IV-25 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /g/ vs. /k/ du Groupe Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /g/	0.266	0.251	0.263	0.261
St.Dev /g/	0.118	0.114	0.101	0.112
Average /k/	0.582	0.514	0.587	0.573
St.Dev /k/	0.272	0.266	0.289	0.298

La différence inter-individuelle maintient le même niveau pour la consonne /g/ après la Preop, soit à 0.118 dm³/s en Preop et à 0.114 dm³/s en PO1. En PO2, cette différence est plus petite, soit à 0.101 dm³/s, mais elle remonte en PO3 vers son état initial. En ce qui concerne la consonne /k/, la différence inter-individuelle diminue en PO1, soit à 0.266 dm³/s, par rapport à la Preop, où elle était à 0.272 dm³/s. À partir de la PO2, cette valeur dépasse celle de la Preop, soit à 0.289 dm³/s, puis elle continue à augmenter en PO3 (0.298 dm³/s).

Analyse statistique des données du Pic de la paire /g/ vs. /k/ du GN

Pour la consonne /g/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) comme le révèle le test de Shapiro-Wilk.

À travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=4.764$, $P=0.446$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.27 ± 0.12 , 0.25 ± 0.11 , 0.26 ± 0.10 , 0.26 ± 0.11 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,75)=6.155$, $P=0.843 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Pour la consonne /k/, les valeurs de chaque groupe obéissent également à une distribution normale ($P > 0,05$) suivant le test de Shapiro-Wilk.

Puis, à travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=12.048$, $P=0.034$).

Ces valeurs ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons par la méthode Greenhouse & Geisser : $\epsilon=0.736$.

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.58 ± 0.27 , 0.51 ± 0.27 , 0.58 ± 0.29 , 0.57 ± 0.30 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur F ajustée (2.209, 55.222) = 1.922, $P=0.152 > 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Les valeurs du Pic de la paire /v/ vs. /f/ du GN

Pour la consonne /v/, à travers l'analyse par *Box Plot*, nous observons que la valeur n° 18, correspondant à la valeur du patient n° 21, est largement biaisée (Figure IV-56). Après inspection des données de ce patient, nous considérons que les raisons de cette anomalie sont liées à des facteurs involontaires lors de l'obtention des données. Cette valeur a donc été éliminée du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec 25 valeurs.

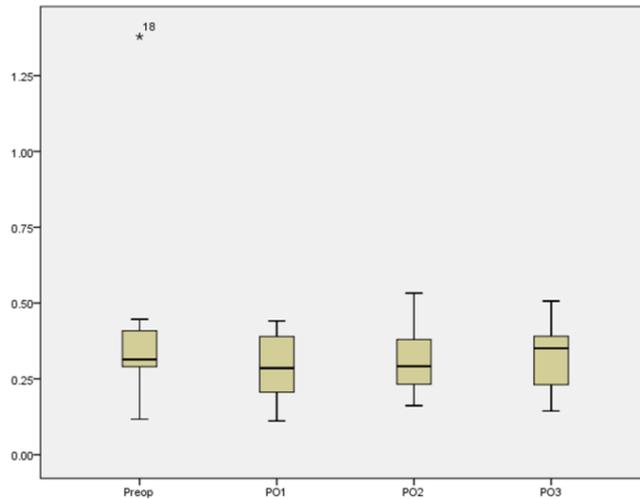


Figure IV-56 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic de /v/ du Groupe Normal

Ensuite, en ce qui concerne la consonne /f/, à travers l'analyse par Box Plot (Figure IV-57), nous observons que la valeur n°24, correspondant à la valeur du patient n°28, est anormale dans chaque phase d'enregistrement. Après examen des données de ce patient, nous considérons que les raisons sont les mêmes que dans le cas précédent, donc cette valeur a été elle aussi, éliminée du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec les 25 valeurs.

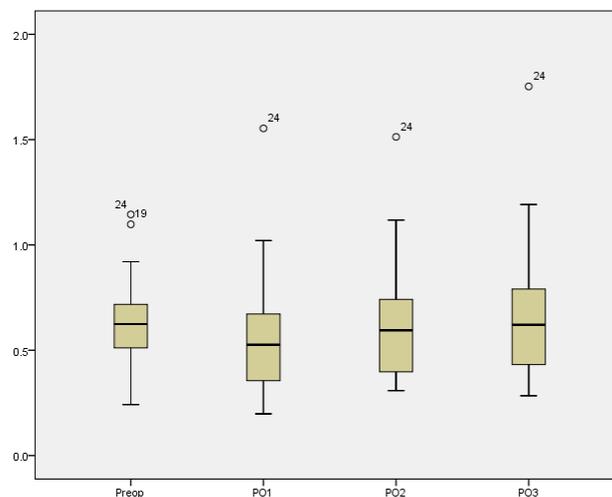


Figure IV-57 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /f/ du Groupe Normal

En Preop, le Pic de l'OAF (Figure IV-58) (Tableau IV-26) est de $0.318 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.088) pour la consonne /v/ et de $0.607 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.204) pour la consonne /f/. Après l'opération, les deux consonnes ont leurs Pic de l'OAF diminués, soit à $0.282 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.107) pour /v/ et à $0.521 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.205) pour /f/. La valeur de /v/ en PO2 est identique à celle observée en Preop, soit $0.318 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.108). Elle continue d'augmenter en PO3 jusqu'à $0.324 \text{ dm}^3/\text{s}$

(0.108). La valeur de /f/ remonte en PO2 et dépasse le niveau de la Preop, soit à 0.593 dm³/s (0.209). Elle continue d'augmenter à 0.630 dm³/s (0.230). Les valeurs de /v/ et /f/ sont toutes plus importantes dans la dernière phase d'enregistrement qu'avant l'opération.

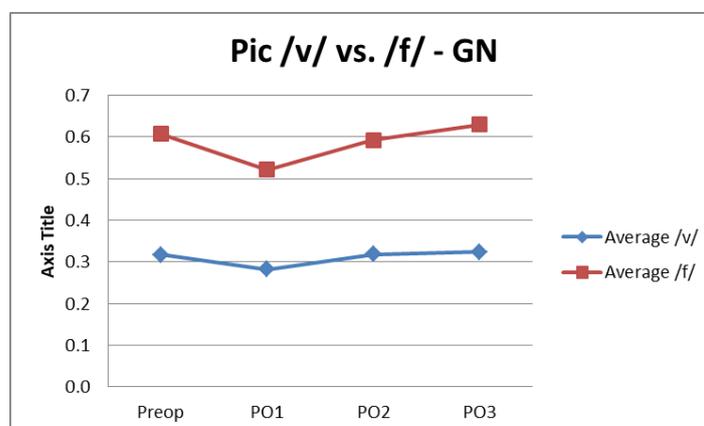


Figure IV-58 Résultat du Pic de l'OAF de /v/ vs. /f/ du Groupe Normal

Tableau IV-26 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /v/ vs. /f/ du Groupe Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /v/	0.318	0.282	0.318	0.324
St.Dev /v/	0.088	0.107	0.108	0.108
Average /f/	0.607	0.521	0.593	0.630
St.Dev /f/	0.204	0.205	0.209	0.230

Les différences inter-individuelles des trois phases postopératoires sont plus importantes qu'en Preop pour ces deux consonnes. La tendance pour les deux consonnes est une augmentation constante. L'écart-type est respectivement de 0.088 dm³/s et 0.204 dm³/s avant l'opération pour /v/ et /f/, puis de 0.107 dm³/s et de 0.205 dm³/s pour /v/ et /f/ respectivement, à la première phase postopératoire (PO1). L'augmentation après la PO1 est très faible, soit à 0.108 dm³/s et à 0.209 dm³/s en PO2. Puis, elle reste identique en PO3 (0.108 dm³/s) pour /v/ et 0.230 dm³/s pour /f/.

Le patient n° 21 (Figure IV-59) (Tableau IV-27) affiche une valeur disproportionnée en Préop (1.379 dm³/s), qui dépasse même légèrement la valeur du patient paralysé présentant le symptôme le plus grave. Il s'agit très probablement d'un problème lié à l'acquisition des données, ou encore d'une « sur-phonation » suite à une mauvaise exécution de la consigne donnée lors de l'expérience. En effet, selon le contrôle ORL, le patient n° 21 ne possède aucun problème vocal particulier avant l'opération. Les valeurs

en PO1, PO2, et PO3 sont normales, soit respectivement 0.307 dm³/s, 0.289 dm³/s et 0.381 dm³/s.

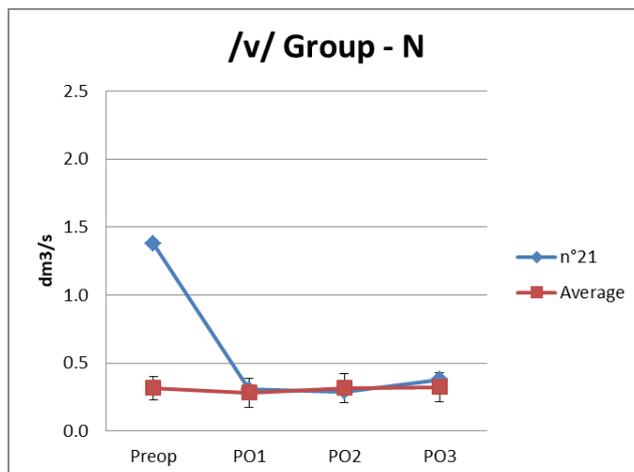


Figure IV-59 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /v/ du patient n °21 du Groupe Normal

Tableau IV-27 Valeur anormale de l'OAF du patient n °21 du Group Normal

Pic /v/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°21	1.379	0.307	0.289	0.381

Les valeurs de la courbe du patient n °28 (Figure IV-60) (Tableau IV-28) ne sont pas anormales (contrairement au cas anormal précédent du /v/ du patient n °21), mais les valeurs sont très élevées pour un patient du Groupe Normal. En Preop, le Pic est déjà à 1.145 dm³/s, ce qui est beaucoup plus important que chez les autres patients. Après l'opération, la valeur augmente, soit à 1.553 dm³/s en PO1. Puis, elle baisse faiblement en PO2 (1.513 dm³/s) et recommence à augmenter à 1.752 dm³/s en PO3.

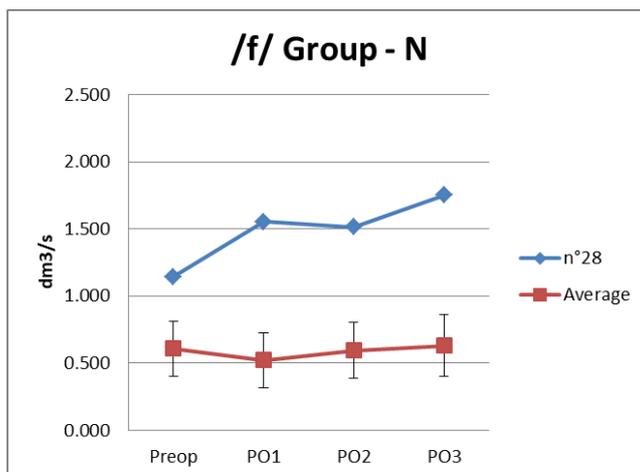


Figure IV-60 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /f/ du patient n °28 du Groupe Normal

Tableau IV-28 Valeur anormale de l'OAF du patient n°28 du Groupe Normal

Pic /f/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°28	1.145	1.553	1.513	1.752

Analyse statistique des données du Pic de la paire /v/ vs. /f/ du GN

Pour la consonne /v/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) selon le test de Shapiro-Wilk.

Suivant le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=3.621$, $P=0.605$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.31 ± 0.09 , 0.28 ± 0.11 , 0.31 ± 0.11 , 0.32 ± 0.11 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3, 72) = 2.190$, $P = 0.097 > 0.05$. Nous ne garantissons pas de différence au niveau statistique.

Pour la consonne /f/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) comme l'indique le test de Shapiro-Wilk.

Puis, le test d'hypothèse sphérique de Mauchly montre que la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=6.642$, $P=0.249$). Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.61 ± 0.20 , 0.52 ± 0.21 , 0.59 ± 0.21 , 0.63 ± 0.23 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur $F(3, 72) = 5.116$, $P = 0.003 < 0.05$.

Ensuite, nous appliquons le test post-hoc Bonferroni. Les différences au niveau du Pic de l'OAF entre PO1 et PO2, PO1 et PO3 sont statistiquement significatives (les valeurs de P sont respectivement de 0.013, 0.003). La valeur de PO2 est de 0.072 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.012-0.131). La valeur de PO3 est de 0.092 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.007-0.053). La valeur de PO2 est de 0.035 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.031-0.187). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres comparaisons de phases.

Les valeurs du Pic de la paire /z/ vs. /s/ du GN

Pour la consonne /z/, on voit à travers l'analyse par *Box Plot*, qu'il n'existe pas de valeurs anormales. Les analyses ont donc été effectuées avec les 26 valeurs (Figure IV-61).

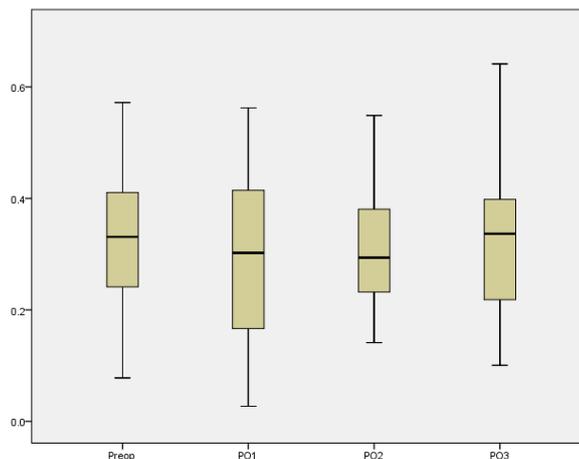


Figure IV-61 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /z/ du Groupe Normal

Ensuite, pour la consonne /s/, nous observons que la valeur n° 24, correspondant à la valeur du patient n° 28, est anormale (Figure IV-62). Après analyse des données de ce patient, nous considérons que cette anomalie provient de faits accidentels chez le patient ou pendant l'acquisition des données ; cette valeur a donc été éliminée du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées à partir de 25 valeurs.

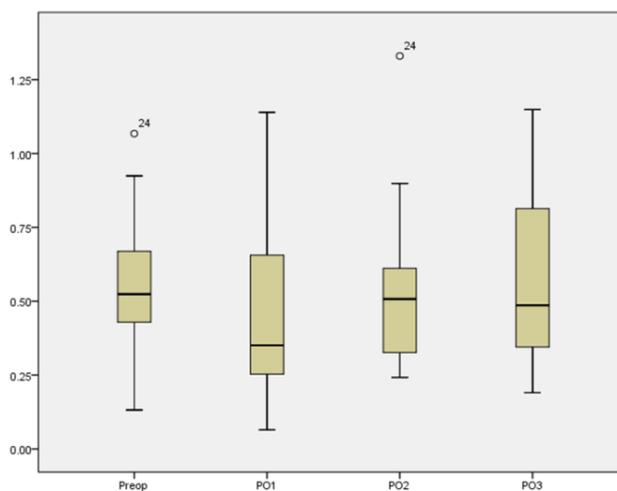


Figure IV-62 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs de Pic du /s/ du Groupe Normal

La valeur du Pic de l'OAF (Figure IV-63) (Figure IV-29) est de 0.323 dm³/s (0.119) en Preop pour la consonne /z/ et de 0.529 dm³/s (0.205) pour la consonne /s/. Elles diminuent à 0.288 dm³/s (0.144) pour /z/ et à 0.419 dm³/s (0.229) pour /s/ après l'opération (PO1). À partir de la PO2, les valeurs de ces deux consonnes commencent à augmenter, soit à 0.318 dm³/s (0.111) pour /z/ et à 0.504 dm³/s (0.192) pour /s/. Ces deux valeurs sont respectivement de 0.341 dm³/s (0.148) et de 0.544 dm³/s (0.259) en PO3.

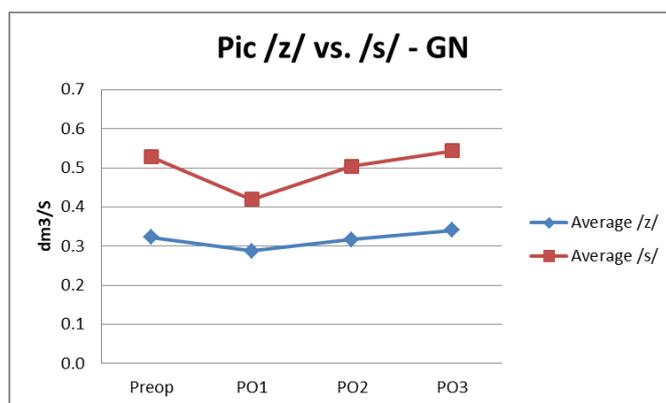


Figure IV-63 Résultat du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du Groupe Normal

Tableau IV-29 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du Groupe Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /z/	0.323	0.288	0.318	0.341
St.Dev /z/	0.119	0.144	0.111	0.148
Average /s/	0.529	0.419	0.504	0.544
St.Dev /s/	0.205	0.229	0.192	0.259

Les différences inter-individuelles de la Preop sont de 0.119 dm³/s et 0.205 dm³/s pour /z/ et /s/ respectivement. Il y a une ressemblance entre les changements de la trajectoire des valeurs de ces deux consonnes. Elles augmentent après l'opération (PO1), soit 0.144 dm³/s pour /z/ et 0.229 dm³/s pour /s/. En PO2, les deux valeurs diminuent à un niveau plus bas qu'en Preop, soit 0.111 dm³/s pour /z/ et 0.192 dm³/s pour /s/. En PO3, ces deux valeurs atteignent leur sommet, soit respectivement 0.148 dm³/s et 0.259 dm³/s.

La valeur qui appartient au patient n°28 (Figure IV-64) (Tableau IV-30) est anormale par rapport aux autres du Groupe Normal. En Preop, elle est de 1.067 dm³/s, soit le double de la valeur moyenne du groupe. Dans les deux phases postopératoires suivantes (PO1, PO2), la valeur augmente, soit à 1.139 dm³/s et à 1.330 dm³/s. Après avoir atteint une valeur plafond en PO2, elle baisse à nouveau en PO3, soit à 1.149 dm³/s. Ce patient a des valeurs remarquablement plus élevées que les autres patients dans toutes les phases

d'enregistrement. Néanmoins, les fluctuations de ces 4 phases restent relativement stables. Nous ne voyons pas d'anormalité ici. Il s'agit donc d'une différence inter-individuelle. Si cette anormalité se voit au niveau statistique, la valeur du Pic, résultant de la production de ce patient reste tout à fait normale.

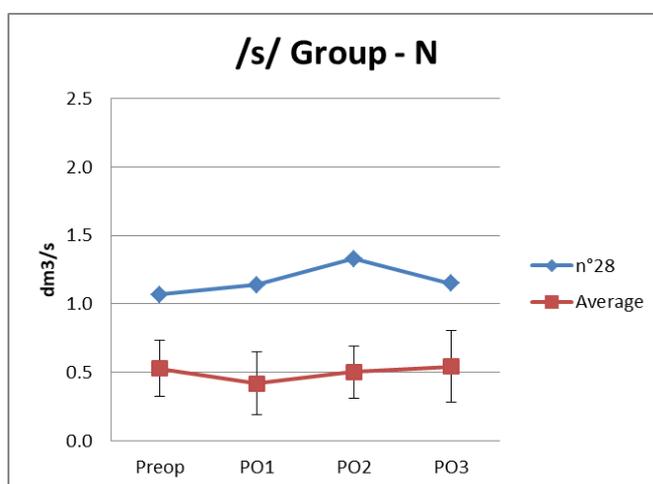


Figure IV-64 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /s/ du patient n°28 du Groupe Normal

Tableau IV-30 Valeur anormale du Pic de l'OAF /s/ du patient n° 28 du Groupe Normal

Pic /s/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°28	1.067	1.139	1.330	1.149

Analyse statistique des données du Pic de la paire /z/ vs. /s/

Pour la consonne /z/, par le test de Shapiro-Wilk, nous constatons que les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=3.124$, $P=0.681$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du Pic de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.32 ± 0.12 , 0.29 ± 0.14 , 0.32 ± 0.11 , 0.34 ± 0.15 . Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur $F(3, 75) = 1.978$, $P = 0.124 > 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Ensuite, pour la consonne /s/, en appliquant le test de Shapiro-Wilk, on observe que les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Enfin, à travers *le test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, on constate que la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=5.253$, $P=0.386$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.53 ± 0.20 , 0.42 ± 0.23 , 0.50 ± 0.19 et 0.54 ± 0.26 . Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes est statistiquement significative, Valeur $F(3, 72) = 4.676$, $P = 0.005 < 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Selon *le test post-hoc Bonferroni*, la différence du Pic de l'OAF entre Preop et PO1 est statistiquement significative (la valeur de P est de 0.023). La valeur de PO1 est de 0.102 de moins que celle de Preop (intervalle de confiance 95%: 0.011-0.207). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres appariements de phases.

Les valeurs du Pic de la paire /z/ vs. /ʒ/ du GN

Pour la consonne /z/, à travers l'analyse par *Box Plot*, nous n'observons pas de valeur anormale (Figure IV-65). Les analyses, en conséquence, ont été effectuées avec les 26 valeurs.

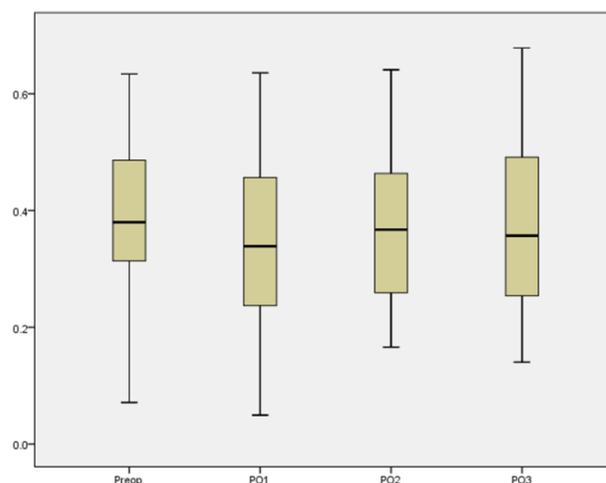


Figure IV-65 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /z/ du Groupe Normal

Pour la consonne /ʒ/, à travers l'analyse par *Box Plot* (Figure IV-66), nous observons que la valeur n° 24, correspondant à la valeur du patient n° 28, est anormale. Après avoir étudié les données de ce patient, nous considérons que les raisons en sont les mêmes

comme pour les cas précédents ; cette valeur est donc éliminée du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec 25 valeurs.

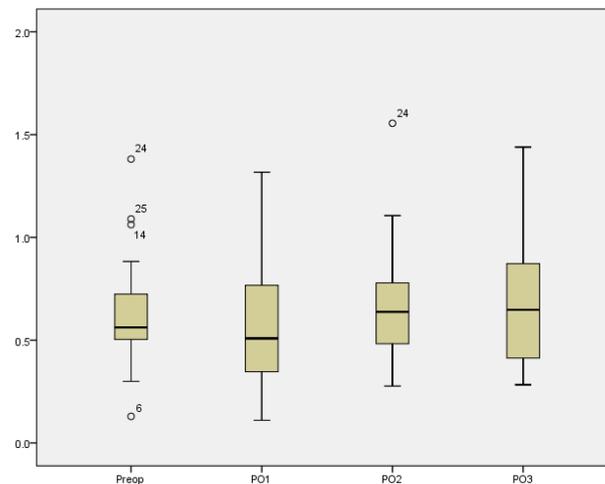


Figure IV-66 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /f/ du Groupe Normal

En Preop, le Pic de l'OAF (Figure IV-67) (Tableau IV-31) des deux consonnes est respectivement $0.394 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.132) pour /z/ et $0.604 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.212) pour /j/. Ces deux valeurs diminuent avec des pentes très similaires après l'opération, soit à $0.336 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.150) et à $0.530 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.219). Elles remontent en PO2, celle de /z/ reste légèrement inférieure qu'en Preop, soit à $0.381 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.141), celle de /j/ est légèrement plus importante qu'en Preop, soit à $0.625 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.224). À partir de cette étape, les Pics de l'OAF sont à nouveau comparables avec les valeurs mesurées en Preop. Elles continuent à augmenter très faiblement en PO3 ; celle de /j/ est de $0.640 \text{ dm}^3/\text{s}$ (0.234) et celle de /z/ reste presque la même qu'en PO2.

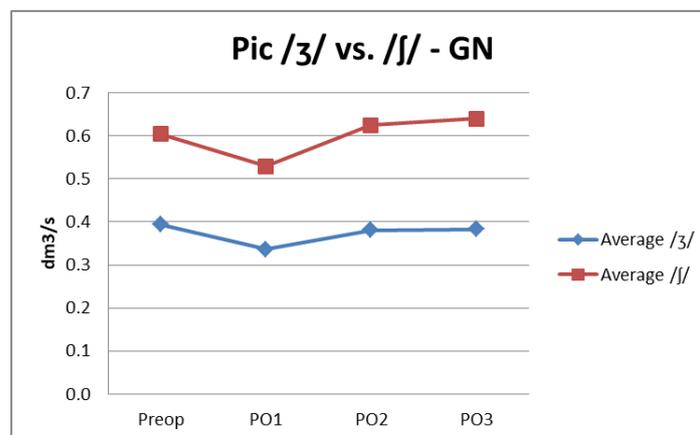


Figure IV-67 Résultat du Pic de l'OAF de /z/ vs. /j/ du Groupe Normal

Tableau IV-31 Résultat du Pic de l'OAF de /z/ vs. /f/ du Groupe Normal

Pic	Preop	PO1	PO2	PO3
Average /z/	0.394	0.336	0.381	0.383
St.Dev /z/	0.132	0.150	0.141	0.152
Average /f/	0.604	0.530	0.625	0.640
St.Dev /f/	0.212	0.219	0.224	0.234

La différence inter-individuelle continue d'augmenter avec une pente stable pour la consonne /f/, soit 0.212 dm³/s, 0.219 dm³/s, 0.224 dm³/s et 0.234 dm³/s pour les quatre phases d'enregistrement.

La valeur du patient n° 28 (Figure IV-68) (Tableau IV-32) est encore une fois anormale par rapport aux autres du Groupe Normal. Ce patient présente à nouveau une valeur remarquablement plus importante que les autres dans toutes les phases d'acquisition des données. Le modèle et les fluctuations de ses 4 phases ressemblent au cas « anormal » de la consonne /s/, produite par le même patient. En Preop, elle est de 1.381 dm³/s, et de 1.1317 dm³/s, 1.555 dm³/s et 1.439 dm³/s pour les trois phases postopératoires. Il s'agit ici aussi d'une différence inter-individuelle, soit une anomalie statistique, mais non-pathologique.

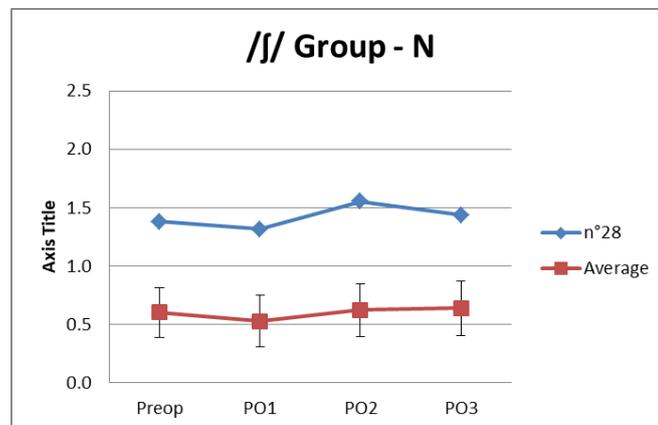


Figure IV-68 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /f/ du patient n° 28 du Groupe Normal

Tableau IV-32 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /f/ du patient n° 28 du Groupe Normal

Pic //f/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°28	1.381	1.317	1.555	1.439

Analyse statistique des données du Pic de la paire /z/ vs. /f/ du GN

Pour la consonne /f/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) selon le test de Shapiro-Wilk.

Avec le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, on note que la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=0.972$, $P=0.965$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.39 ± 0.13 , 0.34 ± 0.15 , 0.38 ± 0.14 et 0.38 ± 0.15 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,72)=2.505$, $P=0.066 > 0.05$. Nous ne pouvons pas assurer de différence au niveau statistique.

Pour la consonne /f/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) par le test de Shapiro-Wilk.

À travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=4.804$, $P=0.441$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de l'OAF de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.60 ± 0.21 , 0.53 ± 0.22 , 0.63 ± 0.22 et 0.64 ± 0.23 (dm^3/s). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,72)=3.444$, $P=0.021 < 0.05$.

Selon le test post-hoc Bonferroni, la différence de l'OAF entre PO1 et PO3 est statistiquement significative (la valeur de P est de 0.023). La valeur de PO3 est de 0.110 de plus que celle de PO1 (intervalle de confiance à 95% : 0.011-0.208). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres combinaisons de phases.

En guise de conclusion partielle...

Dans ce qui suit, nous présentons les valeurs des 12 consonnes après l'intervention (Figure IV-69). Dans cette section, nous allons les comparer pour voir si leurs trajectoires suivent un même modèle ou une même tendance que celle que nous avons observé auparavant pour nos 3 voyelles extrêmes.

Étude croisée des données du Pic du GN pour les consonnes

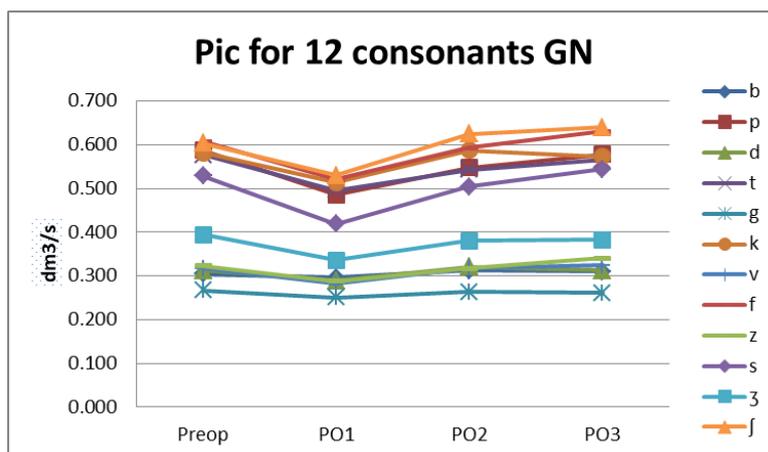


Figure IV-69 R résultat du Pic des 12 consonnes du Groupe Normal

Tableau IV-33 R résultat du Pic des 12 consonnes du Groupe Normal

12Pics	Preop	PO1	PO2	PO3
b	0.305	0.296	0.313	0.310
p	0.588	0.486	0.547	0.578
d	0.312	0.289	0.321	0.313
t	0.577	0.496	0.543	0.565
g	0.266	0.251	0.263	0.261
k	0.582	0.514	0.587	0.573
v	0.318	0.282	0.318	0.324
f	0.607	0.521	0.593	0.630
z	0.323	0.288	0.318	0.341
s	0.529	0.419	0.504	0.544
ʒ	0.394	0.336	0.381	0.383
ʃ	0.604	0.530	0.625	0.640

Nous pouvons ainsi observer sur la figure 9-72 (Tableau IV-33 R résultat du Pic des 12 consonnes du Groupe Normal) que les 12 consonnes ont des patterns très similaires. Les consonnes ont leurs Pic de l'OAF qui diminuent à la première phase post-opératoire (PO1) puis remontent à la PO2 et à la PO3. Ce phénomène ressemble à celui que nous avons constaté dans l'investigation consacrée aux voyelles soutenues. Les raisons de la baisse du Pic en PO1 doivent être les mêmes : le traumatisme, la douleur, la pression de l'enflure et des compresses absorbables.

Nous constatons aussi que les courbes qui présentent les valeurs les plus élevées dans l'axe Y sont celles dont la pente de réduction en PO1 est la plus prononcée. L'intervention impacte donc davantage les consonnes qui au relâchement (pour les occlusives) ou à la transition avec la voyelle (les fricatives) en Preop a une consommation du débit d'air plus importante. Cela dit, cette perturbation ne persiste pas, puisqu'en PO2 les valeurs remontent vers leurs niveaux initiaux, c'est-à-dire ceux mesurés en Preop.

Au niveau de l'analyse de l'écart-type, nous pouvons voir une tendance forte dans l'évolution de la trajectoire des valeurs du Pic des consonnes (voir Figure IV-70) (Tableau IV-34): la plupart de ces 12 courbes ont les valeurs plus élevées en PO3 qu'en Preop, mais les courbes manquent d'uniformité par rapport au cas des 3 voyelles extrêmes, où nous pouvions constater des patterns d'écart-types uniformes.

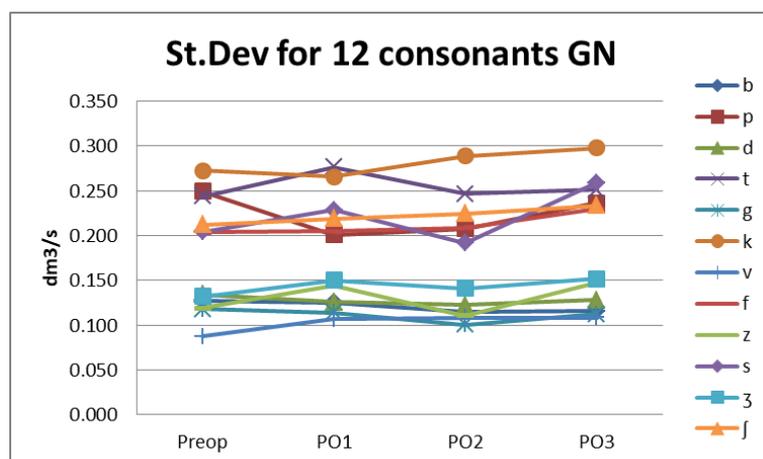


Figure IV-70 Ecart-types des 12 consonnes du Groupe Normal

Tableau IV-34 Ecart-types des 12 consonnes du Groupe Normal

12 Pics' SD	Preop	PO1	PO2	PO3
b	0.128	0.125	0.114	0.116
p	0.250	0.201	0.207	0.237
d	0.134	0.126	0.122	0.128
t	0.244	0.276	0.247	0.251
g	0.118	0.114	0.101	0.112
k	0.272	0.266	0.289	0.298
v	0.088	0.107	0.108	0.108
f	0.204	0.205	0.209	0.230
z	0.119	0.144	0.111	0.148
s	0.205	0.229	0.192	0.259
ʒ	0.132	0.150	0.141	0.152
ʃ	0.212	0.219	0.224	0.234

En guise de conclusion partielle...

Nous proposons ci-après une présentation comparative synthétique des données du Pic de l'OAF des consonnes voisées *versus* non voisées.

L'opération a un impact sur les deux catégories de consonnes, voisées et non voisées. L'irrégularité dans les trajectoires des courbes est plus remarquable pour les consonnes

non voisées que pour les consonnes voisées. On peut dire donc que l'intervention chirurgicale semble avoir un effet plus prononcé sur les consonnes non voisées que sur les consonnes voisées. C'est-à-dire que l'évolution du Pic du débit d'air des consonnes voisées est plus résistante face à l'impact que cette intervention pourrait avoir sur les patients du GN. Les courbes des consonnes voisées et non voisées n'ont pas tout à fait les mêmes tendances dans l'évolution de leurs trajectoires, mais nous observons une certaine similitude.

Chez les 6 paires de consonnes, les courbes des consonnes de la même catégorie montrent une même tendance :

Pour les plosives voisées, la valeur du Pic diminue en PO1 après l'opération, puis elle reste relativement stable ou augmente légèrement en PO3. On n'observe pas de comportement clair chez les fricatives voisées.

Par rapport aux plosives non voisées, la seule tendance est une récupération en PO3 par rapport au niveau initial. En ce qui concerne les fricatives non voisées, la seule tendance est, ici aussi, une augmentation des valeurs en PO3.

Nous pouvons donc dire, pour résumer, que les valeurs moyennes du Pic de l'OAF des patients non-paralysés affichent une certaine irrégularité dans leurs trajectoires, mais qu'en PO3, les valeurs entament une augmentation plus ou moins remarquable.

Contrairement au cas des voyelles, les écart-types des consonnes ne montrent pas de tendance claire.

Étant donné que nous ne constatons pas de comportement type dans les trajectoires des courbes du Pic de l'OAF à travers les phases, nous nous autorisons à sortir aléatoirement 10 patients du Groupe Normal pour observer les patterns intra-individuels chez ces patients (tableau 9-74 à 9-83).

Sur cette série de figures qui présentent les données du Pic de l'OAF des consonnes de 10 patients, nous observons que, pour la plupart des patients, les courbes des 12 consonnes ont des formes similaires ou suivent des trajectoires parallèles. Cependant, les patterns sont moins uniformes que ceux observés chez les voyelles (voir 9-25 à 9-34). Cela veut dire que les patients adoptent des stratégies de réajustements compensatoires différentes,

tandis qu'au niveau intra-individuel, les stratégies sont similaires, comparables alors aux patterns constatés pour les voyelles. Dans la plupart des cas, chaque patient déploie une stratégie plus ou moins similaire pour produire les 12 consonnes. Cependant, la différence inter-individuelle au niveau du choix de stratégies compensatoires existe à la fois pour les consonnes et pour les voyelles. À titre d'illustration, le patient n° 16 (Figure IV-76) montre des trajectoires plus uniformes que celles du patient n° 7 (Figure IV-73). Les patients n° 30 et n° 31 montrent des patterns différents pour les consonnes (Figure IV-79, IV-80). Il existe donc des stratégies au niveau inter-individuel et intra-individuel. Aussi, tous les patients ne mettent pas en place la même stratégie pour la production des différentes consonnes.

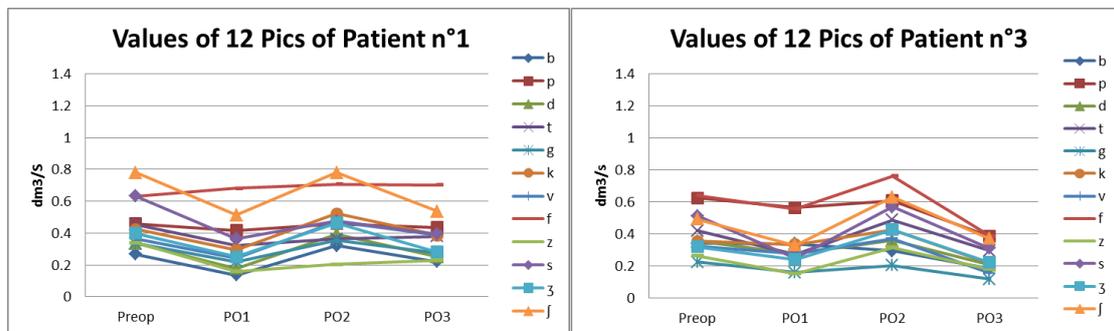


Figure IV-71 Valeurs de 12 Pics du patient n° 1

Figure IV-72 Valeurs de 12 Pics du patient n° 3

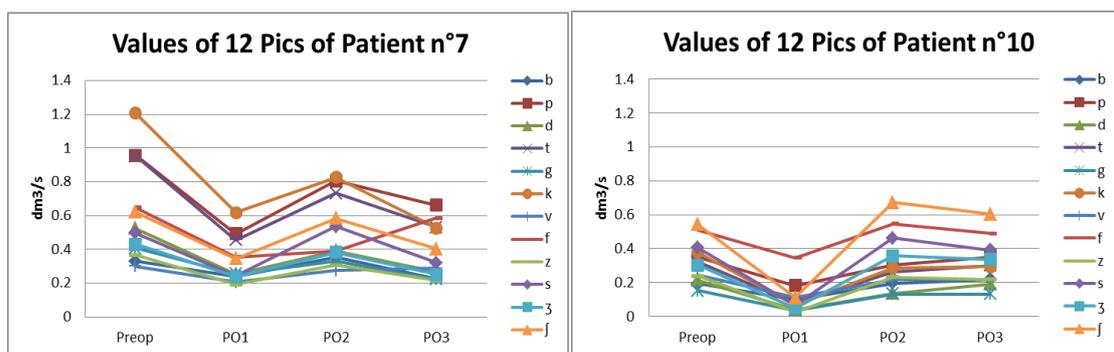


Figure IV-73 Valeurs de 12 Pics du patient n° 7

Figure IV-74 Valeurs de 12 Pics du patient n° 10

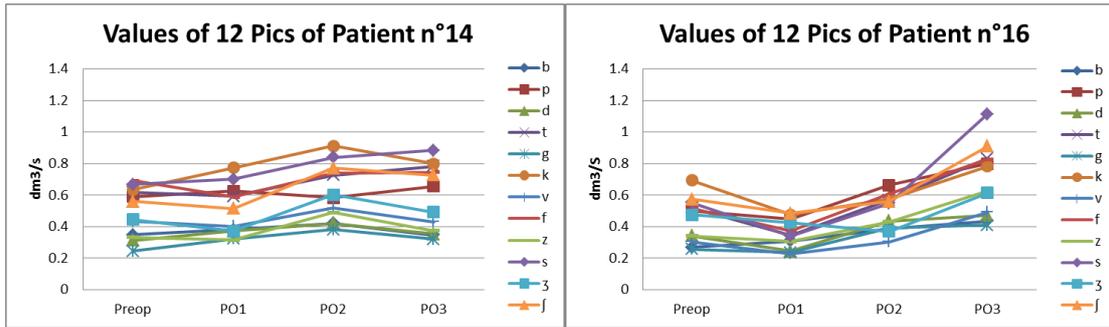


Figure IV-75 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 14

Figure IV-76 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 16

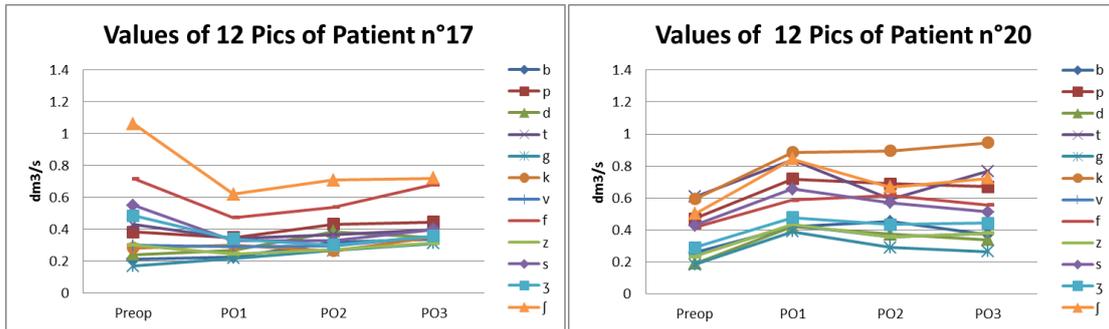


Figure IV-77 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 17

Figure IV-78 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 20

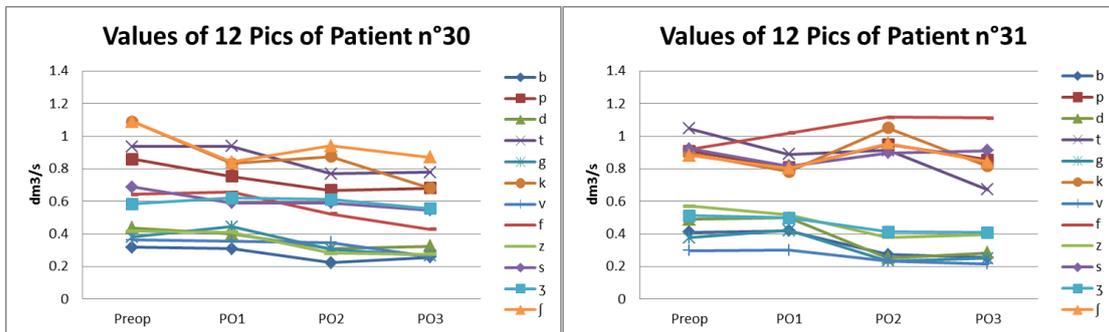


Figure IV-79 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 30

Figure IV-80 Valeurs de 12 Pics du patient n ° 31

Analyse des données du Pic des consonnes du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Nous étudions dans cette section les patients paralyés. Dans cette section, les valeurs des consonnes voisées et non voisées seront présentées côte-à-côte dans une figure unique, avec des valeurs normalisées (sur l'axe y). Dans cette figure, nous projeterons les valeurs des quatre patients paralyés ensemble.

Pour une comparaison plus concrète et lisible, nous projetons les données dans un espace normalisé en appliquant les mêmes échelles pour les mêmes paires de consonnes.

Analyse des données du Pic du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Au préalable, rappelons qu'il y a au total 4 patients paralysés (figure 9-84) (tableau 9-35, 9-36). Les patients n°4, n°5 et n°15 sont atteints d'une paralysie unilatérale. Selon les expériences précédentes, le patient n°4 montre des symptômes typiques révélateurs de la paralysie, et les patients n°5 et n°15 ne montrent pas de tels symptômes typiques. Le patient n°27 est atteint d'une paralysie bilatérale avec des symptômes bien manifestes, selon sa phonation et l'examen de ces données qui s'écartent remarquablement de celles des autres patients.

Les données du Pic de la paire /b/ vs. /p/ du GP

En comparant les deux figures des consonnes /b/ et /p/, nous constatons d'abord que la différence de valeur moyenne entre les patients pour la consonne non voisée est plus importante que celle pour la consonne voisée, en Preop (Figure IV-81) (Tableau IV-35, Tableau IV-36). Cela veut dire que les valeurs initiales des patients pour /p/ sont plus distinctes que celles pour /b/. Puis, nous constatons que les tendances sont différentes en fonction des patients. Dans les figures relatives aux paires, nous pouvons observer plus concrètement les faits suivants :

Pour le patient n°5 et le patient n°15, les deux consonnes affichent des comportements et des trajectoires similaires.

Pour le patient n°27, les valeurs et trajectoires empruntées ne ressemblent pas toujours à celles des deux patients précédents. Pour le patient n°4, c'est plutôt une divergence en valeurs et en trajectoires qui est visible.

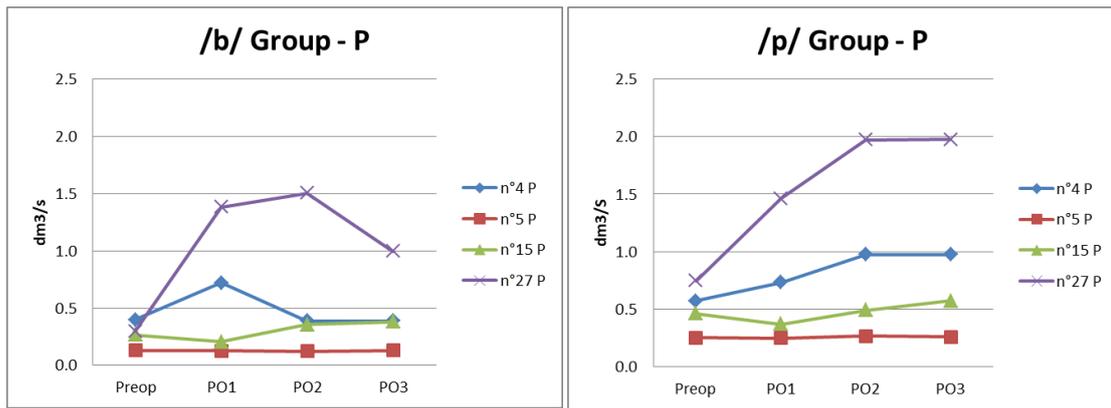


Figure IV-81 Valeur du Pic de l'OAF du /b/ (à gauche) et du /p/ (à droite) des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Tableau IV-35 Valeur du Pic de l'OAF du /b/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /b/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.400	0.719	0.388	0.389
n°5 P	0.130	0.125	0.122	0.130
n°15 P	0.265	0.204	0.357	0.380
n°27 P	0.297	1.382	1.503	0.997

Tableau IV-36 Valeur du Pic de l'OAF du /p/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /p/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.571	0.734	0.975	0.975
n°5 P	0.252	0.246	0.265	0.258
n°15 P	0.462	0.369	0.491	0.571
n°27 P	0.745	1.461	1.972	1.974

Pour mieux faire ressortir les différences et les similarités entre les valeurs des consonnes voisées et non voisées pour chaque patient, nous proposons de projeter les valeurs des paires de consonnes dans une seule figure (Figure IV-82, Figure IV-83), chaque figure représentant les valeurs d'un patient.

Le patient n° 4 a les courbes les plus différenciées. Le Pic de l'OAF augmente pour la consonne voisée et non voisée de la Preop (0.400 dm³/s pour /b/, 0.571 dm³/s pour /p/) à PO1. En PO1, ces deux valeurs se rapprochent l'une de l'autre et elles sont presque superposées, soit à 0.719 dm³/s pour /b/ et à 0.734 dm³/s pour /p/. En PO2, les deux valeurs s'éloignent largement. La valeur de /p/ continue à augmenter avec une pente plus escarpée, soit à 0.975 dm³/s. La valeur de /b/ décroît à son niveau d'origine (0.388 dm³/s). À la dernière phase d'enregistrement (PO3), les deux valeurs maintiennent leur niveau de PO2, soit à 0.389 dm³/s pour /b/ et à 0.975 dm³/s pour /p/.

Pour le patient n° 5, les courbes de cette paire de consonnes sont très stables et évoluent en parallèle, non seulement par rapport aux autres patients paralysés mais aussi par rapport à la plupart des patients non paralysés. La valeur de /b/ est de 0.130 dm³/s, 0.125 dm³/s, 0.122 dm³/s, 0.130 dm³/s pour la Preop, la PO1, PO2 et PO3 respectivement. À la PO3, la valeur est identique à celle de la Preop. La valeur de /p/ est respectivement de 0.252 dm³/s, 0.246 dm³/s, 0.265 dm³/s, 0.258 dm³/s pour ces quatre phases.

Pour le patient n° 15, la distance entre les valeurs des deux courbes reste très stable pendant les fluctuations. Les courbes oscillent davantage en comparaison à celles du patient n° 5, mais moins que celles des deux autres patients du GP. En Preop, les Pics de l'OAF sont respectivement de 0.265 dm³/s pour /b/ et de 0.462 dm³/s pour /p/. Les deux valeurs diminuent en PO1 après l'opération, soit à 0.204 dm³/s pour /b/ et à 0.369 dm³/s pour /p/. Aux deux phases suivantes, les deux valeurs continuent à augmenter, soit à 0.357 dm³/s pour /b/ et à 0.491 dm³/s pour /p/ en PO2, puis elles sont de 0.380 dm³/s pour /b/ et 0.571 dm³/s pour /p/ en PO3.

Pour le patient n° 27, les deux valeurs en Preop sont de 0.297 dm³/s pour /b/ et de 0.745 dm³/s pour /p/. Les deux valeurs se rapprochent à la première phase après l'opération (PO1) (1.382 dm³/s pour /b/, 1.461 dm³/s pour /p/) comme c'est le cas pour le patient n° 4. Elles s'éloignent en PO2. La valeur de /p/ continue à augmenter avec la même pente de progression qu'à la phase précédente, soit à 1.972 dm³/s. La valeur de /b/ continue aussi à augmenter mais beaucoup plus faiblement que /b/, soit à 1.503 dm³/s. En PO3, le Pic de l'OAF de /p/ maintient le même niveau qu'en PO2, soit à 1.974 dm³/s et le Pic de l'OAF de /b/ baisse à nouveau à 0.997 dm³/s, qui est le niveau le plus bas après l'opération.

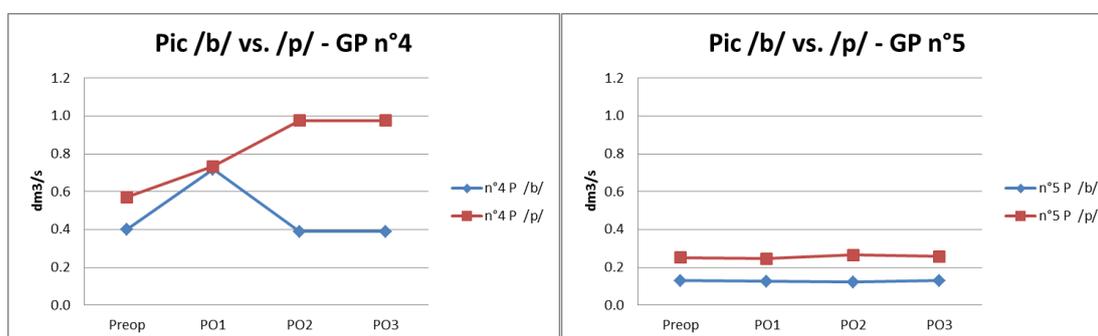


Figure IV-82 Valeur du Pic de l'OAF de /b/ vs. /p/ du patient n° 4 du Groupe présentant une paralysie (à gauche) et du patient n° 5 du Groupe présentant une paralysie (à droite)

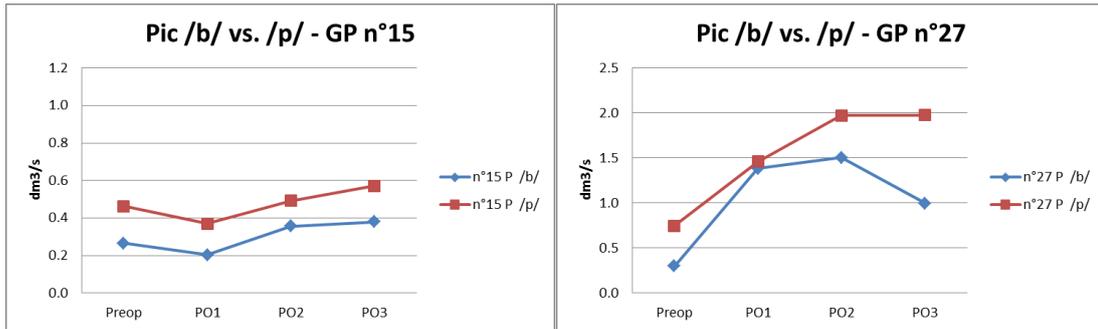


Figure IV-83 Valeur du Pic de l'OAF de / b / vs. /p/ du patient n °15 du Groupe pr ésentant une paralysie (à gauche) et du patient n °27 du Groupe pr ésentant une paralysie (à droite)

Les données du Pic de la paire /d/ vs. /t/ du GP

En comparant les deux figures des consonnes /d/ et /t/, la différence entre les patients pour ce qui concerne la consonne non voisée est plus importante que celle relative à la consonne voisée en Preop (Figure 9-87) (tableau 9-37, 9-38). Les valeurs initiales de /d/ sont plus écartées que celles de /t/. Ce phénomène ressemble au cas de la paire précédente (/b/ vs. /p/). La tendance de l'évolution des courbes est différente en fonction des patients. Dans les deux figures, nous observons que le patient n° 5 et le patient n° 15 ont une similarité dans les trajectoires adoptées, d'une phase à l'autre, pour faire la distinction entre la même paire consonne (Figure IV-84) mais que la distance entre les courbes est plus importante par rapport à la paire précédente (/b/ vs. /p/). Les valeurs du patient n° 4 sont très proches de celles du patient n° 15, excepté en PO1 dans le cas de la consonne non voisée, et en Preop dans le cas de la consonne voisée. Les courbes du patient n° 4 ne se ressemblent dans leurs trajectoires.

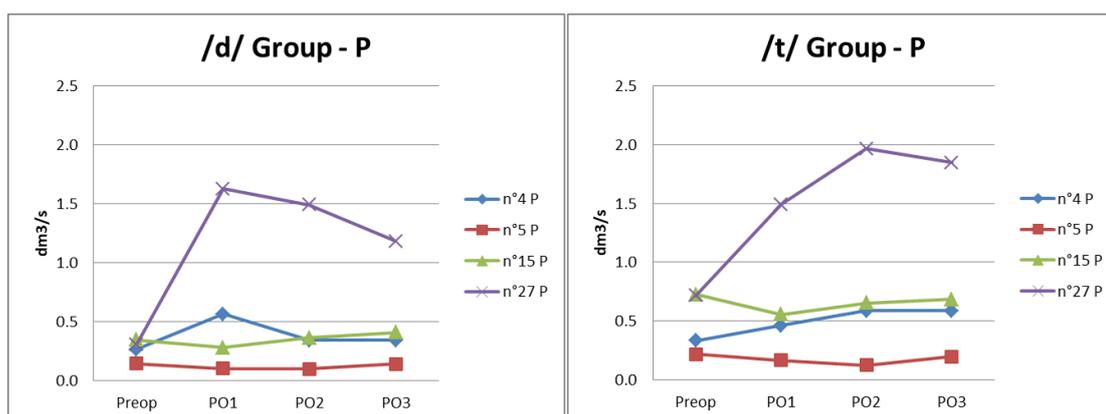


Figure IV-84 Valeur du Pic de l'OAF du / d / (à gauche) et du /t/ à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-37 Valeur du Pic de l'OAF du /d/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /d/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.267	0.566	0.343	0.343
n°5 P	0.145	0.106	0.103	0.144
n°15 P	0.348	0.280	0.364	0.411
n°27 P	0.309	1.629	1.493	1.184

Tableau IV-38 Valeur du Pic de l'OAF du /t/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /t/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.330	0.460	0.586	0.587
n°5 P	0.217	0.164	0.121	0.194
n°15 P	0.724	0.553	0.652	0.685
n°27 P	0.715	1.492	1.966	1.847

En plaçant les données pour la consonne voisée et non voisée dans des figures qui permettent la comparaison entre différents patients (Figure IV-85, Figure IV-86), nous constatons que :

Pour le patient n° 4, la trajectoire empruntée par les courbes des deux occlusives sont différente. Néanmoins, elles ont les mêmes tendances que celle observée pour la paire /b/ vs. /p/. Le Pic de l'OAF de la consonne non voisée augmente progressivement à partir de la Preop jusqu'à la PO2, soit respectivement à 0.330 dm³/s, 0.46 dm³/s et 0.586 dm³/s en Preop, PO1 et PO2. La valeur de la consonne voisée dépasse celle de la consonne non voisée en PO1. Le Pic de l'OAF de la consonne voisée augmente après l'opération (0.267 dm³/s en Preop et 0.566 dm³/s en PO1) puis décroît en PO2 (0.343 dm³/s). En PO2, les valeurs des deux consonnes s'éloignent. À la dernière phase d'enregistrement (PO3), les deux valeurs maintiennent relativement stables leurs niveaux de la PO2, soit à 0.343 dm³/s pour /d/ et à 0.587 dm³/s pour /t/.

Pour le patient n° 5, les trajectoires des courbes de cette paire de consonnes sont relativement stables et évoluent plus ou moins en parallèle. Les valeurs des deux consonnes sont plus proches en PO2 par rapport aux autres phases. Après la Preop, les valeurs pour les deux occlusives décroissent jusqu'à la PO2, puis augmentent en PO3 vers leurs niveaux préopératoires. La valeur de /d/ est de 0.145 dm³/s, 0.106 dm³/s, 0.103 dm³/s, 0.144 dm³/s pour la Preop, la PO1, PO2 et PO3 respectivement. À la PO3, la valeur devient comparable avec la Preop. La valeur de /t/ est respectivement de 0.217 dm³/s, 0.164 dm³/s, 0.121 dm³/s, 0.194 dm³/s pour ces quatre phases.

Pour le patient n° 15, les tendances ressemblent à celle de la paire /b/ et /p/, mais la distance entre les deux courbes est plus importante. Les courbes évoluent aussi de façon parallèle, dans une certaine mesure, mais leur trajectoire est plus variable que celle du patient n° 5. En Preop, les Pics de l'OAF sont respectivement 0.348 dm³/s pour /d/ et 0.724 dm³/s pour /t/. Les deux valeurs diminuent en PO1, soit à 0.280 dm³/s pour /b/ et à 0.553 dm³/s pour /p/. Aux deux phases suivantes, les deux valeurs continuent à monter, soit à 0.364 dm³/s pour /d/ et à 0.652 dm³/s pour /t/ en PO2. Puis, elles sont de 0.411 dm³/s pour /d/ et de 0.685 dm³/s pour /t/ en PO3.

Pour le patient n° 27, l'amplitude des trajectoires des patterns est notablement différente par rapport aux autres patients, mais au niveau intra-individuel, les deux courbes des consonnes, voisée et non voisée, affichent des tendances, dans leurs trajectoires, assez comparables. Les deux valeurs en Preop sont respectivement de 0.309 dm³/s pour /b/ et de 0.715 dm³/s pour /p/. En PO1, la valeur de la consonne voisée dépasse celle de la consonne non voisée, comme pour le patient n° 4, soit à 1.629 dm³/s pour /d/ et à 1.492 dm³/s pour /t/. En PO2, la valeur de /t/ continue à augmenter à 1.996 dm³/s et celle de /d/ commence à baisser, soit à 1.493 dm³/s. À la dernière phase, les deux valeurs baissent toutes les deux par rapport à la phase précédente, soit à 1.184 dm³/s pour /d/ et à 1.847 dm³/s pour /t/.

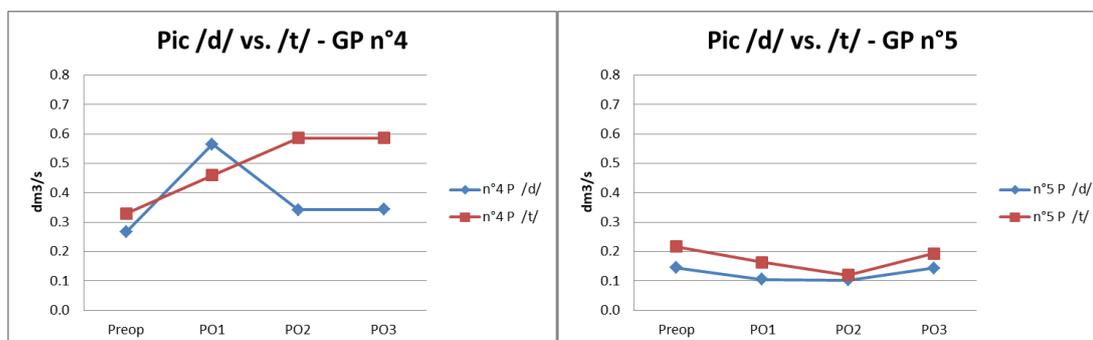


Figure IV-85 Valeur du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

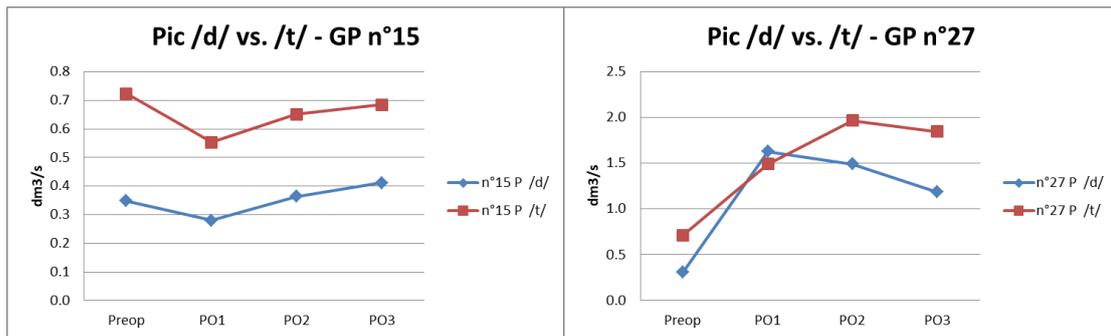


Figure IV-86 Valeur du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du patient n°15 (à gauche) et du patient n°27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie (valeurs non normalisées étant donné la sévérité de la paralysie du n°27)

Les valeurs du Pic de la paire /g/ vs. /k/ du GP

En comparant les deux figures de /g/ et /k/, nous observons que la différence entre les valeurs de la consonne non voisée est plus importante que celle de la consonne voisée en Preop (Figure 9-92) (Tableau IV-39, Tableau IV-40). Les valeurs initiales de /k/ sont plus éloignées que celles de /g/, comme c'est le cas pour les deux paires précédentes. Les courbes des patients n°5 et n°15 varient moins que celle des deux autres patients. Les valeurs du patient n°4 sont proches de celles du patient n°15, sauf en PO1 dans le cas de la consonne non voisée, en Preop et en PO2 dans le cas de la consonne voisée. La courbe du patient n°27 reste isolée, sans similarité avec les autres.

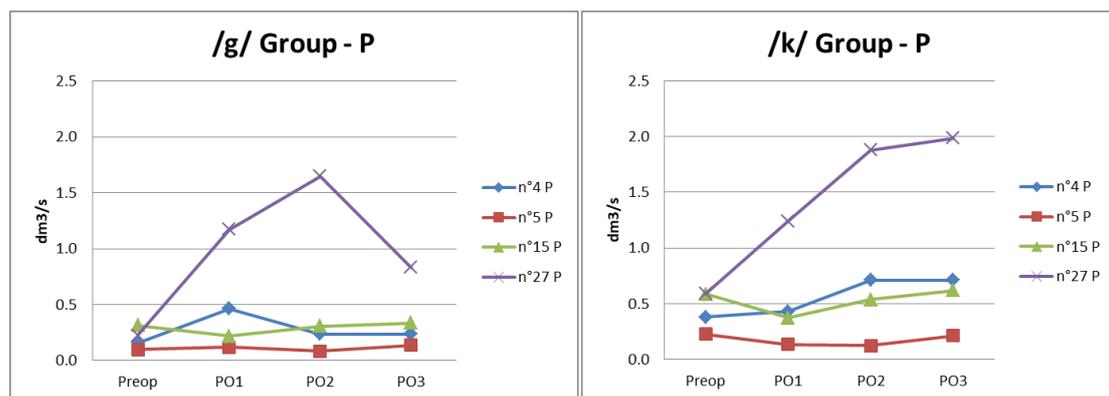


Figure IV-87 Valeur du Pic de l'OAF du /g/ (à gauche) et du /k/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-39 Valeur du Pic de l'OAF du /g/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /g/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.158	0.464	0.235	0.235
n°5 P	0.096	0.118	0.082	0.135
n°15 P	0.314	0.219	0.306	0.335
n°27 P	0.227	1.172	1.647	0.831

Tableau IV-40 Valeur du Pic de l'OAF du /k/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /k/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.380	0.429	0.710	0.711
n°5 P	0.227	0.133	0.124	0.211
n°15 P	0.587	0.373	0.538	0.618
n°27 P	0.589	1.243	1.878	1.987

En comparant les consonnes vois ées avec les non vois ées en fonction des patients (Figure IV-88, Figure IV-89), nous pouvons tirer les enseignements suivants :

Pour le patient n ° 4, les courbes sont tr ès dissemblables. Le Pic de l'OAF de la consonne non vois ée augmente progressivement à partir de la Preop jusqu'à la PO2 avec une pente plus raide entre PO1 et PO2, soit respectivement à 0.380 dm³/s, 0.429 dm³/s et 0.710 dm³/s en Preop, PO1 et PO2. La valeur de la consonne vois ée d épasse celle de la consonne non vois ée en PO1 comme c'était le cas pour la paire /b/ vs. /p/. Le Pic de l'OAF de la consonne vois ée augmente en PO1, soit à 0.464 dm³/s (0.158 dm³/s en Preop) puis baisse à nouveau en PO2, soit à 0.235 dm³/s. En PO2, les valeurs des deux consonnes s'éloignent largement. De la PO2 à la PO3, les deux valeurs des deux consonnes restent relativement stables, maintenant leurs niveaux à 0.235 dm³/s pour /g/ et à 0.711 dm³/s pour /k/.

Par rapport au patient n ° 5, les courbes de cette paire de consonnes sont proches sauf à leurs niveaux de d épart en Preop, qui sont à 0.096 dm³/s pour /g/ et à 0.227 dm³/s pour /k/. Les valeurs des deux consonnes se rapprochent en PO1, soit à 0.118 dm³/s pour /g/ et à 0.133 dm³/s pour /k/. En PO2, les deux courbes commencent à s'éloigner graduellement, soit à 0.082 dm³/s et à 0.124 pour /g/ et /k/ respectivement. En PO3, les deux courbes se haussent vers leur niveau d'origine, soit respectivement à 0.135 dm³/s et à 0.211 pour /g/ et /k/.

En ce qui concerne le patient n ° 15, les tendances sont toujours stables, ressemblant ainsi à celles observ ées pour les deux paires de consonnes pr éc édentes. Les courbes évoluent

plus ou moins parallèle. En Preop, les Pics de l'OAF sont de 0.314 dm³/s pour /g/ et 0.587 dm³/s pour /k/. Les deux valeurs baissent en PO1, soit à 0.219 dm³/s pour /g/ et à 0.373 dm³/s pour /k/. Aux deux phases suivantes, les deux valeurs continuent d'augmenter, soit à 0.306 dm³/s pour /g/ et à 0.538 dm³/s pour /t/ en PO2. Puis, elles restent bien différenciées à 0.335 dm³/s pour /g/ et à 0.618 dm³/s pour /k/, en PO3.

Le cas du patient n° 27 révèle des courbes à nouveau différentes de celles des autres patients. Les deux courbes des consonnes voisées et non voisées sont proches, sauf en PO3. Les deux valeurs croissent après l'opération, puis en PO3, celle de la consonne non voisée continue à se hisser vers le haut, tandis que celle de la consonne voisée baisse à nouveau. Les deux valeurs sont respectivement de 0.227 dm³/s, 1.172 dm³/s et 1.647 dm³/s pour /g/ en Preop, PO1 et PO2 et de 0.589 dm³/s, 1.243 dm³/s et 1.818 dm³/s pour /k/ pendant ces trois phases. Puis, en PO3, elles sont respectivement de 0.891 dm³/s et 1.987 dm³/s pour /g/ et /k/. Si la trajectoire de la courbe du /g/ tend vers son niveau d'origine en Preop, celle du /k/ ne retrouve pas son niveau initial.

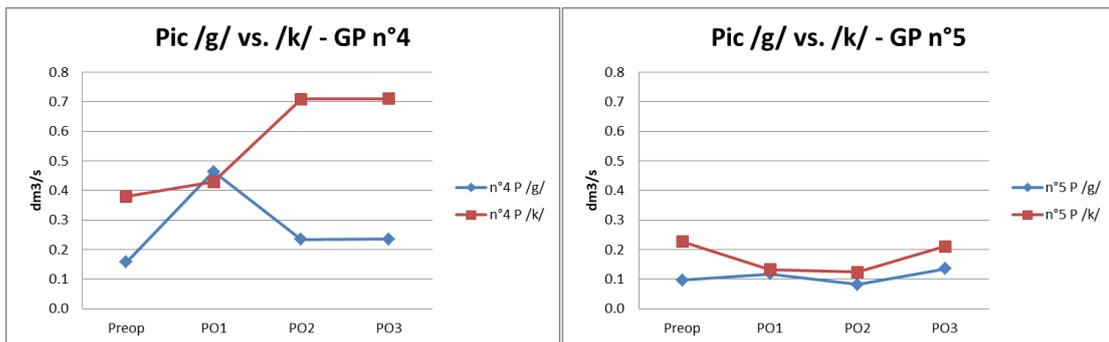


Figure IV-88 Valeur du Pic de l'OAF du /g/ vs. /k/ du patient n°4 (à gauche) et du patient n°5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

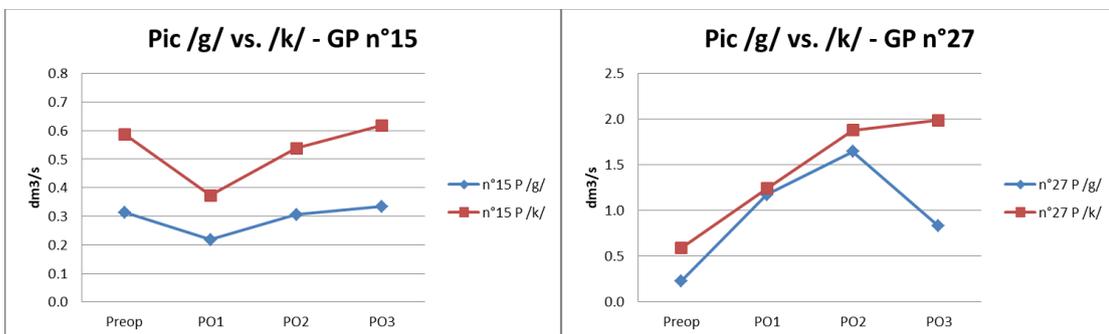


Figure IV-89 Valeur du Pic de l'OAF du /g/ vs. /k/ du patient n°15 (à gauche) et du patient n°27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

Les valeurs du Pic de la paire /v/ vs. /f/ du GP

En comparant les figures pour cette paire de consonnes fricatives, nous observons que la différence interindividuelle au niveau des trajectoires des courbes de la consonne non voisée est plus importante que celle au niveau de la consonne voisée (Figure IV-90) (Tableau IV-41, Tableau IV-42), en Preop. Comme ce que nous avons observé pour les trois paires de consonnes occlusives, les valeurs initiales de la consonne non voisée sont plus éloignées que pour la voisée. Les courbes ont plus de similarité dans la direction de leurs trajectoires, entre le patient n°5 et le patient n°15 dans le cas des consonnes voisées et non voisées. Les valeurs du patient n°4 sont proches de celles du patient n°15 pour les consonnes voisées et non voisées, excepté en PO1, dans le cas de la consonne non voisée, et en Preop, dans le cas de la consonne voisée. Les valeurs du patient n°27 restent remarquablement plus importantes par rapport aux autres patients.

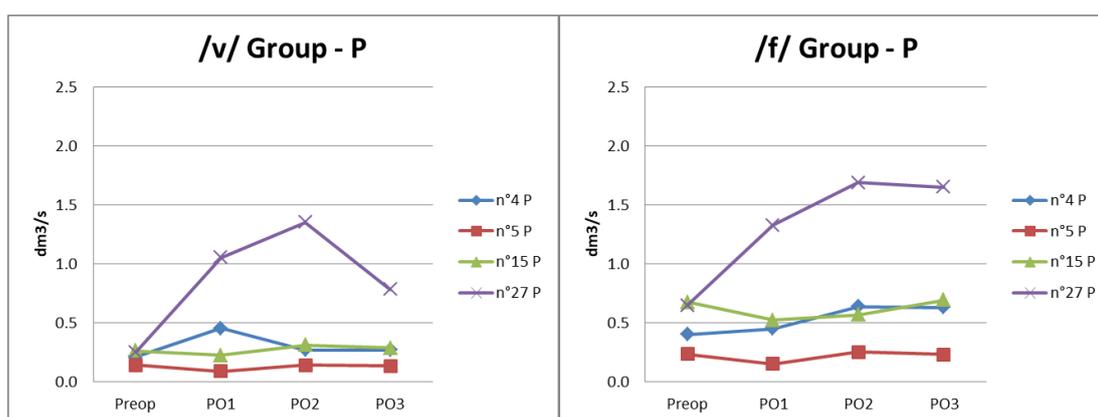


Figure IV-90 Valeur du Pic de l'OAF du /v/ (à gauche) et du /f/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-41 Valeur du Pic de l'OAF du /v/ des patients du Groupe présentant une paralysie

Pic /v/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.217	0.456	0.271	0.272
n°5 P	0.142	0.091	0.142	0.137
n°15 P	0.266	0.227	0.314	0.288
n°27 P	0.255	1.056	1.355	0.784

Tableau IV-42 Valeur du Pic de l'OAF du /f/ des patients du Groupe présentant une paralysie

Pic /f/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.404	0.453	0.637	0.633
n°5 P	0.236	0.152	0.252	0.234
n°15 P	0.676	0.524	0.569	0.694
n°27 P	0.650	1.329	1.691	1.651

En plaçant la paire voisée et non voisée dans les mêmes figures, en fonction des patients (Figure IV-91, Figure IV-92), nous remarquons que :

Pour le patient n°4, les courbes des consonnes voisée et non voisée ne partagent pas une tendance commune ; leurs trajectoires divergent le plus souvent, comme c'était le cas pour les paires de consonnes précédentes. Le Pic de l'OAF de la consonne non voisée augmente progressivement à partir de la Preop jusqu'à la PO2, avec une pente plus marquée après PO1, soit respectivement à 0.404 dm³/s, 0.453 dm³/s et 0.637 dm³/s en Preop, PO1 et PO2. Le Pic de l'OAF de la consonne voisée augmente en PO1, soit 0.456 dm³/s (0.217 dm³/s en Preop). La valeur de la consonne voisée est plus importante que celle de la consonne non voisée en PO1, comme pour les paires des consonnes occlusives. Le Pic de l'OAF baisse à nouveau en PO2, soit à 0.271 dm³/s. En PO2, les valeurs des paires s'éloignent largement. À la PO3, les deux valeurs maintiennent leur niveau de la PO2, soit à 0.272 dm³/s et à 0.633 dm³/s pour /v/ et /f/ respectivement.

Par rapport au patient n°5, les courbes de cette paire de consonnes ont les mêmes tendances. En Preop, les valeurs sont respectivement de 0.142 dm³/s et 0.236 pour /v/ et /f/. Les deux valeurs diminuent parallèlement après l'opération, soit à 0.091 dm³/s et 0.152 dm³/s pour /v/ et /f/ en PO1 respectivement. Elles s'élèvent en PO2 et deviennent comparables à celles de la Preop, soit à 0.142 dm³/s pour /v/ et à 0.637 dm³/s pour /f/. Elles baissent à nouveau légèrement en PO3, soit à 0.137 dm³/s pour /v/ et à 0.633 dm³/s pour /f/.

En ce qui concerne le patient n°15, les courbes de la voisée et de la non voisée ont, ici aussi, des tendances similaires dans leur évolution. Pour les deux consonnes /v/ et /f/, en Preop, les Pics de l'OAF sont respectivement de 0.266 dm³/s et 0.676 dm³/s. Les deux valeurs baissent en PO1, soit à 0.227 dm³/s et à 0.524 dm³/s. Aux deux phases suivantes, les deux valeurs continuent d'augmenter, soit à 0.314 dm³/s et à 0.569 dm³/s en PO2. En PO3, la valeur de la consonne non voisée continue à remonter jusqu'à 0.694 dm³/s, et celle de la consonne voisée diminue à 0.288 dm³/s.

Quant au patient n°27, il a des valeurs beaucoup plus importantes que les autres patients. Les deux courbes des consonnes voisée et non voisée ont des tendances similaires dans leurs trajectoires, pour les 3 phases Preop, PO1 et PO2, soit 0.255 dm³/s, 1.056 dm³/s et 1.355 dm³/s pour /v/ et 0.650 dm³/s, 1.329 dm³/s et 1.691 dm³/s pour /f/. Les valeurs des

deux constrictives croissent après l'opération, puis en PO3, celle de la consonne non voisée décroît légèrement (1.651 dm³/s) et celle de la consonne voisée chute remarquablement à 0.784 dm³/s.

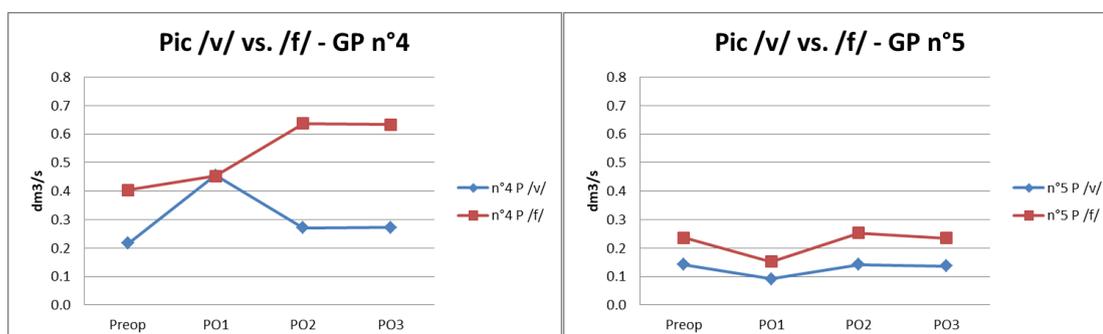


Figure IV-91 Valeur du Pic de l'OAF du /v/ vs. /f/ du patient n°4 (à gauche) et du patient n°5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

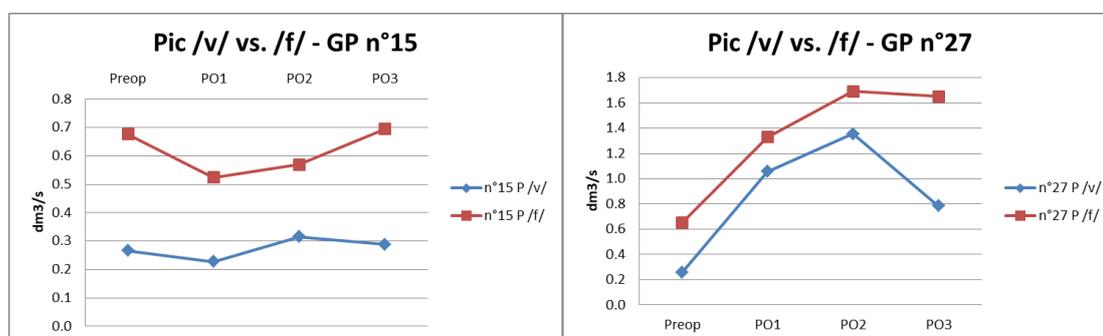


Figure IV-92 Valeur du Pic de l'OAF /v/ vs. /f/ du patient n°15 (à gauche) et du patient n°27 (à droite) Groupe présentant une paralysie

Les valeurs du Pic de la paire /z/ vs. /s/ du GP

Les différences interindividuelles dans les valeurs de la consonne non voisée par rapport à celles de son homologue voisée sont, encore une fois, plus importantes en Preop pour cette paire, comme c'était le cas pour les paires précédentes (Figure IV-93) (Tableau IV-43, Tableau IV-44). D'ailleurs, cette différence entre les valeurs des deux consonnes se maintient dans toutes les autres phases. Le pattern des courbes de la consonne voisée a plus de similarité que la non voisée pour deux patients, n°5 et n°15. Dans le cas de la consonne voisée, la valeur en Preop du patient n°4 est proche de celle du patient n°5, et les valeurs de PO1, PO2, et PO3 sont proches de celles du patient n°15. Dans le cas de la consonne non voisée, la valeur du patient n°4 évolue au milieu de celles des patients n°5

et n° 15. Les valeurs du patient n° 27 restent toujours remarquablement plus importantes par rapport aux autres patients.

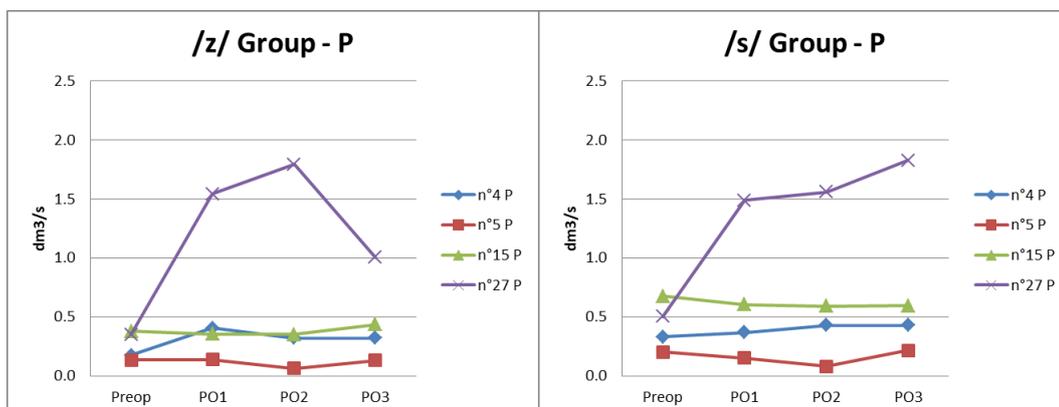


Figure IV-93 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ (à gauche) et du /s/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-43 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ des patients du Groupe présentant une paralysie

Pic /z/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.174	0.406	0.322	0.322
n°5 P	0.134	0.139	0.064	0.132
n°15 P	0.377	0.355	0.352	0.437
n°27 P	0.351	1.541	1.792	1.005

Tableau IV-44 Valeur du Pic de l'OAF du /s/ des patients du Groupe présentant une paralysie

Pic /s/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.331	0.369	0.429	0.429
n°5 P	0.202	0.152	0.081	0.215
n°15 P	0.676	0.603	0.591	0.594
n°27 P	0.504	1.489	1.558	1.827

L'analyse des données pour les consonnes voisée et non voisée par rapport aux patients (Figure IV-94, Figure IV-95), montre que :

En ce qui concerne le patient n° 4, les courbes des consonnes voisée et non voisée ne partagent pas de tendance commune dans leurs évolutions. Elles sont divergentes comme dans les autres cas. Le Pic de l'OAF de la consonne non voisée augmente progressivement à partir de la Preop jusqu'à la PO2, avec une pente plus abrupte après PO1, soit respectivement à 0.331 dm³/s, 0.369 dm³/s et 0.429 dm³/s en Preop, PO1 et PO2. Le Pic de l'OAF de la consonne voisée augmente remarquablement en PO1, soit à 0.406 dm³/s (0.174 dm³/s en Preop). En PO1, la valeur de la consonne voisée est à nouveau plus importante que celle de la consonne non voisée. Le Pic de l'OAF baisse

encore en PO2, soit à 0.322 dm³/s. À la PO3, les deux valeurs maintiennent leurs niveaux de la PO2, soit à 0.322 dm³/s et à 0.429 dm³/s pour /z/ et /s/ respectivement.

Pour le patient n° 5, les courbes de cette paire de consonnes ont des tendances similaires dans leurs trajectoires. Après l'opération, le Pic de l'OAF de la consonne non voisée continue à diminuer, de la Preop à la PO2 ; il se rehausse en PO3 à un niveau comparable à son niveau d'origine. Le Pic de l'OAF de la consonne voisée augmente très légèrement après l'opération, diminue en PO2, puis remonte en PO3, à un niveau comparable avec son niveau d'origine. Les différences entre les valeurs de la consonne voisée et non voisée sont minimales de la première phase (Preop, soit 0.134 dm³/s et 0.202 dm³/s pour /z/ et /s/) à la dernière phase (PO3, soit 0.132 dm³/s et 0.215 dm³/s pour /z/ et /s/). Les valeurs sont respectivement de 0.139 dm³/s et de 0.153 dm³/s pour /z/ et /s/ en PO1, de 0.064 dm³/s pour /z/ et de 0.081 dm³/s pour /s/, en PO2.

Par rapport au patient n° 15, les courbes suivent aussi des tendances similaires dans leurs trajectoires d'une phase à l'autre. En Preop, les Pics de l'OAF sont de 0.266 dm³/s et de 0.676 dm³/s. Les deux valeurs baissent en PO1, soit à 0.227 dm³/s et à 0.524 dm³/s. Aux deux phases suivantes, les deux valeurs continuent d'augmenter, soit à 0.314 dm³/s et à 0.569 dm³/s en PO2. À la PO3, la valeur de la consonne non voisée continue de se hisser vers le haut, à 0.694 dm³/s et la consonne voisée diminue à 0.288 dm³/s.

Pour ce qui concerne le patient n° 27, la distance entre deux séries de valeurs (les deux courbes) est grande, surtout au début (Preop, soit à 0.377 dm³/s et à 0.676 dm³/s pour les deux consonnes /z/ et /s/). Cette distance se réduit en fonction du temps (PO1, soit 0.355 dm³/s et 0.603 dm³/s pour /z/ et /s/ ; PO2, soit 0.352 dm³/s et 0.591 dm³/s pour les deux consonnes), jusqu'à la dernière phase (PO3), arrivant à 0.437 dm³/s et à 0.594 dm³/s respectivement pour les deux consonnes.

Enfin, pour le patient n° 27, les valeurs sont très importantes par rapport aux autres patients. Les deux courbes des consonnes voisée et non voisée sont très proches entre la Preop (soit 1.005 dm³/s et 1.827 dm³/s) et la PO1 (soit 1.541 dm³/s et 1.489 dm³/s), où le Pic de l'OAF de la consonne voisée dépasse celui de la consonne non voisée. À partir de la PO2, les deux courbes se séparent. La valeur de la consonne voisée continue à augmenter, soit à 1.792 dm³/s en PO2, et la différence inattendue (dans les cas normaux, le Pic de l'OAF de la consonne voisée est inférieur à celui de la consonne non voisée)

continue à s'accroître. Le Pic de l'OAF de la consonne voisée augmente avec une pente comparable à celle de son homologue non voisée. En PO3, la valeur de la consonne non voisée continue à croître avec une pente plus haute que la phase précédente (1.827 dm³/s en PO3), alors que celle de la consonne voisée chute vers son niveau original mais niveau qui ne sera pas encore atteint dans cette phase (1.005 dm³/s en PO3).

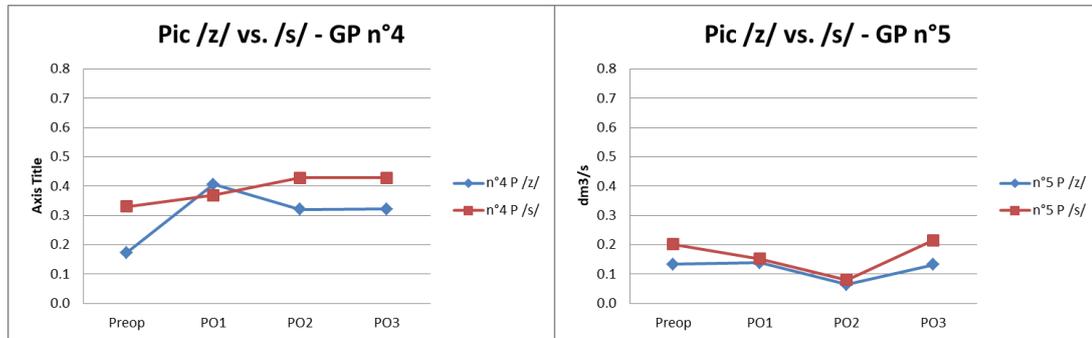


Figure IV-94 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du patient n°4 (à gauche) et du patient n°5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

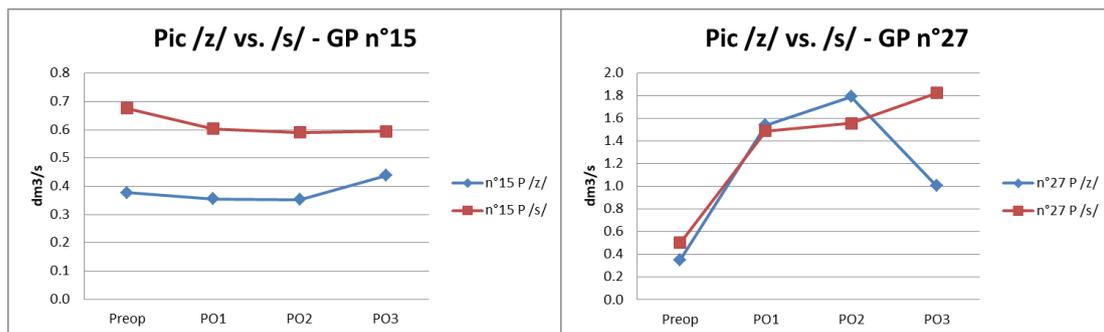


Figure IV-95 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du patient n°15 (à gauche) et du patient n°27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

Les valeurs du Pic de la paire /z/ vs. /s/ du GP

Une analyse interindividuelle indique que les différences de valeurs de la consonne non voisée est plus importante que celle de la consonne voisée en Preop pour cette paire, comme dans tous les cas précédents (Figure IV-96) (Tableau IV-45, Tableau IV-46). Les valeurs du patient n°27 restent toujours plus importantes par rapport aux autres patients. Dans le cas de la consonne voisée, les patients ont des courbes plus stables que celles de son homologue non voisée. Dans le cas de la consonne voisée, la valeur du patient n°4, avec un symptôme pathologique, reste inférieure à celle patient n°15 qui, lui, ne présente pas de symptôme typiquement pathologique.

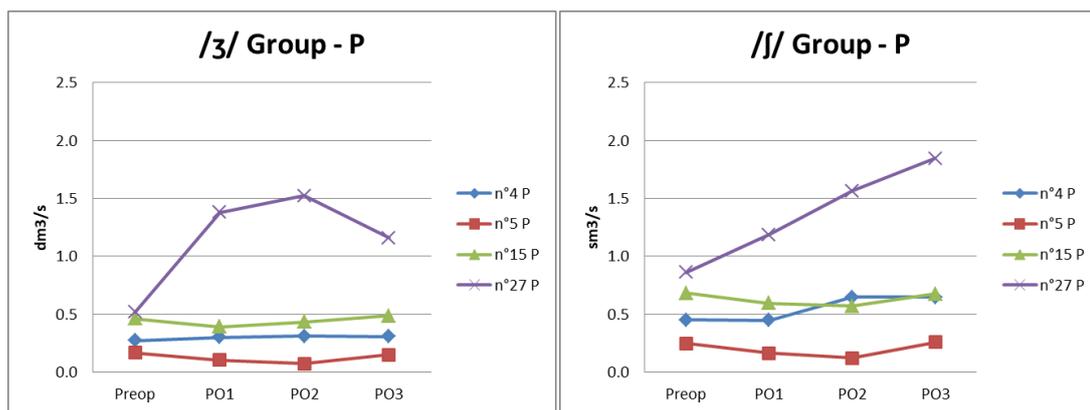


Figure IV-96 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ (à gauche) et du /j/ (à droite) des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Tableau IV-45 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /z/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.271	0.302	0.312	0.307
n°5 P	0.168	0.104	0.072	0.151
n°15 P	0.460	0.393	0.435	0.486
n°27 P	0.518	1.378	1.523	1.158

Tableau IV-46 Valeur du Pic de l'OAF du /j/ des patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Pic /j/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°4 P	0.452	0.448	0.648	0.648
n°5 P	0.247	0.163	0.124	0.257
n°15 P	0.682	0.594	0.571	0.674
n°27 P	0.861	1.187	1.564	1.845

Une analyse comparative de la paire de consonne voisée et non voisée, en fonction des différentes stratégies utilisées par le patient (Figure IV-97, Figure IV-98), nous montre que :

Pour le patient n° 4, les courbes des consonnes voisée et non voisée n'ont pas de similitude au niveau de leurs trajectoires. Le Pic de l'OAF de la consonne non voisée reste relativement stable pendant les 4 phases d'enregistrement. Il augmente progressivement après l'opération avec une très légère pente, soit à 0.271 dm³/s en Preop, 0.302 dm³/s en PO1 et 0.312 dm³/s en PO2. Il baisse à peine en PO3, soit à 0.307 dm³/s. Pour la consonne voisée, le Pic de l'OAF garde presque la même valeur après l'opération (1.452 dm³/s en Preop ; 0.448 dm³/s en PO1), puis marque une augmentation nette en PO2, soit à 0.648 dm³/s. Cette valeur se maintient en PO3, soit à 0.648 dm³/s.

Lorsqu'on regarde les stratégies du patient n° 5, les trajectoires des courbes de cette paire de consonnes affichent des tendances semblables. Après l'opération, le Pic de l'OAF des

deux consonnes diminue progressivement jusqu'à la PO2, soit à 0.168 dm³/s, 0.104 dm³/s et 0.072 dm³/s pour les 3 premières phases pour /z/, et à 0.247 dm³/s, 0.163 dm³/s et 0.124 dm³/s pour /j/. En PO3, les deux valeurs augmentent avec une pente légèrement plus raide sur la consonne non voisée, soit à 0.151 dm³/s pour /z/ et à 0.257 dm³/s pour /j/.

Le patient n°15 adopte une stratégie semblable à celle du patient n°5 : les trajectoires de la consonne non voisée et de son homologue évoluent en parallèle mais avec une différence de valeurs entre les deux courbes plus importante. Le Pic de l'OAF des deux consonnes diminue progressivement jusqu'à la PO2 (0.594 dm³/s en PO1 et 0.571 dm³/s en PO2), après l'opération (0.682 dm³/s en Preop), puis cette valeur augmente en PO3, devenant comparable avec son niveau initial, soit à 0.674 dm³/s. La courbe du Pic de l'OAF de la consonne voisée commence à augmenter progressivement à partir de la PO1 jusqu'à la PO3. Pour la consonne voisée, la valeur du Pic de l'OAF chute après l'opération (0.460 dm³/s en Preop et 0.393 dm³/s en PO1). Puis, elle augmente progressivement aux 3 phases suivantes, soit à 0.435 dm³/s en PO2 et à 0.486 en PO3.

Par rapport au patient n°27, la valeur du Pic de l'OAF de la consonne non voisée augmente de façon linéaire jusqu'à la dernière phase après l'opération avec une pente importante, soit à 0.861 dm³/s, 1.187 dm³/s, 1.564 dm³/s et 1.845 dm³/s pour les 4 phases respectivement. Pour la consonne voisée, la valeur augmente brutalement en PO1 (0.518 dm³/s en Preop ; 1.378 dm³/s en PO1). En PO2, l'augmentation devient moins abrupte, soit à 1.523 dm³/s. Elle diminue en PO3 (1.158 dm³/s) vers son niveau d'origine, mais la distance à « parcourir » pour y arriver reste importante.

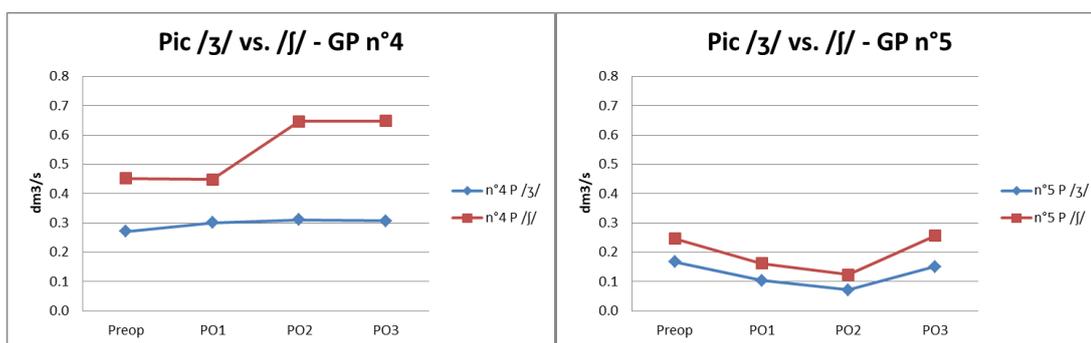


Figure IV-97 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /j/ du patient n°4 (à gauche) et du patient n°5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

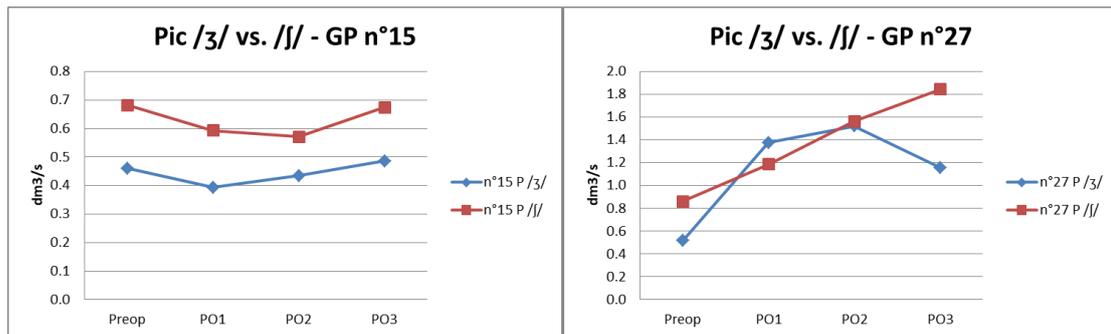


Figure IV-98 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /j/ du patient n°15 (à gauche) et du patient n°27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie

En guise de conclusion partielle...

Quels enseignements pourrions-nous tirer d'une présentation comparative synthétique des données du Pic de l'OAF des consonnes voisées *versus* non voisées pour nos 4 patients ?

Les courbes de nos 4 patients affichent des tendances très variées. L'opération a un impact sur les deux catégories de consonnes, voisées et non voisées, mais davantage chez les patients du GP. Il est difficile de dire quelle catégorie de consonne est la plus impactée par l'opération dans ce Groupe présentant une paralysie. Chez les patients qui présentent des symptômes plus évidents, on n'observe pas de ressemblance dans l'évolution des patterns du Pic de l'OAF pour la consonne voisée ou non voisée. La valeur du Pic de l'OAF de la consonne voisée est souvent plus élevée que celle de la consonne non voisée, à la première phase postopératoire.

Parmi les 6 paires, les courbes des consonnes de la même catégorie partagent une même tendance pour des patients qui ne montrent pas de symptômes typiques (Patients n°5 et n°15). Les courbes des consonnes de la même catégorie ne partagent pas la même tendance pour des patients qui montrent des symptômes typiques (Patients n°4 et n°27).

Nous constatons une tendance à un rapprochement des deux courbes de ces deux catégories de consonnes pour la plupart des patients (Patients n°4, n°5 et n°27).

Pour les patients ayant des symptômes typiques, les valeurs moyennes du Pic de l'OAF croissent de façon très abrupte tout de suite après l'opération (PO1). La valeur des consonnes voisées peut parfois dépasser celle des consonnes non voisées.

Dans la plupart des cas, nous observons que :

Les patients paralysés avec des symptômes typiques utilisent des stratégies complètement différentes pour la production des consonnes voisées et non voisées.

Les patients paralysés sans symptômes typiques déploient des stratégies semblables pour réaliser les consonnes voisées et non voisées.

Les stratégies mises en place pour produire les consonnes voisées et non voisées par les patients paralysés sans symptômes typiques ont très peu de similitudes par rapport aux patients normaux.

Le patient qui est atteint d'une paralysie bilatérale avec des symptômes typiques présente une augmentation de ses valeurs jusqu'en PO3, la pente devenant moins raide après PO1.

Pour le patient atteint d'une paralysie unilatérale avec des symptômes typiques, la valeur des consonnes voisées baisse à nouveau après PO1, mais celle des consonnes non voisées continue d'augmenter plus résolument.

Pour le patient atteint d'une paralysie unilatérale sans symptômes typiques, les valeurs des deux catégories de consonnes diminuent après l'opération (PO1), excepté pour le cas de /z/. La pente de la trajectoire lors de la diminution des consonnes voisées est moindre que celle des consonnes non voisées.

Les cas comparables dans les deux groupes

Il existe certains cas dans le Groupe Normal qui sont comparables avec les cas des patients sans symptômes typiques du Groupe présentant une paralysie. Nous prenons, à titre illustratif, l'exemple de 4 consonnes (2 paires, dont 1 paire de consonnes occlusives et 1 paire de consonnes fricatives).

Pour le cas de la consonne /b/ (Figure IV-99) (Tableau IV-47), le patient n° 13 du Groupe Normal a des valeurs plus élevées que les 2 patients sans symptômes typiques du Groupe présentant une paralysie.

Le niveau du Pic de l'OAF chez ce patient en phase préopératoire (0.367 dm³/s) est plus important que celui des 2 patients du GP ; il fait partie des patients du groupe normal mais

avec comportement atypique. Cela n'est donc pas un indice de présence d'un dysfonctionnement pathologique, même si la valeur du Pic augmente de façon importante après l'opération, soit à 0.622 dm³/s en PO1. Cependant, le patient n° 15 du GP voit sa valeur du Pic diminuée en PO1 pour se rapprocher de la tendance générale du GN. Le patient n° 5 maintient ses valeurs du Pic assez stable pendant les 4 phases. Le Pic de l'OAF du patient n° 13 baisse à nouveau progressivement aux deux phases suivantes (0.559 dm³/s et 0.510 dm³/s en PO2 et PO3) mais reste toujours plus important que celui des 2 patients du GP.

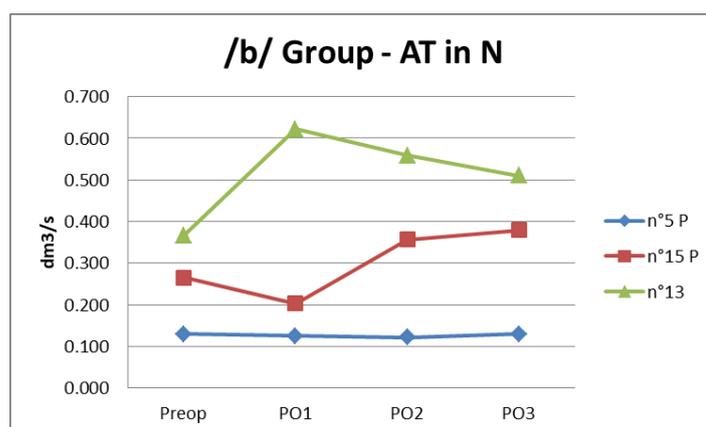


Figure IV-99 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Tableau IV-47 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Pic /b/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°13	0.367	0.622	0.559	0.510

Par rapport à la consonne /p/ (Figure IV-100) (Tableau IV-48), le patient n° 20 du Groupe Normal a des valeurs plus élevées que celles des 2 patients sans symptômes typiques du Groupe présentant une paralysie. La valeur préopératoire (0.471 dm³/s) est presque la même que celle du Patient n° 15 du GP. Elle augmente brutalement après l'opération, soit à 0.718 dm³/s en PO1, puis baisse à nouveau progressivement en PO2 (0.690 dm³/s) et en PO3 (0.671 dm³/s). Les 2 patients du GP ont leurs valeurs inférieures à celles du Patient n° 15 pendant les 4 phases. Les tendances de l'évolution de la trajectoire des courbes ressemblent à celles de la consonne /b/.

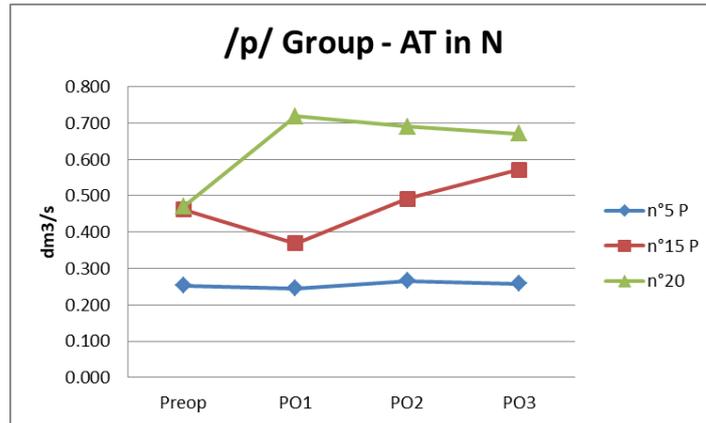


Figure IV-100 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Tableau IV-48 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Pic /p/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°20	0.471	0.718	0.690	0.671

En ce qui concerne la consonne /v/ (Figure IV-101) (Tableau IV-49), les patients n° 13 et n° 20 du Groupe Normal ont des valeurs plus élevées que celles des 2 patients sans symptômes typiques du Groupe présentant une paralysie. Les niveaux des valeurs préopératoires (0.471 dm³/s) sont très proches de celui du Patient n° 15 du GP. Les valeurs de ces deux patients varient après l'opération, soit respectivement à 0.424 dm³/s et à 0.431 en PO1. Les valeurs du Patient n° 13 continuent à augmenter en PO2 (0.533 dm³/s), mais baisse à nouveau en PO3 (0.465 dm³/s). Celle du Patient n° 20 baisse en PO2 (0.359 dm³/s) mais augmente légèrement en PO3 (0.380 dm³/s).

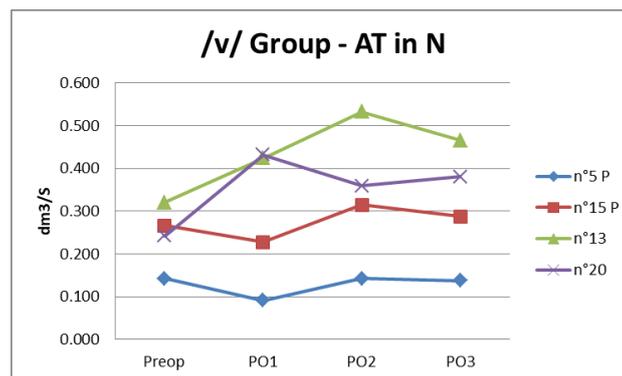


Figure IV-101 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Tableau IV-49 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Pic /v/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°13	0.320	0.424	0.533	0.465
n°20	0.242	0.431	0.359	0.380

Les 2 patients du GP ont leurs valeurs postopératoires inférieures à celles des deux Patients du GN, mais affichent des tendances d'une évolution en parallèle de leurs trajectoires.

Quant à la consonne /f/ (Figure IV-102) (Tableau IV-50), comme nous pouvons l'observer dans la figure, les 2 patients du GN et les 2 patients du GP ont les patterns de leurs courbes comparables : il s'agit de trajectoires qui évoluent plus ou moins en parallèle (sauf pour le Patient n° 5 qui voit sa valeur du Pic en PO3 diminuée). Avant l'opération, les valeurs des patients n° 23 et n° 31 du GN sont respectivement de 0.541 dm³/s et de 0.920 dm³/s. Elles augmentent à la PO1 (respectivement à 0.672 dm³/s et 1.021 dm³/s) et PO2 (respectivement à 0.838 dm³/s et 1.118 dm³/s). À la PO3, elles baissent à nouveau, soit à 0.802 dm³/s et à 1.113 dm³/s respectivement.

Les 2 patients du GP ont des valeurs postopératoires inférieures à celles des deux Patients du GN. Après l'opération, les valeurs des 2 patients du GP diminuent (PO1), puis remontent en PO2. En PO3, celle du patient n° 15 continue à augmenter, et celle du patient n° 5 baisse à nouveau.

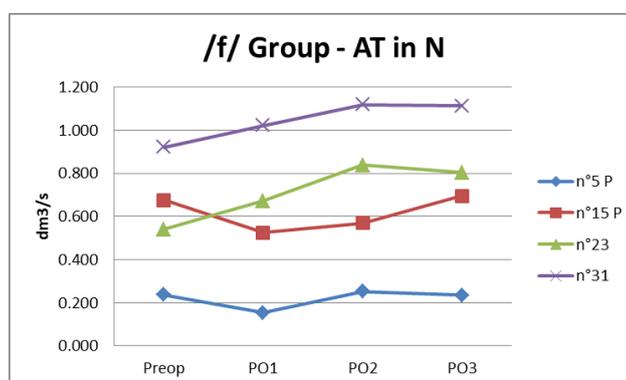


Figure IV-102 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Tableau IV-50 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal

Pic /f/	Preop	PO1	PO2	PO3
n°23	0.541	0.672	0.838	0.802
n°31	0.920	1.021	1.118	1.113

Étude croisée des Pic de l'OAF des consonnes : le GP versus le GN

Dans la partie *supra*, nous avons étudié individuellement les 6 paires des 12 consonnes après l'intervention sur le Groupe présentant une paralysie. Dans cette partie, nous allons les comparer transversalement pour savoir si les courbes suivent un certain modèle ou une tendance dans leur évolution, comme cela a été le cas pour le Groupe Normal.

Nous remarquons certains phénomènes (Figure IV-103 à Figure IV-106) :

- 1) Malgré les différentes tendances observées pour les deux catégories de consonnes, les patients paralysés avec des symptômes typiques ont des comportements bien similaires au sein des mêmes catégories de consonnes. D'ailleurs cette similitude traverse les deux catégories de consonnes et cela pour toutes les paires. Ainsi, on voit la même tendance partagée par les deux items d'une paire de consonnes. Si nous prenons les cas où les courbes sont en apparence les plus chaotiques, celui du patient n°5 par exemple : ce patient affiche des courbes avec différentes tendances pour les différentes consonnes. Néanmoins, si nous observons plus attentivement les trajectoires de ses courbes, nous pouvons voir que pour une paire de consonnes donnée, les tendances restent les mêmes. Par exemple, pour les consonnes /v/ et /b/ (dans la figure à gauche), les courbes de ces deux consonnes sont différentes des autres courbes au niveau de la tendance de leur trajectoire. Cependant, on constate que les trajectoires sont comparables à celles de leurs homologues /f/ et /p/ (dans la figure de droite).
- 2) Les patients paralysés sans symptômes typiques ont des tendances aussi très similaires pour les mêmes catégories de consonnes, dans la plupart des cas. Cependant, il y a moins de tendances partagées à travers les catégories voisée et non voisée, et pour les différentes paires de consonnes, comme cela a été le cas chez les patients non paralysés.
- 3) Pour mettre au jour les ressemblances et les différences de manière plus robuste, il conviendrait d'avoir plus de données, surtout auprès de patients paralysés.
- 4) Généralement, les patients paralysés, avec ou sans symptômes typiques, ont leurs courbes de consonnes voisées qui se rapprochent, même si les vacillations dans les trajectoires sont plus importantes, comme pour tous les autres patients, avec ou sans paralysie.

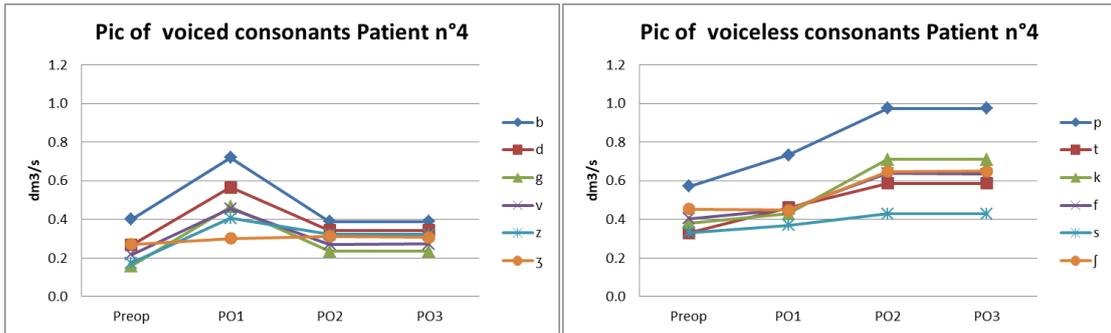


Figure IV-103 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n° 4

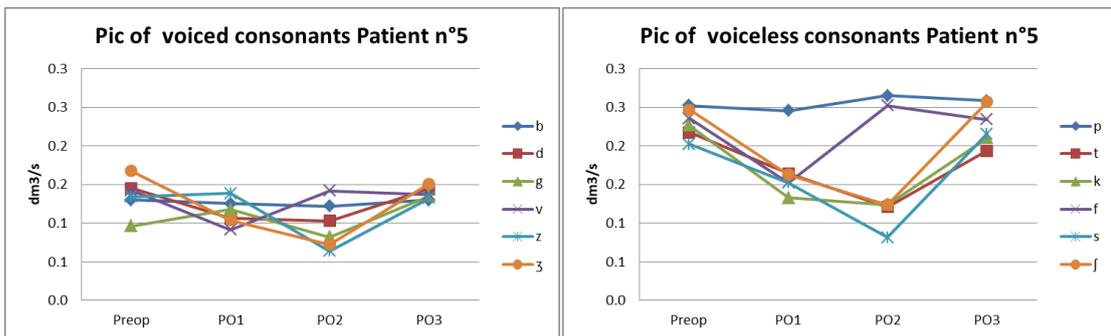


Figure IV-104 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n° 5

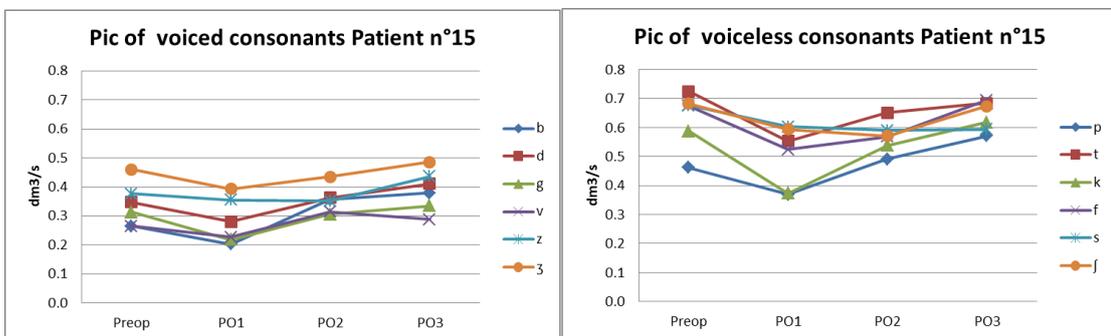


Figure IV-105 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n° 15

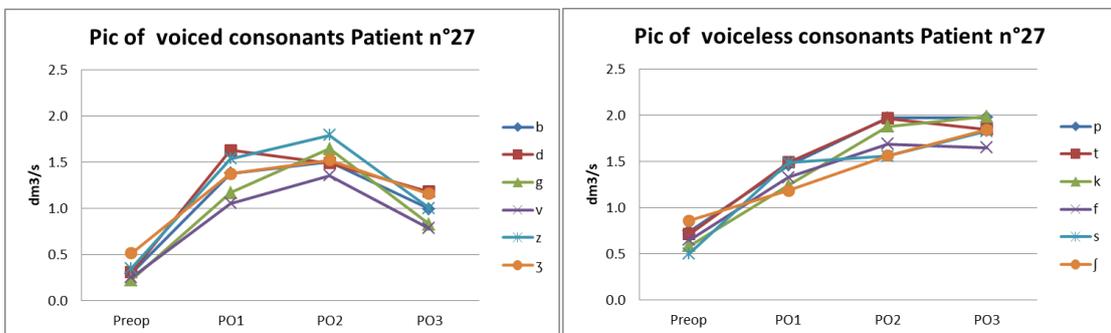


Figure IV-106 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n° 27

Pour résumer...

Plus les symptômes sont graves et notoires, plus les courbes sont proches les unes des autres pour les différentes consonnes de la même catégorie de voisement. Cela veut dire que les différences inter-individuelles sont faibles.

Par rapport au GN, les patients normaux ont leurs courbes des consonnes non voisées moins rapprochées, mais chez les patients du GP, le degré de rapprochement des courbes pour les deux catégories de consonnes est similaire. Les différences inter-individuelles ne changent pas en fonction de la catégorie de consonnes à produire.

Le patient n° 27 ayant une paralysie bilatérale est celui chez qui les symptômes sont les plus saillants. Les courbes chez ce patient sont les plus groupées et les plus ressemblantes. Le patient n° 4 ayant une paralysie unilatérale montre moins de symptômes que le patient n° 27 mais plus que les deux autres patients. Il a les courbes les plus concentrées et uniformes, pour la plupart des consonnes, par rapport aux patients n° 5 et n° 15, mais moins que le patient n° 27. Les patients n° 5 et n° 15 ne montrent pas de symptômes typiques, leurs courbes ont moins de similitudes que celles des patients n° 27 et n° 4.

Suite résumé...

En comparant 5 patients choisis aléatoirement, nous pouvons remarquer dans les figures ci-dessous que (Figure IV-107 à Figure IV-111) dans la plupart des cas, pour une paire de consonnes voisée et non voisée, il y a une haute similitude entre les tendances des courbes des différentes catégories de voisement. Les courbes sont plus rassemblées pour les consonnes voisées, ce qui correspond à ce que nous avons remarqué dans la section *supra* à savoir que :

- 1) L'intervention impacte davantage les consonnes qui exigent une consommation du débit d'air plus importante. Cette exigence en termes de consommation de débit d'air important semble varier selon les patients ; on ne peut pas identifier une classe de consonnes dont la production en exigerait plus de consommation du débit d'air.
- 2) Les différences inter/intra-individuelles entre les consonnes non voisées sont plus larges.
- 3) Les patients paralysés sans symptômes typiques ont les valeurs et les trajectoires des 4 phases qui semblent évoluer de façon tout à fait normal ; il est donc relativement tentant, au vu de tels résultats, de procéder à des diagnostics erronés ou tardifs. Cependant, et différemment des patients normaux, les patients paralysés sans symptômes typiques ont moins d'uniformité dans les trajectoires de leurs courbes, cela pour une même catégorie de consonne.
- 4) Les patients paralysés avec des symptômes typiques, dans une paire de consonnes, n'ont pas de tendance partagée entre les deux catégories de voisement.
- 5) Enfin, pour les patients paralysés, avec ou sans symptômes typiques, les courbes sont autant concentrées pour les consonnes voisées que non voisées. Pour les patients normaux, les courbes sont beaucoup plus concentrées pour les consonnes voisées que pour les non-voisées.
- 6) Nous rappelons ici qu'une grande variabilité dans les trajectoires des courbes n'est pas corrélée à un rapprochement de ces courbes.
- 7) Les résultats de cette expérience pourraient donner lieu à un nouveau système potentiel à diagnostiquer la paralysie laryngale post-opératoire, à la fois plus précise et non invasive. Etant donné que ce sont des patients que l'on évalue, la

dimension clinique est importante ; en effet on ne peut pas évaluer et faire un diagnostic uniquement sur des critères acoustiques ou aérodynamiques.

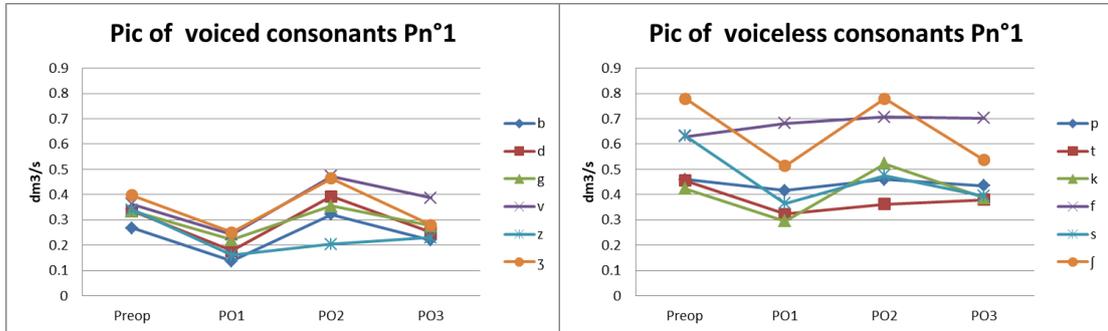


Figure IV-107 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°1

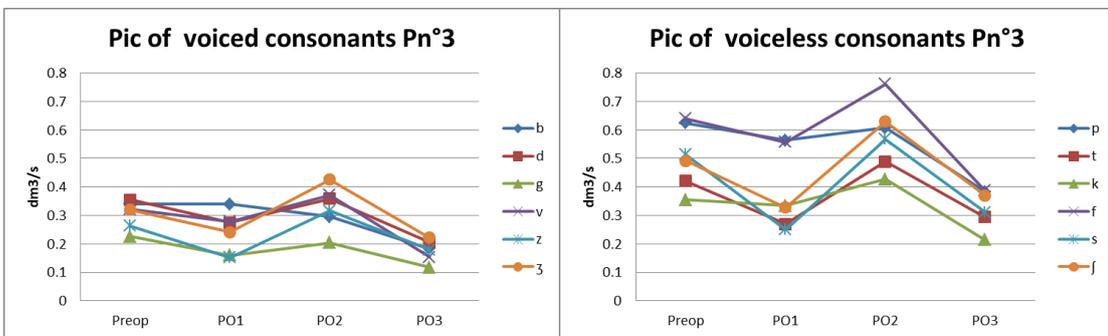


Figure IV-108 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°3

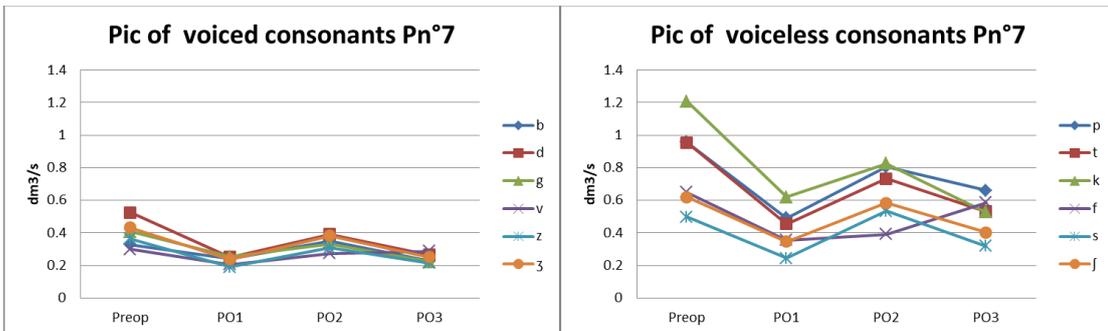


Figure IV-109 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°7

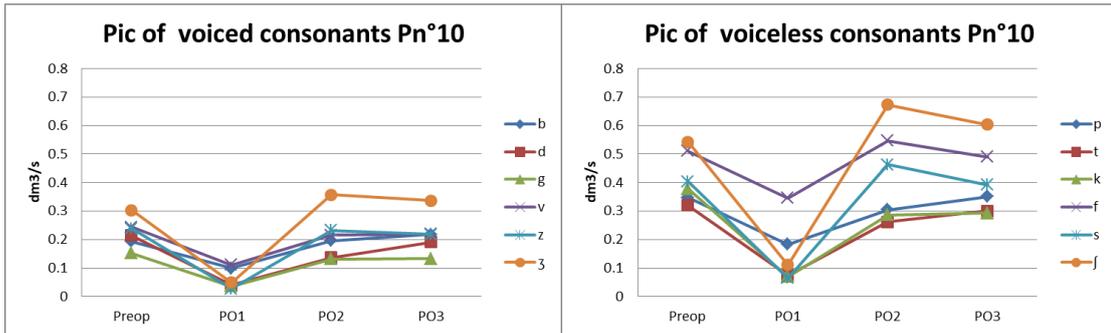


Figure IV-110 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n° 10

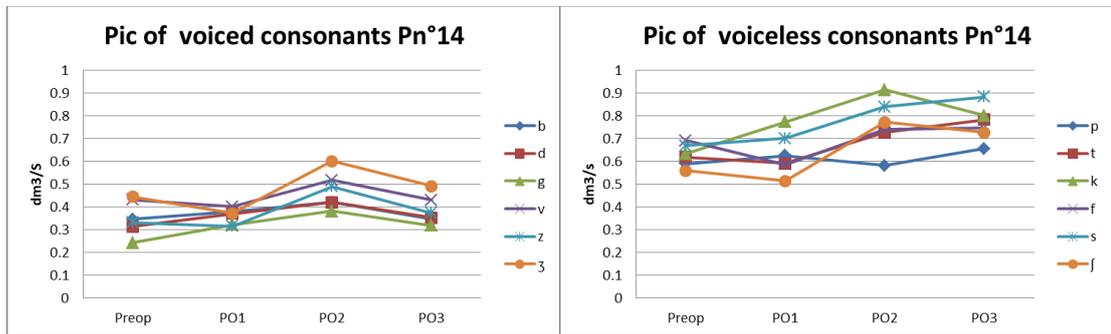


Figure IV-111 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n° 14

Dans ce qui suit, nous proposons de procéder à l'analyse des données acoustiques qui, dans une certaine mesure, sont les conséquences de faits aérodynamiques, même si nous sommes conscient de la non-linéarité entre ces deux niveaux de la production de la parole.

IV.2. Résultats des expériences acoustiques et des évaluations subjectives

Les phénomènes acoustiques sont le résultat d'activités aérodynamiques, entre autres. Après avoir étudié les résultats des expériences aérodynamiques, nous allons, dans cette partie, étudier les effets que la modification des stratégies aérodynamiques, suite à l'opération chez les patients, peuvent avoir sur le signal acoustique.

Les résultats des expériences acoustiques de notre étude contiennent deux parties :

- Une partie relative aux études formantiques :
 - L'analyse de le F0
 - L'analyse des F1/F2
 - L'analyse de l'espace vocalique
- Une partie consacré aux indices de perturbation du signal de parole :
 - Le Jitter et le Shimmer
 - Le HNR

1. Études Formantiques

Les formants sont les distributions d'énergie d'une source sonore due à la résonance du conduit vocal. La fréquence fondamentale et les deux premiers formants sont les paramètres essentiels pour expliquer les caractéristiques de la voyelle (Fant, 2018) (Kent, 1976) (Paliwal, 1983).

Les altérations et les perturbations de la voix et de la parole suite à la thyroïdectomie pourraient être associés à d'autres facteurs extra-laryngés (Hong et al, 2017). Les muscles crico-thyroïdiens et les muscles de la nuque peuvent être endommagés pendant ce genre d'opération. Cette intervention chirurgicale peut, parfois, provoquer des changements dans la contraction musculaire, la relaxation et les niveaux de tension de muscles, ce qui va modifier les mouvements verticaux du larynx (Williams et al, 1989) (Sonninen et al, 1999).

Les fréquences F1 et F2 déterminent les caractéristiques des voyelles et les zones de l'espace vocalique, qui peuvent également être déterminées par les formes des voies vocales individuelles (Hong et al, 2017). F1 change habituellement en fonction de la position supérieure-inférieure de la langue, et la F2 change en fonction de la position antéropostérieure de la langue, même si nous ne pouvons pas parler d'une relation linéaire entre, d'une part gestes articulatoires et formes du conduit vocal et, d'autre part conséquences acoustiques. L'espace vocalique peut être pris pour un indice de la précision d'une réalisation vocalique spécifique, et fait référence à la capacité globale du locuteur à atteindre des « cibles » désirées au niveau supraglottique notamment (Vilkman et al, 1989).

Dans notre investigation, nous allons tenter de voir si la Fréquence fondamentale (F0) serait atteinte après l'opération, ainsi que les valeurs des deux premiers formants, à savoir le F1 et le F2. Il sera question aussi de détecter des indices acoustiques d'éventuelles stratégies compensatoires mises en place par les patients, suite à une perturbation externe due à l'opération de la thyroïde.

a) Analyse de la Fréquence fondamentale (F0/Pitch)

En ce qui concerne cette expérience, nous avons 27 patients dans le groupe Normal (20 féminins, 7 masculins), 4 patients dans le Groupe présentant une paralysie (1 féminin, 3 masculins).

Nous avons donc des productions pour 31 patients au total pour cette expérience.

Le corpus est la voyelle /a/, suivant les recommandations de la Société Européenne de Laryngologie (Dejonckere et al. 2003).

Analyse des données du F0 du groupe normal (Group N)

À travers l'analyse par *Box Plot*, nous pouvons observer que les valeurs n° 8, correspondant au patient n° 10, sont anormales (Figure IV-112). Après analyse des données de ce patient, nous considérons que cette anomalie provient de causes liées à l'expérience ou à des productions erronées des patients. En conséquence, les valeurs sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été

effectués avec les 26 ensembles de valeurs restants. Les valeurs du patient n° 10 sont présentés individuellement.

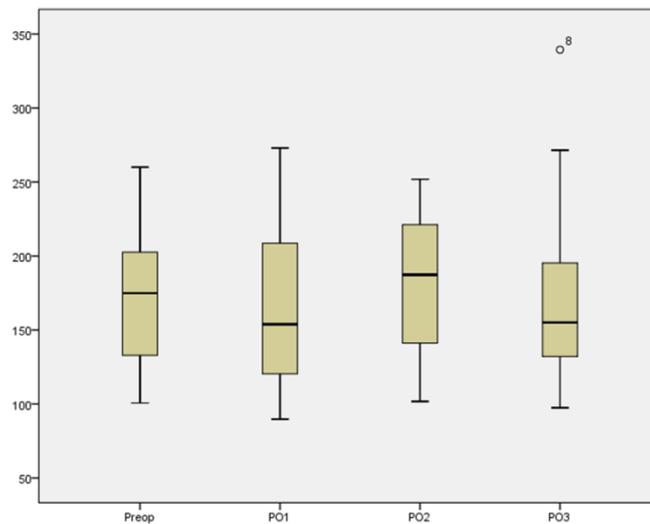


Figure IV-112 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 du Groupe Normal

La valeur moyenne varie légèrement pendant les quatre phases d'enregistrement pour les patients qui ne présentent pas de paralysie laryngale. Après l'opération, la valeur diminue à 161.625 Hz en PO1 (169.337 Hz en Preop). En PO2, elle remonte en dépassant légèrement la valeur de la Preop, soit 172.402 Hz. Cette valeur baisse à nouveau au même niveau que celui de la PO1, avec une valeur presque identique en PO3, soit 161.674 Hz (Figure IV-113) (Tableau IV-51). Ce résultat corrobore l'étude de Hong et Kim (1997), qui montre que le F0 diminue par rapport à la Preop, quatre semaines après l'opération.

La différence interindividuelle de l'écart-type augmente en PO1 (soit 54.873 Hz par rapport à la Preop, qui est de 43.717 Hz). Cet écart-type, par rapport à PO1, diminue aux deux phases suivantes, soit à 47.620 Hz et à 46.291 Hz pour la PO2 et PO3. Cela semble correspondre à un indice de rétablissement puisque la variabilité semble baisser.

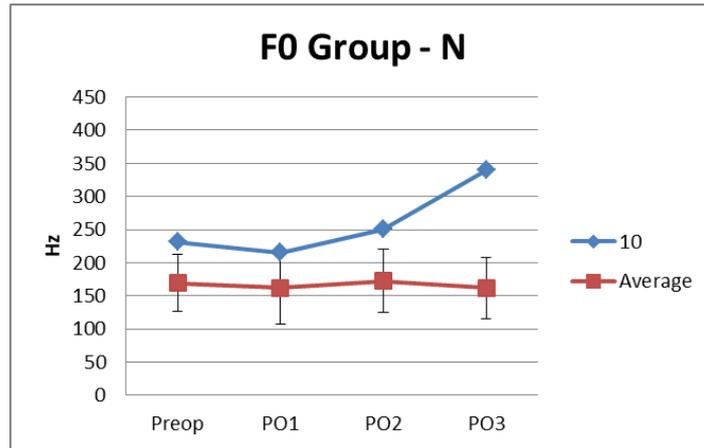


Figure IV-113 Résultat du F0 du Groupe Normal

Tableau IV-51 Résultat du F0 du Groupe Normal

F0	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	169.337	161.625	172.402	161.674
St.Dev	43.717	54.873	47.620	46.291

Le patient n 10 a des valeurs (Tableau IV-52) plus élevées que les autres patients, surtout à la dernière phase. Les valeurs avec la courbe des 3 premières phases est presque parallèle à la courbe correspondante de la valeur moyenne.  tant donné que ces valeurs suivent les mêmes tendances, cela semble indiquer que cet écart n'est pas dû à un artefact au niveau d'un non respect éventuel des consignes données et au niveau de l'acquisition des données.

Tableau IV-52 Valeur F0 anormale du Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
n�10	231.606	215.486	250.587	339.418

Les valeurs sont à 231.606 Hz, 215.486 Hz et 250.587 Hz respectivement pour la Preop, PO1 et PO2.   la dernière phase (PO3), cette valeur augmente de façon abrupte jusqu'à 339.418 Hz. De telles valeurs sont élevées, surtout pour des voix masculines. Ce phénomène serait provoqué probablement par une faiblesse de la mobilité des plis vocaux, ce qui conduit à la création d'une tension dans celles-ci. Plus les plis vocaux sont tendues, plus le F0 est plus haute, en général. Le muscle crico-thyroïdien peut produire une tension aux plis vocaux. Il peut aussi allonger des plis vocaux vers l'arcade du cartilage crico le et incliner la bordure supérieure de la lame du cartilage crico le. Cette action engendre une phonation avec une F0 plus élevée (Drake et al, 2017). Rappelons que les muscles crico-

thyroïdien sont innervés par le nerf laryngé supérieur. Ce qui suppose que le nerf laryngé supérieur serait atteint par l'intervention. Ce n'est pas la première fois que nous constatons que les conséquences des complications postopératoires émergent plus tardivement après l'opération (voir *supra*). Elles apparaissent rarement immédiatement après l'opération (PO1), mais plutôt en PO2 ou en PO3.

Analyse statistique des données du F0 du groupe normal

Par le test de Shapiro-Wilk, les valeurs obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=7.295$, $P=0.200$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 169.3 ± 43.7 , 161.6 ± 54.9 , 172.4 ± 47.6 , 161.7 ± 46.3 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,75) = 1.626$, $P = 0.191 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Il existe une différence de la valeur de la fréquence fondamentale entre les genres. Il est fort probable que la confusion des données fausse le résultat de l'analyse. Afin de vérifier si cette absence de différence statistiquement significative entre les phases provient de ce fait, nous analysons à nouveau le Groupe Normal en séparant les données des patientes féminines de celles des patients masculins (voir, par exemple Fauth et al, 2015).

F0 des patientes féminines du Groupe Normal

À travers une nouvelle analyse par *Box Plot*, les valeurs n°8, correspondant au patient n°10, sont encore une fois anormale (Figure IV-114). Donc, elles sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de la statistique. Les analyses ont été effectuées avec les 19 ensembles de valeurs restants. Les valeurs des patients n°10 ont été déjà traitées individuellement dans l'analyse précédente.

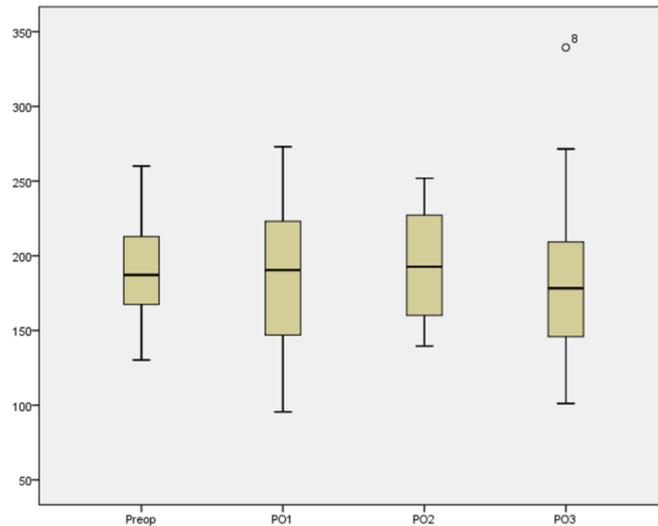


Figure IV-114 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 des Patients masculins du Groupe Normal

La tendance de la courbe des valeurs des patientes féminines du GN (Figure IV-115) (Tableau IV-53) est similaire à celle à celle observée tous locuteurs confondus (ensemble du groupe, femmes et hommes), sauf pour la valeur du F0 de la PO3 qui est la phase avec la valeur la plus basse parmi les quatre phases, soit 178.567 Hz. La PO2 est la phase avec la valeur la plus importante, soit 193.498 Hz. Cela correspond à ce que nous avons observé dans l'analyse précédente.

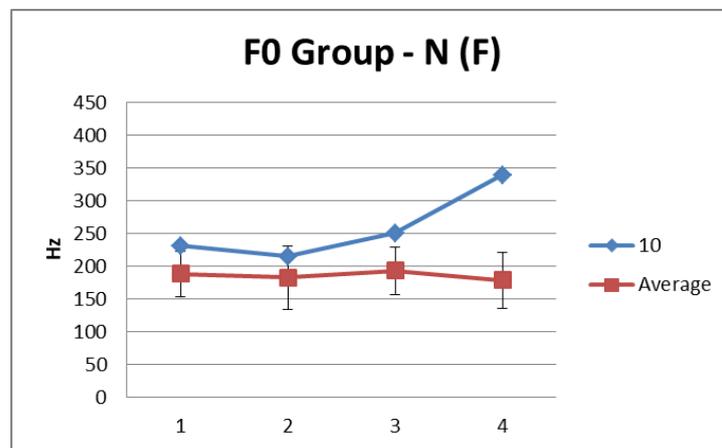


Figure IV-115 Résultat du F0 des Patientes féminines du Groupe Normal

Tableau IV-53 Résultat du F0 des Patientes féminines du Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	188.107	182.796	193.498	178.567
St.Dev	34.280	48.719	36.493	42.265

Analyse statistique des données des patientes féminines du Groupe Normal

Par le test de Shapiro-Wilk, les valeurs obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=5.318$, $P=0.379$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 188.1 ± 34.3 , 182.8 ± 48.7 , 193.5 ± 36.5 , 178.6 ± 42.3 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,54) = 1.313$, $P = 0.280 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

F0 des patients masculins du Groupe Normal

À travers une nouvelle analyse par Box Plot, les valeurs n°5, correspondant au patient n°26, sont encore une fois anormales (Figure IV-116). Donc, elles sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de la statistique. Les analyses ont été effectuées avec les 6 ensembles de valeurs restants. Les valeurs du patient n°10 sont présentées individuellement.

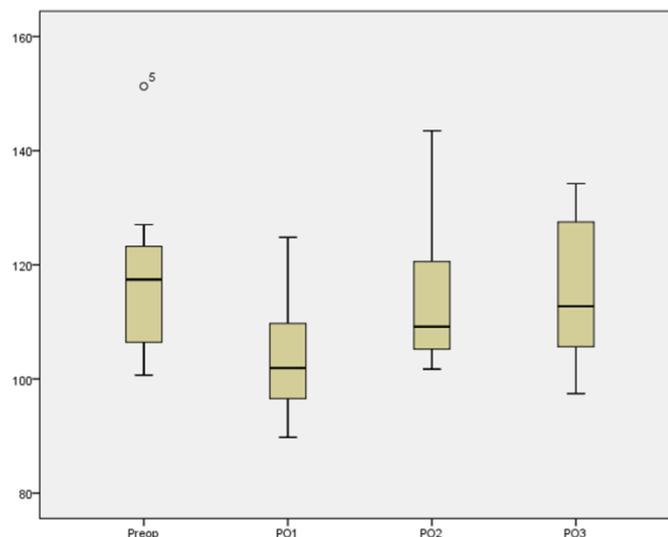


Figure IV-116 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 des Patients masculins du Groupe Normal

La tendance de la courbe des valeurs des patients masculins du GN (Figure IV-117) (Tableau IV-54) est différente de celle des valeurs mixtes (ensemble du groupe, femmes et hommes). L'apparition de l'effet de l'opération sur le F0 est à peine visible

immédiatement après l'intervention (PO1), soit 104.531 Hz. Cette valeur se rehausse aux deux phases suivantes, soit 110.417 Hz et 113.453 Hz pour la PO2 et PO3. En PO3, la valeur dépasse très légèrement son niveau initial (Preop : 112.905 Hz).

Par rapport aux patientes féminines, la différence interindividuelle des patients masculins est tellement faible que nous ne pouvons même pas les constater sur la figure. Cette différence augmente d'abord après l'opération (13.519 Hz) puis diminue à la PO2, soit 8.671 Hz. Elle remonte jusqu'à 14.444 Hz en PO3, ce qui correspond à la valeur la plus importante parmi les quatre phases.

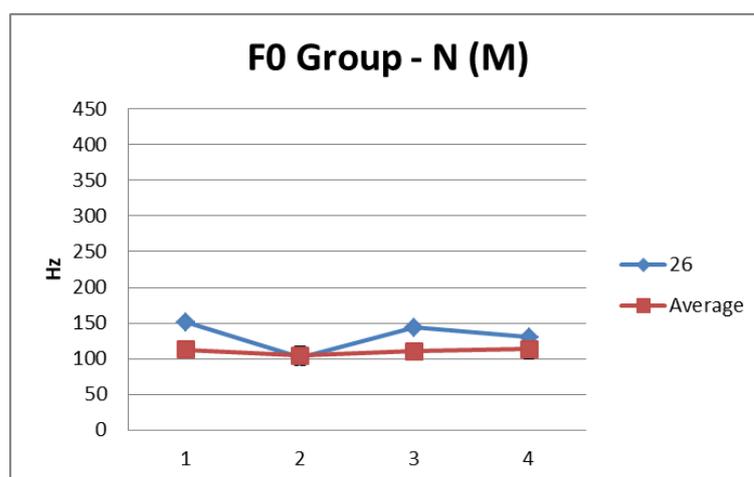


Figure IV-117 Résultat du F0 des Patients masculins du Groupe Normal

Tableau IV-54 Résultat du F0 des Patients masculins du Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	112.905	104.531	110.417	113.453
St.Dev	10.001	13.519	8.671	14.444

La valeur du patient n°26 ondule plus fortement (Tableau IV-55) que les autres patients. Il a des valeurs importantes à la Preop (151.283 Hz) et à la PO2 (143.498 Hz). Mais ces deux phases ont des valeurs de niveaux très proches. Il ne s'agit pas d'un échec d'enregistrement non plus. En PO1, il a le F0 la plus basse des quatre phases.

Tableau IV-55 Valeur F0 anormale du Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
n°26	151.283	101.928	143.498	130.021

Analyse statistique des données des patients masculins du Groupe Normal

Par le test de Shapiro-Wilk, on constate que les valeurs obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le test d'hypothèse sphérique de Mauchly, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=7.041$, $P=0.231$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de $112.9.1 \pm 10.0$, 104.5 ± 13.5 , 110.4 ± 8.7 , 113.5 ± 14.4 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,15) = 1.160$, $P = 0.358 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Étude comparative des données du F0 du Groupe Normal

Les analyses statistiques ne peuvent pas démontrer de différences significatives avec les valeurs mixtes ou séparées selon les genres. Si nous sortons aléatoirement 5 patients de chaque catégorie (genre) du Groupe Normal (Figure IV-118, Figure IV-119), nous pouvons observer visuellement que les courbes des patients masculins sont plus rassemblées. Cela indique que la différence interindividuelle des patients masculins est beaucoup moins élevée que chez les patientes féminines.

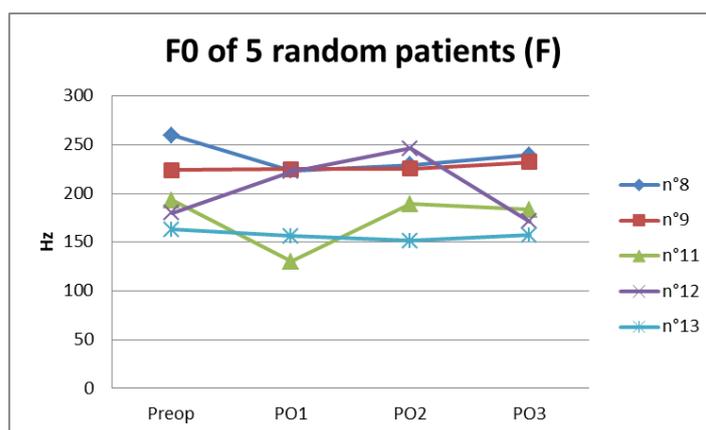


Figure IV-118 F0 de 5 patientes féminines choisies aléatoirement

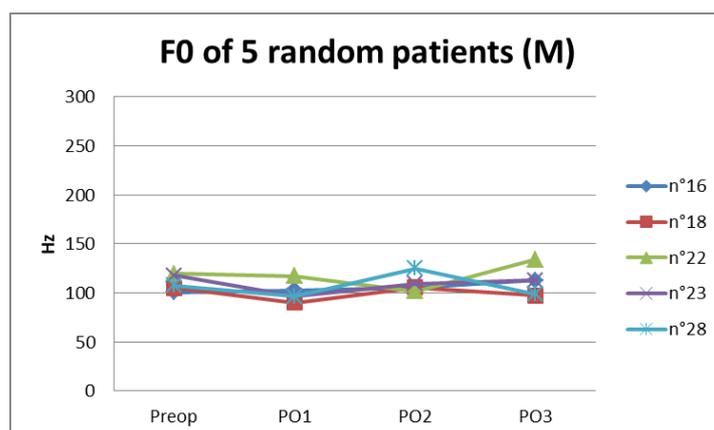


Figure IV-119 F0 de 5 patients masculins choisis al éatoirement

Les valeurs ne sont pas proches pour les patientes féminines. Les tendances d'évolution de tous les patients sont très variées. Il est donc difficile d'assurer la précision d'un diagnostic et/ou une évaluation postopératoire qui reposerait sur une tendance typique pour un certain nombre de patients. En outre, les données montrant d'importantes différences individuelles ne sont pas suffisantes pour procéder à une conclusion robuste.

Analyse des données du F0 du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Sur la Figure IV-120 (Tableau IV-56) sont représentées les valeurs du groupe GP. Nous pouvons voir que les valeurs des patients n°4 et n°27 montrent une haute similitude entre les patterns dans les phases postopératoires, bien qu'il existe un écart important pour les valeurs de la PO2.

Pour le patient n°4, la valeur augmente en PO1 après l'opération. À la PO2, le F0 du patient n°4 a une dégradation très avancée, le F0 est de 420.732 Hz par rapport aux phases précédentes, soit 99.027 Hz en Preop et 128.793 Hz en PO1. Elle baisse à nouveau à la dernière phase d'enregistrement, soit 102.415 Hz en PO3. Le patient n°27 a une augmentation similaire après l'opération (103.133 Hz en Preop et 155.972 Hz en PO1). À la PO2, la dégradation vocale est tellement importante que le patient «perd son F0 ». En effet, il y a absence de fréquence fondamentale en état de chuchotement. En PO3, le patient «retrouve son F0 », soit à 121.709 Hz.

Les patients n°5 et n°15 ont leurs F0s préopératoires (Preop) de deux niveaux différents (150.452 Hz et 116.176 Hz), mais elles s'approchent après l'opération, soit respectivement à 113.943 Hz et 124.476 Hz. Aux deux dernières phases, le patient n°5 a

sa valeur qui augmente légèrement (124.824 Hz et 136.131 Hz pour PO2 et PO3). Le patient n° 15 garde un niveau stable aux deux dernières phases, soit 125.557 Hz et 125.866 Hz pour PO2 et PO3 respectivement.

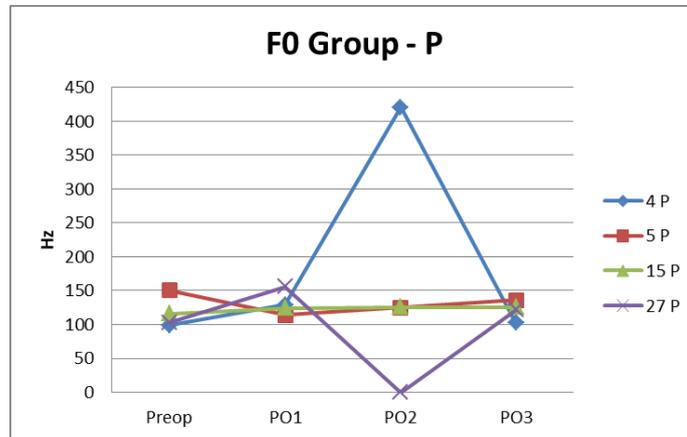


Figure IV-120 Résultat du F0 du Groupe Normal

Tableau IV-56 Résultat du F0 du Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
4 P	99.027	128.793	420.732	102.415
5 P	150.452	113.943	124.824	136.131
15 P	116.176	124.476	125.557	125.866
27 P	103.133	155.972	None	121.709

Les cas comparables dans les deux groupes

Nous pouvons observer de nombreux cas dans le Groupe Normal qui sont comparables à certains cas dans le Groupe présentant une paralysie (Figure IV-121) (Tableau IV-57).

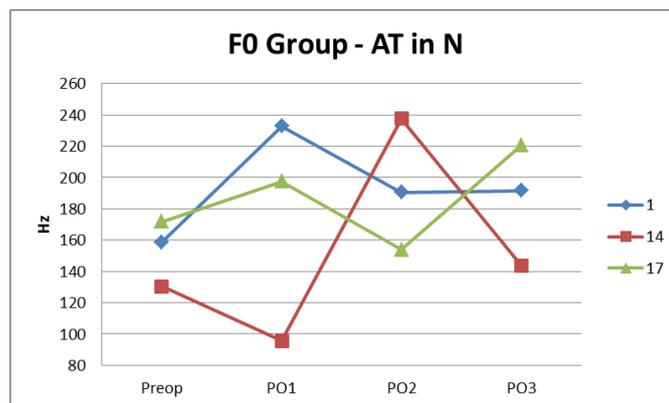


Figure IV-121 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal

Nous analysons ici les données de trois patients (n° 1, n° 14 et n° 17) dans le Groupe Normal qui ont des valeurs et des patterns de variations de leurs courbes comparables à ou plus importantes que ceux des patients n° 5 et n° 15 du Groupe présentant une paralysie.

Les patients n° 1 et n° 17 ont des niveaux préopératoires proches (158.745 Hz et 171.749 Hz). Ils ont des courbes avec des tendances similaires pour les 3 premières phases. Après l'opération, le F0 a une augmentation importante en PO1 pour le patient n° 1, soit 232.597 Hz en PO1. Elle baisse à nouveau en PO2 (190.363 Hz). À la dernière phase, il garde le même niveau que la phase précédente. Pour le patient n° 17, on voit une augmentation en PO1, puis une baisse à nouveau en PO2, suivant une trajectoire comparable à celle du patient n° 1. Sa valeur augmente brusquement à la dernière phase, soit à 220.622 Hz en PO3.

Les valeurs du patient n° 14 varient largement pendant les 4 phases. Le F0 baisse en PO1 (95.496 Hz) et se rehausse largement en PO2, soit à 237.374 Hz. Son niveau préopératoire (130.241 Hz) est proche de celui mesuré en PO3 (143.452 Hz).

Tableau IV-57 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal

F0 Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
1	158.745	232.597	190.363	191.426
14	130.241	95.496	237.374	143.452
17	171.749	197.321	153.761	220.622

Les patients avec les valeurs atypiques du Groupe Normal ont des valeurs beaucoup plus importantes que les patients du Groupe présentant une paralysie avec des symptômes typiques, mais moins élevés que celles des patients avec des symptômes typiques du même groupe.

En guise de conclusion partielle...

Nous proposons dans ce qui suit, une étude croisée des données du F0 de nos deux groupes, à savoir celles des patientes *versus* celles des patients.

Dans les analyses précédentes, nous avons constaté que dans le Groupe Normal, la courbe des valeurs moyennes des patients masculins était plus stable que celle des patientes

féminines. À la dernière phase, la valeur moyenne des patients masculins est légèrement plus haute que celle d'avant l'opération. Pour les patientes féminines, la courbe varie plus que celle des patients masculins. La valeur moyenne est moins importante à la dernière phase que celle d'avant l'opération.

Dans le GN (Figure IV-122), le F0 des patientes féminines est plus haute que celle des patients masculins. À la PO3, le F0 des patientes féminines est légèrement plus basse qu'en Preop, et le F0 des patients masculins tend à être plus haut qu'en Preop. Il semble que nous assistons ici à une légère «neutralisation» du contraste du F0 entre les deux genres. La tendance vers une convergence se fait très graduellement pour ce groupe.

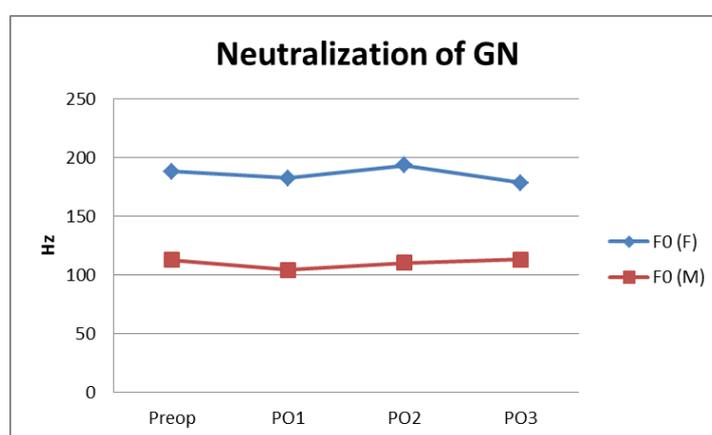


Figure IV-122 Neutralisation du contraste du F0 chez le Groupe Normal

Dans le GP (Figure IV-123), la neutralisation du contraste commence dès la première phase postopératoire. Nous observons le même phénomène chez les patientes sans symptômes typiques. Le patient n° 5 est féminin. Sa valeur en PO3 est plus basse qu'en Preop. L'écart entre ces deux phases est plus important par rapport aux patients normaux. Le patient n° 15 est masculin. Sa valeur en PO3 est plus haute qu'en Preop. Donc, le phénomène de la neutralisation est plus évident chez le GP que dans le GN. La convergence est immédiate, c'est-à-dire dès PO1, pour ce groupe. Ainsi, dès la PO1, les valeurs des patients des deux genres se croisent. La valeur moyenne du F0 du patient masculin est comparable à celle de la patiente féminine. Elles sont identiques en PO2. À la dernière phase, la moyenne du F0 de la patiente féminine est à peine plus haute que celle du patient masculin, mais elle reste bien en deçà des valeurs habituellement observées pour des voix féminines.

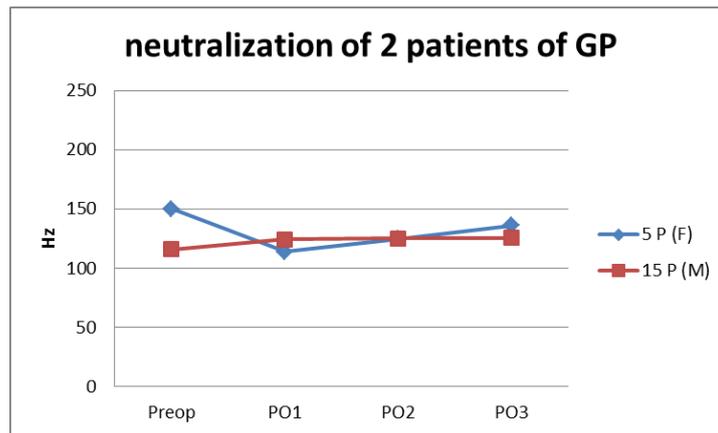


Figure IV-123 Neutralisation du contraste du F0 chez deux patients du Groupe pr ésentant une paralysie

Selon nos analyses, les valeurs des patients sans sympt ômes typiques du GP ont des valeurs tr ès proches de celles du GN. Il y a m ême des cas o ù dans le GN, certains patients pr ésentent des sympt ômes et des indices (a érodynamiques et acoustiques) plus visibles que chez les patients paralys és. Cela peut engendrer des difficult és pour les distinguer sans mise en place de protocoles invasifs. Puis, é tant donn é que ces patients du GP pr ésentent peu de sympt ômes typiques, il est possible (et m ême souvent) de ne pas d écélérer des probl èmes pathologiques, et que des ORL omettent de faire les examens postop ératoires et de prescrire les traitements n écessaires.

Pour résumer...

Le phénomène de la neutralisation du F0 est plus évident chez le GP que dans le GN. La convergence est immédiate en PO1 pour ce groupe. Dès la PO1, les valeurs des patients des deux genres se croisent.

À la dernière phase, la moyenne du F0 de la patiente féminine est à peine plus haute que celle du patient masculin, mais elle reste bien en deçà des valeurs habituellement observées pour des voix féminines.

Il y a des cas où dans le GN, certains patients présentent des symptômes et des indices (aérodynamiques et acoustiques) plus visibles que chez les patients paralysés. Cela peut engendrer des difficultés pour les distinguer sans mise en place de protocoles invasifs.

Quittons maintenant le niveau laryngé pour nous diriger vers les cavités supraglottiques, où nous proposons d'analyser les éventuelles modifications de résonances, dans les cavités, que l'intervention chirurgicale pourrait provoquer.

b) Analyse de F1 et F2

En ce qui concerne cette expérience, il y a 24 patients dans le Groupe Normal (17 féminins, 7 masculins) et 3 patients dans le Groupe présentant une paralysie (3 masculins).

Pour l'analyse des formants (F1 et F2) et la l'élaboration de l'espace vocalique, le corpus retenu a donc été la production soutenue des voyelles /i/, /a/ et /u/.

Il y a 5 répétitions par voyelle. Pour 27 patients, nous aboutissons à 135 mesures au total.

Pour cette série d'analyses, nous n'allons pas projeter les valeurs des deux premiers formants dans une même figure, ce qui ne permettrait pas d'avoir une dynamique suffisante au niveau de l'axe y (Hz). En effet, comme nous pouvons le voir dans la figure ci-dessous (Figure IV-124), si les données sont placées dans une même figure, le taux de modification des valeurs de chaque formant devient peu visible ; nous projetterons donc les deux formants de chaque voyelle dans des figures séparées.

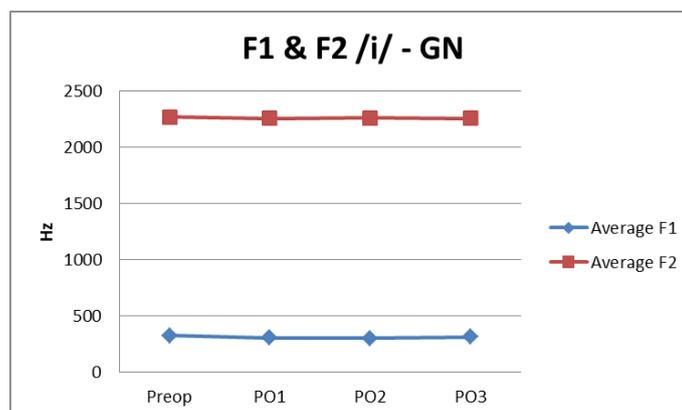


Figure IV-124 F1 et F2 de la voyelle /i/ du GN

Analyse des données de F1 et F2 du groupe normal (Groupe N)

Voyelle /i/

Pour le F1, à travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer qu'il existe de nombreuses valeurs anormales (Figure IV-125).

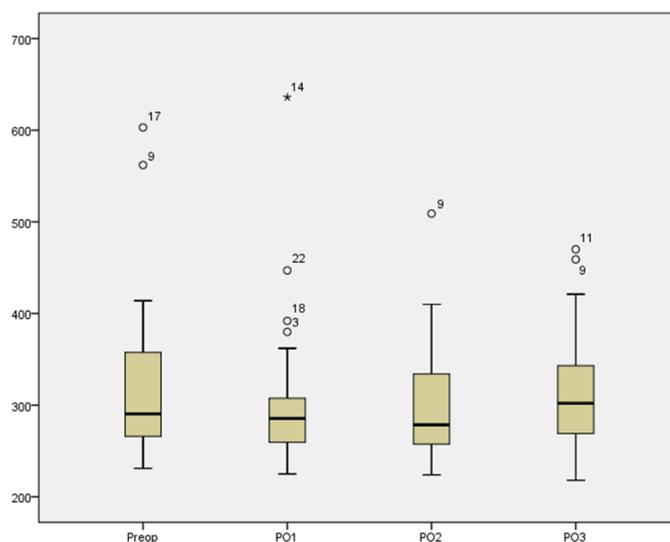


Figure IV-125 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /i/ du Groupe Normal

Pour le F2 de la voyelle /i/, à travers l'analyse par Box Plot (Figure IV-126), il n'existe pas de valeurs anormales. Les analyses ont été effectuées avec les valeurs de 24 patients.

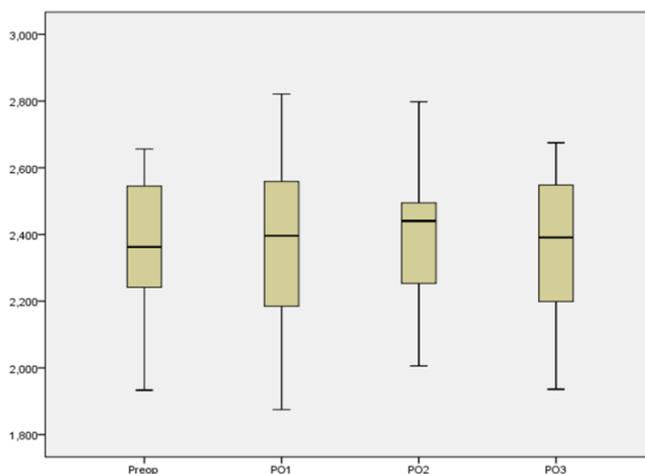


Figure IV-126 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /i/ du Groupe Normal

À la phase Preop, le F1 est de 327 Hz. La valeur du F1 de la voyelle /i/ baisse de façon continue après l'opération pour le Groupe Normal, soit 308 Hz et 303 Hz respectivement en PO1 et PO2. Il se rehausse en PO3 (315 Hz) (Figure IV-127 à gauche) (Tableau IV-58).

L'écart-type est très important pour les 4 phases. Avant l'opération, l'écart-type est de 92 Hz. Il réduit au fur et à mesure des phases d'enregistrement, soit 87 Hz, 67 Hz et 65 Hz pour les 3 phases post-opératoires.

Le F2 de la voyelle /i/ varie tout au long des 4 phases entre 2269 Hz (Preop) et 2258 Hz (PO2 et PO3). Après l'opération, la valeur baisse en PO1, puis revient en PO2 au niveau préopératoire (2262 Hz). En PO3, il baisse à nouveau à un niveau identique à celui de PO1 (Figure IV-127 à droite) (Tableau IV-58).

L'écart-type augmente d'abord après l'opération en PO1, soit 245 Hz. Il diminue en PO2 (213 Hz), mais reste toujours plus important qu'en Preop (206 Hz). En PO3, il se rehausse à 227 Hz.

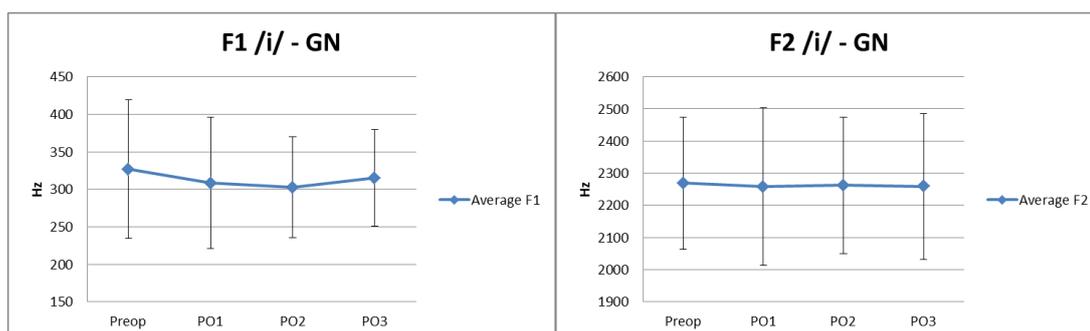


Figure IV-127 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /i/ du Groupe Normal

Tableau IV-58 Résultat du F1 et du F2 du /i/ du Groupe Normal

/i/ Hz	Preop	P01	P02	P03
Average F1	327	308	303	315
St.Dev F1	92	87	67	65
Average F2	2269	2258	2262	2258
St.Dev F2	206	245	213	227

L'étude de Hong et al., (2017) montre aussi une diminution du F1 et F2 de la voyelle /i/ une semaine après l'opération. Cependant, dans notre étude, la diminution du F2 est minime.

L'analyse statistique des données du F1 de la voyelle /i/

Nous décidons d'appliquer le test statistique non paramétrique étant donné les nombreuses valeurs extrêmes et anormales.

Selon le *test de Friedman*, $P=0.255$ ($P>0.05$), il n'y a pas de différence au niveau statistique.

L'analyse statistique des données du F2 de la voyelle /i/

Pour la voyelle /i/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P>0,05$) selon le *test de Shapiro-Wilk*.

Puis, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est inégale ($\chi^2=15.023$, $P=0.01$). Ces valeurs ne sont pas conformes aux conditions d'utilisation de la méthode. Nous les ajustons par *la méthode Greenhouse & Geisser* : $\varepsilon=0.727$.

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du F2 de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 2352 ± 205 , 2364 ± 245 , 2392 ± 212 , 2352 ± 227 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(2.180, 50.140) = 0.731$, $P=0.498 > 0.05$).

Voyelle /a/

Pour le F1, à travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer de nombreuses valeurs anormales et une fluctuation importante des valeurs moyennes, tout au long des 4 phases (Figure IV-128).

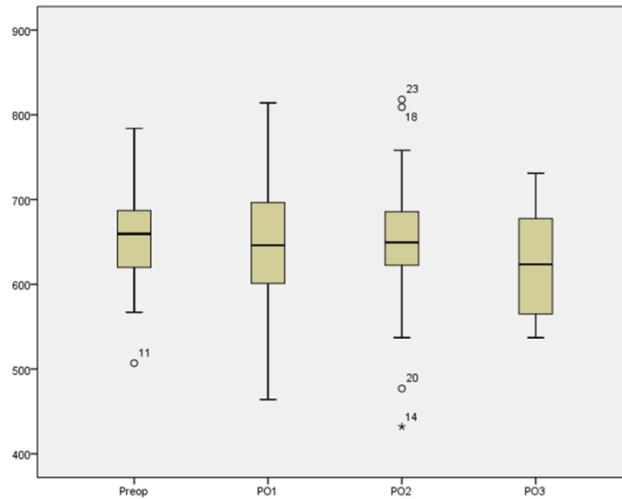


Figure IV-128 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /a/ du Groupe Normal

Pour le F2 de la voyelle /a/, à travers l'analyse par Box Plot (Figure IV-129), il n'existe pas de valeurs anormales dans ce cas. Les analyses ont été effectuées avec les valeurs des 24 patients.

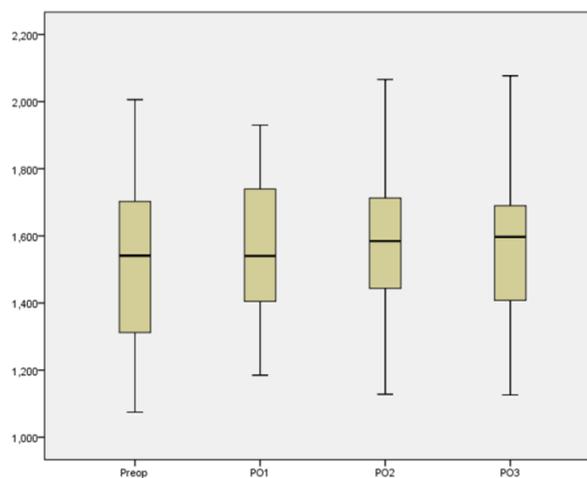


Figure IV-129 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /a/ du Groupe Normal

À la phase de Preop, le F1 de la voyelle /a/ est de 654 Hz. Il varie lors des trois premières phases d'enregistrement. Il baisse légèrement en PO1 (646 Hz), puis augmente en PO2 au niveau de la Preop (651 Hz). À la PO3, il baisse jusqu'à 627 Hz (Figure IV-130 à gauche) (Tableau IV-59).

L'écart-type est important pour les 4 phases. Avant l'opération, l'écart-type est de 62 Hz. Il augmente au fur et à mesure jusqu'à la PO2, soit à 82 Hz et à 89 Hz pour la PO1 et PO2 respectivement. À la dernière phase (PO3), l'écart-type baisse, soit à 61 Hz.

Le F2 de la voyelle /a/ augmente après l'opération, soit à 1564 Hz en PO1. Sa valeur continue à augmenter à la phase suivante (PO2), soit à 1573 Hz. À la PO3, elle baisse à nouveau, mais sa valeur est toujours relativement plus importante que celle de la Preop (1526 Hz en Preop), soit à 1557 Hz (Figure IV-130 à droite) (Tableau IV-59).

L'écart-type se réduit après l'opération à la PO1, soit à 209 Hz, par rapport à la Preop, où il était à 273 Hz. Il monte et reste au même niveau aux deux dernières phases, soit à 226 Hz et à 223 Hz en PO2 et PO3, respectivement.

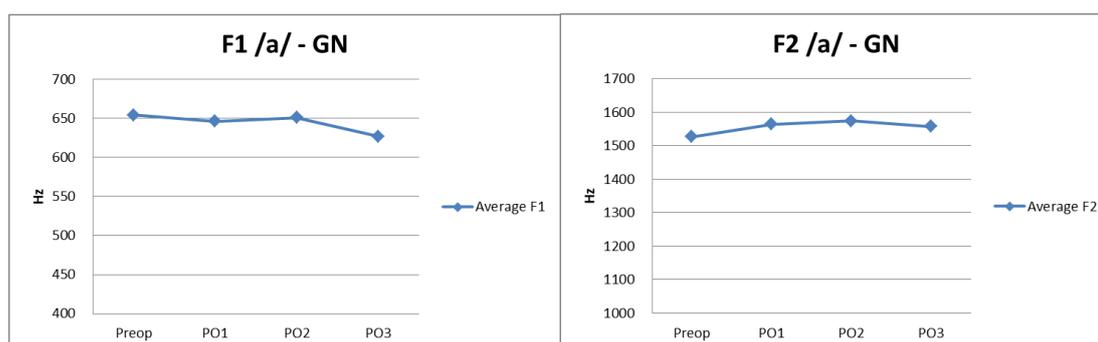


Figure IV-130 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /a/ du Groupe Normal

Tableau IV-59 Résultat du F1 et du F2 du /a/ du Groupe Normal

/a/ Hz	Preop	P01	P02	P03
Average F1	654	646	651	627
St.Dev F1	62	82	89	61
Average F2	1526	1564	1573	1557
St.Dev F2	273	209	226	223

Le F1 dans notre étude reste relativement stable pendant toutes phases opératoires, et le F2 augmente. Ce résultat est différent de celui attesté dans l'étude de Hong et al., (2017) qui montre une diminution du F1 et du F2 de la voyelle /i/, une semaine après l'opération.

L'analyse statistique des données du F1 de la voyelle /a/

Nous décidons d'appliquer le test statistique non paramétrique, étant donné les nombreuses valeurs extrêmes et anormales.

Selon le *test de Friedman*, $P=0.226$ ($P>0.05$), Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

L'analyse statistique des données du F2 de la voyelle /a/

Pour la voyelle /a/, les valeurs de chaque groupe obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$) suivant le *test de Shapiro-Wilk*.

Ensuite, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=4.830$, $P=0.437$). Ces valeurs sont conformes aux conditions d'utilisation de la méthode.

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du F2 en Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 1526 ± 272 , 1564 ± 209 , 1572 ± 225 , 1556 ± 223 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,69) = 0.245$, $P = 0.865 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Voyelle /u/

Pour le F1, à travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer que les valeurs n°9 et n°13, correspondant respectivement aux patients n°13 et n°14, sont anormales (Figure IV-131). Mais la variabilité très importante ne permet pas une analyse statistique paramétrique. Nous appliquons, en conséquence, comme pour les deux voyelles précédentes, une analyse non paramétrique. Ainsi, les données des deux patients ne sont pas éliminées.

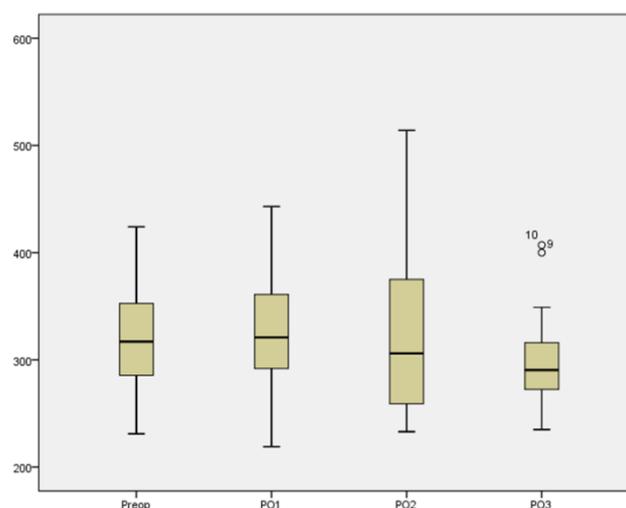


Figure IV-131 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /u/ du Groupe Normal

Pour le F2 de la voyelle /u/, à travers l'analyse par Box Plot (Figure IV-132), on sait qu'il n'existe pas de valeurs anormales. Les analyses ont été effectuées avec les valeurs des 24 patients.

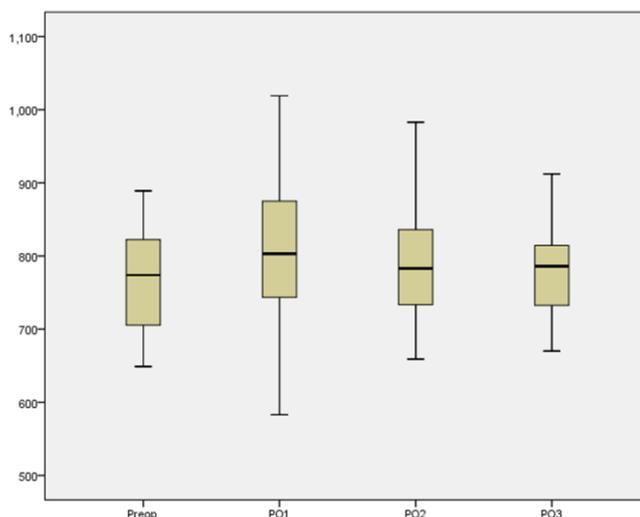


Figure IV-132 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /a/ du Groupe Normal

À la phase Preop, le F1 de la voyelle /u/ est de 317 Hz. Il augmente à 323 Hz en PO1, puis baisse encore au niveau initial de la Preop (316 Hz). En PO3, il continue à diminuer à 299 Hz (Figure IV-133 à gauche) (Tableau IV-60).

L'écart-type augmente aux deux phases après l'opération (PO1 : 323 Hz et PO2 : 316 Hz). Il diminue par la suite en PO3. Sa valeur en PO3 (43 Hz) est presque la même qu'en Preop (16 Hz).

Le F2 de la voyelle /u/ augmente remarquablement après l'opération, soit à 986 Hz en PO1 par rapport à la Preop, soit à 785 Hz. Il baisse à la PO2, soit à 835 Hz. À la PO3, il diminue à un niveau légèrement plus bas que celui de la Preop, soit à 771 Hz (Figure IV-133 à droite) (Tableau IV-60).

L'écart-type augmente après l'opération à la PO1, soit à 109 Hz par rapport la Preop, où il était à 72 Hz. Il baisse graduellement aux deux dernières phases. En PO3, il est à 73 Hz, comparable à la valeur de la Preop.

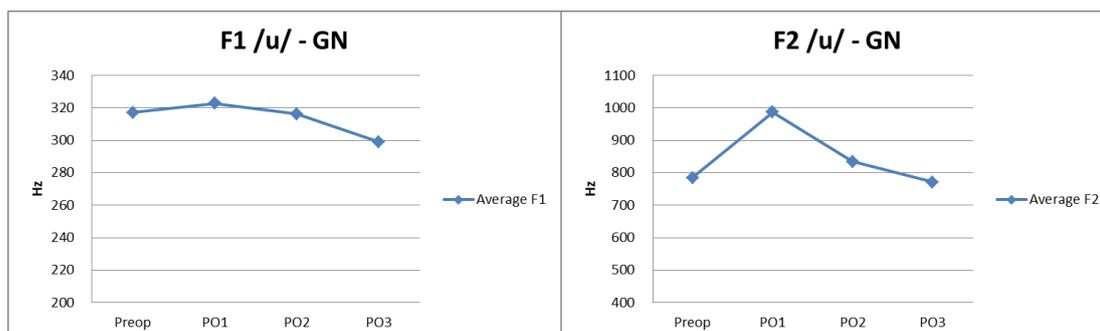


Figure IV-133 Résultat du F1 (  gauche) et du F2 (  droite) du /u/ du Groupe Normal

Tableau IV-60 Résultat du F1 et du F2 du /u/ du Groupe Normal

/u/ Hz	Preop	P01	P02	P03
Average F1	317	323	316	299
St. Dev F1	46	55	69	43
Average F2	785	986	835	771
St. Dev F2	72	109	86	73

Par rapport à l'étude de Hong et al., (2017), qui montre une diminution du F1 et du F2 de la voyelle /u/ une semaine après l'opération, le F1 dans notre étude reste relativement stable, alors que le F2 augmente.

Analyse statistique des données de F1 et de F2 de la voyelle /u/

Nous d cisons d'appliquer le test statistique non paramétrique étant donné les nombreuses valeurs extrêmes et anormales.

Selon le *test de Friedman*, $P=0.355$ ($P>0.05$), on constate qu'il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Analyse statistique des données du F2 de la voyelle /u/

Les valeurs de chaque groupe de patients ob ssent à une distribution normale ($P> 0,05$), selon les résultats obtenus par le *test de Shapiro-Wilk*.

Ensuite, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, on observe que la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=8.994$, $P=0.110$). Ces valeurs sont conformes aux conditions d'utilisation de la méthode.

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du F2 de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 764 ± 72 , 797 ± 109 , 783 ± 86 , 771 ± 72 (Hz). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les groupes n'est pas statistiquement significative, valeur $F(3,69) = 0.905$, $P = 0.444 > 0.05$. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Analyse des données de F1 et de F2 du Groupe présentant une paralysie (Group P)

Les trois patients du Groupe présentant une paralysie dans cette expérience montrent des tendances différentes par rapports à l'évolution des valeurs de leurs 2 premiers formants, en fonction des phases d'acquisition des données. On ne voit pas de caractéristique partagé par ces 3 patients.

Voyelle /i/ (Figure IV-134) (Tableau IV-61)

Le patient n° 15, sans symptôme typique, montre une variabilité des valeurs de ces formants plus régulière par rapport aux deux autres patients du Groupe présentant une paralysie. Le F1 de la voyelle /i/ diminue après l'opération (PO1), soit à 325 Hz, par rapport à la phase préopératoire (414 Hz). Le F1 monte en PO2 (381 Hz), puis se réduit à un niveau similaire à celui mesuré en PO1 (347 Hz).

Le F1 du patient n° 4 diminue progressivement pendant les 4 phases. Le F1 en Preop est de 346 Hz ; puis, elle est respectivement de 271 Hz et 182 Hz aux deux premières phases postopératoires. À la PO3, elle continue à diminuer mais avec une pente moins raide.

Le patient n° 27 a son F1 qui augmente après l'opération, soit à 390 Hz en PO1 (324 Hz en Preop). Elle baisse légèrement en PO2 (370 Hz), puis augmente notablement en PO3 (491 Hz).

Les courbes du F2 présentent moins de variabilité que celles du F1.

Le patient n° 15, sans symptôme typique, a un F2 qui diminue après l'opération (2235 Hz en PO1). Puis, il maintient des niveaux similaires aux deux dernières phases d'enregistrement (2229 Hz en PO2 et 2228 Hz en PO3)

La valeur initiale est 2084 Hz pour le patient n°4. Le F2 augmente en continu jusqu'à la PO2 après l'opération, soit à 2121 Hz en PO1 et à 2179 Hz en PO3. Il diminue légèrement à la dernière phase, soit à 2157 Hz en PO3.

Le patient n°27 garde le même niveau de la première phase après l'opération (2420 Hz en PO1) que celui du Preop (2417 Hz). Il n'est pas parce que la mobilité des plis vocaux ne sont pas atteinte immédiatement après l'opération. Le F0 de ce patient est déjà modifié selon l'expérience précédente (voir *supra*). C'est-à-dire que les stratégies compensatoires de la combinaison de la langue et du menton ne sont pas mises en place immédiatement après l'opération. Le F2 diminue en PO3 (2378 Hz) puis reste à ce niveau (2390 Hz en PO3).

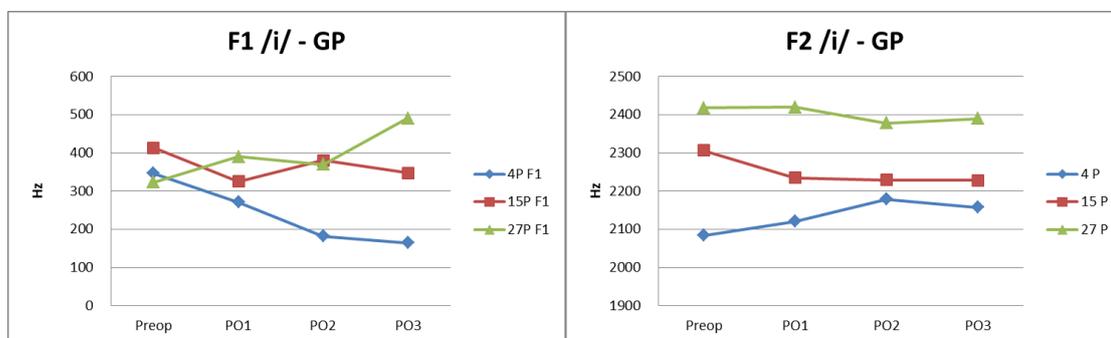


Figure IV-134 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /i/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-61 Résultat du F1 et du F2 du /i/ du Groupe présentant une paralysie

/i/ Hz	Preop	P01	P02	P03
4P F1	346	271	182	164
15P F1	414	325	381	347
27P F1	324	390	370	491
4P F2	2084	2121	2179	2157
15P F2	2306	2235	2229	2228
27P F2	2417	2420	2378	2390

Voyelle /a/ (Figure IV-135) (Tableau IV-62)

Le patient n°15 a les courbes de ses deux formants plus stables que les deux autres patients du Groupe. Le F1 varie avec une faible amplitude tout au long des 4 phases. Il est de 638 Hz en Preop, puis il diminue en PO1 légèrement à 622 Hz. En PO2, il remonte à nouveau (660 Hz), pour baisser à nouveau à 633 Hz en PO3. La valeur de la PO3 est presque la même qu'à la Preop.

Le patient n°4 a le F1 qui augmente légèrement en PO1 (704 Hz) par rapport à la Preop (690 Hz). Il remonte jusqu'à 804 Hz en PO2, puis continue à augmenter faiblement en PO3, soit à 822 Hz. Rappelons que ce patient présente une paralysie unilatérale. La valeur du F1 chez ce patient augmente progressivement pendant les quatre phases. Cependant, les trajectoires du F1 sont plus variables que celles du patient n°27, qui, lui, présente une paralysie bilatérale.

Le patient n°27 a la valeur du F1 qui chute en PO1 (467 Hz) par rapport à la Preop (653 Hz). Son F1 remonte rapidement en PO2 (758 Hz), et baisse par la suite à un niveau comparable à la Preop (674 Hz en PO3).

Pour le F2, le patient n°15 a sa valeur qui diminue après l'opération (1302 Hz en PO1). Elle remonte faiblement en PO2 (1320 Hz), puis baisse jusqu'à 1165 Hz en PO3.

Le F2 du patient n°4 augmente en continu pendant les quatre phases, soit à 1313 Hz, 1796 Hz et 2037 Hz pour les 3 premières phases d'enregistrement, respectivement. Par la suite, il continue à augmenter faiblement en PO3, soit à 2086 Hz.

Le F2 du patient n°27 varie moins que son F1. Il diminue jusqu'à 1432 Hz en PO1 (1798 Hz en Preop). En PO2, il se rehausse à 1821 Hz, puis baisse encore à un niveau similaire à la Preop (1764 Hz en PO3).

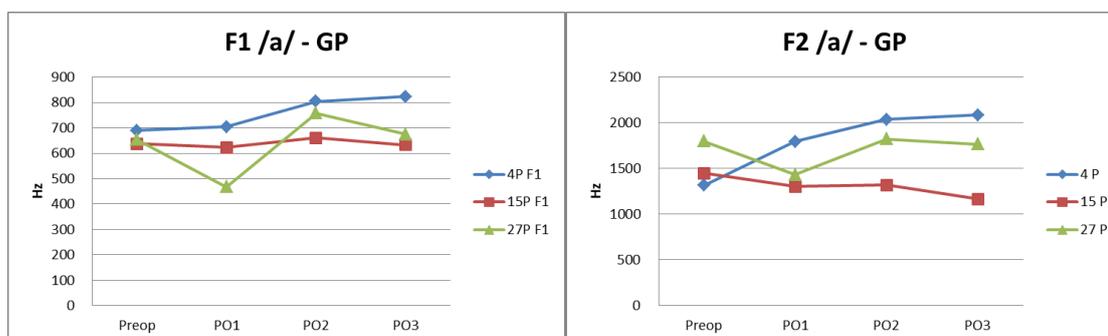


Figure IV-135 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /a/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-62 Résultat du F1 et du F2 du /a/ du Groupe présentant une paralysie

/a/Hz	Preop	P01	P02	P03
4P F1	690	704	804	822
15P F1	638	622	660	633
27P F1	653	467	758	674
4P F2	1313	1796	2037	2086
15P F2	1447	1302	1320	1165
27P F2	1798	1432	1821	1764

Voyelle /u/ (Figure IV-136) (Tableau IV-63)

Le patient n°15 présente des courbes plus stables que les deux autres patients du GP, pour les deux formants. Le F1 augmente après l'opération (342 Hz en PO1) par rapport à la Preop (304 Hz). Il baisse par la suite en PO2 vers le niveau préopératoire (319 Hz), puis remonte en PO3 (331 Hz). Le F2 diminue progressivement après l'opération, soit à 766 Hz, 700 Hz, 679 Hz pour les trois premières phases d'enregistrement. À la dernière phase, il remonte à 774 Hz, ce qui est comparable avec la valeur de la Preop.

Le patient n°27 affiche une même tendance pour la trajectoire de ces deux formants. Le F1 augmente remarquablement en PO1 (431 Hz) par rapport à la Preop (286 Hz). Ensuite, il diminue aux deux dernières phases, soit à 360 Hz et 272 Hz respectivement. Le F2 augmente largement en PO1 (1250 Hz) par rapport à la Preop (722 Hz). Il baisse par la suite aux deux dernières phases, soit à 1000 Hz et à 782 Hz respectivement.

Le patient n°4 a le F1 qui baisse en continu pour les 3 premières phases, soit à 364 Hz, 283 Hz, 192 Hz. Il «tente» de se hausser à la dernière phase (236 Hz en PO3), mais sa valeur est encore loin du niveau de la Preop. Le F2 augmente à la PO1 (1009 Hz) et diminue en PO2 (826 Hz). Il continue à diminuer jusqu'à la PO3 (756 Hz).

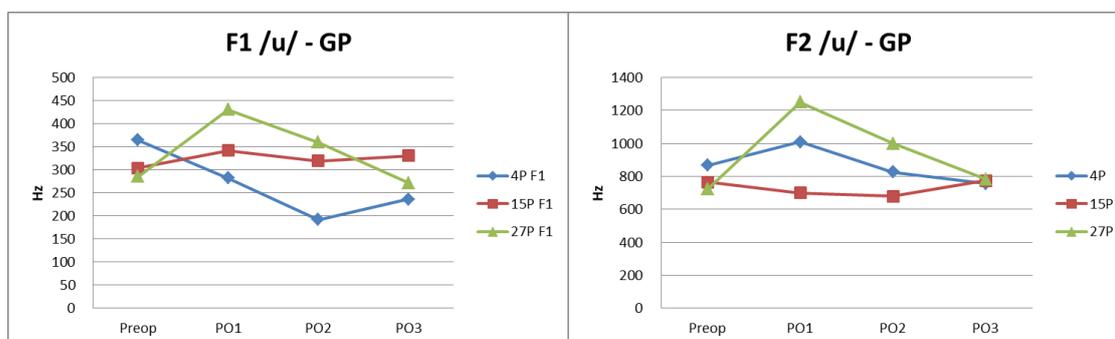


Figure IV-136 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /u/ du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-63 Résultat du F1 et du F2 du /u/ du Groupe présentant une paralysie

F1/u/Hz	Preop	PO1	PO2	PO3
4P F1	364	283	192	236
15P F1	304	342	319	331
27P F1	286	431	360	272
4P F2	867	1009	826	756
15P F2	766	700	679	774
27P F2	722	1250	1000	782

Pour résumer...

Les courbes des patients du Groupe Normal et des patients du Groupe présentant une paralysie ne montrent pas de similarité dans les trajectoires des patterns des 2 formants. Si l'on examine le comportement de l'évolution d'un seul formant à travers les différentes phases d'acquisition de données, on remarque que les 3 patients du GP ne suivent pas de tendance généralisable (voir Fauth et al., 2012a, 2012b, 2015 et Xiu et al., 2016a, 2016b). En effet, les 3 patients du Groupe présentant une paralysie ont des phénomènes pathologiques différents. Le patient n° 15 souffre d'une paralysie unilatérale sans symptôme typique. Le patient n° 4 a une paralysie unilatérale avec symptômes typiques. Le patient n° 27 est atteint d'une paralysie bilatérale avec symptômes typiques. Nous voyons alors que pour les 3 catégories de symptômes, les résultats relatifs à l'évolution des deux premiers formants sont variables. Pour une étude plus approfondie, qui dévoilerait éventuellement des données pour F1 et F2 liés directement aux 3 catégories de symptômes, en fonction du genre du locuteur, il faudrait disposer de davantage de données de patients paralysés.

Pour le Groupe Normal, la différence des valeurs entre la phase préopératoire (Preop) et la dernière phase postopératoire (PO3) n'est pas importante.

Il s'agit maintenant de prendre en compte les écart-types, en tant qu'indice de la variabilité inter et intra-individuelle, ainsi que la relation entre les deux formants (l'espace vocalique), cela pour mieux illustrer les capacités de nos patients à atteindre les « cibles » articulatoires face à un dysfonctionnement au niveau laryngé.

c) L'espace vocalique

La projection des espaces vocaliques sous forme d'ellipses, nous permet d'observer la variabilité inter-individuelle et intra-catégorie vocalique (Figure IV-137, Figure IV-138).

Pour le Groupe Normal, la voyelle /u/ a l'ellipse de confiance la plus réduite tout au long des 4 phases. Après l'opération, l'ellipse de confiance de toutes les voyelles s'élargie puis se contracte en PO3. Mais la voyelle /u/ se resserre plus que les autres voyelles à la phase finale. Et la voyelle /a/ se réduit plus que la voyelle /i/. Nous pouvons observer également que la distance entre les ellipses de confiance des voyelles /i/ et /a/ s'éloigne à partir de la PO2 et que cette distance entre ces deux voyelles se maintient à la PO3.

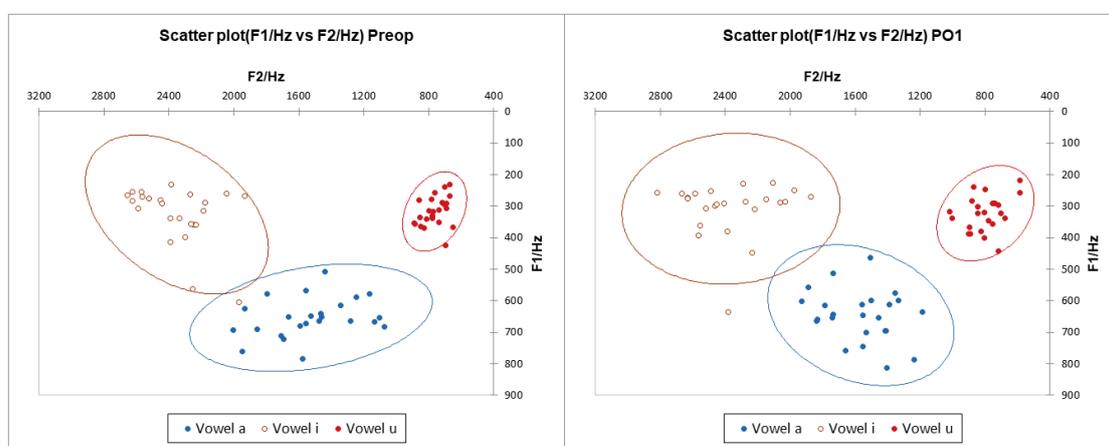


Figure IV-137 Ellipses de dispersion des 3 voyelles extrêmes en Preop (à gauche) et en PO1 (à droite) du GN

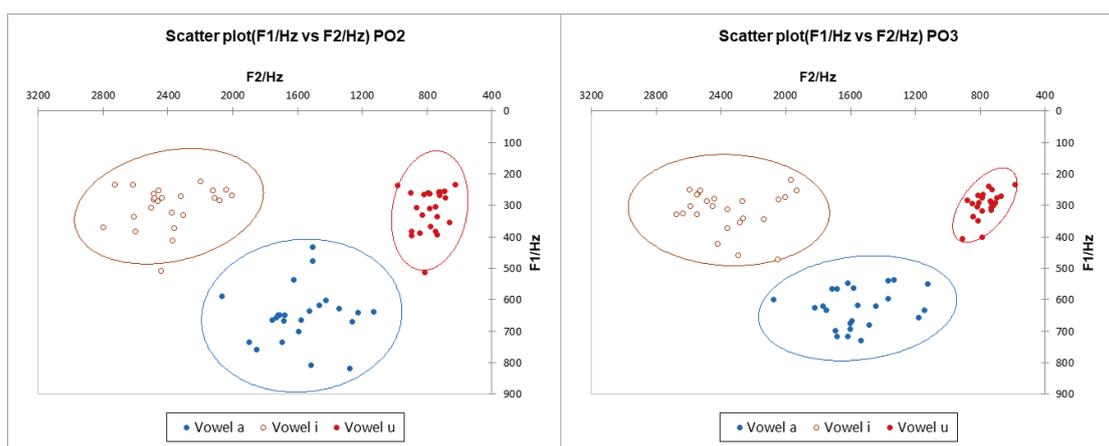


Figure IV-138 Ellipses de dispersion des 3 voyelles extrêmes en PO2 (à gauche) et en PO3 (à droite) du GN

Pour le Groupe présentant une paralysie, il n'y a pas assez de valeurs pour l'établissement de l'ellipse de confiance. Comme nous pouvons le voir sur la figure 9-139, avec 3 sujets paralysés, l'ellipse de confiance avec l'intervalle de confiance de 95% est injustifiable (Figure IV-139). Nous décidons donc d'analyser la dispersion de ces quelques voyelles sans avoir recours à des ellipses, naturellement.

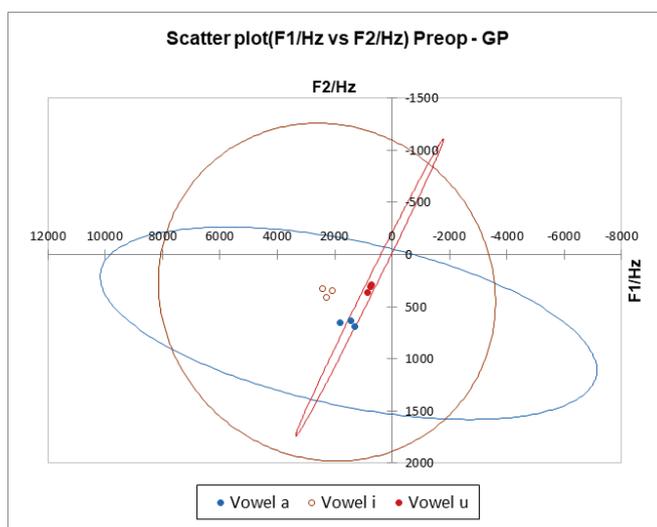


Figure IV-139 Ellipses de confiance des 3 voyelles extrêmes du GN en Preop

Les valeurs des 3 patients du GP (Figure IV-140, Figure IV-141) se dispersent en PO1. Au long des 3 phases postopératoires, les 3 valeurs de chaque voyelle modifient leur position dans cet espace bi-dimensionnel, avec une dispersion relativement importante, sauf pour la voyelle /u/ en PO2 et en PO3. À la dernière phase, les voyelles /i/ et /a/ ont des dispersions plus importantes que dans leur phase préopératoire, et la voyelle /u/ a une dispersion comparable à celle observée en phase préopératoire. Cette voyelle présente des caractéristiques de dispersion comparable pour les patients des 2 Groupes. On peut penser que la « cible » pour cette voyelle est atteinte grâce à la possibilité d'un contrôle labial en plus du contrôle vélaire de la masse de la langue.

La voyelle /a/ présente une dispersion relativement importante pour les deux groupes. Cela dit, notons qu'une dispersion assez étendue pour cette voyelle est souvent constatée, même en l'absence d'une pathologie, ce qui semble être l'une de ses caractéristiques intrinsèques.

La dispersion de la voyelle /i/ proviendrait, de manière générale, de l'élévation de la masse linguale et d'une précision au niveau de la constriction que la production de cette voyelle exige.

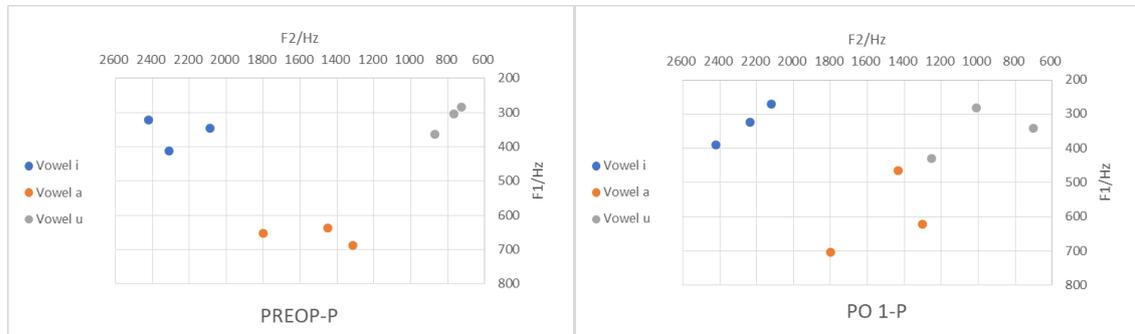


Figure IV-140 Diagramme de dispersion des 3 voyelles extrêmes en Preop (à gauche) et en PO1 (à droite) du GP

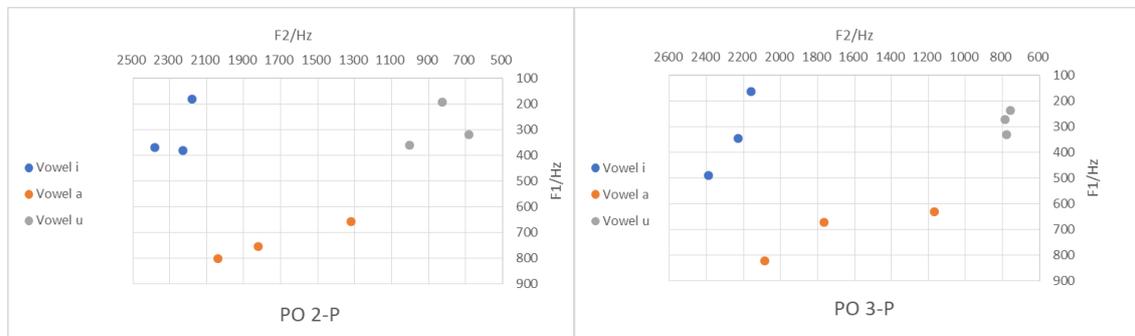


Figure IV-141 Diagramme de dispersion des 3 voyelles extrêmes en PO2 (à gauche) et en PO3 (à droite) du GP

Dans tous les cas, il semble que la chirurgie ait des répercussions sur le contrôle de la masse de la langue.

Observons maintenant, ci-dessous, les modifications de l'aire de l'espace vocalique.

Pour calculer l'espace du triangle irrégulier, nous appliquons la formule de Héron qui permet de calculer l'aire S d'un triangle :

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} \quad \text{avec} \quad p = \frac{a+b+c}{2}$$

En répétant cette procédure pour le triangle de chaque phase, nous avons donc ainsi l'aire de l'espace vocalique pour les 2 groupes (Tableau IV-64).

Tableau IV-64 Aire de l'espace vocalique des 2 groupes

KHz ²	Preop	PO 1	PO 2	PO 3
GN	264	259	275	253
GP	238	162	312	295

Pour le Groupe Normal, comme nous le constatons sur la Figure IV-142, la forme et l'aire du triangle se modifient à chaque phase. Avant l'opération, l'aire du triangle est de 264 KHz². L'aire diminue en PO1, soit 259 KHz². Aux deux dernières phases, l'aire augmente puis diminue à nouveau, soit à 275 KHz² et à 253 KHz² respectivement. L'aire de la phase finale est légèrement plus réduite que celle de la phase préopératoire.

Nous n'observons pas de translation ou de déformation quelconques des aires des triangles pour les phases postopératoires.

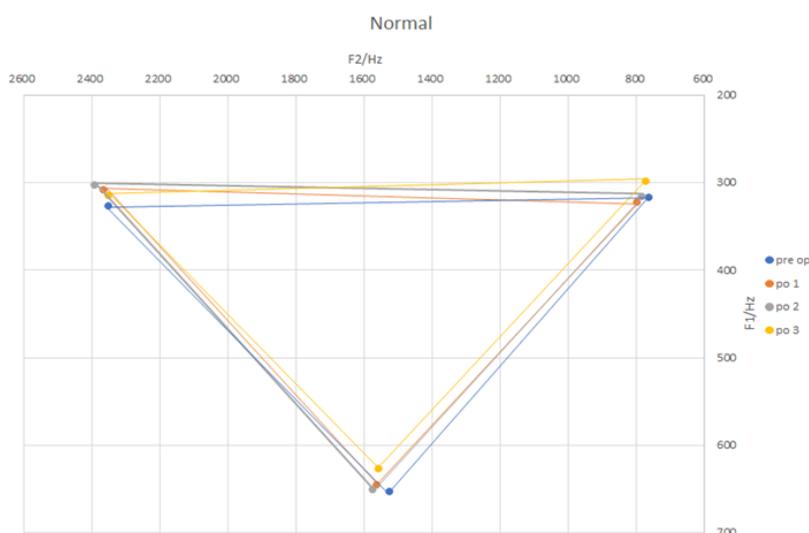


Figure IV-142 Espace vocalique des 4 phases du GN

Pour le Groupe présentant une paralysie (Figure IV-143), l'aire du triangle est de 238 kHz² avant l'opération. L'aire se réduit en PO1, soit à 162 kHz². Aux deux dernières phases, l'aire augmente, puis diminue à nouveau comme pour le Groupe Normal, soit respectivement à 312 kHz² et à 295 kHz². L'aire de la phase finale est plus grande que celle de la phase préopératoire.

Pour ce groupe, l'aire des espaces se réduisent en phases postopératoires, avec de décalages par rapport à l'aire de référence en phase postopératoire. Ce résultat correspond aux données attestées dans l'étude de Fauth (2012).

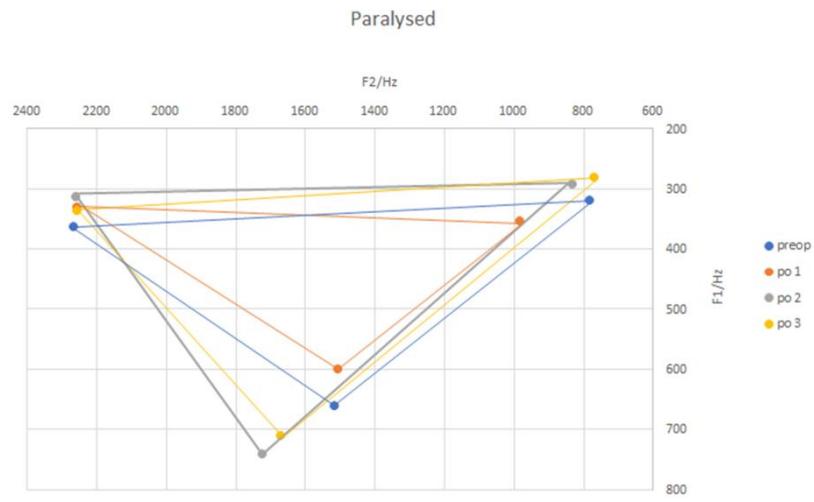


Figure IV-143 Espace vocalique des 4 phases du GP

Pour résumer...

En comparant les 2 groupes, certaines tendances sont généralisables (Figure IV-144). Pour les 2 groupes, l'aire se contracte en PO1. En PO2, elle s'élargie avec une valeur plus importante par rapport à la Preop (voir Fauth et al., 2013, 2016). A la dernière phase, l'aire se réduit à nouveau pour les 2 groupes. L'aire en PO3 est moindre qu'en Preop pour le GN, mais plus qu'en Preop pour le GP.

En ce qui concerne les différences, les patterns de variabilité sont certes comparables, mais la variabilité est beaucoup plus prononcée chez les patients du GP. En outre, c'est pour ce groupe que nous observons des translations des aires en phase postopératoire par rapport à la phase préopératoire.

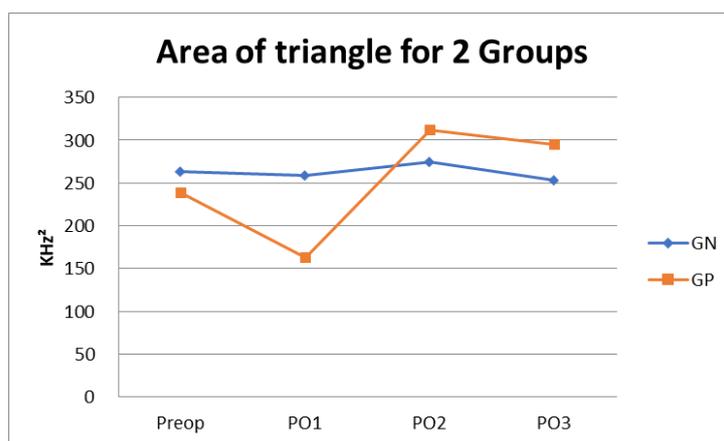


Figure IV-144 Valeurs des aires des triangles vocaliques des 2 groupes

Passons maintenant à l'analyse du signal acoustique pour tenter de mettre au jour de possibles indices de perturbation, liés au dysfonctionnement au niveau laryngé

2. Études des indices de perturbation dans le signal acoustique

Les indices de perturbation nous permettent d'étudier la dégradation de la voix après l'opération et d'éventuels rapports entre ces indices. Il existe plusieurs indices de perturbation de la voix comme indicateurs de traumatismes postopératoires.

En ce qui concerne nos expériences, nous avons 27 patients dans le groupe Normal (20 féminins, 7 masculins), 4 patients dans le Groupe présentant une paralysie (1 féminin, 3 masculins).

Nous avons donc des données de 31 patients au total pour cette expérience.

L'investigation repose sur la prononciation de la voyelle /a/ en Temps Maximum de Phonation, suivant les recommandations de la Société Européenne de Laryngologie (Dejonckere et al. 2003).

a) Le jitter et le shimmer

La fréquence de la voix d'un locuteur varie d'un cycle à l'autre. Une variabilité aléatoire des périodes correspond à une perturbation de la fréquence. Cette perturbation est saillante dans les troubles de la voix, et elle est responsable de la qualité d'une voix rauque, « dure » ou « rugueuse ». Le jitter est une mesure de la stabilité vocale. Les voix normales ont généralement une variabilité de fréquence inférieure à 1% (Drugman, 2013).

Si le jitter est une perturbation des fréquences du signal acoustique, il existe des perturbations de l'amplitude du signal acoustique. La mesure de la perturbation de l'amplitude sert aussi d'indice de stabilité vocale. Le shimmer calcule les variations d'amplitude (en dB) d'un cycle à l'autre (d'une période à l'autre) dans la fenêtre d'analyse. Les valeurs en dessous de 0.7 dB sont dites normales pour la voix humaine (Ferrand, 2007, Drugman, 2013).

Analyse des données du jitter et du shimmer du groupe normal (Groupe N)

Pour le jitter, à travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer que les valeurs n°6, n°13, n°18, n°21, n°23, correspondant aux patients n°8, n°16, n°21, n°24, n°26, sont anormales (Figure IV-145). Ces valeurs sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec les répétitions des 22 patients restants. Les valeurs anormales sont analysées séparément.

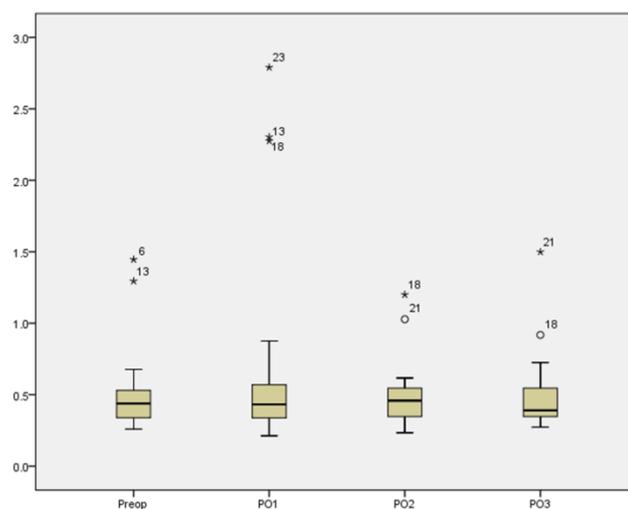


Figure IV-145 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Jitter du Groupe Normal

Pour le shimmer, à travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer que les valeurs n°12, n°18, n°21, n°23, correspondant aux patients n°14, n°21, n°24, n°26, sont anormales (Figure IV-146). Ces valeurs sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de la statistique. Les analyses ont été effectuées avec les répétitions des 23 patients restants. Les valeurs anormales sont étudiées séparément.

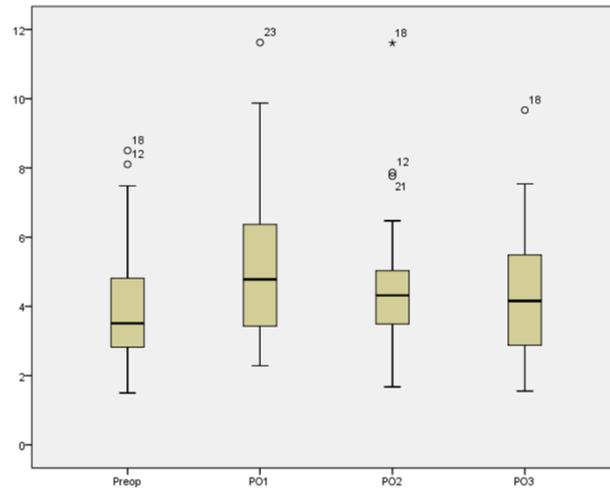


Figure IV-146 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Shimmer du Groupe Normal

La Figure IV-147 présente sous forme de courbes les valeurs du Groupe Normal. Les courbes ont des tendances comparables dans leurs trajectoires. Les deux courbes (le jitter et le shimmer) augmentent après l'opération (Jitter : 0.435 %, shimmer : 4.636 %) par rapport à la Preop (jitter : 0.414 %, shimmer : 3.613 %). Les deux valeurs commencent à diminuer à partir de la PO2 (Jitter : 0.440 %, shimmer : 4.148 %) jusqu'à la PO3 (jitter : 0.422 %, shimmer : 3.944 %). La valeur de la PO3 est plus importante qu'en Preop pour à la fois le jitter et le shimmer. Nos résultats du jitter et shimmer correspondent à ceux de Lee et al., (2016) qui ont observé une augmentation des valeurs quatre semaines après l'opération (Tableau IV-65, Tableau IV-66).

Les écart-types de ces deux valeurs augmentent également après l'opération. À la PO1, ils atteignent le niveau le plus haut pour le Jitter et le Shimmer (Jitter : 0.158 %, Shimmer : 1.751 %) par rapport aux valeurs initiales (Jitter : 0.094 %, Shimmer : 1.299 %). Ils diminuent à la phase suivante (PO2) puis augmentent à la PO3 (Jitter : 0.123 %, Shimmer : 1.518 %), restant quand même plus importants qu'en Preop.

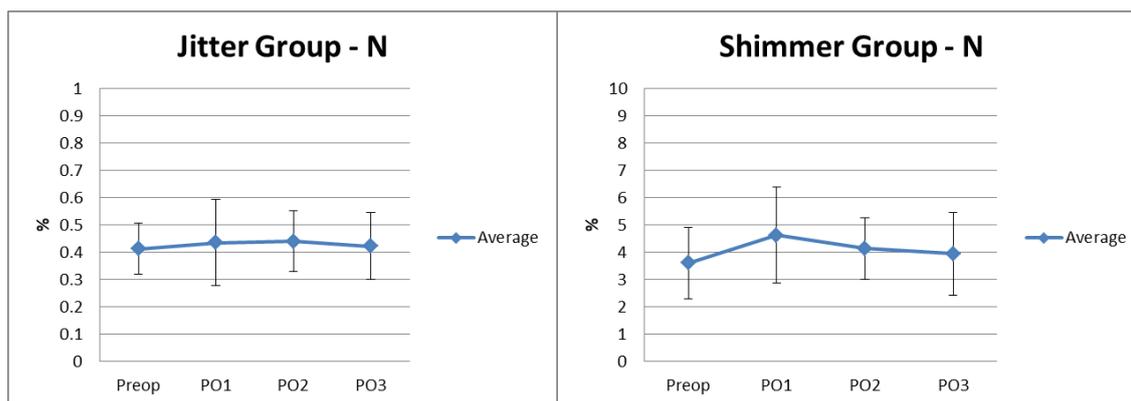


Figure IV-147 Valeurs du Jitter (à gauche) et du Shimmer (à droite) du Groupe Normal

Tableau IV-65 Valeurs du Jitter du Groupe Normal

Jitter %	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	0.414	0.435	0.440	0.422
St.Dev	0.094	0.158	0.111	0.123

Tableau IV-66 Valeurs du Shimmer du Groupe Normal

Shimmer %	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	3.613	4.636	4.148	3.944
St.Dev	1.299	1.751	1.133	1.518

Il existe, dans ce groupe normal, de nombreuses valeurs anormales du Jitter et du Shimmer (Figure IV-148) (Tableau IV-67, Tableau IV-68), qui sont comparables ou plus variables que celles de certains patients du GP. Étant donné le système d'acquisition de données acoustiques est beaucoup plus simple et plus sûr que les équipements aérodynamiques, le risque de présence d'artefacts durant le collectage de données est très faible. Les valeurs anormales sont donc imputables à divers facteurs, notamment aux productions erronées des patients. Rappelons que les valeurs anormales ne sont pas des valeurs atypiques. Les valeurs anormales sont des valeurs exclues par le système de calcul statistique adopté (*Box Plot*). En revanche, les valeurs atypiques sont les valeurs qui présentent des caractéristiques non typiques au sein d'un groupe mais qui deviennent des valeurs normales après l'élimination des valeurs anormales ou erratiques.

Les valeurs anormales du jitter sont généralement plus importantes en PO1. Et les valeurs anormales du shimmer sont plus importantes en PO2, pour la plupart des patients.

Les patients n°8 et n°16 dépassent le seuil normal de 1% pour le jitter, et le patient n°14 et n°21 dépassent le seuil normal de 7% pour le shimmer, déjà avant l'opération.

Nous pouvons constater que les valeurs du jitter et du shimmer de ces patients reviennent aux niveaux comparables aux valeurs préopératoires après avoir suivi des trajectoires anormales par rapport aux valeurs normales du groupe. Les patients avec les symptômes typiques du GP ont des courbes avec une variabilité importante, mais à la phase finale les valeurs reviennent vers les niveaux préopératoires, sans pour autant les atteindre.

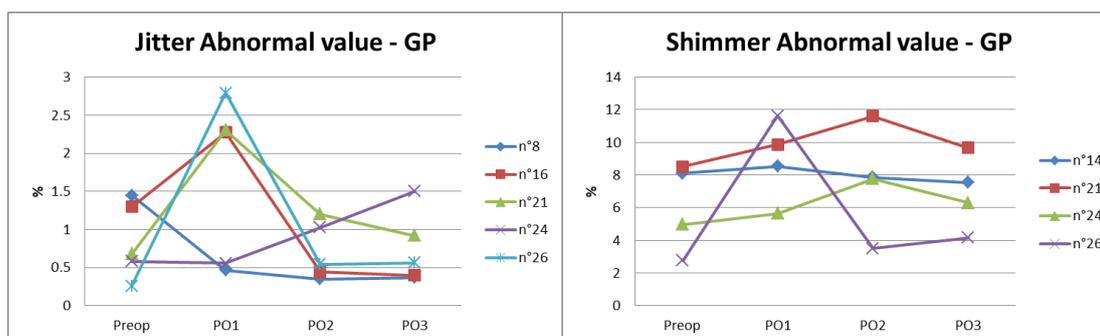


Figure IV-148 Valeurs anormales du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) du Groupe Normal

Tableau IV-67 Valeurs anormales du jitter du Groupe Normal

Jitter %	Preop	PO1	PO2	PO3
n°8	1.446	0.463	0.349	0.366
n°16	1.295	2.276	0.443	0.399
n°21	0.677	2.303	1.2	0.918
n°24	0.58	0.556	1.028	1.499
n°26	0.259	2.79	0.542	0.563

Tableau IV-68 Valeurs anormales du shimmer du Groupe Normal

Shimmer %	Preop	PO1	PO2	PO3
n°14	8.104	8.527	7.865	7.538
n°21	8.502	9.87	11.606	9.671
n°24	4.963	5.638	7.766	6.29
n°26	2.753	11.625	3.492	4.156

Les patients sans symptômes typiques du GP ont des courbes moins variables que les valeurs anormales. Leurs valeurs reviennent aux niveaux préopératoires, à la phase finale.

Analyse statistique des données du jitter et du shimmer du Groupe Normal (GN)

Pour le jitter, par le *test de Shapiro-Wilk*, on constate que les valeurs obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=0.956$, $P=0.966$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 0.41 ± 0.09 , 0.44 ± 0.16 , 0.44 ± 0.11 , 0.42 ± 0.12 (%). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,63) = 0.367$, $P = 0.777 > 0.05$. Il n'y a pas de différence statistique pour le Jitter.

Pour le shimmer, par le *test de Shapiro-Wilk*, on constate que les valeurs obéissent à une distribution normale sauf la PO3 ($P > 0,05$).

Puis, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2 = 5.924$, $P = 0.314$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 3.61 ± 1.30 , $4.64\pm 0.071.75$, 4.15 ± 1.13 , 3.94 ± 1.52 (%). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,66) = 3.016$, $P = 0.036 < 0.05$.

Puis, nous appliquons le *test post-hoc Bonferroni*. La différence du Shimmer entre Preop et PO3 est statistiquement significative ($P = 0.015$). La valeur de PO3 est de 1.023 de plus que celle de Preop (intervalle de confiance 95% : 0.156-1.890). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres groupes.

Dans les paragraphes précédents, nous avons étudié la tendance générale du Groupe Normal. Comme nous l'avons déjà constaté, il s'agit d'un résultat donné en valeurs moyennes pour différents patients. Si nous sortons aléatoirement 5 patients du Groupe Normal (Figure IV-149), nous pouvons voir que les patients n'ont pas du tout une tendance qui ressemble à la tendance générale. Les courbes varient beaucoup plus que cette tendance générale obtenue en valeurs moyennes. Il est donc difficile de diagnostiquer et de caractériser des patients en termes de « normalité » et de résultat « typique ».

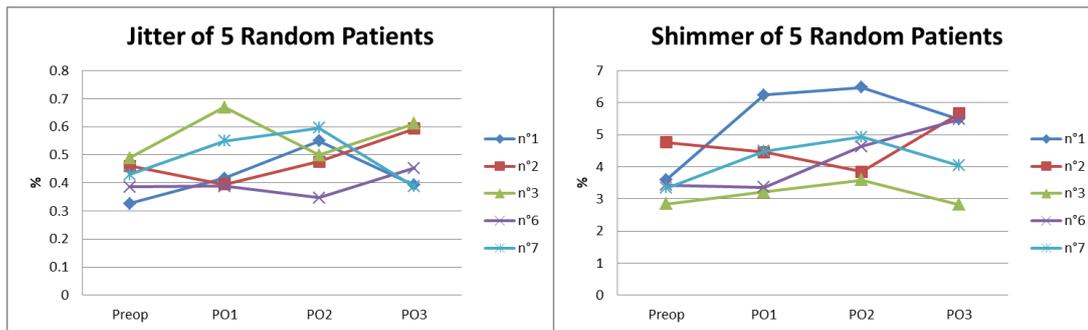


Figure IV-149 Jitter et Shimmer de 5 patients choisis al éatoire

Analyse des données du jitter et du shimmer du Groupe pr ésentant une paralysie (Groupe P)

Pour le Groupe pr ésentant une paralysie, l'évolution des trajectoires des courbes du jitter et du shimmer montre une grande similarité (Figure IV-150) (Tableau IV-69, Tableau IV-70).

Les courbes du Patient n°4, qui pr ésent une paralysie unilat érale, et du Patient n°27, qui pr ésent une paralysie bilat érale, montrent des tendances similaires. Bien que la valeur soit 0 en PO2 pour le Patient n°27. Rappelons qu'à cette phase, ce Patient n°27 avait «perdu » son F0, ce qui fait que toute analyse du jitter ne soit plus possible. Nous pouvons toutefois considérer qu'à cette phase, la voix de ce patient est gravement atteinte par la lésion, tout comme pour le Patient n°4 qui montre une valeur étonnamment élev ée à cette m ême phase (jitter : 6.855 %, shimmer : 26.936 %). Les valeurs pr éop ératoires de ces 2 patients sont proches, soit à 0.509 % pour le jitter et à 5.12% pour le shimmer. Elles augmentent avec des pentes similaires pour la PO1, soit à 3.094 % pour le Jitter et à 17.464 % pour le shimmer. À la PO3, elles baissent à nouveau, soit à 2.496 % pour le Jitter et à 12.673 % pour le shimmer, mais les valeurs dans cette phase ne sont toujours non comparables avec leurs niveaux Pr éop ératoires. Les courbes du Jitter des patients n°5 et n°15 sont «superpos ées » avec celle de la valeur moyenne du GN d'une certaine façon. Apr ès l'opération, la valeur du Patient n°5 augmente en continu tout au long des 4 phases, soit à 0.553% pour le Preop et à 0.592%, 0.696 % et 0.711 % pour les 3 phases postop ératoires. Les valeurs du Patient n°15 augmentent légèrement et graduellement pendant les 3 premi ères phases, soit à 0.35% pour le Preop et 0.429 %, 0.472 % pour les PO1 et PO2. Elle baisse à nouveau en PO3, soit à 0.451 %.

La valeur du shimmer du patient n° 5 diminue en PO1 (4.188 %) et celle du Patient n° 15 augmente à cette phase (4.412 %). En PO2, la valeur du Patient n° 5 augmente (5.66 %) et celle du Patient n° 15 diminue (3.366 %). À la PO3, les valeurs de ces 2 patients diminuent, soit à 4.894 % et à 2.61 % respectivement.

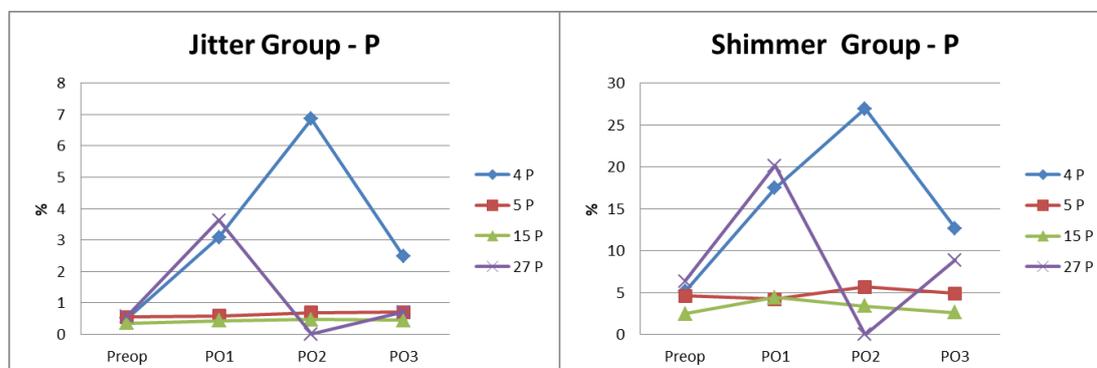


Figure IV-150 Valeurs du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-69 Jitter du Groupe présentant une paralysie

Jitter %	Preop	PO1	PO2	PO3
4 P	0.509	3.094	6.855	2.496
5 P	0.553	0.592	0.696	0.711
15 P	0.35	0.429	0.472	0.451
27 P	0.578	3.627	0	0.7

Tableau IV-70 Shimmer du Groupe présentant une paralysie

Shimmer %	Preop	PO1	PO2	PO3
4 P	5.12	17.464	26.936	12.673
5 P	4.59	4.188	5.66	4.894
15 P	2.445	4.412	3.366	2.61
27 P	6.341	20.147	0	8.862

Les cas comparables dans les deux groupes

Il existe des cas dans le Groupe Normal, après élimination des valeurs anormales, qui sont comparables à certains cas dans le Groupe présentant une paralysie (Figure IV-151) (Tableau IV-71, Tableau IV-72).

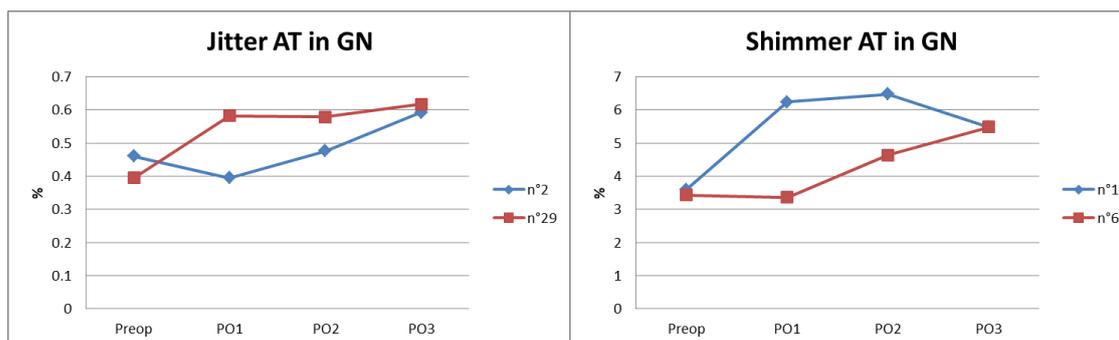


Figure IV-151 Valeurs atypiques (AT) du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) dans le Groupe Normal

Nous présentons les données de deux patients du Groupe Normal pour qui les valeurs de jitter et du shimmer sont comparables à (ou plus importantes que) celles des patients n°5 et n°15 (sans symptômes typiques) du Groupe présentant une paralysie.

Le patient n°2 et n°29 ont respectivement un jitter de 0.46 % et 0.395 % en Preop. Ces valeurs sont normales par rapport à la valeur moyenne du GN qui à cette phase est de 0.414 % (voir *supra*). Elles sont respectivement de 0.593 % et 0.617 % en PO3 – cela dépasse la valeur moyenne du GN (0.423 %) – mais sont comparables avec les 2 patients du GP sans symptômes typiques (0.711 % et 0.451 %).

Tableau IV-71 Valeurs atypiques (AT) du jitter dans le Groupe Normal

Jitter %	Preop	PO1	PO2	PO3
n°2	0.46	0.395	0.476	0.593
n°29	0.395	0.583	0.579	0.617

Les patients n°1 et n°6 ont un shimmer de 3.601 % et 3.432 % en Preop respectivement. Les valeurs de ces paramètres sont normales par rapport à la valeur moyenne à cette phase du GN qui est de 3.613 %. Elles sont respectivement de 5.485 % et 5.484 % en PO3. La valeur moyenne à cette phase du GN est de 3.944 %. Elles sont comparables avec les 2 patients du GP sans symptômes typiques (4.894 % et 2.61 %).

Tableau IV-72 Valeurs atypiques (AT) du shimmer dans le Groupe Normal

Shimmer %	Preop	PO1	PO2	PO3
n°1	3.601	6.237	6.474	5.485
n°6	3.432	3.36	4.643	5.484

Analysons maintenant les données relatives au HNR, un autre indice qui pourrait être utile pour déceler la présence d'éléments de perturbation dans le signal acoustique.

b) Le HNR

Le HNR est une évaluation du rapport entre les composants périodiques et les composants non périodiques pendant un segment de parole voisée. Le HNR quantifie la quantité relative de bruit additif dans le signal de parole. Le bruit additif provient du flux d'air turbulent généré à la glotte pendant la phonation (Ferrand, 2002). Un HNR bas indique une voix asthénique et une dysphonie (Teixeira et al, 2013).

Analyse des données du HNR du groupe normal (Groupe N)

À travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer que les valeurs n° 18, correspondant au Patient n° 21, sont anormales (Figure IV-152). Ces valeurs sont éliminées du calcul de la valeur moyenne et de l'analyse statistique. Les analyses ont été effectuées avec les 26 ensembles de valeurs restants. Les valeurs anormales sont présentées isolément.

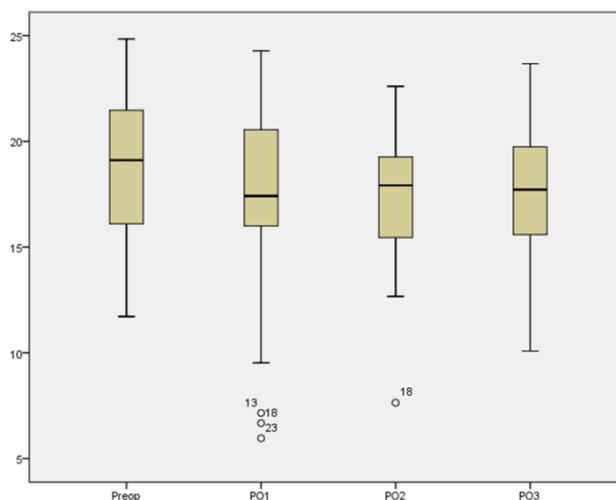


Figure IV-152 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du HNR du Groupe Normal

Le HNR est de 18.801 dB avant l'opération. Elle baisse en PO1, soit à 17.509 dB, puis remonte en PO2, soit à 17.759 dB. À la dernière phase, le HNR est à un niveau proche de celui mesuré en PO2, soit à 17.714 dB (Figure IV-153) (Tableau IV-73).

L'écart-type augmente à la première phase postopératoire (4.675 dB) par rapport à la Preop (3.268 dB). Il baisse à un niveau inférieur à la Preop en PO2 (2.727 dB). En PO3, il revient au niveau comparable avec celui de la Preop, soit à 3.137 dB.

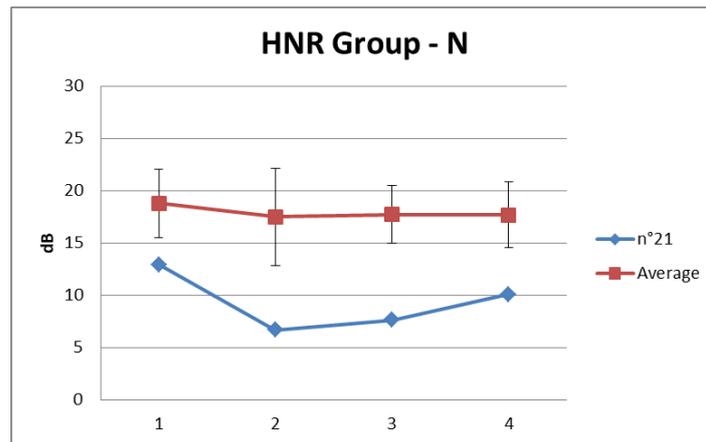


Figure IV-153 Résultat du HNR du Groupe Normal

Tableau IV-73 Résultat du HNR du Groupe Normal

HNR dB	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	18.801	17.509	17.759	17.714
St.Dev	3.268	4.675	2.727	3.137

Ces résultats corroborent ceux de Lee et al., (2016) et de Stojadinovic *et al.*, (2002).

Le Patient n  21 du GN a des valeurs anormales pour le HNR (Tableau IV-74 Valeurs anormales du HNR du Groupe Normal). Le HNR chute en PO1 (6.676 dB) de la Preop (12.956 dB). Elle remonte aux deux dernières phases (7.641 dB en PO2, 10.082 dB en PO3), mais demeure non comparable avec son état préopératoire.

Tableau IV-74 Valeurs anormales du HNR du Groupe Normal

HNR dB	Preop	PO1	PO2	PO3
n�21	12.956	6.676	7.641	10.082

Analyse statistique des données du HNR du Groupe Normal

Par le *test de Shapiro-Wilk*, on observe que les valeurs obéissent à une distribution normale ($P > 0,05$).

Puis, à travers le *test d'hypothèse sphérique de Mauchly*, la matrice de covariance de la variable dépendante est égale ($\chi^2=7.500$, $P=0.186$).

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs du HNR de Preop, PO1, PO2 et PO3 chez les patients étaient respectivement de 118.80 ± 3.27 , 17.51 ± 4.67 , 17.76 ± 2.73 , 17.71 ± 3.14 (dB). Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la

différence entre les phases n'est pas statistiquement significative, Valeur $F(3,75) = 1.254$, $P=0.296 > 0.05$. Il n'y a pas de différence significative au niveau du HNR. Il n'y a pas de différence au niveau statistique.

Analyse des données du HNR du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Les 2 patients avec les symptômes typiques (n°4 et n°27) (figure 9-156) (tableau 9-75) ont des tendances similaires dans l'évolution de la trajectoire de leurs courbes. Les valeurs du HNR sont de 18.018 dB pour le Patient n°4 et 13.879 dB pour le Patient n°27 en Preop. En PO2, la valeur du Patient n°4 chute jusqu'à 1.455 dB et celle du Patient n°27 chute jusqu'à 1.068 dB. En PO3, Le HNR du Patient n°4 continue à baisser, soit à 1.366 dB. Le HNR n'est plus mesurable dans cette phase pour le Patient n°27 en l'absence d'un F0. Mais nous pouvons conclure à cette phase à un HNR extrêmement dégradé. En PO3, les 2 patients ont des HNR comparables, soit à 6.319 dB pour le Patient n°4, et à 6.972 dB pour le Patient n°27. Les valeurs à la dernière phase sont encore loin de leurs niveaux préopératoires.

Les 2 patients sans symptômes typiques (n°5 et n°15) (Figure IV-154) (Tableau IV-75) ont des valeurs plus proches par rapport aux 2 précédents patients. Mais contrairement aux patients avec des symptômes typiques, les patients n°5 et n°15 n'ont pas de similarité en ce qui concerne les patterns de leurs courbes. Leurs HNR sont de 16.56 dB pour le patient n°5 et de 20.626 dB pour le patient n°15 en Preop. Elle baisse pour le Patient n°15 (17.702 dB) en PO1 mais augmente pour le patient n°5, soit à 18.5 dB. En PO2, le Patient n°5 a un HNR qui diminue (16.49 dB), et le Patient n°15 garde son HNR au même niveau que celui de la phase précédente, soit à 17.706 dB. À la dernière phase, le HNR baisse pour le Patient n°5, soit à 15.111 dB, et augmente pour le Patient n°15, soit à 18.514 dB.

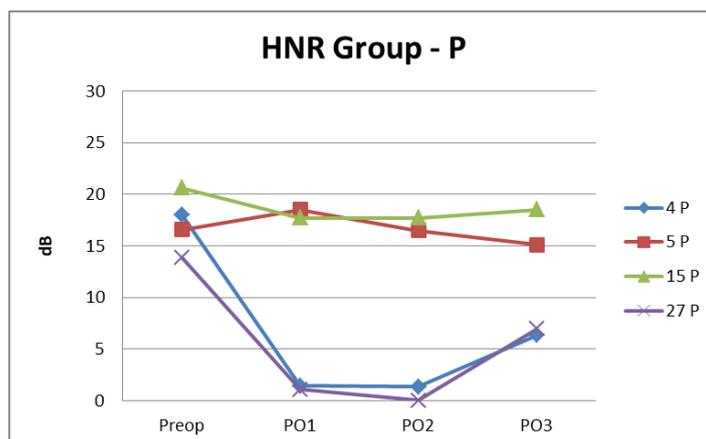


Figure IV-154 HNR du Groupe pr ésentant une paralysie

Tableau IV-75 HNR du Groupe pr ésentant une paralysie

HNR dB	Preop	PO1	PO2	PO3
4 P	18.018	1.455	1.366	6.319
5 P	16.58	18.5	16.49	15.111
15 P	20.626	17.702	17.706	18.514
27 P	13.879	1.068	0	6.972

Les cas comparables dans les deux groups

Nous pouvons observer certains cas du Groupe Normal qui sont comparables à certains cas du Groupe pr ésentant une paralysie (Figure IV-155) (Tableau IV-76).

Pr ésentons un patient dans le Groupe Normal qui a des valeurs et l'évolution de ses patterns comparables à celles des patients du Groupe pr ésentant une paralysie : le Patient n °26.

La valeur du HNR pour ce patient en Preop est de 21.556 dB. Elle chute notablement en PO1 (5.959 dB), puis remonte vers son niveau pr éop éatoire en PO2 (19.118 dB). En PO3, elle baisse à nouveau, soit à 17.567. En PO1, le HNR de ce patient suit une trajectoire comparable à celle des patients avec sympt ôme, du GP. En outre, la variation pendant les 4 phases est plus prononc ée que pour les 2 patients sans sympt ôme du GP.

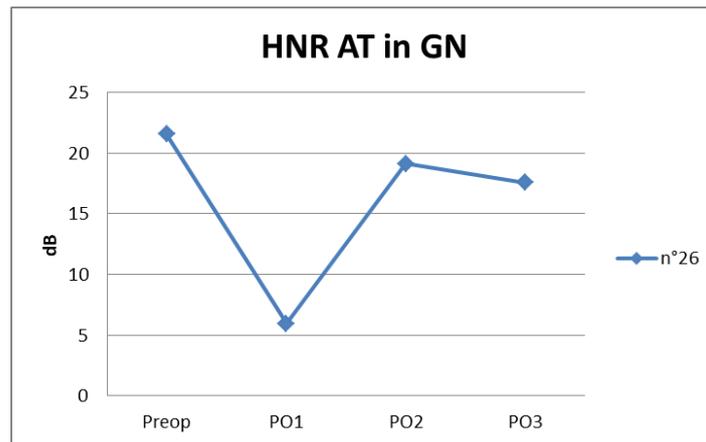


Figure IV-155 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal

Tableau IV-76 Valeurs atypiques (AT) du HNR dans le Groupe Normal

HNR dB	Preop	PO1	PO2	PO3
n°26	21.556	5.959	19.118	17.567

Pour les patients du Groupe Normal, la valeur du HNR est au niveau le plus haut à la première phase postopératoire (PO1). C'est-à-dire que le signal (et donc la voix) est immédiatement envahi par du bruit. Aux phases suivantes, la valeur du HNR remonte graduellement. Cela serait un indice de rétablissement.

Pour les patients du Groupe présentant une paralysie, les patients sans symptôme présentent des tendances différentes. Les patients avec les présentent une grande similarité bien qu'ils aient des paralysies différentes. Rappelons que le Patient n° 4 présente une paralysie unilatérale et que le Patient n° 27, lui, présente une paralysie bilatérale.

Par rapport à la tendance générale, les patients pris individuellement ne montrent ni de valeurs comparables, ni de patterns de trajectoires semblables. On constate aussi une grande variabilité au niveau de leurs données.

3. Résultats du VHI (Voice Handicap Index)

Le VHI est un questionnaire d'auto-évaluation divisé en trois catégories, comportant chacune 10 questions : fonctionnelle, émotionnelle et organique. Ce questionnaire est utilisé couramment pour mesurer la perception du handicap vocal chez les patients et quantifier les impacts des troubles de la voix sur la qualité de vie d'un patient. Ce questionnaire comprend 30 questions. Chacune de ces catégories comporte dix situations ou questions spécifiques, identifiées par leur fréquence d'apparition au moyen d'une

échelle numérique progressive, et le patient répond en fonction de la pertinence de chaque question (0 = aucun à 4 = toujours).

Les questions fonctionnelles correspondent aux impacts des troubles de la voix sur l'activité quotidienne. Les questions émotionnelles correspondent aux réponses affectives d'un patient à un trouble de la voix. Les questions organiques correspondent à l'auto-perception du patient des caractéristiques de la production vocale et de l'inconfort au niveau du larynx.

Le test est applicable à tous les types de troubles vocaux et a été validé statistiquement. Ces questions ont été initialement sélectionnées sur la base de l'analyse de rapports de cas, afin de s'assurer d'un équilibre entre les éléments dans le questionnaire et une validité chiffrée des réponses (Halawa et al, 2011).

En ce qui concerne cette expérience, nous avons 26 patients dans le groupe Normal (19 féminins, 7 masculins), 4 patients dans le Groupe présentant une paralysie (1 féminin, 3 masculins).

Nous avons donc des répétitions de 30 patients au total pour cette expérience.

Analyse des données du VHI du groupe normal (Groupe N)

À travers l'analyse par Box Plot, nous pouvons observer de nombreuses valeurs anormales (Figure IV-156). Par conséquent, nous décidons de garder toutes les valeurs, puis d'appliquer une analyse statistique non paramétrique.

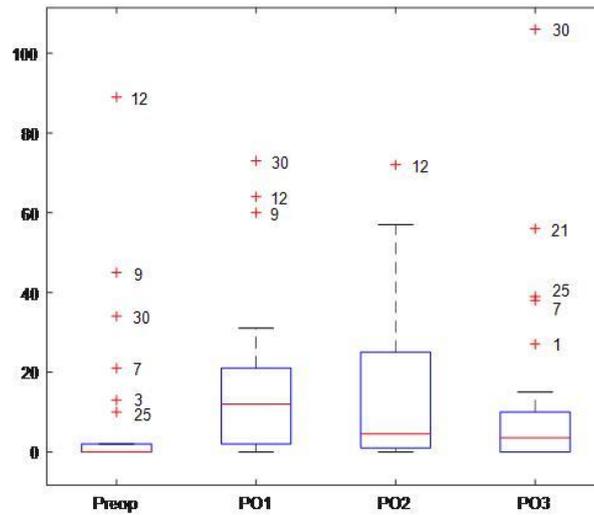


Figure IV-156 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 /i/ du Groupe Normal

Nous pouvons constater un grand nombre de valeurs anormales dans la Figure IV-157. Pourtant, tous les patients ont fait l'objet d'un examen ORL préopératoire attestant de la normalité de leur voix avant l'opération. Pourtant, comme nous pouvons le voir dans la figure, les patients n° 7, n° 25 et n° 3 ont des valeurs plus importantes que les autres patients dans la même phase d'enregistrement et même avant l'opération. Ce constat est encore plus flagrant chez les patients n°9, n°30, et surtout n°12.

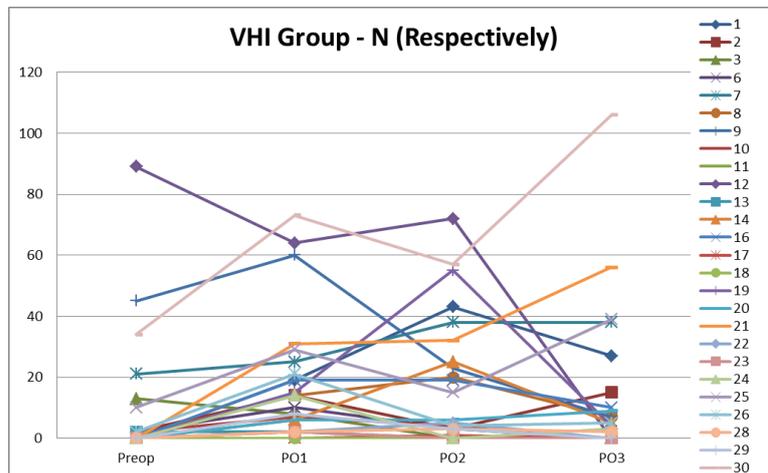


Figure IV-157 Ensemble des valeurs du VHI du Groupe Normal

Tableau IV-77 Résultat du VHI du Groupe Normal

VHI	Preop	PO1	PO2	PO3
Average	9	17	17	13
St.Dev	20	20	21	24

Si l'on peut parler d'une tendance générale, comme indiquée dans le Tableau IV-77, le score du VHI augmente clairement après l'opération ; il est à 9 en Preop et à 17 en PO1 et PO2, puis il diminue à la dernière phase. Mais les valeurs moyennes ont des écart-types très importants, soit 20 pour la Preop et la PO1, 21 pour la PO2 qui s'élève à la PO3 jusqu'à 24.

Notons que les valeurs du VHI sont un indice d'une évaluation subjective. Ainsi, les valeurs et les courbes du Groupe Normal correspondent approximativement aux valeurs objectives, dans la plupart des cas. Le résultat correspond à celui présenté dans l'étude de Fauth (2012).

Analyse statistique des données du VHI

Nous décidons d'appliquer le test statistique non paramétrique étant donné les nombreuses valeurs extrêmes et anormales.

Selon le *test de Friedman*, $P < 0.05$, la différence des valeurs de VHI entre Preop et PO1, Preop et PO2 est statistiquement significative (les valeurs de P sont respectivement de 0.002, 0.011). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les autres groupes.

Analyse des données du VHI du Groupe présentant une paralysie (Groupe P)

Il saute aux yeux que les 2 patients du GP avec symptômes typiques (n° 4 et n° 27) ont des courbes hautement similaires (figure 9-161) (tableau 9-78). Leurs courbes évoluent presque en parallèle pendant les 4 phases. En Preop, le score du VHI du patient n° 4 est de 5 points et celui du patient n° 27 est de 1 point. Les scores augmentent brutalement en PO1, soit à 80 pour le patient n° 4 et à 75 pour le patient n° 27. En PO2, les scores diminuent légèrement, soit à 61 pour le patient n° 4 et à 56 pour le patient n° 27. À la dernière phase, le score est de 64 pour le patient n° 4 et de 61 pour le patient n° 27. Le niveau de l'immobilité laryngée du patient n° 27 est plus sévère que celui du patient n° 4, mais les scores des 4 phases du patient n° 27 sont toujours de 3 à 5 points de moins que ceux du patient n° 4.

Les 2 patients du même groupe mais sans symptômes typiques ont des similarités entre leurs patterns (Figure IV-158) (Tableau IV-78), pour les phases postopératoires, mais il y a une grande distance entre leurs scores de VHI, soit 61, 72 et 74 pour le patient n°5 et 1, 11, 9 pour le patient n°15, cela pour les 3 phases postopératoires.

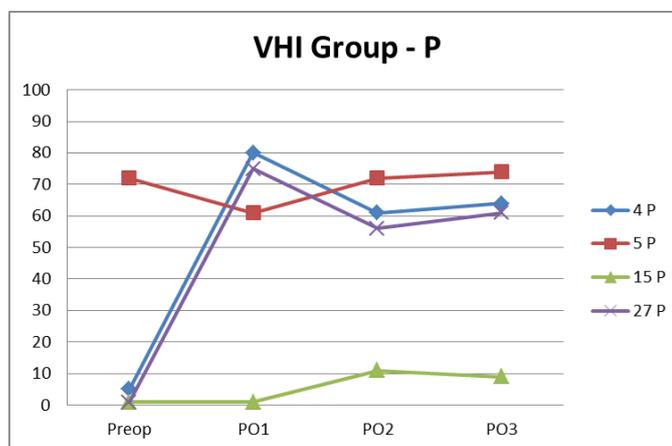


Figure IV-158 VHI du Groupe présentant une paralysie

Tableau IV-78 VHI du Groupe présentant une paralysie

VHI	Preop	PO1	PO2	PO3
4 P	5	80	61	64
5 P	72	61	72	74
15 P	1	1	11	9
27 P	1	75	56	61

Ce résultat souligne le phénomène de l'écart inter-individuel dans la perception des productions des patients. En d'autres termes, les symptômes peuvent avoir des impacts différents sur différents sujets au niveau subjectif. Pour les patients n°4 et n°27, ils ont des scores proches et une ressemblance au niveau des trajectoires de leurs patterns. Pour les patient n°5 et n°15, bien qu'il existe un écart entre les scores, les trajectoires observées après l'opération sont comparables. Pour une partie des patients du Groupe Normal, il y a encore moins de similarité entre eux. Les raisons sont multiples : l'inquiétude et l'anxiété font que les patients surestiment leurs traumatismes. Il existe aussi une marge d'erreur entre la situation objective et la sensation subjective.

Dans certains systèmes médicaux, l'examen d'ORL postopératoire pour vérifier l'immobilité des plis vocaux dépend de l'auto-évaluation des patients, puis l'intervention de remédiation est réalisée selon les cette auto-évaluation. Les résultats présentés plus haut démontrent toutefois un grand écart avec la situation réelle de l'examen ORL

postopératoire et l'auto-évaluation des patients, montrant en conséquence que les résultats d'auto-évaluation ne seraient pas toujours fiables. Un tel protocole risque d'exclure les patients qui sous-estiment leurs traumatismes et de sur-diagnostiquer d'autres patients qui les sur-estiment.

Pour résumer...

Nous pouvons constater que les valeurs du jitter et du shimmer de ces patients reviennent aux niveaux comparables aux valeurs préopératoires après avoir suivi des trajectoires anormales par rapport aux valeurs normales du groupe. Les patients avec les symptômes typiques du GP ont des courbes avec une variabilité importante, mais à la phase finale les valeurs reviennent vers les niveaux préopératoires, sans pour autant les atteindre.

Pour ce qui concerne le HNR, la valeur est au niveau le plus haut à la première phase postopératoire (PO1) pour tous nos patients, ce qui correspond à une dégradation de la qualité vocale. Aux phases suivantes, la valeur du HNR remonte graduellement. Cela semble être un indice de rétablissement.

Par rapport au VHI, les résultats subjectifs présentés démontrent un grand écart avec la situation réelle des patients durant l'examen ORL postopératoire, indiquant ainsi que les résultats d'auto-évaluation ne seraient pas fiables. En effet, certains patients ont tendance à surestimer la dégradation de la qualité de leur voix. Rappelons que les dimensions de l'auto-évaluation par le Voice Handicap Index (VHI) sont très importantes pour situer le patient dans son handicap mais ne sont pas des « paramètres objectifs », et que ces auto-évaluations sont aussi importantes pour le suivi du ressenti du patient.

Synthèse générale et conclusions

Nous allons, dans cette partie, d'abord proposer une synthèse générale de nos résultats. Ensuite, il s'agira de vérifier lesquelles de nos hypothèses de départ ont été confirmées ou infirmées d'après l'analyse des données. Enfin, nous tâcherons de situer les résultats de nos investigations dans le cadre général de la théorie de la viabilité et du paradigme de la perturbation et des réajustements en production-perception de la parole.

Nous avons étudié les conséquences d'une ablation totale ou partielle de la glande thyroïde (thyroïdectomies) suite à un dysfonctionnement thyroïdien, une intervention qui peut perturber le système de production de la parole avec des conséquences sur la qualité de la voix.

Dans nos investigations, la perturbation est de source pathologique, face à laquelle nous pensons que le système de production-perception de la parole allait se réorganiser pour compenser les effets de la thyroïdectomie. Le cadre conceptuel de nos recherches et l'analyse de nos données aérodynamiques et acoustiques prennent place parmi d'autres travaux traitant de ce phénomène de la perturbation à l'Institut de Phonétique de Strasbourg et dans l'Équipe de Recherche Parole et Cognition de LiLPa (Béchet, 2011; Fauth, 2012; Vaxelaire), sous l'impulsion de Vaxelaire (1993 ; 2007). Nous avons été attentif en conséquence, dans le cadre général du paradigme de la perturbation et des réajustements, aux déviations des variables mesurées relatives aux *phases d'acquisition postopératoires* chez nos patients.

Nous avons réalisé les enregistrements des données aérodynamiques et acoustiques auprès des patients à la Clinique Saint Anne de Strasbourg. Pour la dernière phase d'enregistrement d'un nombre réduit de patients (4 patients), nous avons pu acquérir les données (aérodynamiques / acoustiques) à l'Institut de Phonétique de Strasbourg (IPS), de l'Université de Strasbourg. Pendant l'enregistrement aérodynamique et acoustique, les sujets sont assis confortablement sur un tabouret sans dossier pour les inciter à adopter une posture droite devant le masque du dispositif aérodynamique, et à environ 25 – 30 cm du microphone.

Pour les données aérodynamiques, le dispositif EVA2 (Evaluation Vocale Assistée) a été utilisé. Avec ses nombreux capteurs, il nous a permis d'enregistrer le débit d'air oral et

nasal, la pression intra-orale (etc.) lors de la production de parole. Pour nos recherches, le système EVA2 a été utilisé afin d'acquérir et d'analyser les indices PIO (Pression intra oral) et OAF (Débit d'air oral) qui illustrent les stratégies au niveau aérodynamique pendant la phonation et l'articulation.

Pour les investigations aérodynamiques, nous n'avons étudié que les occlusives bilabiales dans nos recherches, les occlusives alvéolaires, et vélares, ainsi que les constrictives posant des problèmes pour une acquisition de données aérodynamiques fiables ou de contraintes pour les patients, en ce qui concerne les constrictives.

Afin de mesurer l'impact de la modification de la qualité vocale, laquelle influence la qualité de vie des patients, une auto-évaluation vocale a été proposée aux patients. Pour ce faire, nous avons retenu le Voice Handicap Index (ou VHI).

Nous avons réduit le corpus par nécessité pour respecter des conditions et des contraintes hospitalières, et aussi par rapport aux conditions physiques et psychologiques des patients.

Le corpus retenu a visé à accomplir les quatre tâches suivantes: 1) produire la voyelle /a/ en Temps Maximum de Phonation utilisant les dispositifs aérodynamique et acoustique ; 2) prononcer trois voyelles extrêmes /i, a, u/ soutenues durant environ 5 secondes (variable selon la capacité des patients) avec le dispositif aérodynamique (les trois voyelles ont été répétées 5 fois) ; 3) lire 12 logatomes utilisant le dispositif aérodynamique (la série a été répétée 5 fois également) ; 4) lire un texte court.

L'acquisition des données était longitudinale. Nous avons interrogé et suivi au total 350 – 400 patients pendant 7 mois, mais pour diverses raisons, il n'y a que 31 patients, dont 21 patientes et 10 patients, qui ont tenu jusqu'à la fin des différentes phases de nos investigations. Deux types de sujets ont été enregistrés : 1) des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et ne présentant pas d'immobilité laryngée (26) ; 2) des locuteurs ayant subi une opération de la glande thyroïde et présentant une immobilité laryngée (4).

Dans notre étude, nous avons suivi tous les patients ayant subi une thyroïdectomie. Nous avons comparé les indices post-opératoires avec les indices avant l'opération. Aussi, nous n'avons pas eu besoin d'un groupe contrôlé, ainsi les biais éventuels pouvant provenir de différences interindividuelles idiosyncrasiques ont pu être évités.

Les enregistrements ont eu lieu avant et après l'ablation de la glande thyroïde en 4 phases. Le premier enregistrement a eu lieu le jour précédant l'opération et les suivants ont eu lieu après l'opération : le PO1 était fait le lendemain de l'opération ; le PO2 s'est déroulé 15-20 jours après l'opération et le PO3 était à 1 mois après l'opération.

Nous avons étudié et corrigé les résultats en nous appuyant sur les analyses aérodynamiques, acoustiques et d'auto-évaluation, dans l'intention de mettre en lumière ces diverses manifestations des perturbations après la thyroïdectomie ainsi que leurs conséquences.

Les paramètres retenus ont été : 1) l'espace vocalique ; 2) la fréquence fondamentale (F0) ; 3) le jitter ; 4) le shimmer ; 5) le Harmonics-to-Noise Ratio (HNR) ; 6) le Temps Maximum de Phonation (*Maximum Phonation Time* (MPT)), 7) le Débit d'Air Oral (Oral Air Flow ou OAF) 8) le Pic du débit d'Air Oral (Pic) ; 9) la pression intra-orale (PIO) ou la Pression Sous-Glottique (PSG).

Nous avons analysé nos résultats statistiquement. Ils n'étaient significatifs que si la probabilité était supérieure à cinq pour cent ($p < 0.05$).

Résumons ici les principaux enseignements que nous pouvons tirer de l'analyse de nos données.

Au niveau aérodynamique, la plupart de nos hypothèses ont été confirmées, avec quelques nuances à préciser :

La plupart des patients avec ou sans symptôme typique de la mobilité laryngée du Groupe P ont eu des difficultés à atteindre les valeurs de temps maximum de phonation (MPT) enregistrées en préopératoire. Cela dit, les patients du Groupe N n'ont pas seulement atteint la valeur du MPT, mais ont, au contraire, dépassé la valeur préopératoire parfois. Les patients du Groupe P avec des symptômes typiques présentent un MPT réduit plus important que les patients du Groupe N à cause des efforts respiratoires qu'ils doivent fournir pour compenser le manque d'efficacité vocale au niveau laryngé. Ce résultat confirme donc notre hypothèse initiale.

L'efficacité vocale a été affectée après la chirurgie du fait que la phonation a exigé une consommation plus élevée du débit d'air oral (OAF) qu'avant la réalisation de l'opération.

En effet, l'augmentation de l'OAF des patients du groupe P est beaucoup plus remarquable que celle des patients du groupe N, ce qui est en ligne avec l'hypothèse que nous avons formulée sur le comportement de ce paramètre.

Contrairement à ce que nous pensions, la valeur du pic du débit d'air oral (PIC) n'est pas plus importante pour la plupart des consonnes après l'opération pour les patients du Groupe N et les patients sans symptôme typique du Groupe P. Cette valeur augmente de façon notable seulement pour les patients du Groupe P avec des symptômes typiques.

La pression intra-orale augmente effectivement pour les deux groupes sous l'influence de la modification de la pression sous-glottique (PSG). Par rapport aux patients avec paralysie, deux patients du Groupe P avec des symptômes typiques ont des valeurs qui augmentent immédiatement après l'opération, les deux autres voient réduire la valeur de la PIO dans la première phase postopératoire (PO1). Cependant, à partir de PO2, cette pression intraorale continue à augmenter, ce qui est en ligne avec notre prédiction au départ.

Au niveau acoustique, toutes les hypothèses de départ ont été confirmées :

La voix des deux groupes, sans ou avec atteinte de la mobilité laryngée (groupe N/P) se trouve modifiée dans les phases post-opératoires. La fréquence fondamentale (F0) est perturbée avec de tendances de neutralisation de l'opposition entre voix féminines et voix masculines dans le groupe normal, et une vraie convergence des données du F0 dans le groupe avec une atteinte de la mobilité laryngée (et des symptômes typiques). De manière générale, le F0 augmente pour les patients masculins et baisse pour les patientes féminines.

L'activité irrégulière au niveau du larynx a des conséquences sur les mesures de perturbations du signal. Le jitter et le shimmer augmentent pour les deux groupes. Le cas des patients du groupe P avec une atteinte de la mobilité laryngée présente plus de détérioration que les patients du Groupe N.

La valeur moyenne du Harmonics to Noise Ratio (HNR) diminue pour le Groupe N et la plupart des patients du Groupe P, certains patients dans ce dernier groupe se comportant comme des patients normaux.

Une réduction de l'espace vocalique a eu lieu. Ce phénomène est plus significativement présent chez les patients du Groupe P avec une atteinte de la mobilité laryngée.

Au niveau général

Des écarts-types très importants ont été observés surtout dans les phases post-opératoires PO1 et PO2. Ces valeurs diminuent à la phase PO3. Dans notre hypothèse initiale, nous pensions que cette variabilité serait entretenue chez les patients du Groupe P, mais en fait, les patients du Groupe P sans symptôme typique n'ont pas des écarts-types plus importants que les patients du Groupe N.

Contrairement à notre hypothèse de départ, le temps ne permet pas seulement aux patients ne présentant pas de paralysie laryngée de retrouver rapidement les valeurs obtenues lors de l'enregistrement préopératoire. Ce rétablissement est présent aussi chez les patients du Groupe P sans symptôme typique. N'ayant pas eu accès aux procédures de rééducation orthophonique mises en place pour nos patients, nous supposons que la fonction temps joue un rôle dans le rétablissement du patient.

Essayons maintenant de situer les résultats de nos investigations dans le cadre général de la théorie de la viabilité et du paradigme de la perturbation et des réajustements en production-perception de la parole.

Patterns aérodynamiques et acoustiques et leurs trajectoires : des voies possibles et viables

Étant donné que la biologie, et plus spécifiquement, l'évolution servent souvent de source de concepts et de métaphores dans l'élaboration de théories phonétiques (voir, entre autres, Lenneberg, 1967 ou Lindblom, 1990), nous nous permettrons d'utiliser ici quelques analogies tirées de ces domaines, en faisant les adaptations nécessaires lorsque nous empruntons des concepts et des notions à ces domaines différents du nôtre (cf. infra).

Comme nous venons de le voir dans nos données, la thyroïdectomie est dans certains cas une source de perturbation du système de production-perception de la parole (voir Vaxelaire, 1996, pour une tentative de classement des effets perturbateurs du système linguistique en facteurs contextuels dits externes et internes).

Dans notre cas, la perturbation est externe, la source étant une intervention chirurgicale nécessaire. Cela provoque des changements compensatoires dans le système de production-perception de la parole. Sock (1998) et Sock et Vaxelaire (2001) indiquent que :

«[...] les changements compensatoires que ce système peut subir — tout en gardant sa cohérence et, en conséquence, l'identité de ses propriétés linguistiques émergentes — peuvent être de deux sortes selon la nature et l'intensité de la perturbation :

a) Ils peuvent être conservateurs, en ce sens que seules les relations entre les composantes changent.

b) Mais ils peuvent aussi être innovateurs, au sens où les composantes du système subissent elles-mêmes des modifications.

Dans le premier cas, les perturbations [...], responsables des changements ne provoquent pas de modification dans la stratégie de la réalisation de l'opposition linguistique : les composantes préservent une stabilité relative dans leurs interactions. »

C'est typiquement le cas, par exemple, des patterns aérodynamiques du Pic de l'OAF et de l'aire des espaces vocaliques observés chez la plupart des patients appartenant au groupe normal. Rappelons que chez ces patients, la perturbation, tout en provoquant la déviation des trajectoires par rapport à la phase préopératoire de référence (c'est-à-dire le changement de relation entre les composantes), ne modifie pas la stratégie globalement mise en place pour maintenir l'opposition de

voisement et l'intégrité perceptive des entités vocaliques étudiées, à savoir retrouver les valeurs initiales des paramètres de la phase postopératoire. Le scénario revient donc, *in fine*, à un état structurellement inchangé malgré la perturbation.

« Dans le deuxième cas, au contraire, les perturbations entraînent un changement dans la manière dont l'opposition linguistique est réalisée : il s'agit d'une réorganisation de l'interaction des composantes du système. »

Ce cas de figure peut être illustré par le comportement des patterns des paramètres aérodynamiques et acoustiques chez les patients appartenant au groupe avec paralysie. On constate ainsi l'émergence d'une nouvelle stratégie face à la perturbation, ainsi qu'une difficulté à recouvrer les valeurs initiales de l'état du système en phase préopératoire.

Il convient de souligner, selon Sock (1998) que :

« [...] si ces changements structurels peuvent intervenir sans que l'organisation globale du système soit modifiée, c'est grâce, largement, à la plasticité du système de production-perception de la parole et à sa tendance à l'équilibre [...], c'est-à-dire grâce à la propriété à maintenir relativement stable la dynamique de ses états internes, ainsi que la cohérence globale de son organisation. »

Nous avons vu dans quelques cas que certains de nos paramètres ne suivent plus des trajectoires cohérentes, étant donné l'absence d'une certaine stabilité durant les phases postopératoires, face à cette perturbation externe. Cela peut contribuer inévitablement à la désintégration du système et en conséquence à la perte de l'identité de ses propriétés émergentes. Nous avons eu ainsi affaire à des catégories sensori-motrices linguistiquement non viables ; c'est le cas, par exemple, d'un patient avec paralysie bilatérale qui avait « perdu son F0 », momentanément, même s'il tentait de compenser ce dysfonctionnement au niveau glottique par une

stratégie de réajustement au niveau pulmonaire, en augmentant son OAF de façon mesurée.

Nous pouvons dire donc, dans le cadre de la Théorie de la Viabilité, telle qu'elle est rentabilisée dans le domaine de la production-perception de la parole pathologique, que l'émergence de nos catégories phonétiques ne repose pas sur un processus prescriptif venant des soi-disant hauts niveaux, qui guideraient et commanderaient la fonction d'optimisation de la valeur adaptative des patterns aérodynamiques et acoustiques. Au contraire, dans une logique proscriptive on pourrait, comme en biologie ou dans les théories de l'évolution, concevoir l'émergence de nos patterns aérodynamiques et acoustiques viables comme le processus qui consisterait à écarter toute entité sensori-motrice qui ne soit pas compatible avec la satisfaction fondamentale de l'opposition sémiotique (la survie), ainsi que la préservation de cette dernière, quelle que soit la condition de (re)production-perception de l'entité (la reproduction).

Nous savons que les individus et les systèmes linguistiques présentent de la variabilité (individuelle, sociolectale, régionale...) et l'émergence de catégories phonétiques acceptables n'est que la satisfaction de deux contraintes linguistiques élémentaires, à savoir l'opposition des classes et le maintien de ces oppositions.
(Sock, 1998)

Nous avons vu que l'évolution des patterns aérodynamiques et acoustiques en fonction du temps, c'est-à-dire des phases postopératoires, ne suit pas une trajectoire unique et optimale pour le maintien des oppositions linguistiques. En effet, différentes trajectoires peuvent être empruntées et qu'elles sont plus ou moins variables selon les patients et les réactions à la thyroïdectomie. Au bout du compte, tous les patients récupèrent ou tendent vers la récupération, suivant la notion de *satisficing*, en trouvant des solutions sous-optimales pour retrouver la qualité initiale de leur voix et l'intelligibilité de leurs productions. Même si nous ne

décelons pas de stratégies distinctives optimales, vu la grande variabilité des patterns observés, nous avons mis au jours ces patterns articulatoire-acoustiques possibles. Malgré la variabilité intra-individuelle parfois remarquable, la séparation entre les catégories phonétiques reste suffisamment distincte, assurant ainsi une solution qui se situe au-dessus d'un seuil critique de satisfaction. Nous voyons donc que le système linguistique, même perturbé fonctionne comme pour les processus liés à l'évolution, sous forme d'un large filtre n'acceptant que les trajectoires assurant une distinction entre les catégories, de manière plus ou moins robuste Varela et al. (1991).

Parlant de l'une des conséquences les plus intéressantes de ce basculement de la sélection optimale vers la viabilité en évolution, Varela et al. (1991) soulignent le fait que, dans cette perspective d'analyse des processus évolutifs, la résolution et la particularité des traits morphologiques ou physiologiques, ou des capacités cognitives, sont complètement compatibles avec leur manque apparent de pertinence par rapport à la survie.

"One of the more interesting consequences of this shift from optimal selection to viability is that precision and specificity of morphological or physiological traits, or of cognitive capacities, are entirely compatible with their apparent irrelevance to survival" (p. 196)

Ainsi, la variabilité omniprésente en production-perception de la parole et particulièrement saillante dans le domaine de la parole pathologique, largement responsable de l'absence apparente de pertinence de certains patterns phonétiques, s'estompe lorsqu'elle est replacée dans la perspective de la viabilité des patterns, quels que soient leurs aspects. En d'autres termes, nous ne chercherons plus absolument à repérer les conduites sensori-motrices optimales pour expliquer le fonctionnement d'un système biologique, même s'il est aussi performant que celui de la production-perception de la parole (Sock et Vaxelaire, 2001).

À la lumière de ce changement d'orientation, stabilités relatives et variabilités, caractéristiques du système de production-perception de la parole (LÖFQVIST, 1991) et particulièrement remarquables dans le domaine de productions linguistiques pathologiques, doivent tous deux être pris réellement en compte afin de mieux exploiter l'analyse des corrélats du système sémiotique d'une langue spécifique. On ne focalisera plus sur l'atteinte de «cibles» linguistiques qui seraient caractérisées par des propriétés invariantes ou optimales, mais plutôt sur le maintien des différences linguistiques, que ce soit par la stabilité relative et/ou par le changement, du moment où les conduites sensori-motrices restent viables (Sack, 1998).

Perspective

En perspective, nous espérons obtenir plus de données auprès de patients ayant subi la thyroïdectomie, et surtout auprès de patients présentant une paralysie bilatérale. De telles données complémentaires devraient nous permettre de procéder à des analyses statistiques plus robustes des productions de patients présentant une paralysie bilatérale ; il s'agit là d'une des limites de ce travail.

Grâce à l'acquisition de telles données et à leurs analyses, nous pourrions rationaliser nos résultats à l'aide de modèles géométriques du conduit vocal (Laprie et Busset, 2011) et de modèles biomécaniques (Perrier et al., 2011).

Rappelons que la tâche de la lecture d'un texte a été enregistrée mais que les données ne sont pas traitées dans ce travail.

Nous n'avons pas conduit de tests de perception dans nos études. Or il serait intéressant de pouvoir évaluer l'intelligibilité des différentes productions et notamment celles émanant de nos patients présentant une paralysie des plis vocaux. Pouvoir corréler nos données objectives avec des données perceptives permettrait de mieux cerner les bornes des espaces ou des sous espaces de viabilité linguistique.

Muni de tels résultats, il serait possible de proposer un système de diagnostic, non invasif, puis qu'il reposerait sur des résultats obtenus après l'analyse de données aérodynamiques, acoustiques et perceptives. Pouvoir déceler les paramètres aérodynamiques, acoustiques et perceptifs critiques, particulièrement sensibles en phases postopératoires, permettrait de proposer des procédures de rééducation ou de réhabilitation plus ciblées.

Bibliographie

- Allen, E. et S. S. Bhimji. 2018.** ‘Anatomy, Neck, Thyroid’. *StatPearls*. Treasure Islet (FL): StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470452/> (27 August, 2018).
- Amelot, A. et A. Michaud. 2006.** ‘Effets Aérodynamiques Du Mouvement Du Velum: Le Cas Des Voyelles Nasales Du Français’. *Actes des XXVIe Journées d’Etude de la Parole, Dinard (2006)*. INRIA, pp–247. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00137628/> (25 January, 2017).
- Ardito, G., L. Revelli, L. D’Alatri, V. Lerro, M. L. Guidi et F. Ardito. 2004.** ‘Revisited Anatomy of the Recurrent Laryngeal Nerves’. *The American Journal of Surgery* 187.2: 249–253. doi:[10.1016/j.amjsurg.2003.11.001](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2003.11.001).
- Aronson, A. E. et D. M. Bless. 2009.** *Clinical Voice Disorders*. Thieme.
- Aubin, J.-P. et Cellina, A. 1984.** *Differential Inclusions: Set-Valued Maps and Viability Theory* (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag).
- Aubin, J.-P., Frankowska, H. 1990.** *Set-Valued Analysis*, Boston, Birkhäuser.
- Aubin, J.-P.** 1991. *Viability Theory* (1st ed. 2001. 2nd printing.). Berlin: Birkhäuser.
- Aubin, J.-P. 2009.** *Viability Theory*. Boston: Birkhäuser Boston.
<http://link.springer.com/10.1007/978-0-8176-4910-4> (25 January, 2017).
- Aubin, J.-P., Saint-Pierre, P. 2005a.** Guaranteed Inertia Functions, in Haurie, A., Zaccour, G. (Eds), *Dynamic Games: Theory and Applications*, New York, Springer Science / Business Media.
- Aubin, J.-P., Saint-Pierre, P. 2005b.** Des « noyaux » dans les quotas de pêche, *La Recherche*, 385, 80-81.
- Bahn, R. S., H. B. Burch, D. S. Cooper, J. R. Garber, M. C. Greenlee, I. Klein, P. Laurberg, et al. 2011.** ‘Hyperthyroidism and Other Causes of Thyrotoxicosis: Management Guidelines of the American Thyroid Association and American Association of Clinical Endocrinologists’. *Thyroid* 21.6: 593–646.
doi:[10.1089/thy.2010.0417](https://doi.org/10.1089/thy.2010.0417).
- Baken, R. J. et R. F. Orlikoff. 2000.** *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Cengage Learning.
- Baujat, B., H. Delbove, I. Wagner, C. Fugain, S. de Corbière et F. Chabolle. 2001.** ‘Immobilité Laryngée Post-Thyroïdectomie’. *Annales de Chirurgie* 126.2: 104–110.
doi:[10.1016/S0003-3944\(00\)00488-0](https://doi.org/10.1016/S0003-3944(00)00488-0).
- Béchet, M. 2011.** *Perturbation de la production des occlusives chez des locuteurs présentant une division palatine ou labio-palatine*. thesis Strasbourg.
- Benninger, M. S., R. L. Crumley, C. N. Ford, W. J. Gould, D. G. Hanson, R. H. Ossoff et R. T. Sataloff. 1994.** ‘Evaluation and Treatment of the Unilateral Paralyzed Vocal

- Fold'. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 111.4: 497–508. doi:[10.1177/019459989411100419](https://doi.org/10.1177/019459989411100419).
- Benninger, M. S., J. B. Gillen et J. S. Altman. 1998.** 'Changing Etiology of Vocal Fold Immobility'. *The Laryngoscope* 108.9: 1346–1350.
- Bernthal, J. E. et D. R. Beukelman. 1978.** 'Intraoral Air Pressure during the Production of /p/ et /b/ by Children, Youths, and Adults'. *Journal of Speech and Hearing Research* 21.2: 361–371.
- Bhadoria, R., S. Nema et P. Kumar. 2003.** 'De Quervain's Thyroiditis'. *Medical Journal, Armed Forces India* 59.4: 347–348. doi:[10.1016/S0377-1237\(03\)80154-5](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(03)80154-5).
- Blondeau, P. 1996.** *Chirurgie du corps thyroïde: techniques, tactiques et indications*. Masson.
- Boek, W., G. H. Wieneke et P. H. Dejonckere. 1997.** 'Clinical Relevance of the Fractal Dimension of F0 Perturbations Computed by the Box-Counting Method'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 11.4: 437–442.
- Bou-Malhah, F., S. Hans, S. Perie, O. Laccourreye et D. Brasnu. 2000.** '[Swallowing disorders in unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis]'. *Annales D'oto-Laryngologie Et De Chirurgie Cervico Faciale: Bulletin De La Societe D'oto-Laryngologie Des Hopitaux De Paris* 117.1: 26–33.
- Brasnu, D., D. Ayache, S. Hans, D. Hartl et J.-F. Papon. 2008.** *Traité d'ORL*. Médecine Sciences Publications.
- Brent, G. A. 2010.** 'Environmental Exposures and Autoimmune Thyroid Disease'. *Thyroid* 20.7: 755–761. doi:[10.1089/thy.2010.1636](https://doi.org/10.1089/thy.2010.1636).
- Brown, W. S., T. Murry et D. Hughes. 1976.** 'Comfortable Effort Level: An Experimental Variable'. *The Journal of the Acoustical Society of America* 60.3: 696–699.
- Carding, P. N., I. N. Steen, A. Webb, K. MacKenzie, I. J. Deary et J. A. Wilson. 2004.** 'The Reliability and Sensitivity to Change of Acoustic Measures of Voice Quality'. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences* 29.5: 538–544. doi:[10.1111/j.1365-2273.2004.00846.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2273.2004.00846.x).
- Caruso, G., E. BEniCChi, C. Ciuli, F. M. Passali et D. Passali. 2012.** 'Inflammatory Bowel Disease: An Increased Risk Factor for Recurrent Laryngeal Nerve Palsy in Thyroid Surgery'. *Acta Otorhinolaryngologica Italica* 32.2: 130.
- Cernea, C. R., A. R. Ferraz, S. Nishio, A. Dutra, F. C. Hojaij et L. R. dos Santos. 1992.** 'Surgical Anatomy of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve'. *Head & Neck* 14.5: 380–383.
- Chan, W.-F., B. H.-H. Lang et C.-Y. Lo. 2006.** 'The Role of Intraoperative Neuromonitoring of Recurrent Laryngeal Nerve during Thyroidectomy: A Comparative Study on 1000 Nerves at Risk'. *Surgery* 140.6: 866–872; discussion 872–873. doi:[10.1016/j.surg.2006.07.017](https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.07.017).
- Chiang, F.-Y., I.-C. Lu, W.-R. Kuo, K.-W. Lee, N.-C. Chang et C.-W. Wu. 2008.** 'The Mechanism of Recurrent Laryngeal Nerve Injury during Thyroid Surgery—The

- Application of Intraoperative Neuromonitoring'. *Surgery* 143.6: 743–749.
doi:[10.1016/j.surg.2008.02.006](https://doi.org/10.1016/j.surg.2008.02.006).
- Chiang, F.-Y., L.-F. Wang, Y.-F. Huang, K.-W. Lee et W.-R. Kuo. 2005.** 'Recurrent Laryngeal Nerve Palsy after Thyroidectomy with Routine Identification of the Recurrent Laryngeal Nerve'. *Surgery* 137.3: 342–347. doi:[10.1016/j.surg.2004.09.008](https://doi.org/10.1016/j.surg.2004.09.008).
- Cho, T., S.-A. Jun et P. Ladefoged. 2002.** 'Acoustic and Aerodynamic Correlates of Korean Stops and Fricatives'. *Journal of Phonetics* 30.2: 193–228.
doi:[10.1006/jpho.2001.0153](https://doi.org/10.1006/jpho.2001.0153).
- Choi, H. S., M. Ye et G. S. Berke. 1995.** 'Function of the Interarytenoid(IA) Muscle in Phonation: In Vivo Laryngeal Model'. *Yonsei Medical Journal* 36.1: 58–67.
doi:[10.3349/ymj.1995.36.1.58](https://doi.org/10.3349/ymj.1995.36.1.58).
- Cottavoz, L., S. Gerbers, B. Teston, F. Viallet et D. Demolin.** 'Aspects de La Coordination Pneumophonique Dans La Dysarthrie Parkinsonienne'. <http://www-lium.univ-lemans.fr/jep2014/articles/55.pdf> (25 January, 2017).
- Crevier-Buchman, L, Tessier, C., Sauvignet, A., Brihaye-Arpin, S., & Monfrais-Pfauwadel, M.-C. 2005.** Diagnostic d'une dysphonie non organique de l'adulte. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, 5(126), 353-360.
- Crumley, R. L. 1994.** 'Unilateral Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 8.1: 79–83.
- Dalston, R. M., D. W. Warren, K. E. Morr et L. R. Smith. 1988.** 'Intraoral Pressure and Its Relationship to Velopharyngeal Inadequacy'. *The Cleft Palate Journal* 25.3: 210–219.
- Darouichi, M. et P. E. Constanthin. 2016.** 'Riedel's Thyroiditis'. *Radiology Case Reports* 11.3: 175–177. doi:[10.1016/j.radcr.2016.05.017](https://doi.org/10.1016/j.radcr.2016.05.017).
- Debruyne, F., F. Ostyn, P. Delaere et W. Wellens. 1997.** 'Acoustic Analysis of the Speaking Voice after Thyroidectomy'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 11.4: 479–482.
- Dejonckere, P. H., P. Bradley, P. Clemente, G. Cornut, L. Crevier-Buchman, G. Friedrich, P. Van De Heyning, M. Remacle, V. Woisard et Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS). 2001.** 'A Basic Protocol for Functional Assessment of Voice Pathology, Especially for Investigating the Efficacy of (Phonosurgical) Treatments and Evaluating New Assessment Techniques. Guideline Elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS)'. *European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head et Neck Surgery* 258.2: 77–82.
- Demolin, D., A. Giovanni, S. Hassid, C. Heim, V. Lecuit et A. Soquet. 1997.** 'Direct and Indirect Measurements of Subglottic Pressure'. *LARYNX'97*.
- Di Cristo, A. et B. Teston. 1979.** 'Fréquence Fondamentale et Pression Intra-Orale'. *Larynx et Parole*. Grenoble, France: Groupement des acousticiens de langue française (GALF), 329–366. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00241538> (25 January, 2017).

- Dralle, H., E. Kruse, W. H. Hamelmann, S. Grond, H. J. Neumann, C. Sekulla, C. Richter, et al. 2004a.** ‘Not all vocal cord failure following thyroid surgery is recurrent paresis due to damage during operation’. *Der Chirurg; Zeitschrift Fur Alle Gebiete Der Operativen Medizin* 75.8: 810–822. doi:[10.1007/s00104-004-0857-1](https://doi.org/10.1007/s00104-004-0857-1).
- Dralle, H., C. Sekulla, J. Haerting, W. Timmermann, H. J. Neumann, E. Kruse, S. Grond, et al. 2004b.** ‘Risk Factors of Paralysis and Functional Outcome after Recurrent Laryngeal Nerve Monitoring in Thyroid Surgery’. *Surgery* 136.6. (American Association of Endocrine Surgeons): 1310–1322. doi:[10.1016/j.surg.2004.07.018](https://doi.org/10.1016/j.surg.2004.07.018).
- Drugman, T. et T. Dutoit (eds). 2013.** *Advances in Nonlinear Speech Processing: 6th International Conference, NOLISP 2013, Mons, Belgium, June 19-21, 2013, Proceedings.* (Lecture Notes in Artificial Intelligence). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. [//www.springer.com/us/book/9783642388460](http://www.springer.com/us/book/9783642388460) (24 July, 2018).
- D’souza, A., C. Samuel, F. Katumalla, G. Gupta et S. Goyal. 2015.** ‘A Retomized Comparison between Misoprostol and Dinoprostone for Cervical Ripening and Labor Induction in Patients with Unfavorable Cervices’. *International Journal of Reproduction, Contraception, Obstetrics and Gynecology*: 1522–1528. doi:[10.18203/2320-1770.ijrcog20150678](https://doi.org/10.18203/2320-1770.ijrcog20150678).
- Duh, Q.-Y. 2011.** ‘The Bayes Theorem Wins: Comment on “Impact of Localization Studies and Clinical Scenario in Patients With Hyperparathyroidism Being Evaluated for Reoperative Neck Surgery”’. *Archives of Surgery* 146.12: 1403–1403. doi:[10.1001/archsurg.2011.1001](https://doi.org/10.1001/archsurg.2011.1001).
- Durante, C., G. Grani, L. Lamartina, S. Filetti, S. J. Metel et D. S. Cooper. 2018.** ‘The Diagnosis and Management of Thyroid Nodules: A Review’. *JAMA* 319.9: 914–924. doi:[10.1001/jama.2018.0898](https://doi.org/10.1001/jama.2018.0898).
- Dutta, H., B. K. Sinha et D. K. Baskota. 2012.** ‘Recurrent Laryngeal Nerve Palsy After Thyroid Surgery and Literature Review’. *Nepalese Journal of ENT Head and Neck Surgery* 2.2: 27–28. doi:[10.3126/njenthns.v2i2.6803](https://doi.org/10.3126/njenthns.v2i2.6803).
- Ekberg, O. et G. Nyleter. 2004.** ‘Anatomy and Physiology’. In MD, O. E. (ed), *Radiology of the Pharynx et the Esophagus.* (Medical Radiology). Springer Berlin Heidelberg, 1–14. doi:[10.1007/978-3-642-18838-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-18838-1_1). http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-18838-1_1 (17 February, 2017).
- Emanuel, F. W. et D. T. Counihan. 1970.** ‘Some Characteristics of Oral and Nasal Air Flow during Plosive Consonant Production’. *The Cleft Palate Journal* 7: 249–260.
- Enflo, L., J. Sundberg et F. Pabst. 2009.** ‘Effects of Vocal Loading on the Phonation and Collision Threshold Pressures’. *FONETIK* 2009: 24.
- Estienne, F. 1998.** *Voix parlée, voix chantée: examen et thérapie.* Masson.
- Estienne, F. et B. Piérart. 2006.** *Les bilans de langage et de voix: fondements théoriques et pratiques.* Elsevier Masson.
- Fant, G. 1970.** *Acoustic Theory of Speech Production: With Calculations Based on X-Ray Studies of Russian Articulations.* Walter de Gruyter.

- Fant, G. et Risberg, A.** 2018. *Auditory matching of vowels with two formant synth.pdf*. http://www.speech.kth.se/prod/publications/files/qpsr/1963/1963_4_4_007-011.pdf. Consult éle 14 novembre.
- Farrag, T. Y., R. A. Samlan, F. R. Lin et R. P. Tufano.** 2006. ‘The Utility of Evaluating True Vocal Fold Motion before Thyroid Surgery’. *The Laryngoscope* 116.2: 235–238. doi:[10.1097/01.mlg.0000191472.02720.1f](https://doi.org/10.1097/01.mlg.0000191472.02720.1f).
- Farrús, M., J. Herneto et P. Ejarque.** 2007. ‘Jitter and Shimmer Measurements for Speaker Recognition.’ *INTERSPEECH*. 778–781. http://nlp.lsi.upc.edu/papers/far_jit_07.pdf (25 January, 2017).
- Fauth, C.** 2012. Perturbation de la production de la parole suite à une opération de la glee thyroïde. Université de Strasbourg phdthesis. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00777874/document> (25 January, 2017).
- Fauth C., Vaxelaire, B., Rodier, J-F, Volkmar, P-P & Sock, R.** 2012. Etude acoustique de voyelles soutenues produites par des patients présentant une paralysie récurrentielle après thyroïdectomie. *Revue de Laryngologie d’Otologie et de Rhinologie* 133,1:27-32.
- Fauth C., Vaxelaire, B., Rodier, J-F, Volkmar, P-P & Sock, R.** 2012. (2012) Etude acoustique de voyelles soutenues produites par des patients opérés de la thyroïde souffrant ou non de paralysies récurrentielles, Journées d’Etude sur la Parole (JEP 2012), Grenoble, France, du 4 au 8 juin 2012 pp 105-112.
- Fauth C., Vaxelaire, B., Rodier, J-F, Volkmar, P-P & Sock, R.** 2013. Etude spatio-temporelle de la voix de locuteurs ayant été opérés de la glande thyroïde avec paralysie du nerf récurrent laryngé. In *Travaux en Phonétique Clinique – VAXELAIRE, SOCK, FAUTH (Eds), Revue Parole (Mons)* pp 13-28.
- Fauth C., Vaxelaire, B., Rodier, J-F, Volkmar, P-P & Sock, R.** 2015. An acoustic study of sustained vowels produced by patient after thyroid surgery. ICPHS 2015, Glasgow, Scotland, 10-14 August 2015. ISBN 978-0-85261-941-4. Paper number P2.44 retrieved from <http://www.icphs2015.info/pdfs/Papers/ICPHS0682.pdf>
- Fauth C., Vaxelaire, B., Rodier, J-F, Volkmar, P-P & Sock, R.** 2015. Paralysies récurrentielles et perturbation de l’intelligibilité de la parole et de la classification homme/femme. In *La perception en langue et en discours et autres études*. Biardzka, E., Kwapisz-Osadnik, K., Marsac, F., Pilecka, E. & Sock, R. (éd.). *Neophilologica* 27, Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 90 – 102.
- Ferret, C. T.** 2002a. ‘Harmonics-to-Noise Ratio: An Index of Vocal Aging’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 16.4: 480–487.
- Ferret, C. T.** 2002b. ‘Harmonics-to-Noise Ratio: An Index of Vocal Aging’. *Journal of Voice* 16.4: 480–487. doi:[10.1016/S0892-1997\(02\)00123-6](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(02)00123-6).
- Ferrari, S. M., P. Fallahi, A. Antonelli et S. Benvenga.** 2017. ‘Environmental Issues in Thyroid Diseases’. *Frontiers in Endocrinology* 8. doi:[10.3389/fendo.2017.00050](https://doi.org/10.3389/fendo.2017.00050). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5357628/> (29 August, 2018).
- Finck, C.** 2006. ‘Laryngeal Dysfunction after Thyroid Surgery: Diagnosis, Evaluation and Treatment’. *Acta Chirurgica Belgica* 106.4: 378–387.

- Fortuny, J. V., S. Guigard, W. Karenovics et F. Triponez. 2015a.** ‘Surgery of the Thyroid: Recent Developments et Perspective’. *Swiss Medical Weekly* 145: w14144. doi:[10.4414/smw.2015.14144](https://doi.org/10.4414/smw.2015.14144).
- Fortuny, J. V., S. Guigard, W. Karenovics et F. Triponez. 2015b.** ‘Surgery of the Thyroid: Recent Developments and Perspective’. *Swiss Medical Weekly* 145: w14144. doi:[10.4414/smw.2015.14144](https://doi.org/10.4414/smw.2015.14144).
- Friedrich, T., U. Hänsch, U. Eichfeld, M. Steinert, A. Staemmler et M. Sch önfelder. 2000.** ‘Recurrent laryngeal nerve paralysis as intubation injury?’ *Der Chirurg; Zeitschrift Fur Alle Gebiete Der Operativen Medizin* 71.5: 539–544.
- Furukawa, M., M. K. Furukawa et K. Ooishi. 1994.** ‘Statistical Analysis of Malignant Tumors Detected as the Cause of Vocal Cord Paralysis’. *ORL; journal for oto-rhino-laryngology and its related specialties* 56.3: 161–165. doi:[10.1159/000276634](https://doi.org/10.1159/000276634).
- Gaitenby, J. 1965.** *The elastic word*. Haskins Laboratories, Status Report 2.
- Garber, J. R., R. H. Cobin, H. Gharib, J. V. Hennessey, I. Klein, J. I. Mechanick, R. Pessah-Pollack, P. A. Singer et K. A. Woeber for the American Association of Clinical Endocrinologists et American Thyroid Association Taskforce on Hypothyroidism in Adults. 2012.** ‘Clinical Practice Guidelines for Hypothyroidism in Adults: Cosponsored by the American Association of Clinical Endocrinologists and the American Thyroid Association’. *Thyroid* 22.12: 1200–1235. doi:[10.1089/thy.2012.0205](https://doi.org/10.1089/thy.2012.0205).
- Ghio, A., G. Pouchoulin, B. Teston, S. Pinto, C. Fredouille, C. De Looze, D. Robert, F. Viallet et A. Giovanni. 2012.** ‘How to Manage Sound, Physiological and Clinical Data of 2500 Dysphonic and Dysarthric Speakers?’ *Speech Communication* 54.5: 664–679. doi:[10.1016/j.specom.2011.04.002](https://doi.org/10.1016/j.specom.2011.04.002).
- Ghio, A. et B. Teston. 2004.** ‘Evaluation of the Acoustic and Aerodynamic Constraints of a Pneumotachograph for Speech and Voice Studies’. *International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*. Marseille, France: Univ. Méditerranée, 55–58. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00142982> (25 January, 2017).
- Granqvist, S. et B. Hammarberg. 2003.** ‘The Correlogram: A Visual Display of Periodicity’. *The Journal of the Acoustical Society of America* 114.5: 2934–2945.
- Guigard, S., N. Henrich, J. Sarfati, C. Savariaux et P. Chaffanjon. 2012.** ‘Evaluation de La Morbidité Vocale Après Chirurgie Endocrinienne Cervicale’. *LXVIII Congr ès de la Soci é é Française de phoniatrie et des Pathologies de la Communication*. Paris, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00769545> (25 January, 2017).
- Guyatt, G. H., D. H. Feeny et D. L. Patrick. 1993.** ‘Measuring Health-Related Quality of Life’. *Annals of Internal Medicine* 118.8: 622–629.
- Halawa, W. E., S. S. Perez et C. G. Antonio. 2011.** ‘Measurement of Vocal Heticap in Patients with Vocal Nodules et Functional Dysphonias’. *Egyptian Journal of Ear, Nose, Throat et Allied Sciences* 12.2: 121–124. doi:[10.1016/j.ejenta.2011.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ejenta.2011.09.003).
- Hapner, E., C. Portone-Maira et M. M. Johns. 2009.** ‘A Study of Voice Therapy Dropout’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 23.3: 337–340. doi:[10.1016/j.jvoice.2007.10.009](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.10.009).

- Harmegnies, B., et Poch-Oliv é D. 1992.** A study of style-induced vowel variability: Laboratory versus spontaneous speech in Spanish. *Speech Communication*, 11(4–5), 429-437.
- Harmegnies, B., et Poch-Oliv é D. 1994.** Formants frequencies variability in French vowels under the effect of various speaking styles. *Le Journal de Physique IV*, 04(C5), C5-509-C5-512.
- Hartl, D. M. et D. Brasnu. 2000.** ‘Les paralysies récurrentielles : connaissances actuelles et traitements.’ *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*: 60–84.
- Hartl, D. M. et D. Brasnu. 2008.** ‘Les paralysies récurrentielles : connaissances actuelles and traitements’. /data/revues/0003438X/01170002/60/. <http://www.em-consulte.com/en/article/77905> (17 February, 2017).
- Hartl, D. M., S. Hans, J. Vaissière, M. Riquet et D. F. Brasnu. 2001.** ‘Objective Voice Quality Analysis before and after Onset of Unilateral Vocal Fold Paralysis’. *Journal of Voice* 15.3: 351–361.
- Hartl, D. M., J.-P. Travagli, S. Leboulleux, E. Baudin, D. F. Brasnu et M. Schlumberger. 2005.** ‘Clinical Review: Current Concepts in the Management of Unilateral Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis after Thyroid Surgery’. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 90.5: 3084–3088. doi:[10.1210/jc.2004-2533](https://doi.org/10.1210/jc.2004-2533).
- Henry, B., S. Sanna, M. Graves, J. Vikse, B. Sanna, I. Tomaszewska, R. Tubbs, J. Walocha et K. Tomaszewski. 2017.** ‘The Non-Recurrent Laryngeal Nerve: A Meta-Analysis and Clinical Considerations’. *PeerJ* 5. doi:[10.7717/peerj.3012](https://doi.org/10.7717/peerj.3012).
- Henry, L. R., L. B. Helou, N. P. Solomon, R. S. Howard, J. Gurevich-Uvena, G. Coppit et A. Stojadinovic. 2010.** ‘Functional Voice Outcomes after Thyroidectomy: An Assessment of the Dysphonia Severity Index (DSI) after Thyroidectomy’. *Surgery* 147.6: 861–870. doi:[10.1016/j.surg.2009.11.017](https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.11.017).
- Heuer, R. J., R. Thayer Sataloff, K. Emerich, R. Rulnick, M. Baroody, J. R. Spiegel, G. Durson et J. Butler. 1997.** ‘Unilateral Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis: The Importance of “Preoperative” Voice Therapy’. *Journal of Voice* 11.1: 88–94. doi:[10.1016/S0892-1997\(97\)80028-8](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(97)80028-8).
- Hillenbret, J., R. A. Clevelet et R. L. Erickson. 1994.** ‘Acoustic Correlates of Breathy Vocal Quality’. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 37.4: 769–778.
- Hirano, M. 1981.** *Clinical Examination of Voice*. Springer London, Limited.
- Hixon, T. 1966.** ‘Turbulent Noise Sources for Speech’. *Folia Phoniatica* 18.3: 168–182.
- Hockauf, H. et R. Sailer. 1982.** ‘Postoperative Recurrent Nerve Palsy’. *Head & Neck Surgery* 4.5: 380–384.
- Hoffman, H. T. et T. M. McCulloch. 1996.** ‘Anatomic Considerations in the Surgical Treatment of Unilateral Laryngeal Paralysis’. *Head & Neck* 18.2: 174–187. doi:[10.1002/\(SICI\)1097-0347\(199603/04\)18:2<174::AID-HED10>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0347(199603/04)18:2<174::AID-HED10>3.0.CO;2-F).
- Hong, K. H. et Y. K. Kim. 1997.** ‘Phonatory Characteristics of Patients Undergoing Thyroidectomy without Laryngeal Nerve Injury’. *Otolaryngology--Head and Neck Surgery: Official Journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 117.4: 399–404.

- Hong, K. H., W. S. Yang, M. J. Park, J. S. Oh et B. H. Han. 2017.** ‘Changes in Oral Vowel Sounds and Hyoid Bone Movement After Thyroidectomy’. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology* 10.2: 168–173. doi:[10.21053/ceo.2015.01585](https://doi.org/10.21053/ceo.2015.01585).
- Huche, F. L. et A. Allali. 2012.** *La voix : T2: Pathologies vocales d’origine fonctionnelle*. 3rd ed. Elsevier Masson.
- Inabnet, W. B., T. Murry, S. Dhiman, J. Aviv et J.-C. Lifante. 2009.** ‘Neuromonitoring of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve during Minimally Invasive Thyroid Surgery under Local Anesthesia: A Prospective Study of 10 Patients’. *The Laryngoscope* 119.3: 597–601. doi:[10.1002/lary.20071](https://doi.org/10.1002/lary.20071).
- Inagi, K., A. A. Khidr, C. N. Ford, D. M. Bless et D. M. Heisey. 1997.** ‘Correlation between Vocal Functions and Glottal Measurements in Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis’. *The Laryngoscope* 107.6: 782–791.
- JACOB F. 1977.** Evolution and tinkering. *Science* 196, 1161-1166.
- Jacobson, B. H., A. Johnson, C. Grywalski, A. Silbergleit, G. Jacobson, M. S. Benninger et C. W. Newman. 1997.** ‘The Voice Heticap Index (VHI) Development and Validation’. *American Journal of Speech-Language Pathology* 6.3: 66–70. doi:[10.1044/1058-0360.0603.66](https://doi.org/10.1044/1058-0360.0603.66).
- Jamski, J., A. Jamska, M. Graca, M. Barczyński et J. Włodyka. 2004.** ‘Recurrent laryngeal nerve injury following thyroid surgery’. *Przegląd Lekarski* 61.1: 13–16.
- Jansson, S., L.-E. Tisell, I. Hagne, E. Sanner, R. Stenborg et P. Svensson. 1988.** ‘Partial Superior Laryngeal Nerve (SLN) Lesions before and after Thyroid Surgery’. *World Journal of Surgery* 12.4: 522–526. doi:[10.1007/BF01655439](https://doi.org/10.1007/BF01655439).
- Jatzko, G. R., P. H. Lisborg, M. G. Müller et V. M. Wette. 1994.** ‘Recurrent Nerve Palsy after Thyroid Operations--Principal Nerve Identification and a Literature Review’. *Surgery* 115.2: 139–144.
- Jessen, M. 1999.** *Phonetics and Phonology of Tense and Lax Obstruents in German*. John Benjamins Publishing.
- Jiang, J., T. O’Mara, H.-J. Chen, J. I. Stern, D. Vlagos et D. Hanson. 1999.** ‘Aerodynamic Measurements of Patients with Parkinson’s Disease’. *Journal of Voice* 13.4: 583–591.
- Jiang, Y., B. Gao, X. Zhang, J. Zhao, J. Chen, S. Zhang et D. Luo. 2014.** ‘Prevention and Treatment of Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroid Surgery’. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine* 7.1: 101–107.
- Kadour, A. 2012.** *Protocole thérapeutique informatise de la paralysie récurrentielle unilatérale : base sur le feedback visuel*. <http://www.institut-numerique.org/protocole-therapeutique-informatise-de-la-paralysie-recurrentielle-unilaterale-base-sur-le-feedback-visuel-5194afdf36f0d> (7 April, 2018).
- Keilmann, A. et M. Hülse. 1992.** ‘[Dysphonia following strumectomy with normal respiratory movement of the vocal cords]’. *Folia Phoniatrica* 44.6: 261–268.
- Kelchner, L. N., J. C. Stemple, E. Gerdeman, W. Le Borgne et S. Adam. 1999a.** ‘Etiology, Pathophysiology, Treatment Choices, and Voice Results for Unilateral Adductor Vocal Fold Paralysis: A 3-Year Retrospective’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 13.4: 592–601.

- Kelchner, L. N., J. C. Stemple, E. Gerdeman, W. Le Borgne et S. Adam. 1999b.** 'Etiology, Pathophysiology, Treatment Choices, and Voice Results for Unilateral Adductor Vocal Fold Paralysis: A 3-Year Retrospective'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 13.4: 592–601.
- Kennedy, T. L. 2003.** 'Surgical Complications of Thyroidectomy'. *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 14.2. (Thyroid/Parathyroid Surgery): 74–79. doi:[10.1016/S1043-1810\(03\)90003-0](https://doi.org/10.1016/S1043-1810(03)90003-0).
- Kent, R. D. 1976.** 'Anatomical and Neuromuscular Maturation of the Speech Mechanism: Evidence from Acoustic Studies'. *Journal of Speech and Hearing Research* 19.3: 421–447.
- Kiernner, A. C., M. Aigner et M. Burian. 1998.** 'The External Branch of the Superior Laryngeal Nerve: Its Topographical Anatomy as Related to Surgery of the Neck'. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery* 124.3: 301–303. doi:[10.1001/archotol.124.3.301](https://doi.org/10.1001/archotol.124.3.301).
- Klein-Dallant, C. 2001.** *Dysphonies et rééducations vocales de l'adulte*. Solal.
- Koch, B., M. Boettcher, N. Huschitt et R. Hülsewede. 1996.** 'Must the recurrent nerve in thyroid glet resection always be exposed? A prospective retomized study'. *Der Chirurg; Zeitschrift Fur Alle Gebiete Der Operativen Medizen* 67.9: 927–932; discussion 932.
- Koufman, J. A., F. O. Walker et G. M. Joharji. 1995.** 'The Cricothyroid Muscle Does Not Influence Vocal Fold Position in Laryngeal Paralysis'. *The Laryngoscope* 105.4 Pt 1: 368–372. doi:[10.1288/00005537-199504000-00005](https://doi.org/10.1288/00005537-199504000-00005).
- Kuhn, M. A., G. Bloom et D. Myssiorek. 2013.** 'Patient Perspectives on Dysphonia After Thyroidectomy for Thyroid Cancer'. *Journal of Voice* 27.1: 111–114. doi:[10.1016/j.jvoice.2012.07.012](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2012.07.012).
- Laccourreye, O., D. Malinvaud, M. M énard et P. Bonfils. 2009.** 'Immobilités Laryng ées Unilat érales Apr ès Chirurgie de La Glete Thyroïde'. *Journal de Chirurgie* 146.6: 553–558. doi:[10.1016/j.jchir.2009.09.014](https://doi.org/10.1016/j.jchir.2009.09.014).
- Laccourreye, O., J. F. Papon, M. M énard, L. Crevier-Buchman, D. Brasnu et S. Hans. 2001.** 'Traitement de La Paralysie Récurrentielle Unilatérale Par Thyroplastie Avec Implant de Montgomery®*'. *Annales de Chirurgie* 126.8: 768–771. doi:[10.1016/S0003-3944\(01\)00595-8](https://doi.org/10.1016/S0003-3944(01)00595-8).
- Laccourreye, O., J.-F. Papon, R. Kania, M. M énard, D. Brasnu et S. Hans. 2003.** 'Paralysies laryngées unilatérales : données épidémiologiques et évolution thérapeuthique'. *La Presse Médicale*.32: 781–6.
- Laprie, Y. and Busset, J. 2011.** Construction and evaluation of an articulatory model of the vocal tract, in *19th European Signal Processing Conference - EUSIPCO-2011* (Barcelona, Spain).
- Lazrak, S. 2017.** *La paralysie récurrentielle apres chirurgie thyro ïdienne. universite sidi mohammed ben abdellah faculte de medecine et de pharmacie fes.*
- Lee, C. et B. C. Stack. 2011.** 'Intraoperative Neuromonitoring during Thyroidectomy'. *Expert Review of Anticancer Therapy* 11.9: 1417–1427. doi:[10.1586/era.11.97](https://doi.org/10.1586/era.11.97).

- Lee, D. Y., K. J. Lee, S. M. Hwang, K. H. Oh, J.-G. Cho, S.-K. Baek, S.-Y. Kwon, J.-S. Woo et K.-Y. Jung. 2016.** ‘Analysis of Temporal Change in Voice Quality After Thyroidectomy: Single-Institution Prospective Study’. *Journal of Voice*. doi:[10.1016/j.jvoice.2016.04.017](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.04.017).
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089219971630011X> (25 January, 2017).
- Lee, J.-Y., S.-H. Choi, J. J. Jiang, M.-S. Hahn et H.-S. Choi. 2010.** ‘Perturbation and Nonlinear Dynamic Analysis of Sustained Vowels in Normal and Pathological Voices’. *Journal of the Korean society of speech sciences* 2.1: 113–120.
- Lee, L., J. C. Stemple, D. Geiger et R. Goldwasser. 1999.** ‘Effects of Environmental Tobacco Smoke on Objective Measures of Voice Production’. *The Laryngoscope* 109.9: 1531–1534. doi:[10.1097/00005537-199909000-00032](https://doi.org/10.1097/00005537-199909000-00032).
- Leenhardt, L. et P. Grosclaude. 2011.** ‘Épidémiologie des cancers thyroïdiens dans le monde’. */data/revues/00034266/v72i2/S0003426611000527/*. <http://www.em-consulte.com/en/article/291104> (28 August, 2018).
- Lenneberg, E.H. 1967.** *Biological foundations of language*. New York: Wiley.
- Leuchter, I. 2010.** ‘[Evaluation of dysphonia--a multiparametric approach]’. *Revue Medicale Suisse* 6.265: 1863–1864, 1866–1867.
- Lhote, É. 1982.** *La Parole et la voix*. Hamburg: Buske.
- Li, T. 2007.** ‘Effect of Visual Feedback on Maximum Phonation Time’. <http://hub.hku.hk/hetle/10722/55510> (8 February, 2017).
- Lin, R. J., M. C. Munin, C. A. Rosen et L. J. Smith. 2017.** ‘Effect of Intralaryngeal Muscle Synkinesis on Perception of Voice Heticap in Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis’. *The Laryngoscope* 127.7: 1628–1632. doi:[10.1002/lary.26390](https://doi.org/10.1002/lary.26390).
- Lindblom, B. 1990.** Explaining phonetic variation: a sketch of the H&H theory. *Speech production and speech modelling* (p. 403-439). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers,; W.J.Hardcastle & A. Marchal.
- Liu, H.-M., F.-M. Tsao et P. K. Kuhl. 2005.** ‘The Effect of Reduced Vowel Working Space on Speech Intelligibility in Metarin-Speaking Young Adults with Cerebral Palsy’. *The Journal of the Acoustical Society of America* 117.6: 3879–3889. doi:[10.1121/1.1898623](https://doi.org/10.1121/1.1898623).
- Liu, Q., G. Djuricin et R. A. Prinz. 1998.** ‘Total Thyroidectomy for Benign Thyroid Disease’. *Surgery* 123.1: 2–7.
- Lo, C. Y., K. F. Kwok et P. W. Yuen. 2000.** ‘A Prospective Evaluation of Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis during Thyroidectomy’. *Archives of Surgery (Chicago, Ill.: 1960)* 135.2: 204–207.
- Lombardi, C. P., M. Raffaelli, L. D’Alatri, M. R. Marchese, M. Rigante, G. Paludetti et R. Bellantone. 2006.** ‘Voice and Swallowing Changes after Thyroidectomy in Patients without Inferior Laryngeal Nerve Injuries’. *Surgery* 140.6: 1026–1032; discussion 1032-1034. doi:[10.1016/j.surg.2006.08.008](https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.08.008).
- Loyo, M., R. P. Tufano et C. G. Gourin. 2013.** ‘National Trends in Thyroid Surgery et the Effect of Volume on Short-Term Outcomes: Volume-Based Trends in Thyroid Surgery’. *The Laryngoscope* 123.8: 2056–2063. doi:[10.1002/lary.23923](https://doi.org/10.1002/lary.23923).

- MacKenzie, K., A. Millar, J. A. Wilson, C. Sellars et I. J. Deary. 2001.** ‘Is Voice Therapy an Effective Treatment for Dysphonia? A Retomised Controlled Trial’. *BMJ : British Medical Journal* 323.7314: 658.
- Markogiannakis, H., G. C. Zografos et A. Manouras. 2015.** ‘Prevention of Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroid Surgery’. *Hellenic Journal of Surgery* 87.3: 239–241. doi:[10.1007/s13126-015-0216-3](https://doi.org/10.1007/s13126-015-0216-3).
- Mårtensson, H. et J. Terins. 1985.** ‘Recurrent Laryngeal Nerve Palsy in Thyroid Glet Surgery Related to Operations and Nerves at Risk’. *Archives of Surgery (Chicago, Ill.: 1960)* 120.4: 475–477.
- Maslan, J., X. Leng, C. Rees, D. Blalock et S. G. Butler. 2011.** ‘Maximum Phonation Time in Healthy Older Adults’. *Journal of voice : official journal of the Voice Foundation* 25.6: 709–713. doi:[10.1016/j.jvoice.2010.10.002](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.10.002).
- Masuoka, H., A. Miyauchi, T. Yabuta, M. Fukushima et A. Miya. 2016.** ‘Innervation of the Cricothyroid Muscle by the Recurrent Laryngeal Nerve’. *Head & Neck* 38 Suppl 1: E441-445. doi:[10.1002/hed.24015](https://doi.org/10.1002/hed.24015).
- Mau, T., J. Muhlestein, S. Callahan, K. T. Weinheimer et R. W. Chan. 2011.** ‘Phonation Threshold Pressure and Flow in Excised Human Larynges: PTP et PTF in Excised Human Larynges’. *The Laryngoscope* 121.8: 1743–1751. doi:[10.1002/lary.21880](https://doi.org/10.1002/lary.21880).
- McCulloch, T. M., H. T. Hoffman, B. T. Etrems et M. P. Karnell. 2000.** ‘Arytenoid Adduction Combined with Gore-Tex Medialization Thyroplasty’. *The Laryngoscope* 110.8: 1306–1311.
- McIvor, N. P., D. J. Flint, J. Gillibret et R. P. Morton. 2000.** ‘Thyroid Surgery and Voice-Related Outcomes’. *The Australian and New Zealet Journal of Surgery* 70.3: 179–183.
- Meek, P., P. N. Carding, D. H. Howard et T. W. J. Lennard. 2008.** ‘Voice Change Following Thyroid and Parathyroid Surgery’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 22.6: 765–772. doi:[10.1016/j.jvoice.2007.02.002](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.02.002).
- Melnick, L. A. 2011.** Perceptual evaluation of voice in patients with thyroid disease. INDIANA UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA. <http://gradworks.umi.com/14/99/1499972.html> (26 January, 2017).
- Meynadier, Y. et Y. Gaydina. 2013.** ‘Aerodynamic and Durational Cues of Phonological Voicing in Whisper’. *Interspeech*. 335–339. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01211117/> (25 January, 2017).
- Millili, J. J., V. S. Philiponis et M. Nusbaum. 1998.** ‘Predicting Surgical Outcome Using Bayesian Analysis’. *The Journal of Surgical Research* 77.1: 45–49. doi:[10.1006/jsre.1998.5333](https://doi.org/10.1006/jsre.1998.5333).
- Monabeka, H. G., G. Ondzotto, J. F. Peko, P. Kibeke, E. Bouenizabila et N. Nsakala-Kibangou. 2005.** ‘La Pathologie Thyroïdienne Au Centre Hospitalier Universitaire de Brazzaville’. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Sant é* 15.1: 37–40.
- Moulin-Frier, C. 2011.** *Rôle des relations perception-action dans la communication parlée et l'émergence des systèmes phonologiques : étude, modélisation*

- computationnelle et simulations*. Université de Grenoble phdthesis.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00625453/document> (26 January, 2017).
- Mullur, R., Y.-Y. Liu et G. A. Brent. 2014.** ‘Thyroid Hormone Regulation of Metabolism’. *Physiological Reviews* 94.2: 355–382. doi:[10.1152/physrev.00030.2013](https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2013).
- Murphy, P. J. et O. O. Akete. 2005.** ‘Cepstrum-Based Estimation of the Harmonics-to-Noise Ratio for Synthesized and Human Voice Signals’. *Nonlinear Analyses and Algorithms for Speech Processing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 150–160. doi:[10.1007/11613107_13](https://doi.org/10.1007/11613107_13). http://link.springer.com/chapter/10.1007/11613107_13 (4 February, 2017).
- Netterville, J. L., C. G. Jackson et F. Civantos. 1993.** ‘Thyroplasty in the Functional Rehabilitation of Neurotologic Skull Base Surgery Patients’. *The American Journal of Otolaryngology* 14.5: 460–464.
- Netto, Pedro I. de, A. Fae, J. G. Vartanian, A. P. B. Barros, L. M. Correia, R. N. Toledo, J. R. G. Testa, I. N. Nishimoto, L. P. Kowalski et E. C. Angelis. 2006.** ‘Voice et Vocal Self-Assessment after Thyroidectomy’. *Head & Neck* 28.12: 1106–1114. doi:[10.1002/hed.20480](https://doi.org/10.1002/hed.20480).
- Océane, B. et F. Camille. 2016.** *Etude de l'évolution de la voix au cours du vieillissement*. Université Claude Bernard Lyon 1 institut des sciences et techniques de readaptation mémoire présenté pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste.
- Ohala, J. J. 1974.** ‘A Mathematical Model of Speech Aerodynamics’. *Proceedings of the Speech Communication Seminar, Stockholm*, vol. 2. 65–72.
https://www.researchgate.net/profile/John_Ohala/publication/241806406_A_mathematical_model_of_speech_aerodynamics/links/560ef65408aec422d112d8e8.pdf (25 January, 2017).
- Ohala, J. J. 1997.** ‘Aerodynamics of Phonology’. *Proceedings of the Seoul International Conference on Linguistics*, vol. 92. 97.
https://www.researchgate.net/profile/John_Ohala/publication/242446947_Aerodynamics_of_phonology/links/560ef65308ae6b29b499ef66.pdf (25 January, 2017).
- Ohala, J. J. 2011.** ‘Accommodation to the Aerodynamic Voicing Constraint and Its Phonological Relevance’. *International Congress of Phonetic Sciences [ICPhS] XVII, Hong Kong*. 64–67.
https://www.researchgate.net/profile/John_Ohala/publication/228842885_Accommodation_to_the_Aerodynamic_Voicing_Constraint_and_its_Phonological_Relevance/links/560ef65f08ae0fc513eeb7ba.pdf (25 January, 2017).
- Olle, E. 2004.** *Radiology of the Pharynx and the Esophagus*. Springer.
<http://www.springer.com/la/book/9783642188381> (17 February, 2017).
- Oller, L. L. 2008.** ‘Analysis of Voice Signals for the Harmonics-to-Noise Crossover Frequency’. *KTH-School of Computer Science and Communication. Department of Speech, Music and Hearing. Barcelona*.
https://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapporlistor/2008/rappor08/leoller_lucas_08103.pdf (25 January, 2017).
- Omori, K. 2011.** ‘Diagnosis of Voice Disorders’. *JMAJ* 54: 248–253.

- O'Neill, J. P. et J. E. Fenton. 2008.** 'The Recurrent Laryngeal Nerve in Thyroid Surgery'. *The Surgeon* 6.6: 373–377. doi:[10.1016/S1479-666X\(08\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S1479-666X(08)80011-X).
- Orestes, M. I. et D. K. Chhetri. 2014.** 'Superior Laryngeal Nerve Injury: Effects, Clinical Findings, Prognosis, and Management Options'. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery* 22.6: 439–443. doi:[10.1097/MOO.0000000000000097](https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000097).
- Ormezzano, Y. 2000.** *Le Guide de La Voix*. O. Jacob. Paris.
- Ould-Ahmed, M., I. Drouillard, C. Lions, P.-F. Wey, O. Eve et Y. Pons. 2006.** 'Lésion Récurrentielle Après Thyroïdectomie : Faut-Il Réaliser Un Monitoring Péropératoire ?' *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 25.8: 909–910. doi:[10.1016/j.annfar.2006.06.006](https://doi.org/10.1016/j.annfar.2006.06.006).
- Painter, C. 1991.** 'Semi-Automated Voice Evaluation'. *American journal of otolaryngology* 12: 329–42. doi:[10.1016/0196-0709\(91\)90029-F](https://doi.org/10.1016/0196-0709(91)90029-F).
- Paliwal, K. K., W. A. Ainsworth et D. Lindsay. 1983.** 'A Study of Two-Formant Models for Vowel Identification'. *Speech Communication* 2.4: 295–303. doi:[10.1016/0167-6393\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0167-6393(83)90046-8).
- Parnell, F. W. et J. H. Bretenburg. 1970.** 'Vocal Cord Paralysis. A Review of 100 Cases'. *The Laryngoscope* 80.7: 1036–1045. doi:[10.1288/00005537-197007000-00002](https://doi.org/10.1288/00005537-197007000-00002).
- Pearce, E. N. et L. E. Braverman. 2009.** 'Environmental Pollutants and the Thyroid'. *Best Practice & Research. Clinical Endocrinology & Metabolism* 23.6: 801–813. doi:[10.1016/j.beem.2009.06.003](https://doi.org/10.1016/j.beem.2009.06.003).
- Peirce, C.S. 1893.** *Evolutionary Love*. The Monist.
- Péris S., O. Laccourreye, F. Bou-Malhab et D. Brasnu. 1998.** 'Aspiration in Unilateral Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis after Surgery'. *American Journal of Otolaryngology* 19.1: 18–23.
- Perriere, S. 2013.** 'La Voix En Images : Comment l'évaluation Objectivée Par Logiciel Permet d'optimiser La Prise En Charge Vocale'. *Rééducation orthophonique*.254: 103–119, ISSN 0034-222X.
- Piccirillo, J. F., D. Fuller, C. Painter et J. M. Fredrickson. 1998.** 'Multivariate Analysis of Objective Vocal Function'. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology* 107.2: 107–112.
- Pillot-Loiseau, C. 2011.** 'Pression sous-glottique et débit oral d'air expiré comme aides à la pose du diagnostic de dysodie ; implications pour la rééducation vocale'. Europa Organisation, 32–45. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00609092/document> (26 January, 2017).
- Pinto, N. B. et I. R. Titze. 1990.** 'Unification of Perturbation Measures in Speech Signals'. *The Journal of the Acoustical Society of America* 87.3: 1278–1289.
- Pinto, S. et A. Ghio. 2009.** 'Troubles du contrôle moteur de la parole : contribution de l'étude des dysarthries et dysphonies à la compréhension de la parole normale'. *Revue française de linguistique appliquée* XIII.2: 45–57.
- Plant, R. L. et A. D. Hillel. 1998.** 'Direct Measurement of Subglottic Pressure and Laryngeal Resistance in Normal Subjects and in Spasmodic Dysphonia'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 12.3: 300–314.

- Potenza, A. S., V. J. F. Araujo Filho et C. R. Cernea. 2017.** ‘Injury of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve in Thyroid Surgery’. *Glet Surgery* 6.5: 552–562. doi:[10.21037/g.s.2017.06.15](https://doi.org/10.21037/g.s.2017.06.15).
- Queuche, C. 2010.** Analyse acoustique de la voix en cas de paralysie récurrentielle unilatérale et de sa prise en charge chirurgicale étude de cas. UNIVERSITE DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS Faculté de médecine Ecole d’orthophonie.
- Retolph, G. W. et D. Kamani. 2006.** ‘The Importance of Preoperative Laryngoscopy in Patients Undergoing Thyroidectomy: Voice, Vocal Cord Function, and the Preoperative Detection of Invasive Thyroid Malignancy’. *Surgery* 139.3: 357–362. doi:[10.1016/j.surg.2005.08.009](https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.08.009).
- Ratnovsky, A., D. Elad et P. Halpern. 2008.** ‘Mechanics of Respiratory Muscles’. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 163.1. (Respiratory Biomechanics): 82–89. doi:[10.1016/j.resp.2008.04.019](https://doi.org/10.1016/j.resp.2008.04.019).
- Remacle, M., G. Lawson, M. Delos et J. Jamart. 1999.** ‘Correcting Vocal Fold Immobility by Autologous Collagen Injection for Voice Rehabilitation. A Short-Term Study’. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology* 108.8: 788–793. doi:[10.1177/000348949910800813](https://doi.org/10.1177/000348949910800813).
- Revis, J., A. Giovanni, F. Wuyts et J. Triglia. 1999.** ‘Comparison of Different Voice Samples for Perceptual Analysis’. *Folia phoniatrica and logopaedica: official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)* 51.3: 108–116. doi:[21485](https://doi.org/10.1177/000348949910800813).
- Rosato, L., N. Avenia, P. Bernante, M. De Palma, G. Gulino, P. G. Nasi, M. R. Pelizzo et L. Pezzullo. 2004.** ‘Complications of Thyroid Surgery: Analysis of a Multicentric Study on 14,934 Patients Operated on in Italy over 5 Years’. *World Journal of Surgery* 28.3: 271–276. doi:[10.1007/s00268-003-6903-1](https://doi.org/10.1007/s00268-003-6903-1).
- Rosenthal, A. L., S. Y. Lowell et R. H. Colton. 2014.** ‘Aerodynamic and Acoustic Features of Vocal Effort’. *Journal of Voice* 28.2: 144–153. doi:[10.1016/j.jvoice.2013.09.007](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.09.007).
- Roubeau, B., N. Henrich et M. Castellengo. 2009.** ‘Laryngeal Vibratory Mechanisms: The Notion of Vocal Register Revisited’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 23.4: 425–438. doi:[10.1016/j.jvoice.2007.10.014](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2007.10.014).
- Rousselot, P.-J. (1846-1924). 1897.** *Principes de phonétique expérimentale. Tome 1 / par l'abbé Rousselot,...* Paris: H. Welter. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5727902b> (8 February, 2017).
- Rubin, A. D. et R. T. Sataloff. 2007.** ‘Vocal Fold Paresis and Paralysis’. *Otolaryngologic Clinics of North America* 40.5: 1109–1131. doi:[10.1016/j.otc.2007.05.012](https://doi.org/10.1016/j.otc.2007.05.012).
- Sancho, J. J., M. Pascual - Damieta, J. A. Pereira, M. J. Carrera, J. Fontané et A. Sitges - Serra. 2008.** ‘Risk Factors for Transient Vocal Cord Palsy after Thyroidectomy’. *British Journal of Surgery* 95.8: 961–967. doi:[10.1002/bjs.6173](https://doi.org/10.1002/bjs.6173).
- Seters, I., B. L. Wu, L. Mu, Y. Li et H. F. Biller. 1993.** ‘The Innervation of the Human Larynx’. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery* 119.9: 934–939.
- Sarma, M. K., K. Kakati, K. Sharma et S. C. Goswami. 2017.** ‘Recurrent Laryngeal Nerve Injury (RLNI) in Thyroid Surgery and Its Prevention’. *International Journal of*

Research in Medical Sciences 3.7: 1632–1636. doi:[10.18203/2320-6012.ijrms20150242](https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20150242).

- Sarr, M. M., S. Pinto, L. Jankowski, B. Teston, A. Purson, A. Ghio, J. Régis, J.-C. Peragut et F. Viallet. 2009.** ‘Contribution de La Mesure de La Pression Intra-Orale Pour La Compréhension Des Troubles de La Coordination Pneumophonique Dans La Dysarthrie Parkinsonienne’. *Revue Neurologique* 165.12. (XIII^{es} Journées Des Maladies Du Système Nerveux Périphérique): 1055–1061. doi:[10.1016/j.neurol.2009.03.012](https://doi.org/10.1016/j.neurol.2009.03.012).
- Sataloff, R. T., M. J. Hawkshaw, V. Divi et Y. D. Heman-Ackah. 2007.** ‘Voice Surgery’. *Otolaryngologic Clinics of North America* 40.5: 1151–1183, ix. doi:[10.1016/j.otc.2007.05.015](https://doi.org/10.1016/j.otc.2007.05.015).
- Schindler, A., A. Bottero, P. Capaccio, D. Ginocchio, F. Adorni et F. Ottaviani. 2008.** ‘Vocal Improvement After Voice Therapy in Unilateral Vocal Fold Paralysis’. *Journal of Voice* 22.1: 113–118. doi:[10.1016/j.jvoice.2006.08.004](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.08.004).
- Schoentgen, J. 2001.** ‘Stochastic Models of Jitter’. *The Journal of the Acoustical Society of America* 109.4: 1631–1650.
- Schoentgen, J. 2003.** ‘Spectral Models of Additive and Modulation Noise in Speech and Phonatory Excitation Signals’. *The Journal of the Acoustical Society of America* 113.1: 553–562.
- Schweizer, V. et J. Dürfl. 1997.** ‘The Anatomy of the Inferior Laryngeal Nerve’. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences* 22.4: 362–369.
- Seifpanahi, S., S. Jalaie, M. R. Nikoo et D. Sobhani-Rad. 2015.** ‘Translated Versions of Voice Heticap Index (VHI)-30 across Languages: A Systematic Review’. *Iranian Journal of Public Health* 44.4: 458–469.
- Seyed Toutouchi, S. J., M. Eydi, S. EJ Golzari, M. R. Ghaffari et N. Parvizian. 2014.** *Vocal Cord Paralysis and Its Etiologies: A Prospective Study*. Tabriz University of Medical Sciences. doi:[10.5681/jcvtr.2014.009](https://doi.org/10.5681/jcvtr.2014.009).
- Sharma, P. K. 2017.** ‘Complications of Thyroid Surgery: Practice Essentials, Overview, Bleeding’. <http://emedicine.medscape.com/article/852184-overview> (17 February, 2017).
- Sharma, P. et Sharma, A. 2013.** ‘Automatic Identification of Modal, Breathly and Creaky Voices’. *International Journal of Advanced Computer Research* 3.4: 5.
- Shomon, M.** Why Thyroid Cancer Is on the Rise. *Verywell Health*. <https://www.verywell.com/why-are-so-many-people-getting-thyroid-disease-3233167> (7 April, 2018).
- Simon H. 1981.** Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. In *Mind Design: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. J. HAUGELAND (Ed.), Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, A Bradford Book.
- Smitheran, J. R. et T. J. Hixon. 1981.** ‘A Clinical Method for Estimating Laryngeal Airway Resistance during Vowel Production’. *The Journal of Speech and Hearing Disorders* 46.2: 138–146.
- Sock, R. 1998.** *Organisation temporelle en production de la parole: émergence de catégories sensori-motrices phonétiques*. Presses Univ. du Septentrion,

Université Stendhal, Grenoble III.

- Sock, R. 2001.** La Théorie de la Viabilité en production-perception de la parole. *Psychologie et Sciences Humaines* (Mardaga., p. 285-316). Liège: Keller D. Durafour JP. Bonnot JF & Sock.
- Sock, R., & Vaxelaire, B. 2001.** Peut-on travailler ses représentations en production-perception de la parole ? *Par monts et par vaux. Itinéraires linguistiques et grammaticaux. Mélanges de linguistique générale et française, offerts au Professeur Martin Riegel* (Peeters., p. 285-316). Paris: Buridant C. Kleiber G & Pellat JC.
- Sock, R., & Vaxelaire, B. 2002.** Réflexions sur le timing. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, (31), 80-126.
- Sock, R., Vaxelaire, B., Roy, J. P., & Hirsch, F. 2006.** Temporal and spatial correlates of quantity contrasts in Wolof. *Towards a better understanding of speech production processes* (Psychology Press., p. 253-274). New York: Harrington, J. & Tabain, M.
- Solé, M.-J. 2002.** 'Aerodynamic Characteristics of Trills and Phonological Patterning'. *Journal of Phonetics* 30.4: 655–688. doi:[10.1006/jpho.2002.0179](https://doi.org/10.1006/jpho.2002.0179).
- Solomon, N. P., L. B. Helou, M. J. Makashay et A. Stojadinovic. 2012.** 'Aerodynamic Evaluation of the Postthyroidectomy Voice'. *Journal of Voice* 26.4: 454–461. doi:[10.1016/j.jvoice.2011.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2011.03.010).
- Sonninen, A., P. Hurme et A. M. Laukkanen. 1999.** 'The External Frame Function in the Control of Pitch, Register, and Singing Mode: Radiographic Observations of a Female Singer'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 13.3: 319–340.
- Stearns, M. P. 1982.** 'The Effect of Irradiation on Nerve Grafting'. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences* 7.3: 161–164. doi:[10.1111/j.13652273.1982.tb01577.x](https://doi.org/10.1111/j.13652273.1982.tb01577.x).
- Stetring, S. 2008.** *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Churchill Livingstone/Elsevier.
- Steiblé, L. 2014.** *Le contrôle temporel des consonnes occlusives de l'alsacien et du français parlé en Alsace*. thesis Strasbourg.
- Steinmüller, T., U. F. R. N, L. M, S. D, T. Sg, J. S et N. P. 2001.** 'Surgical procedures and risk factors in therapy of benign multinodular goiter. A statistical comparison of the incidence of complications'. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 72.12: 1453–1457. doi:[10.1007/s001040170010](https://doi.org/10.1007/s001040170010).
- Stéphanie, P. 2012.** *Spécificités des dysphonies par lésion du nerf laryngé supérieur après chirurgie thyroïdienne*. Faculté de médecine école d'orthophonie Mémoire présenté en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste.
- Stewart, C. F. et E. Allen. 2006a.** 'Voice Therapy for Unilateral Vocal Fold Paralysis'. In MD, L. S. et A. B. M. DDS (eds), *Vocal Fold Paralysis*. Springer Berlin Heidelberg, 87–96. doi:[10.1007/3-540-32504-2_7](https://doi.org/10.1007/3-540-32504-2_7). http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-32504-2_7 (31 January, 2017).
- Stewart, C. F. et E. Allen. 2006b.** 'Voice Therapy for Unilateral Vocal Fold Paralysis'. *Vocal Fold Paralysis*. doi:[10.1007/3-540-32504-2_7](https://doi.org/10.1007/3-540-32504-2_7).

- <https://nyuscholars.nyu.edu/en/publications/voice-therapy-for-unilateral-vocal-fold-paralysis> (10 April, 2018).
- Stojadinovic, A., G. E. Peoples, S. K. Libutti, L. R. Henry, J. Eberhardt, R. S. Howard, D. Gur, E. A. Elster et A. Nissan. 2009.** ‘Development of a Clinical Decision Model for Thyroid Nodules’. *BMC surgery* 9: 12. doi:[10.1186/1471-2482-9-12](https://doi.org/10.1186/1471-2482-9-12).
- Stojadinovic, A., A. R. Shaha, R. F. Orlikoff, A. Nissan, M.-F. Kornak, B. Singh, J. O. Boyle, J. P. Shah, M. F. Brennan et D. H. Kraus. 2002.** ‘Prospective Functional Voice Assessment in Patients Undergoing Thyroid Surgery’. *Annals of surgery* 236.6: 823–832.
- Story, B. H. 2002.** ‘An Overview of the Physiology, Physics and Modeling of the Sound Source for Vowels’. *Acoustical Science and Technology* 23.4: 195–206. doi:[10.1250/ast.23.195](https://doi.org/10.1250/ast.23.195).
- Sturniolo, G., C. D’Alia, A. Tonante, E. Gagliano, F. Taranto et M. Grazia Lo Schiavo. 1999.** ‘The Recurrent Laryngeal Nerve Related to Thyroid Surgery’. *The American Journal of Surgery* 177.6: 485–488. doi:[10.1016/S0002-9610\(99\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(99)00101-4).
- Subtelny, J. D., J. H. Worth et M. Sakuda. 1966.** ‘Intraoral Pressure et Rate of Flow During Speech’. *Journal of Speech, Language, et Hearing Research* 9.4: 498–518. doi:[10.1044/jshr.0904.498](https://doi.org/10.1044/jshr.0904.498).
- Sulica, L., A. Cultrara et A. Blitzer. 2006.** ‘Vocal Fold Paralysis: Causes, Outcomes, and Clinical Aspects’. In MD, L. S. et A. B. M. DDS (eds), *Vocal Fold Paralysis*. Springer Berlin Heidelberg, 33–54. doi:[10.1007/3-540-32504-2_3](https://doi.org/10.1007/3-540-32504-2_3). http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-32504-2_3 (25 January, 2017).
- Tappy, L., J. P. Retin, P. Schwed, J. Wertheimer et T. Lemarchet-Béraud. 1987.** ‘Prevalence of Thyroid Disorders in Psychogeriatric Inpatients. A Possible Relationship of Hypothyroidism with Neurotic Depression but Not with Dementia’. *Journal of the American Geriatrics Society* 35.6: 526–531.
- Teichroew, J. K. 2016.** *Chronic Diseases: An Encyclopedia of Causes, Effects, and Treatments [2 Volumes]*. ABC-CLIO.
- Teitelbaum, B. J. et B. L. Wenig. 1995.** ‘Superior Laryngeal Nerve Injury from Thyroid Surgery’. *Head & Neck* 17.1: 36–40.
- Teixeira, J. P., C. Oliveira et C. Lopes. 2013.** ‘Vocal Acoustic Analysis – Jitter, Shimmer and HNR Parameters’. *Procedia Technology* 9. (CENTERIS 2013 - Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2013 - International Conference on Project MANagement/ HCIST 2013 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies): 1112–1122. doi:[10.1016/j.protcy.2013.12.124](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.124).
- Tessier, C. 2009.** Evaluation orthophonique vocale de la paralysie récurrentielle et prise en charge (18p), *Livre : La voix dans tous ses maux*, éd. Ortho édition.
- Teston, B. 2001.** *Evaluation Objectives Des Dysarthries: Méthodes Acoustiques et Aérodynamiques*. Masson. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00173549/> (25 January, 2017).

- Teston, B. 2004.** ‘L’évaluation Instrumentale Des Dysphonies. Etat Actuel et Perspectives’. In A. G. (ed), *Le bilan d’une dysphonie*. Solal, 105–169. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00173553> (8 April, 2018).
- Thomusch, O., A. Machens, C. Sekulla, J. Ukkat, M. Brauckhoff et H. Dralle. 2003.** ‘The Impact of Surgical Technique on Postoperative Hypoparathyroidism in Bilateral Thyroid Surgery: A Multivariate Analysis of 5846 Consecutive Patients’. *Surgery* 133.2: 180–185. doi:[10.1067/msy.2003.61](https://doi.org/10.1067/msy.2003.61).
- Timon, C. I., S. P. Hirani, R. Epstein et M. A. Rafferty. 2010.** ‘Investigation of the Impact of Thyroid Surgery on Vocal Tract Steadiness’. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 24.5: 610–613. doi:[10.1016/j.jvoice.2009.02.003](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.02.003).
- Titche, L. L. 1976.** ‘Causes of Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis’. *Archives of Otolaryngology (Chicago, Ill.: 1960)* 102.5: 259–261.
- Tran Ba Huy, P. et R. Kania. 2004.** ‘Thyroïdectomie’. *EMC - Chirurgie* 1.3: 187–210. doi:[10.1016/j.emcchi.2004.02.003](https://doi.org/10.1016/j.emcchi.2004.02.003).
- Trésallet, C., J.-P. Chigot et F. Menegaux. 2006.** ‘Comment Prévenir La Morbidité Récurrentielle En Chirurgie Thyroïdienne ?’ *Annales de Chirurgie* 131.2: 149–153. doi:[10.1016/j.anchir.2005.09.002](https://doi.org/10.1016/j.anchir.2005.09.002).
- Trésallet, C. et F. Menegaux. 2015.** *Traité de chirurgie endocrinienne - Volume 1 : Thyroïde, parathyroïdes, néoplasies endocriniennes multiples*. http://www.jle.com/fr/ouvrages/e-docs/traite_de_chirurgie_endocrinienne_volume_1_304897/ouvrage.phtml (25 January, 2017).
- Trinidad Ruiz, G., A. González Palomino, C. Pantoja Hernández, E. Mora Santos, E. Cruz de la Piedad et A. Blasco Huelva. 2007.** ‘[Influence of non-neuronal factors on post-thyroidectomy dysphonia]’. *Acta Otorrinolaringologica Espanola* 58.8: 352–357.
- Tucker, H. M. 1980.** ‘Vocal Cord Paralysis: Etiology and Management’. *The Laryngoscope* 90.4: 585–590. doi:[10.1288/00005537-198004000-00004](https://doi.org/10.1288/00005537-198004000-00004).
- Ulmer, C., K. P. Koch, A. Seimer, V. Molnar, U. Meyding-Lamadé K.-P. Thon et W. Lamadé 2008.** ‘Real-Time Monitoring of the Recurrent Laryngeal Nerve: An Observational Clinical Trial’. *Surgery* 143.3: 359–365. doi:[10.1016/j.surg.2007.10.007](https://doi.org/10.1016/j.surg.2007.10.007).
- Vaidya, B. et S. H. S. Pearce. 2008.** ‘Management of Hypothyroidism in Adults’. *BMJ* 337: a801. doi:[10.1136/bmj.a801](https://doi.org/10.1136/bmj.a801).
- Van Lierde, K., E. D’haeseleer, F. L. Wuyts, N. Baudonck, L. Bernaert et H. Vermeersch. 2009.** ‘Impact of Thyroidectomy without Laryngeal Nerve Injury on Vocal Quality Characteristics: An Objective Multiparameter Approach’. *The Laryngoscope*: n/a-n/a. doi:[10.1002/lary.20762](https://doi.org/10.1002/lary.20762).
- Varela, F., E. Thompson et E., Rosch. 1991.** *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.
- Vaxelaire, B. 1993.** *Etude comparée des effets des variations de débits - lent, rapide - sur les paramètres articulatoires, à partir de la cinéradiographie (sujets français)*. Universit é des Sciences Humaines, Strasbourg.

- Vaxelaire, B. 1995.** Single vs. double (Abutted) consonants across speech rate. X-Ray and acoustic data for French. XIIIe Congrès International des Sciences Phonétiques (ICPhS) (Vol. 1, p. 384-387). Présenté à ICPhS, Stockholm.
- Vaxelaire, B. 2007.** *Le geste et la production de la parole. Résultats et implications d'études cinéroradiographiques quantitatives.* (Habilitation à Diriger des Recherches). Université Marc Bloch Strasbourg 2, Strasbourg.
- Vaxelaire, B., & Sock, R. 1996.** A cineradiographic and acoustic study of velar gestures in French consonant sequences as a function of speech rate. *Proceedings of the 4th Speech Production Seminar* (p. 65-68). Autrans.
- Venkatesan, N. 2011.** 'Unilateral Vocal Fold Paralysis February 25, 2011'. : 13.
- Vicente, D. A., N. P. Solomon, I. Avital, L. R. Henry, R. S. Howard, L. B. Helou, G. L. Coppit, et al. 2014.** 'Voice Outcomes after Total Thyroidectomy, Partial Thyroidectomy, or Non-Neck Surgery Using a Prospective Multifactorial Assessment'. *Journal of the American College of Surgeons* 219.1: 152–163. doi:[10.1016/j.jamcollsurg.2014.03.019](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2014.03.019).
- Vilkman E, Aalinen O, Raimo I, Arajärvi P et Oksanen H. 1989.** Articulatory hyoid-laryngeal changes vs. cricothyroid muscle activity in the control of intrinsic Fo of vowels. *J Phon.* Jan;17:193–203.
- Vikram, H. R., G. S. Dhaliwal, S. Saint et C. B. Simpson. 2011.** 'Clinical Problem-Solving. A Recurrent Problem.' *The New England journal of medicine* 364.22: 2148–2154. doi:[10.1056/NEJMcps1000691](https://doi.org/10.1056/NEJMcps1000691).
- Wagner, H. E. et C. Seiler. 1994.** 'Recurrent Laryngeal Nerve Palsy after Thyroid Glet Surgery'. *The British Journal of Surgery* 81.2: 226–228.
- Wertzner, H. F., S. Schreiber et L. Amaro. 2005.** 'Analysis of Fundamental Frequency, Jitter, Shimmer and Vocal Intensity in Children with Phonological Disorders'. *Brazilian journal of otorhinolaryngology* 71.5: 582–588.
- Williams, R. G., T. H. Lesser, M. Foster et G. Griffith. 1989.** 'Altered Laryngeal Function Following Thyroidectomy'. *Clinical Otolaryngology et Allied Sciences* 14.4: 281–283.
- Williams, W. N., P. W. Wharton, M. F. Paulk, W. S. Brown, G. E. Turner et G. Stevens. 2005.** 'Intraoral Air Pressure Discrimination Under Conditions of Experimental Velopharyngeal Insufficiency'. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* 42.3: 297–303. doi:[10.1597/03-125.1](https://doi.org/10.1597/03-125.1).
- Wiseman, S. M., P. I. Tomljanovich et N. R. Rigual. 2004.** 'Thyroid Lobectomy: Operative Anatomy, Technique, and Morbidity'. *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 15.3. (Surgery for Neck Masses): 210–219. doi:[10.1016/j.otot.2004.07.008](https://doi.org/10.1016/j.otot.2004.07.008).
- Wittekindt, C., K. Streubel, G. Arnold, E. Stennert et O. Guntinas-Lichius. 2007.** 'Recurrent Pleomorphic Adenoma of the Parotid Glet: Analysis of 108 Consecutive Patients'. *Head & Neck* 29.9: 822–828. doi:[10.1002/hed.20613](https://doi.org/10.1002/hed.20613).
- World Health Organization Division of Mental Health et Prevention of Substance. 1997.** 'WHOQOL : Measuring Quality of Life'. <http://www.who.int/iris/hetle/10665/63482> (14 February, 2017).

- Xiu, M., Fauth, C., Vaxelaire, B., Rodier, J., Volkmar, P., et Sock, R. 2016a.** A post-thyroidectomy voice quality study in patients suffering or not from Recurrent laryngeal paralysis, *10th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP)*, Tianjin, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/ISCSLP.2016.7918411
- Xiu, M., Fauth, C., Vaxelaire, B., Rodier, J., Volkmar, P., et Sock, R. 2016b.** Étude de la qualité vocale post-thyroïdectomie chez des patients souffrants ou non de paralysie récurrentielle. XXXI^{ème} Journées d'Etude sur la Parole (JEP-TALN-RECITAL), Paris, France, pp 310 – 318.
- Yamada, M., M. Hirano et H. Ohkubo. 1983.** 'Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis. A 10-Year Review of 564 Patients'. *Auris, Nasus, Larynx* 10 Suppl: S1-15.
- YILDIZ, S. 2015.** *Intérêt de la ventilation non invasive dans le traitement de la paralysie bilatérale des plis vocaux de l'enfant*. Université paris-est Créteil val de marne UFR de médecine.
- Yin, S. S., W. W. Qiu, F. J. Stucker, D. K. Hoasjoe et R. F. Aarstad. 1997.** 'Evaluation of Bilateral Vocal Fold Dysfunction: Paralysis versus Fixation, Superior versus Recurrent, and Distal versus Proximal to the Laryngeal Nerves'. *American Journal of Otolaryngology* 18.1: 9–18.
- Young, V. N., K. Jeong, S. D. Rothenberger, A. I. Gillespie, L. J. Smith, J. L. Gartner-Schmidt et C. A. Rosen. 2018.** 'Minimal Clinically Important Difference of Voice Heticap Index-10 in Vocal Fold Paralysis'. *The Laryngoscope* 128.6: 1419–1424. doi:[10.1002/lary.27001](https://doi.org/10.1002/lary.27001).
- Yu, P., M. Ouaknine, J. Revis et A. Giovanni. 2001.** 'Objective Voice Analysis for Dysphonic Patients: A Multiparametric Protocol Including Acoustic and Aerodynamic Measurements'. *Journal of voice* 15.4: 529–542.
- Yumoto, E., R. Minoda, M. Hyodo et T. Yamagata. 2002.** 'Causes of Recurrent Laryngeal Nerve Paralysis'. *Auris Nasus Larynx* 29.1: 41–45. doi:[10.1016/S0385-8146\(01\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S0385-8146(01)00122-5).
- Yves, O. 2000.** Guide de la voix - Éditions Odile Jacob. www.odilejacob.fr. http://www.odilejacob.fr/catalogue/sante-vie-pratique/guides-pratiques/guide-de-la-voix_9782738108104.php (17 February, 2017).
- Zakaria, H. M., N. A. Al Awad, A. S. Al Kredes, A. M. A. Al-Mulhim, M. A. Al-Sharway, M. A. Hadi et A. A. Al Sayyah. 2011.** 'Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroid Surgery'. *Oman Medical Journal* 26.1: 34–38. doi:[10.5001/omj.2011.09](https://doi.org/10.5001/omj.2011.09).
- Zaletel, K. et S. Gaberšček. 2011.** 'Hashimoto's Thyroiditis: From Genes to the Disease'. *Current Genomics* 12.8: 576–588. doi:[10.2174/138920211798120763](https://doi.org/10.2174/138920211798120763).
- Zambudio, A. R., J. Rodríguez, J. Riquelme, T. Soria, M. Canteras et P. Parrilla. 2004.** 'Prospective Study of Postoperative Complications After Total Thyroidectomy for Multinodular Goiters by Surgeons With Experience in Endocrine Surgery'. *Annals of Surgery* 240.1: 18–25. doi:[10.1097/01.sla.0000129357.58265.3c](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000129357.58265.3c).
- Zhang, Y., J. J. Jiang, L. Biazzo et M. Jorgensen. 2005.** 'Perturbation and Nonlinear Dynamic Analyses of Voices from Patients with Unilateral Laryngeal Paralysis'. *Journal of Voice: Official Journal of the Voice Foundation* 19.4: 519–528. doi:[10.1016/j.jvoice.2004.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.11.005).

Zhao, W., B.-L. Gao, G.-F. Yi, H.-Y. Yang et H. Li. 2009. ‘Thyroid Arterial Embolization for the Treatment of Hyperthyroidism in a Patient with Thyrotoxic Crisis’. *Clinical and Investigative Medicine. Medecine Clinique et Experimentale* 32.1: E78-83.

Annexe

Corpus

Corpus n °1	Corpus n °2	Corpus n °3	Corpus n °4	Corpus n °5
Aba	Afa	Ava	Aka	Ata
Acha	Aba	Apa	Aja	Aza
Ada	Ava	Aza	Ata	Aja
Aja	Ada	Ata	Acha	Aba
Apa	Assa	Acha	Apa	Aga
Afa	Aga	Ada	Aza	Aka
Aga	Aza	Afa	Aga	Ava
Aza	Apa	Aga	Assa	Acha
Ata	Acha	Assa	Ada	Apa
Ava	Ata	Aba	Ava	Ada
Aka	Aja	Aja	Aba	Assa
Assa	Aka	Aka	Afa	Afa

Informations Personnelles

Numéro Anonymisation :

Nom :

Prénom :

Date de naissance :

Profession :

Adresse :

Fumeur : Oui / Non

Téléphone :

Langue maternelle :

Langue(s) pratiquée(s) dont le(s) dialecte(s) :

Pratique de la chorale/du théâtre ?

Réservé à l'équipe de recherche

Pathologie :

Chirurgie prévue :

Chirurgien : Rodier / Volkmar

Paralysie : Oui / Non Parésie : Oui / Non

Quelle corde paralysée : Droite / Gauche / Double : Ouverte / Fermée

Position de la corde vocale paralysée :

Date contrôle ORL :

Rééducation orthophonique / nbre de séances :

Post-op Bilan :

Script de Praat utilis é

```
#####

outputfile$ = "path2$" + "\" + "resultats_consonnes.txt"

#fileappend "outputfile$" fic label sex tier2 hnr cog skewness
    kurtosis sdev f0 place_p manner_p voice_p place_f manner_f
    voice_f duree duree_norm fo_norm glissando zcr mot
    mot_phon place_syll pause_prec1 pause_prec2 pause_suiv1
    pause_suiv2 intensite gramm entour_prec voy_prec entour_foll
    voy_foll position_in_syllable position_phoneme_sur_total_phonemes 'newline$'

fileappend "outputfile$" fic label sex tier2 hnr cog zcr skewness
    kurtosis sdev beg_f0 mid_f0 end_f0 place_p manner_p voice_p
    place_f manner_f voice_f duree duree_norm fo_norm tier3
    beg_intensite mid_intensite end_intensite intensite_rms beg_F1 mid_F1
    end_F1 beg_F2 mid_F2 end_F2 beg_F3 mid_F3 end_F3 beg_F4 mid_F4 end_F4
'newline$'

#####

Create Strings as file list... liste 'path$'\ 'type$'

string = selected("Strings")

nolifft = Get number of strings

for x from 1 to nolifft

|--select 'string'

|--line$ = Get string... x

-----line_depart$ = line$

--file$ = path$ + "\" + line$

--Open long sound file... 'file$'
```

```

|--sound = selected("LongSound")
extension$ = right$(file$,3)

|--grille$ = path$ + "\" + line$ - extension$ + "TextGrid"

|--if fileReadable(grille$)
    |--Read from file... 'grille$'
|--    |--textgrid = selected("TextGrid")

call procedures

    endif

|--endfor

#####

```

Statistique

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.167	25	.071	.917	25	.045
PO1	.154	25	.130	.923	25	.060
PO2	.211	25	.005	.929	25	.082
PO3	.194	25	.016	.892	25	.013

le test de normalité du MPT du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: MPT

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.539	14.029	5	.016	.730	.806	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du MPT du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MPT

source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	222.119	3	74.040	5.952	.001	.199
	Greenhouse-Geisser	222.119	2.189	101.478	5.952	.004	.199
	Huynh-Feldt	222.119	2.417	91.892	5.952	.003	.199
	Lower-bound	222.119	1.000	222.119	5.952	.022	.199

Error (time)	Sphericity Assumed	895.673	72	12.440
	Greenhouse-Geisser	895.673	52.532	17.050
	Huynh-Feldt	895.673	58.012	15.439
	Lower-bound	895.673	24.000	37.320

Tests des effets intra-sujets du MPT du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MPT

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^b	
					lower bound	upper bound
	2	2.441	.869	.058	-.057	4.939
1	3	1.044	.873	1.000	-1.467	3.555
	4	-1.640	.840	.376	-4.054	.775
2	1	-2.441	.869	.058	-4.939	.057
	3	-1.397	.926	.867	-4.060	1.266
3	4	-4.081*	1.335	.033	-7.919	-.242
	1	-1.044	.873	1.000	-3.555	1.467
4	2	1.397	.926	.867	-1.266	4.060
	4	-2.683	1.053	.106	-5.710	.343
4	1	1.640	.840	.376	-.775	4.054
	2	4.081*	1.335	.033	.242	7.919
	3	2.683	1.053	.106	-.343	5.710

Comparaison par paire du MPT du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.129	26	.200*	.951	26	.243
PO1	.111	26	.200*	.966	26	.528
PO2	.109	26	.200*	.966	26	.516
PO3	.117	26	.200*	.987	26	.979

le test de normalité de l'OAF du MPT du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-	Huynh-Feldt	Lower
					Geisser		-bound
time	.449	19.013	5	.002	.638	.689	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de l'OAF du MPT du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.009	6.155	.001	.198
	Greenhouse-Geisser	1.913	.015	6.155	.005	.198
	Huynh-Feldt	2.067	.014	6.155	.004	.198
	Lower-bound	1.000	.028	6.155	.020	.198
Error (time)	Sphericity Assumed	75	.002			
	Greenhouse-Geisser	47.813	.002			
	Huynh-Feldt	51.679	.002			

Preop	.134	25	.200*	.954	25	.312
PO1	.100	25	.200*	.979	25	.856
PO2	.098	25	.200*	.963	25	.472
PO3	.081	25	.200*	.972	25	.706

le test de normalité de /i/ soutenue du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.521	14.809	5	.011	.771	.858	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /i/ soutenue du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: OAF

source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.006	2.762	.048	.103
	Greenhouse-Geisser	2.313	.008	2.762	.064	.103
	Huynh-Feldt	2.574	.007	2.762	.058	.103
	Lower-bound	1.000	.019	2.762	.110	.103
Error (time)	Sphericity Assumed	72	.002			
	Greenhouse-Geisser	55.513	.003			
	Huynh-Feldt	61.780	.003			
	Lower-bound	24.000	.007			

Tests des effets intra-sujets de /i/ soutenue du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.125	24	.200*	.957	24	.381
PO1	.136	24	.200*	.950	24	.277
PO2	.095	24	.200*	.970	24	.677
PO3	.082	24	.200*	.969	24	.650

le test de normalité de /a/ soutenue du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.379	21.079	5	.001	.601	.650	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /a/ soutenue du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: OAF

source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Sphericity Assumed	.020	3	.007	3.959	.012	.147
Greenhouse-Geisser	.020	1.804	.011	3.959	.030	.147
Huynh-Feldt	.020	1.949	.010	3.959	.027	.147
Lower-bound	.020	1.000	.020	3.959	.059	.147

Error (time)	Sphericity Assumed	.115	69	.002
	Greenhouse-Geisser	.115	41.503	.003
	Huynh-Feldt	.115	44.824	.003
	Lower-bound	.115	23.000	.005

Tests des effets intra-sujets de /a/ soutenue du Group Normal

Pairwise comparison

Measure: OAF

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^b	
					lower bound	upper bound
	2	.000	.014	1.000	-.040	.040
1	3	-.027*	.008	.016	-.050	-.004
	4	-.030*	.007	.003	-.051	-.009
	1	.000	.014	1.000	-.040	.040
2	3	-.027	.014	.403	-.068	.014
	4	-.030	.016	.410	-.076	.015
	1	.027*	.008	.016	.004	.050
3	2	.027	.014	.403	-.014	.068
	4	-.003	.008	1.000	-.027	.021
	1	.030*	.007	.003	.009	.051
4	2	.030	.016	.410	-.015	.076
	3	.003	.008	1.000	-.021	.027

Comparaison par paire de /a/ soutenue du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.141	24	.200*	.914	24	.043
PO1	.108	24	.200*	.968	24	.625
PO2	.091	24	.200*	.947	24	.237
PO3	.110	24	.200*	.990	24	.997

le test de normalité de /u/ soutenue du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound
time	.702	7.695	5	.174	.827	.935	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /u/ soutenue du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.002	1.150	.335	.048
	Greenhouse-Geisser	2.480	.002	1.150	.331	.048
	Huynh-Feldt	2.804	.002	1.150	.334	.048
	Lower-bound	1.000	.005	.005	1.150	.295
Error (time)	Sphericity Assumed	69	.002			
	Greenhouse-Geisser	57.050	.002			

Huynh-Feldt	.106	64.485	.002
Lower-bound	.106	23.000	.005

Tests des effets intra-sujets de /u/ soutenue du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.136	26	.200*	.945	26	.173
PO1	.079	26	.200*	.968	26	.585
PO2	.076	26	.200*	.968	26	.579
PO3	.113	26	.200*	.948	26	.213

le test de normalité de /b/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic of OAF

(Within Subjects Effect)	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.866	3.424	5	.635	.917	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /b/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic of OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.004	3	.001	.261	.853	.010

	Greenhouse-Geisser	.004	2.752	.001	.261	.837	.010
	Huynh-Feldt	.004	3.000	.001	.261	.853	.010
	Lower-bound	.004	1.000	.004	.261	.614	.010
	Sphericity Assumed	.384	75	.005			
Error (time)	Greenhouse-Geisser	.384	68.788	.006			
	Huynh-Feldt	.384	75.000	.005			
	Lower-bound	.384	25.000	.015			

Tests des effets intra-sujets de /b/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.160	25	.100	.951	25	.258
PO1	.130	25	.200*	.965	25	.519
PO2	.083	25	.200*	.959	25	.395
PO3	.101	25	.200*	.948	25	.225

le test de normalité de /p/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic of OAF

(Within Effect)	Subjects	Mauchly's W	Approx. Chi- Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
						Greenhouse- Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time		.787	5.447	5	.364	.883	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /p/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic of OAF

source	Type Sun squares	III df of	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.157	3	.052	4.700	.005	.164
	Greenhouse-Geisser	.157	2.650	.059	4.700	.007	.164
	Huynh-Feldt	.157	3.000	.052	4.700	.005	.164
	Lower-bound	.157	1.000	.157	4.700	.040	.164
Error (time)	Sphericity Assumed	.804	72	.011			
	Greenhouse-Geisser	.804	63.600	.013			
	Huynh-Feldt	.804	72.000	.011			
	Lower-bound	.804	24.000	.034			

Tests des effets intra-sujets de /p/ du Group Normal

Pairwise comparison

Measure: Pic of OAF

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% interval for the difference	confidence for the difference
					lower bound	upper bound
1	2	.102*	.034	.037	.004	.199
	3	.040	.032	1.000	-.050	.131
	4	.010	.032	1.000	-.081	.101
2	1	-.102*	.034	.037	-.199	-.004
	3	-.061	.025	.121	-.132	.010
3	4	-.092*	.025	.008	-.165	-.019
	1	-.040	.032	1.000	-.131	.050
	2	.061	.025	.121	-.010	.132

	4	-.031	.031	1.000	-.120	.059
	1	-.010	.032	1.000	-.101	.081
4	2	.092*	.025	.008	.019	.165
	3	.031	.031	1.000	-.059	.120

Comparaison par paire de /p/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.083	26	.200*	.981	26	.890
PO1	.073	26	.200*	.980	26	.865
PO2	.121	26	.200*	.977	26	.794
PO3	.069	26	.200*	.973	26	.702

le test de normalit éde /d/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse- Geisser	Huynh-Feldt	Lower -bound
time	.896	2.612	5	.760	.931	1.000	.333

Le test de la sph éricit éde Mauchly de /d/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type Sun squares	III df of	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared

	Sphericity Assumed	.015	3	.005	.843	.475	.033
time	Greenhouse-Geisser	.015	2.793	.005	.843	.468	.033
	Huynh-Feldt	.015	3.000	.005	.843	.475	.033
	Lower-bound	.015	1.000	.015	.843	.367	.033
	Sphericity Assumed	.436	75	.006			
Error (time)	Greenhouse-Geisser	.436	69.828	.006			
	Huynh-Feldt	.436	75.000	.006			
	Lower-bound	.436	25.000	.017			

Tests des effets intra-sujets de /d/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.106	26	.200 [*]	.977	26	.808
PO1	.161	26	.081	.929	26	.072
PO2	.176	26	.037	.922	26	.051
PO3	.123	26	.200 [*]	.957	26	.337

le test de normalité de /t/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse- Geisser	Huynh-Feldt	Lower -bound
time	.897	2.583	5	.764	.936	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /t/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.033	2.500	.066	.091
	Greenhouse-Geisser	2.808	.035	2.500	.070	.091
	Huynh-Feldt	3.000	.033	2.500	.066	.091
	Lower-bound	1.000	.099	2.500	.126	.091
	Lower-bound	.986	75	.013		
Error (time)	Greenhouse-Geisser	70.209	.014			
	Huynh-Feldt	75.000	.013			
	Lower-bound	25.000	.039			

Tests des effets intra-sujets de /t/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.104	26	.200*	.956	26	.323
PO1	.105	26	.200*	.968	26	.566
PO2	.097	26	.200*	.964	26	.466
PO3	.119	26	.200*	.930	26	.079

le test de normalité de /g/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.818	4.764	5	.446	.894	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /g/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.003	3	.001	.275	.843	.011
	Greenhouse-Geisser	.003	2.682	.001	.275	.821	.011
	Huynh-Feldt	.003	3.000	.001	.275	.843	.011
	Lower-bound	.003	1.000	.003	.275	.604	.011
Error (time)	Sphericity Assumed	.312	75	.004			
	Greenhouse-Geisser	.312	67.055	.005			
	Huynh-Feldt	.312	75.000	.004			
	Lower-bound	.312	25.000	.012			

Tests des effets intra-sujets de /g/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.094	26	.200*	.970	26	.627
PO1	.144	26	.172	.929	26	.075
PO2	.133	26	.200*	.927	26	.067
PO3	.125	26	.200*	.946	26	.183

le test de normalité de /k/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.602	12.048	5	.034	.736	.811	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /k/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.091	3	.030	1.922	.133	.071
	Greenhouse-Geisser	.091	2.209	.041	1.922	.152	.071
	Huynh-Feldt	.091	2.432	.038	1.922	.147	.071
	Lower-bound	.091	1.000	.091	1.922	.178	.071
Error (time)	Sphericity Assumed	1.189	75	.016			
	Greenhouse-Geisser	1.189	55.222	.022			
	Huynh-Feldt	1.189	60.803	.020			
	Lower-bound	1.189	25.000	.048			

Tests des effets intra-sujets de /k/ du Group Normal

Test of Normality

Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.

Preop	.138	25	.200*	.940	25	.152
PO1	.124	25	.200*	.936	25	.120
PO2	.132	25	.200*	.936	25	.121
PO3	.101	25	.200*	.959	25	.394

xxx : le test de normalité de /v/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound
time	.853	3.621	5	.605	.903	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /v/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.027	3	.009	2.190	.097	.084
	Greenhouse-Geisser	.027	2.709	.010	2.190	.104	.084
	Huynh-Feldt	.027	3.000	.009	2.190	.097	.084
	Lower-bound	.027	1.000	.027	2.190	.152	.084
Error (time)	Sphericity Assumed	.296	72	.004			
	Greenhouse-Geisser	.296	65.028	.005			
	Huynh-Feldt	.296	72.000	.004			
	Lower-bound	.296	24.000	.012			

Tests des effets intra-sujets de /v/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.100	25	.200*	.973	25	.721
PO1	.097	25	.200*	.964	25	.499
PO2	.120	25	.200*	.953	25	.288
PO3	.129	25	.200*	.939	25	.140

le test de normalité de /f/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound
time	.747	6.642	5	.249	.855	.966	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /f/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
Sphericity Assumed	.166	3	.055	5.116	.003	.176	
time	Greenhouse-Geisser	.166	2.565	.065	5.116	.005	.176
	Huynh-Feldt	.166	2.899	.057	5.116	.003	.176

Error (time)	Lower-bound	.166	1.000	.166	5.116	.033	.176
	Sphericity Assumed	.776	72	.011			
	Greenhouse-Geisser	.776	61.568	.013			
	Huynh-Feldt	.776	69.569	.011			
	Lower-bound	.776	24.000	.032			

Tests des effets intra-sujets de /f/ du Group Normal

Pairwise comparison

Measure: Pic d'OAF

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^b	
					lower bound	upper bound
	2	.086	.031	.069	-.004	.176
1	3	.014	.033	1.000	-.081	.109
	4	-.023	.034	1.000	-.121	.075
	1	-.086	.031	.069	-.176	.004
2	3	-.072*	.021	.013	-.131	-.012
	4	-.109*	.027	.003	-.187	-.031
	1	-.014	.033	1.000	-.109	.081
3	2	.072*	.021	.013	.012	.131
	4	-.037	.028	1.000	-.117	.042
	1	.023	.034	1.000	-.075	.121
4	2	.109*	.027	.003	.031	.187
	3	.037	.028	1.000	-.042	.117

Comparaison par paire de /f/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.079	26	.200*	.980	26	.869
PO1	.112	26	.200*	.971	26	.638
PO2	.134	26	.200*	.955	26	.297
PO3	.119	26	.200*	.946	26	.187

le test de normalité de /z/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.877	3.124	5	.681	.914	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /z/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.013	1.978	.124	.073
	Greenhouse-Geisser	2.743	.014	1.978	.130	.073
	Huynh-Feldt	3.000	.013	1.978	.124	.073
	Lower-bound	1.000	.038	1.978	.172	.073
Error (time)	Sphericity Assumed	75	.006			
	Greenhouse-Geisser	68.570	.007			

Huynh-Feldt	.481	75.000	.006
Lower-bound	.481	25.000	.019

Tests des effets intra-sujets de de /z/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.133	25	.200*	.964	25	.505
PO1	.193	25	.017	.935	25	.113
PO2	.103	25	.200*	.938	25	.136
PO3	.175	25	.048	.920	25	.051

le test de normalité de /s/ du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic d'OAF

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.794	5.253	5	.386	.863	.976	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de /s/ du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic d'OAF

source	Type Sun squares	III df of	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.231	3	.077	4.676	.005	.163
	Greenhouse-Geisser	.231	2.588	.089	4.676	.007	.163
	Huynh-Feldt	.231	2.928	.079	4.676	.005	.163
	Lower-bound	.231	1.000	.231	4.676	.041	.163
Error (time)	Sphericity Assumed	1.186	72	.016			
	Greenhouse-Geisser	1.186	62.110	.019			
	Huynh-Feldt	1.186	70.275	.017			
	Lower-bound	1.186	24.000	.049			

Tests des effets intra-sujets de /s/ du Group Normal

Pairwise comparison

Measure: Pic d'OAF

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% interval for the difference ^b	confidence for the difference
					lower bound	upper bound
1	2	.109*	.034	.023	.011	.207
	3	.024	.031	1.000	-.065	.114
	4	-.015	.040	1.000	-.129	.099
2	1	-.109*	.034	.023	-.207	-.011
	3	-.085	.031	.068	-.174	.004
	4	-.124	.044	.058	-.252	.003
3	1	-.024	.031	1.000	-.114	.065
	2	.085	.031	.068	-.004	.174
	4	-.040	.036	1.000	-.143	.063
4	1	.015	.040	1.000	-.099	.129

2	.124	.044	.058	-.003	.252
3	.040	.036	1.000	-.063	.143

Comparaison par paire de /s/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.119	25	.200*	.961	25	.439
PO1	.128	25	.200*	.972	25	.693
PO2	.113	25	.200*	.947	25	.216
PO3	.098	25	.200*	.967	25	.565

le test de normalité de / z / du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic of OAF

(Within Subjects Effect)	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.958	.972	5	.965	.974	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de / z / du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic of OAF

source	Type Sum squares	III df of	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.049	3	.016	2.505	.066	.095
	Greenhouse-Geisser	.049	2.922	.017	2.505	.068	.095
	Huynh-Feldt	.049	3.000	.016	2.505	.066	.095
	Lower-bound	.049	1.000	.049	2.505	.127	.095
Error (time)	Sphericity Assumed	.468	72	.007			
	Greenhouse-Geisser	.468	70.131	.007			
	Huynh-Feldt	.468	72.000	.007			
	Lower-bound	.468	24.000	.020			

Tests des effets intra-sujets de / 3 / du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.158	25	.111	.941	25	.154
PO1	.127	25	.200*	.958	25	.371
PO2	.096	25	.200*	.969	25	.613
PO3	.149	25	.158	.953	25	.296

le test de normalité de / f / du Group Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Pic of OAF

(Within	Mauchly's W	Approx.Ch	df	Sig.	Epsilon ^b

Subjects Effect)	i-Square	Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound			
time	.809	4.804	5	.441	.898	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de / f / du Group Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Pic of OAF

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	.179	3	.060	3.444	.021	.125
	Greenhouse-Geisser	.179	2.693	.066	3.444	.026	.125
	Huynh-Feldt	.179	3.000	.060	3.444	.021	.125
	Lower-bound	.179	1.000	.179	3.444	.076	.125
Error (time)	Sphericity Assumed	1.247	72	.017			
	Greenhouse-Geisser	1.247	64.634	.019			
	Huynh-Feldt	1.247	72.000	.017			
	Lower-bound	1.247	24.000	.052			

Tests des effets intra-sujets de / f / du Group Normal

Pairwise comparison

Measure: Pic of OAF

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^a	95% confidence interval for the difference	lower bound	upper bound
1	2	.074	.040	.457	-.041	.189	
	3	-.021	.036	1.000	-.125	.082	

	4	-.036	.042	1.000	-.156	.084
	1	-.074	.040	.457	-.189	.041
2	3	-.096	.039	.140	-.209	.018
	4	-.110*	.034	.023	-.208	-.011
3	1	.021	.036	1.000	-.082	.125
	2	.096	.039	.140	-.018	.209
	4	-.014	.031	1.000	-.103	.074
4	1	.036	.042	1.000	-.084	.156
	2	.110*	.034	.023	.011	.208
	3	.014	.031	1.000	-.074	.103

Comparaison par paire de /j/ du Group Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.151	25	.147	.927	25	.074
PO1	.119	25	.200*	.953	25	.289
PO2	.145	25	.183	.926	25	.070
PO3	.110	25	.200*	.962	25	.458

le test de normalité du PIO /b/ du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: PIO

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound

time	.940	1.400	5	.924	.960	1.000	.333
------	------	-------	---	------	------	-------	------

Le test de la sphéricité de Mauchly du PIO /b/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: PIO

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	11.875	3	3.958	5.159	.003	.177
	Greenhouse-Geisser	11.875	2.879	4.124	5.159	.003	.177
	Huynh-Feldt	11.875	3.000	3.958	5.159	.003	.177
	Lower-bound	11.875	1.000	11.875	5.159	.032	.177
误差 (time)	Sphericity Assumed	55.247	72	.767			
	Greenhouse-Geisser	55.247	69.105	.799			
	Huynh-Feldt	55.247	72.000	.767			
	Lower-bound	55.247	24.000	2.302			

Tests des effets intra-sujets du PIO /b/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: PIO

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^{b b}	
					lower bound	upper bound
	2	.548	.220	.120	-.085	1.181
1	3	-.209	.248	1.000	-.922	.504
	4	-.362	.260	1.000	-1.108	.385
2	1	-.548	.220	.120	-1.181	.085
	3	-.757*	.245	.030	-1.461	-.053
	4	-.910*	.267	.014	-1.678	-.142
3	1	.209	.248	1.000	-.504	.922
	2	.757*	.245	.030	.053	1.461
	4	-.153	.244	1.000	-.856	.550
4	1	.362	.260	1.000	-.385	1.108
	2	.910*	.267	.014	.142	1.678
	3	.153	.244	1.000	-.550	.856

Comparaison par paire du PIO /b/ du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.155	21	.200*	.949	21	.332
PO1	.094	21	.200*	.973	21	.795
PO2	.131	21	.200*	.919	21	.083
PO3	.100	21	.200*	.961	21	.533

le test de normalité du PIO /p/ du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: PIO

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.775	4.770	5	.445	.880	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du PIO /p/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: PIO

source	Type Sum of squares	III df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	24.521	3	8.174	6.621	.001	.249
	Greenhouse-Geisser	24.521	2.641	9.286	6.621	.001	.249
	Huynh-Feldt	24.521	3.000	8.174	6.621	.001	.249
	Lower-bound	24.521	1.000	24.521	6.621	.018	.249
Error (time)	Sphericity Assumed	74.070	60	1.234			
	Greenhouse-Geisser	74.070	52.812	1.403			
	Huynh-Feldt	74.070	60.000	1.234			

Tests des effets intra-sujets du PIO /p/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MPT

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^b	
					lower bound	upper bound
	2	.615	.363	.634	-.447	1.677
1	3	-.262	.402	1.000	-1.438	.914
	4	-.891*	.278	.027	-1.704	-.077
2	1	-.615	.363	.634	-1.677	.447
	3	-.877	.359	.144	-1.928	.175
	4	-1.506*	.335	.001	-2.485	-.526
3	1	.262	.402	1.000	-.914	1.438
	2	.877	.359	.144	-.175	1.928
	4	-.629	.307	.324	-1.527	.270
4	1	.891*	.278	.027	.077	1.704
	2	1.506*	.335	.001	.526	2.485
	3	.629	.307	.324	-.270	1.527

Comparaison par paire du PIO /p/ du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.088	26	.200*	.972	26	.680

PO1	.139	26	.200*	.933	26	.092
PO2	.123	26	.200*	.938	26	.124
PO3	.115	26	.200*	.954	26	.280

le test de normalité de la F0 du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F0

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.735	7.295	5	.200	.838	.940	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de la F0 du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F0

source		Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	2332.519	3	777.506	1.626	.191	.061
	Greenhouse-Geisser	2332.519	2.515	927.360	1.626	.199	.061
	Huynh-Feldt	2332.519	2.820	827.281	1.626	.194	.061
	Lower-bound	2332.519	1.000	2332.519	1.626	.214	.061
Error (time)	Sphericity Assumed	35868.931	75	478.252			
	Greenhouse-Geisser	35868.931	62.881	570.429			
	Huynh-Feldt	35868.931	70.488	508.869			
	Lower-bound	35868.931	25.000	1434.757			

Tests des effets intra-sujets de la F0 du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.079	19	.200*	.979	19	.930
PO1	.129	19	.200*	.974	19	.859
PO2	.143	19	.200*	.932	19	.189
PO3	.113	19	.200*	.973	19	.837

le test de normalité de la F0-F du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F0-F

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound
time	.728	5.318	5	.379	.833	.978	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de la F0-F du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F0-F

source		Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	2392.135	3	797.378	1.313	.280	.068
	Greenhouse-Geisser	2392.135	2.498	957.496	1.313	.282	.068

	Huynh-Feldt	2392.135	2.933	815.562	1.313	.280	.068
	Lower-bound	2392.135	1.000	2392.135	1.313	.267	.068
	Sphericity Assumed	32803.528	54	607.473			
Error (time)	Greenhouse-Geisser	32803.528	44.970	729.456			
	Huynh-Feldt	32803.528	52.796	621.326			
	Lower-bound	32803.528	18.000	1822.418			

Tests des effets intra-sujets de la F0-F du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.201	6	.200*	.953	6	.763
PO1	.225	6	.200*	.911	6	.442
PO2	.224	6	.200*	.902	6	.384
PO3	.187	6	.200*	.925	6	.544

le test de normalité de la F0-F du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F0-M

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse- Geisser	Huynh-Feldt	Lower -bound
time	.151	7.041	5	.231	.474	.608	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de la F0-F du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F0-F

source	Type	III	df	Mean	F	Sig.	Partial
	Sun	of		Square			Eta
	squares						Squared
time	Sphericity Assumed	300.141	3	100.047	1.160	.358	.188
	Greenhouse-Geisser	300.141	1.422	211.099	1.160	.344	.188
	Huynh-Feldt	300.141	1.825	164.446	1.160	.350	.188
	Lower-bound	300.141	1.000	300.141	1.160	.331	.188
Error (time)	Sphericity Assumed	1293.770	15	86.251			
	Greenhouse-Geisser	1293.770	7.109	181.990			
	Huynh-Feldt	1293.770	9.126	141.770			
	Lower-bound	1293.770	5.000	258.754			

Tests des effets intra-sujets de la F0-F du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.099	24	.200*	.956	24	.357
PO1	.110	24	.200*	.976	24	.812
PO2	.130	24	.200*	.960	24	.447
PO3	.117	24	.200*	.927	24	.085

le test de normalité du F2 /i/ du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F2

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser		
time	.501	15.023	5	.010	.727	.806	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du F2 /i/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F2

源		III 型平方和	df	均方	F	Sig.	偏 Eta 方
time	Sphericity Assumed	25957.781	3	8652.594	.731	.537	.031
	Greenhouse-Geisser	25957.781	2.180	11907.351	.731	.498	.031
	Huynh-Feldt	25957.781	2.417	10740.199	.731	.510	.031
	Lower-bound	25957.781	1.000	25957.781	.731	.401	.031
Error (time)	Sphericity Assumed	816872.969	69	11838.739			
	Greenhouse-Geisser	816872.969	50.140	16291.996			
	Huynh-Feldt	816872.969	55.588	14695.063			
	Lower-bound	816872.969	23.000	35516.216			

Tests des effets intra-sujets du F2 /i/ du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.086	24	.200*	.966	24	.558
PO1	.138	24	.200*	.962	24	.486
PO2	.101	24	.200*	.983	24	.946
PO3	.134	24	.200*	.957	24	.390

le test de normalité du F2 /a/ du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F2

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.801	4.830	5	.437	.888	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du F2 /a/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F2

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	29778.781	3	9926.260	.245	.865
	Greenhouse-Geisser	29778.781	2.663	11183.097	.245	.842
	Huynh-Feldt	29778.781	3.000	9926.260	.245	.865
	Lower-bound	29778.781	1.000	29778.781	.245	.625
Error (time)	Sphericity Assumed	2796025.969	69	40522.115		
	Greenhouse-Geisser	2796025.969	61.245	45652.917		
	Huynh-Feldt	2796025.969	69.000	40522.115		
	Lower-bound	2796025.969	23.000	121566.346		

Tests des effets intra-sujets du F2 /a/ du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.111	24	.200*	.951	24	.285
PO1	.091	24	.200*	.975	24	.791

PO2	.116	24	.200*	.981	24	.912
PO3	.105	24	.200*	.977	24	.825

le test de normalité du F2 /u/ du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: F2

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Time	.661	8.994	5	.110	.828	.936	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du F2 /u/ du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: F2

source		Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	15135.281	3	5045.094	.905	.444	.038
	Greenhouse-Geisser	15135.281	2.483	6096.038	.905	.429	.038
	Huynh-Feldt	15135.281	2.807	5392.391	.905	.438	.038
	Lower-bound	15135.281	1.000	15135.281	.905	.351	.038
Error (time)	Sphericity Assumed	384854.469	69	5577.601			
	Greenhouse-Geisser	384854.469	57.105	6739.472			
	Huynh-Feldt	384854.469	64.556	5961.555			
	Lower-bound	384854.469	23.000	16732.803			

Tests des effets intra-sujets du F2 /u/ du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.111	22	.200*	.953	22	.357
PO1	.145	22	.200*	.933	22	.144
PO2	.169	22	.101	.941	22	.208
PO3	.234	22	.003	.885	22	.015

le test de normalité du jitter du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Jitter

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.953	.956	5	.966	.968	1.000	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du jitter du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Jitter

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
time	Sphericity Assumed	3	.003	.367	.777	.017
	Greenhouse-Geisser	2.903	.003	.367	.770	.017
	Huynh-Feldt	3.000	.003	.367	.777	.017
	Lower-bound	1.000	.010	.367	.551	.017
Error	Sphericity Assumed	63	.009			

(time)	Greenhouse-Geisser	.550	60.968	.009
	Huynh-Feldt	.550	63.000	.009
	Lower-bound	.550	21.000	.026

Tests des effets intra-sujets du jitter du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.171	23	.081	.931	23	.114
PO1	.156	23	.150	.936	23	.144
PO2	.104	23	.200*	.980	23	.906
PO3	.097	23	.200*	.970	23	.688

le test de normalité du shimmer du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: Shimmer

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
time	.751	5.924	5	.314	.828	.942	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly du shimmer du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Shimmer

source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	12.660	3	4.220	3.016	.036	.121
	Greenhouse-Geisser	12.660	2.484	5.096	3.016	.047	.121
	Huynh-Feldt	12.660	2.825	4.481	3.016	.039	.121
	Lower-bound	12.660	1.000	12.660	3.016	.096	.121
Error (time)	Sphericity Assumed	92.354	66	1.399			
	Greenhouse-Geisser	92.354	54.655	1.690			
	Huynh-Feldt	92.354	62.158	1.486			
	Lower-bound	92.354	22.000	4.198			

Tests des effets intra-sujets du shimmer du Groupe Normal

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: Shimmer

(I) time	(J) time	Mean difference (I-J)	Standard Error	Sig. ^b	95% confidence interval for the difference ^b	
					lower bound	upper bound
1	2	-1.023*	.299	.015	-1.890	-.156
	3	-.536	.326	.687	-1.480	.409
	4	-.331	.398	1.000	-1.486	.824
2	1	1.023*	.299	.015	.156	1.890
	3	.487	.347	1.000	-.518	1.493
	4	.692	.410	.630	-.495	1.879
3	1	.536	.326	.687	-.409	1.480

	2	-.487	.347	1.000	-1.493	.518
	4	.205	.296	1.000	-.653	1.063
	1	.331	.398	1.000	-.824	1.486
4	2	-.692	.410	.630	-1.879	.495
	3	-.205	.296	1.000	-1.063	.653

Comparaison par paire du shimmer du Groupe Normal

Test of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Preop	.101	26	.200*	.972	26	.689
PO1	.176	26	.036	.925	26	.059
PO2	.093	26	.200*	.974	26	.734
PO3	.093	26	.200*	.982	26	.918

le test de normalité de la HNR du Groupe Normal

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: HNR

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx.Ch i-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower bound
time	.729	7.500	5	.186	.825	.923	.333

Le test de la sphéricité de Mauchly de la HNR du Groupe Normal

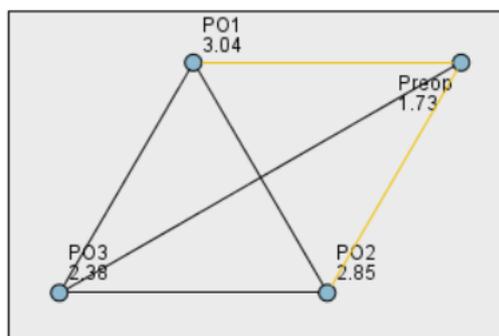
Tests of Within-Subjects Effects

Measure: HNR

source	Type Sum squares	III df of	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
time	Sphericity Assumed	26.285	3	8.762	1.254	.296	.048
	Greenhouse-Geisser	26.285	2.475	10.620	1.254	.296	.048
	Huynh-Feldt	26.285	2.768	9.496	1.254	.297	.048
	Lower-bound	26.285	1.000	26.285	1.254	.273	.048
Error (time)	Sphericity Assumed	524.004	75	6.987			
	Greenhouse-Geisser	524.004	61.875	8.469			
	Huynh-Feldt	524.004	69.201	7.572			
	Lower-bound	524.004	25.000	20.960			

Tests des effets intra-sujets de la HNR du Groupe Normal

Comparaisons par paire



Chaque nœud affiche le rang moyen de l'échantillon.

Echantillon1-Echantillon2	Statistique de test	Erreur standard	Std. Statistique de test	Sig.	Sig.ajus.
Preop-P03	-.654	.358	-1.826	.068	.407
Preop-P02	-1.115	.358	-3.115	.002	.011
Preop-P01	-1.308	.358	-3.652	.000	.002
P03-P02	.462	.358	1.289	.197	1.000
P03-P01	.654	.358	1.826	.068	.407
P02-P01	.192	.358	.537	.591	1.000

Chaque ligne teste l'hypothèse nulle que les distributions de l'échantillon 1 et de l'échantillon 2 sont identiques. Les significations asymptotiques (test bilatéraux) sont affichées. Le niveau de signification est .05.

Tests non paramétrique du VHI des du Groupe Normal

Auto-estimation du Handicap Vocal (Voice Handicap Index VHI)

Nom :

Prénom :

Date :

Les affirmations ci-dessous sont exprimées par de nombreuses personnes à propos de leur voix et des effets de la déficience de cette voix sur leur vie quotidienne. Indiquez à quelle fréquence vous les formulerez pour vous-même en entourant **0** pour **jamais**, **1** pour **presque jamais**, **2** pour **parfois**, **3** pour **presque toujours** et **4** pour **toujours**. Puis faites la somme des chiffres entourés.

1-F1. « On m'entend difficilement à cause de ma voix ».....0 1 2 3
4

2-P1. « Je suis à court de souffle quand je parle ».....0 1 2 3
4

3-F2. « On me comprend difficilement dans un milieu bruyant » ...0 1 2 3
4

4-P2. « Le son de ma voix varie en cours de journée ».....0 1 2 3
4

5-F3. « Ma famille a du mal à m'entendre quand j'appelle dans une autre pièce ».....0 1 2 3
4

6-F4. « Je téléphone moins souvent que je le voudrais ».....0 1 2 3
4

7-E1. « Je suis tendu(e) quand je parle aux autres, à cause de ma voix ».....0 1 2 3
4

8-F5. « J'ai tendance à éviter les groupes à cause de ma voix ».....0 1 2 3
4

9-E2. « Les gens semblent irrités par ma voix ».....0 1 2 3
4

10-P3. On me demande : « qu'est-ce qui ne va pas avec ta voix? ».....0 1 2 3
4

11-F6. « Je parle moins souvent avec mes amis et mes connaissances à cause de ma voix ».....0 1 2 3
4

12-F7. « Les gens me demandent de répéter quand je parle avec eux ».....0	1	2	3
4			
13-P4. « Ma voix est sèche et cassante ».....0	1	2	3
4			
14-P5. « J'ai l'impression de forcer pour produire ma voix ».....0	1	2	3
4			
15-E3. « Je trouve que les autres ne comprennent pas mon problème de voix ».....0	1	2	3
4			
16-F8. « Mes difficultés vocales limitent ma vie personnelle et sociale ».....0	1	2	3
4			
17-P6. « La qualité de ma voix est imprévisible ».....0	1	2	3
4			
18-P7. « J'essaye de changer ma voix pour qu'elle sonne différemment ».....0	1	2	3
4			
19-F9. « Je me sens exclu(e) des conversations à cause de ma voix ».....0	1	2	3
4			
20-P8. « Je fais beaucoup d'efforts pour parler ».....0	1	2	3
4			
21-P9. « Ma voix est plus mauvaise le soir ».....0	1	2	3
4			
22-F10. « Mon problème de voix entraîne pour moi une perte de revenus ».....0	1	2	3
4			
23-E4. « Mon problème de voix me contrarie ».....0	1	2	3
4			
24-E5. « Je sors moins à cause de mon problème de voix ».....0	1	2	3
4			
25-E6. « Je me sens handicapé(e) par ma voix ».....0	1	2	3
4			

26-P10. « Ma voix s'en va en milieu de conversation ».....0	1	2	3
4			
27-E7. « Je suis agacé(e) quand les gens me demandent de répéter ».....0	1	2	3
4			
28-E8. « Cela me gêne si l'on me demande de répéter ».....0	1	2	3
4			
29-E9. « A cause de ma voix je me sens incompetent(e) ».....0	1	2	3
4			
30-E10. « J'ai honte de mon problème de voix ».....0	1	2	3
4			

Total :/120

Consentement de Participation

NOM :

Prénom :

Les données collectées font l'objet d'un traitement informatisé destiné à la Recherche en Phonétique Clinique et plus particulièrement sur la qualité vocale après thyroïdectomie.

Pour répondre à cet objectif, nous avons besoin d'enregistrer (en audio et en aérodynamique) et de façon totalement anonyme, des personnes saines et/ou présentant une pathologie thyroïdienne. La tâche consiste à enregistrer la personne (qui peut être accompagnée d'un proche) alors qu'elle réalise une série de tests en français.

Nous menons nos enregistrements à l'aide d'un petit magnétophone numérique et d'une station aérodynamique EVA².

Les personnes sont libres de ne pas contribuer et/ou de cesser la séance à tout moment.

Toutes les analyses résultant de l'étude scientifique de ces données langagières respecteront toutes les conditions relatives à la protection des personnes (anonymat) définies par le comité d'éthique de l'Université de Strasbourg auxquelles notre unité de recherche est soumise.

Nous vous remercions très sincèrement de votre contribution au projet.

Les destinataires des données sont Camille FAUTH et le responsable du traitement est Ming XIU.

Conformément à la loi "informatique et libertés" du 6 janvier 1978 modifiée, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations et données qui vous concernent. Si vous souhaitez exercer ce droit et obtenir communication des informations vous concernant, veuillez vous adresser à l'Institut de Phonétique de Strasbourg, Université de Strasbourg 22 rue René Descartes 67085 Strasbourg cedex.

Camille Fauth
cfauth@unistra.fr
Maître de conférences en Phonétique Générale et Expérimentale
Université de Strasbourg
Institut de Phonétique - U.R. Parole et Cognition
E.A. 1339 LiLPa

Date et Signature

Tableaux

Tableau II-1 Les valeurs du MPT selon différentes études	59
Tableau II-2 Pic du débit d'air moyen de 25 sujets masculins et 25 sujets féminins ..	61
Tableau II-3 PIO des consonnes occlusives.....	62
Tableau II-4 PIO selon l'âge et le sexe.....	62
Tableau II-5 Les paramètres de le F0 selon les études différentes	67
Tableau II-6 Les valeurs des F1 et F2 dans les travaux de Hong et al., (2017).....	68
Tableau II-7 Les paramètres du jitter selon les différentes études.....	70
Tableau II-8 Les paramètres du shimmer selon les différentes études	71
Tableau II-9 Les paramètres du jitter et du shimmer en Préop et Post	71
Tableau II-10 Les paramètres du NHR selon les différentes études.....	73
Tableau II-11 Les différences de l'amplitude de H1-H2, H1-L1 et H1-L3	75
Tableau III-1 Déroulement de l'enregistrement	91
Tableau IV-1 Valeur moyenne du Groupe Normal	108
Tableau IV-2 Valeurs MPT anormales du Groupe Normal.....	109
Tableau IV-3 Valeurs de MPT du Groupe présentant une paralysie	110
Tableau IV-4 valeurs MPT atypiques dans le Groupe Normal.....	112
Tableau IV-5 Valeur moyenne de l'OAF du Groupe Normal	117
Tableau IV-6 Valeurs de l'OAF anormale du patient du Groupe Normal.....	117
Tableau IV-7 Valeurs de l'OAF du Groupe présentant une paralysie.....	118
Tableau IV-8 Valeurs atypiques de l'OAF dans le Groupe Normal.....	119
Tableau IV-9 Valeurs moyennes de l'OAF du /i/ du Groupe Normal.....	125
Tableau IV-10 Valeurs moyennes de l'OAF du /a/ du Groupe Normal	127
Tableau IV-11 Valeur moyenne de l'OAF du /u/ du Groupe Normal	129
Tableau IV-12 Comparaison des trois voyelles du Groupe Normal	130
Tableau IV-13 OAF de /i/ de trois patients paralysés.....	135
Tableau IV-14 OAF de /a/ de trois patients paralysés	136
Tableau IV-15 OAF de /u/ de trois patients paralysés.....	137
Tableau IV-16 Ecart-types de l'OAF de 3 voyelles du Groupe présentant une paralysie	139
Tableau IV-17 Ecart-types de l'OAF de 3 voyelles du Groupe Normal	139
Tableau IV-18 Valeurs atypiques (AT) du /i/ dans le Groupe Normal.....	140
Tableau IV-19 Valeurs atypiques (AT) du /a/ dans le Groupe Normal.....	141
Tableau IV-20 Valeurs atypiques (AT) du /u/ dans le Groupe Normal.....	143
Tableau IV-21 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (GN).....	146
Tableau IV-22 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /b/ vs. /p/ du Groupe Normal .	150
Tableau IV-23 Valeur anormale de l'OAF du patient n° 13 du Group Normal	151
Tableau IV-24 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du Group Normal....	154
Tableau IV-25 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /g/ vs. /k/ du Groupe Normal .	156
Tableau IV-26 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /v/ vs. /f/ du Groupe Normal..	159
Tableau IV-27 Valeur anormale de l'OAF du patient n° 21 du Group Normal.....	160

Tableau IV-28 Valeur anormale de l'OAF du patient n° 28 du Groupe Normal	161
Tableau IV-29 Valeur moyenne du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du Groupe Normal..	163
Tableau IV-30 Valeur anormale du Pic de l'OAF /s/ du patient n° 28 du Groupe Normal	164
Tableau IV-31 Résultat du Pic de l'OAF de /z/ vs. /j/ du Groupe Normal.....	167
Tableau IV-32 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /j/ du patient n° 28 du Groupe Normal	167
Tableau IV-33 Résultat du Pic des 12 consonnes du Groupe Normal.....	169
Tableau IV-34 Ecart-types des 12 consonnes du Groupe Normal.....	170
Tableau IV-35 Valeur du Pic de l'OAF du / b / des patients du Groupe présentant une paralysie	175
Tableau IV-36 Valeur du Pic de l'OAF du / p / des patients du Groupe présentant une paralysie	175
Tableau IV-37 Valeur du Pic de l'OAF du / d / des patients du Groupe présentant une paralysie	179
Tableau IV-38 Valeur du Pic de l'OAF du / t / des patients du Groupe présentant une paralysie	179
Tableau IV-39 Valeur du Pic de l'OAF du / g / des patients du Groupe présentant une paralysie	182
Tableau IV-40 Valeur du Pic de l'OAF du / k / des patients du Groupe présentant une paralysie	182
Tableau IV-41 Valeur du Pic de l'OAF du / v / des patients du Groupe présentant une paralysie	184
Tableau IV-42 Valeur du Pic de l'OAF du / f / des patients du Groupe présentant une paralysie	184
Tableau IV-43 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ des patients du Groupe présentant une paralysie	187
Tableau IV-44 Valeur du Pic de l'OAF du /s/ des patients du Groupe présentant une paralysie	187
Tableau IV-45 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ des patients du Groupe présentant une paralysie	190
Tableau IV-46 Valeur du Pic de l'OAF du /j/ des patients du Groupe présentant une paralysie	190
Tableau IV-47 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal.....	194
Tableau IV-48 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal.....	195
Tableau IV-49 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal.....	195
Tableau IV-50 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal.....	196
Tableau IV-51 Résultat du F0 du Groupe Normal.....	206
Tableau IV-52 Valeur F0 anormale du Groupe Normal.....	206
Tableau IV-53 Résultat du F0 des Patientes féminines du Groupe Normal	208
Tableau IV-54 Résultat du F0 des Patients masculins du Groupe Normal.....	210
Tableau IV-55 Valeur F0 anormale du Groupe Normal.....	210
Tableau IV-56 Résultat du F0 du Groupe Normal.....	213

Tableau IV-57 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal	214
Tableau IV-58 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /i/ du Groupe Normal	220
Tableau IV-59 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /a/ du Groupe Normal	223
Tableau IV-60 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /u/ du Groupe Normal	226
Tableau IV-61 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /i/ du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e ...	228
Tableau IV-62 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /a/ du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e ..	229
Tableau IV-63 R é s u l t a t du F1 et du F2 du /u/ du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e ..	230
Tableau IV-64 Aire de l' espace vocalique des 2 groupes.....	235
Tableau IV-65 Valeurs du Jitter du Groupe Normal	241
Tableau IV-66 Valeurs du Shimmer du Groupe Normal.....	241
Tableau IV-67 Valeurs anormales du jitter du Groupe Normal	242
Tableau IV-68 Valeurs anormales du shimmer du Groupe Normal	242
Tableau IV-69 Jitter du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e	245
Tableau IV-70 Shimmer du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e.....	245
Tableau IV-71 Valeurs atypiques (AT) du jitter dans le Groupe Normal	246
Tableau IV-72 Valeurs atypiques (AT) du shimmer dans le Groupe Normal	246
Tableau IV-73 R é s u l t a t du HNR du Groupe Normal	248
Tableau IV-74 Valeurs anormales du HNR du Groupe Normal.....	248
Tableau IV-75 HNR du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e	250
Tableau IV-76 Valeurs atypiques (AT) du HNR dans le Groupe Normal	251
Tableau IV-77 R é s u l t a t du VHI du Groupe Normal.....	253
Tableau IV-78 VHI du Groupe pr é s e n t a n t u n e p a r a l y s i e	255

Figures

Figure I-1 Les organes phonatoires.....	25
Figure I-2 Muscles respiratoires	26
Figure I-3 Le larynx	27
Figure I-4 Les muscles laryngés	29
Figure I-5 la théorie du source-filter	30
Figure I-6 Le cycle de vibration vocale	31
Figure I-7 La glande thyroïde	35
Figure I-8 Un lobe de la glande thyroïde	36
Figure I-9 Le système de sécrétion de T3, T4 et TSH	37
Figure I-10 Alimentation vasculaire de la glande thyroïde	38
Figure I-11 Les glandes parathyroïdes	39
Figure I-12 Une lobectomie thyroïdienne : un lobe de la thyroïde est enlevé.....	44
Figure I-13 Nerf laryngé récurrent.....	46
Figure I-14 RLN normal (A) et RLN non récurrent (B)	47
Figure I-15 Les muscles crico-thyroïdiens	48
Figure I-16 Les variations anatomiques de l'EBSLN.....	49
Figure I-17 Paralysies des plis vocaux.....	52
Figure III-1 Embout pour la mesure de la pression intra-orale (à gauche) et après installation au système EVA2 (à droite)	85
Figure III-2 Position du tube dans la cavité orale en fonction des consonnes produites	85
Figure III-3 Evaluation du PSG via PIO.....	95
Figure III-4 Le jitter, le shimmer et le HNR.....	96
Figure IV-1 Résultats de l'analyse Box Plot des données du MPT du Groupe Normal	107
Figure IV-2 Le résultat du MPT des 4 phases du Groupe Normal	108
Figure IV-3 Résultat du MPT des 4 phases du Groupe présentant une paralysie.....	110
Figure IV-4 Valeurs MPT atypiques dans le Groupe Normal	111
Figure IV-5 MPT de tous les patients du GN	114
Figure IV-6 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du Groupe Normal	116
Figure IV-7 Résultats de l'OAF des 4 phases du Groupe Normal	117
Figure IV-8 Résultats de l'OAF des 4 phases du Groupe présentant une paralysie ..	118
Figure IV-9 Valeurs atypiques de l'OAF dans le Groupe Normal	119
Figure IV-10 Compresse absorbables	121
Figure IV-11 Anesthésie locale pour le Redon.....	121
Figure IV-12 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF pour le /i/ du Groupe Normal	124
Figure IV-13 Résultats de l'OAF pour le /i/ du Groupe Normal.....	124

Figure IV-14 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du /a/ du Groupe Normal	126
Figure IV-15 Résultats de l'OAF du /a/ du Groupe Normal	126
Figure IV-16 Résultats de l'analyse Box Plot des données de l'OAF du /u/ du Groupe Normal	128
Figure IV-17 Résultats de l'OAF du /u/ du Groupe Normal	129
Figure IV-18 Résultats de l'OAF des 3 voyelles du Groupe Normal.....	130
Figure IV-19 Ecart-types de l'OAF des 3 voyelles du Groupe Normal	131
Figure IV-20 L'OAF du /i/ de 10 patients choisis aléatoirement	132
Figure IV-21 L'OAF du /a/ de 10 patients choisis aléatoirement.....	132
Figure IV-22 L'OAF du /u/ de 10 patients choisis aléatoirement	132
Figure IV-23 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°2	Figure IV-24 L'OAF de 3
Voyelles de Patient n°3	133
Figure IV-25 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n° 11	Figure IV-26 L'OAF de 3
Voyelles de Patient n°9	133
Figure IV-27 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n° 12	Figure IV-28 L'OAF de 3
Voyelles de Patient n° 17	133
Figure IV-29 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n°24	Figure IV-30 L'OAF de 3
Voyelles de Patient n° 19	134
Figure IV-31 L'OAF de 3 Voyelles de Patient n° 28	Figure IV-32 L'OAF de 3
Voyelles de Patient n°31	134
Figure IV-33 Résultats de l'OAF du /i/ du Groupe présentant une paralysie.....	135
Figure IV-34 Résultats de l'OAF du /a/ du Groupe présentant une paralysie.....	136
Figure IV-35 Résultats de l'OAF du /u/ du Groupe présentant une paralysie.....	137
Figure IV-36 OAF des 3 voyelles du Patient n°4	138
Figure IV-37 OAF des 3 voyelles du Patient n° 15	138
Figure IV-38 OAF des 3 voyelles du Patient n°27	139
Figure IV-39 Valeurs atypiques (AT) du /i/ dans le Groupe Normal	140
Figure IV-40 Valeurs atypiques du /a/ dans le Groupe Normal	141
Figure IV-41 Valeurs atypiques (AT) du /u/ dans le Groupe Normal	142
Figure IV-42 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (GN)	145
Figure IV-43 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°4 du GP)	146
Figure IV-44 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°15 du GP)	146
Figure IV-45 /a/ soutenue vs. /a/ du MPT (Patient n°27 du GP)	146
Figure IV-46 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Pic du /b/ du Groupe Normal	149
Figure IV-47 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs de Pic du /p/ du Groupe Normal	149
Figure IV-48 Résultat du Pic de l'OAF de /b/ vs. /p/ du Groupe Normal	150
Figure IV-49 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /p/ du patient n° 13 du Groupe Normal	151
Figure IV-50 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic de /d/ du Groupe Normal	152

Figure IV-51 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic de /t/ du Groupe Normal	153
Figure IV-52 Résultat du Pic de l'OAF de /d/ vs. /t/ du Groupe Normal	153
Figure IV-53 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /g/ du Groupe Normal	155
Figure IV-54 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /k/ du Groupe Normal	155
Figure IV-55 Résultat du Pic de l'OAF de /g/ vs. /k/ du Groupe Normal	156
Figure IV-56 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic de /v/ du Groupe Normal	158
Figure IV-57 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /f/ du Groupe Normal	158
Figure IV-58 Résultat du Pic de l'OAF de /v/ vs. /f/ du Groupe Normal	159
Figure IV-59 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /v/ du patient n° 21 du Groupe Normal	160
Figure IV-60 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /f/ du patient n° 28 du Groupe Normal	160
Figure IV-61 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /z/ du Groupe Normal	162
Figure IV-62 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs de Pic du /s/ du Groupe Normal	162
Figure IV-63 Résultat du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du Groupe Normal	163
Figure IV-64 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /s/ du patient n° 28 du Groupe Normal	164
Figure IV-65 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /ʒ/ du Groupe Normal	165
Figure IV-66 Résultat de l'analyse par Box Plot des valeurs du Pic du /ʃ/ du Groupe Normal	166
Figure IV-67 Résultat du Pic de l'OAF de /ʒ/ vs. /ʃ/ du Groupe Normal	166
Figure IV-68 Valeur anormale du Pic de l'OAF du /ʃ/ du patient n° 28 du Groupe Normal	167
Figure IV-69 Résultat du Pic des 12 consonnes du Groupe Normal	169
Figure IV-70 Ecart-types des 12 consonnes du Groupe Normal	170
Figure IV-71 Valeurs de 12 Pics du patient n° 1 du patient n° 3	Figure IV-72 Valeurs de 12 Pics 172
Figure IV-73 Valeurs de 12 Pics du patient n° 7 du patient n° 10	Figure IV-74 Valeurs de 12 Pics 172
Figure IV-75 Valeurs de 12 Pics du patient n° 14 du patient n° 16	Figure IV-76 Valeurs de 12 Pics 173
Figure IV-77 Valeurs de 12 Pics du patient n° 17 du patient n° 20	Figure IV-78 Valeurs de 12 Pics 173
Figure IV-79 Valeurs de 12 Pics du patient n° 30 du patient n° 31	Figure IV-80 Valeurs de 12 Pics 173

Figure IV-81 Valeur du Pic de l'OAF du / b / (à gauche) et du /p/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	175
Figure IV-82 Valeur du Pic de l'OAF de / b / vs. /p/ du patient n° 4 du Groupe présentant une paralysie (à gauche) et du patient n° 5 du Groupe présentant une paralysie (à droite)	176
Figure IV-83 Valeur du Pic de l'OAF de / b / vs. /p/ du patient n° 15 du Groupe présentant une paralysie (à gauche) et du patient n° 27 du Groupe présentant une paralysie (à droite)	177
Figure IV-84 Valeur du Pic de l'OAF du / d / (à gauche) et du /t/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	178
Figure IV-85 Valeur du Pic de l'OAF de / d / vs. /t/ du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	180
Figure IV-86 Valeur du Pic de l'OAF de / d / vs. /t/ du patient n° 15 (à gauche) et du patient n° 27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie (valeurs non normalisées étant donné le sévère de la paralysie du n° 27).....	181
Figure IV-87 Valeur du Pic de l'OAF du / g / (à gauche) et du /k/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	181
Figure IV-88 Valeur du Pic de l'OAF du / g / vs. /k/ du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	183
Figure IV-89 Valeur du Pic de l'OAF du / g / vs. /k/ du patient n° 15 (à gauche) et du patient n° 27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	183
Figure IV-90 Valeur du Pic de l'OAF du / v / (à gauche) et du /f/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	184
Figure IV-91 Valeur du Pic de l'OAF du / v / vs. / f / du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	186
Figure IV-92 Valeur du Pic de l'OAF / v / vs. / f / du patient n° 15 (à gauche) et du patient n° 27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	186
Figure IV-93 Valeur du Pic de l'OAF du /z/ (à gauche) et du /s/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	187
Figure IV-94 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	189
Figure IV-95 Valeur du Pic de l'OAF de /z/ vs. /s/ du patient n° 15 (à gauche) et du patient n° 27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	189
Figure IV-96 Valeur du Pic de l'OAF du /ʒ/ (à gauche) et du /ʃ/ (à droite) des patients du Groupe présentant une paralysie	190
Figure IV-97 Valeur du Pic de l'OAF de /ʒ/ vs. /ʃ/ du patient n° 4 (à gauche) et du patient n° 5 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	191
Figure IV-98 Valeur du Pic de l'OAF de /ʒ/ vs. /ʃ/ du patient n° 15 (à gauche) et du patient n° 27 (à droite) du Groupe présentant une paralysie.....	192
Figure IV-99 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal	194
Figure IV-100 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal	195
Figure IV-101 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal	195
Figure IV-102 Cas atypique(s) dans le Groupe Normal	196

Figure IV-103 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n°4	198
Figure IV-104 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n°5	198
Figure IV-105 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n°15	198
Figure IV-106 Pic de l'OAF des consonnes voisées (à gauche) et des consonnes non voisées (à droite) du Patient n°27	198
Figure IV-107 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°1	201
Figure IV-108 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°3	201
Figure IV-109 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°7	201
Figure IV-110 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°10	202
Figure IV-111 Pic des consonnes voisées (à gauche) et non voisées (à droite) du patient n°14	202
Figure IV-112 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 du Groupe Normal	205
Figure IV-113 Résultat du F0 du Groupe Normal	206
Figure IV-114 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 des Patients masculins du Groupe Normal	208
Figure IV-115 Résultat du F0 des Patientes féminines du Groupe Normal	208
Figure IV-116 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F0 des Patients masculins du Groupe Normal	209
Figure IV-117 Résultat du F0 des Patients masculins du Groupe Normal	210
Figure IV-118 F0 de 5 patientes féminines choisies aléatoirement	211
Figure IV-119 F0 de 5 patients masculins choisis aléatoirement	212
Figure IV-120 Résultat du F0 du Groupe Normal	213
Figure IV-121 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal	213
Figure IV-122 Neutralisation du contraste du F0 chez le Groupe Normal	215
Figure IV-123 Neutralisation du contraste du F0 chez deux patients du Groupe présentant une paralysie	216
Figure IV-124 F1 et F2 de la voyelle /i/ du GN	218
Figure IV-125 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /i/ du Groupe Normal	219
Figure IV-126 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /i/ du Groupe Normal	219
Figure IV-127 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /i/ du Groupe Normal	220
Figure IV-128 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /a/ du Groupe Normal	222

Figure IV-129 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /a/ du Groupe Normal	222
Figure IV-130 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /a/ du Groupe Normal	223
Figure IV-131 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F1 du /u/ du Groupe Normal	224
Figure IV-132 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 du /a/ du Groupe Normal	225
Figure IV-133 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /u/ du Groupe Normal	226
Figure IV-134 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /i/ du Groupe présentant une paralysie	228
Figure IV-135 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /a/ du Groupe présentant une paralysie	229
Figure IV-136 Résultat du F1 (à gauche) et du F2 (à droite) du /u/ du Groupe présentant une paralysie	230
Figure IV-137 Ellipses de dispersion des 3 voyelles extrêmes en Preop (à gauche) et en PO1 (à droite) du GN	232
Figure IV-138 Ellipses de dispersion des 3 voyelles extrêmes en PO2 (à gauche) et en PO3 (à droite) du GN	232
Figure IV-139 Ellipses de confiance des 3 voyelles extrêmes du GN en Preop.....	233
Figure IV-140 Diagramme de dispersion des 3 voyelles extrêmes en Preop (à gauche) et en PO1 (à droite) du GP	234
Figure IV-141 Diagramme de dispersion des 3 voyelles extrêmes en PO2 (à gauche) et en PO3 (à droite) du GP	234
Figure IV-142 Espace vocalique des 4 phases du GN	235
Figure IV-143 Espace vocalique des 4 phases du GP	236
Figure IV-144 Valeurs des aires des triangles vocaliques des 2 groupes	237
Figure IV-145 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Jitter du Groupe Normal	239
Figure IV-146 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs de Shimmer du Groupe Normal	240
Figure IV-147 Valeurs du Jitter (à gauche) et du Shimmer (à droite) du Groupe Normal	241
Figure IV-148 Valeurs anormales du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) du Groupe Normal	242
Figure IV-149 Jitter et Shimmer de 5 patients choisis aléatoirement	244
Figure IV-150 Valeurs du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) du Groupe présentant une paralysie	245
Figure IV-151 Valeurs atypiques (AT) du jitter (à gauche) et du shimmer (à droite) dans le Groupe Normal	246
Figure IV-152 Résultat de l'analyse Box Plot des valeurs du HNR du Groupe Normal	247

Figure IV-153 R é sultat du HNR du Groupe Normal.....	248
Figure IV-154 HNR du Groupe pr é sentant une paralysie	250
Figure IV-155 Valeurs atypiques (AT) dans le Groupe Normal	251
Figure IV-156 R é sultat de l'analyse Box Plot des valeurs du F2 /i/ du Groupe Normal	253
Figure IV-157 Ensemble des valeurs du VHI du Groupe Normal.....	253
Figure IV-158 VHI du Groupe pr é sentant une paralysie.....	255

**PERTURBATION DE LA PRODUCTION DE LA PAROLE CHEZ LE PATIENT ATTEINT D'UNE PARALYSIE
LARYNGEE
DONNEES ACOUSTIQUES ET AERODYNAMIQUES**

RÉSUMÉ : Notre thèse vise à étudier les conséquences d'une ablation totale ou partielle de la glande thyroïde suite à un dysfonctionnement thyroïdien, suivie ou non d'un traitement radiothérapeutique, et ce dans le domaine de la phonétique clinique. Ce type d'intervention perturbe généralement le système de production de la parole et conduit parfois à une dégradation de la qualité vocale de façon permanente (moins de 5% des cas) ou passagère. Le travail se veut une contribution aux recherches menées en linguistique et phonétique cliniques, plus particulièrement dans le cadre de l'analyse de faits compensatoires ou de réajustements mis en place par des patients, suite à une *perturbation* provoquée au niveau du fonctionnement de leur système phonatoire. Le travail a été effectué en collaboration avec le Groupe Hospitalier Saint-Vincent, et plus particulièrement avec la Clinique Sainte-Anne de Strasbourg, où se trouve le département de chirurgie thyroïdienne. Notre étude est longitudinale puisque nous avons suivi une cohorte de patients opérés de la glande thyroïde durant une année au moins, à raison d'une acquisition de données acoustiques et aérodynamiques par mois, l'examen post-opératoire ayant révélé ou non une lésion de la mobilité des plis vocaux. Nous avons étudié les possibles stratégies de *compensation* ou de *réajustement* que les patients ont pu mettre en place seuls ou à l'aide d'une rééducation orthophonique, et ce afin d'évaluer la flexibilité du système de production de la parole. Il s'agit donc d'étudier la flexibilité du système de production et de perception de la parole et de tenter de comprendre ce système à partir d'un dysfonctionnement d'origine pathologique. Il est ainsi question de déterminer les limites des déviations physiques imposées par les exigences linguistiques de clarté du système de perception de la parole. Par les différentes investigations que nous avons menées, nous avons tâché de rendre compte de la *viabilité* possible des unités phonétiques et phonologiques perceptivement stables, malgré une variabilité omniprésente dans le substrat physique, articulatoire, physiologique et acoustique. Une attention particulière est accordée aux dimensions sociétales liées à la *qualité de vie* (fatigue vocale, satisfaction des productions linguistiques, considération de soi, etc.).

MOTS CLÉS : production de la parole, parole pathologique, phonétique clinique, thyroïdectomie, perturbations, compensations, réajustements, données aérodynamiques et acoustiques, viabilité

PERTURBATION OF SPEECH PRODUCTION IN PATIENTS WITH LARYNGEAL PARALYSIS

ACOUSTIC AND AERODYNAMIC DATA

ABSTRACT: Our thesis aims at studying the consequences of total or partial removal of the thyroid gland due to thyroid dysfunction, followed or not by a radiotherapy treatment, in the field of clinical phonetics. This type of intervention usually perturbs the speech production system and sometimes leads to permanent (less than 5% of cases) or transient degradation of voice quality. The work intends to be a contribution to research carried out in clinical linguistics and phonetics, more particularly in the area of compensatory or readjustment phenomena developed by patients, following *perturbation* provoked in their phonatory system. The work was carried out in collaboration with the Group Saint-Vincent Hospital, and more particularly with the Clinique Sainte-Anne of Strasbourg, within the department of thyroid surgery. Our study is longitudinal since we have followed a cohort of patients, who underwent thyroid gland surgery, for at least one year, acquiring acoustic and aerodynamic data every month, the postoperative examination having revealed or not a lesion in the mobility of the vocal folds. We have studied possible *compensation* or *readjustment* strategies that patients were able to deploy by themselves or with the help of speech therapy, in order to assess the flexibility of the speech production system. The purpose is thus to evaluate the flexibility of the speech production and perception system and to try to understand how this system works based on a specific dysfunction of pathological origin. It is thus a question of determining the limits of physical deviations imposed by linguistic requirements of clarity of the speech perception system. Through the various investigations that we have conducted, we have tried to account for possible *viability* of perceptually stable phonetic and phonological units, despite an omnipresent variability in the physical, articulatory, physiological and acoustic substrate. Particular attention is paid to societal dimensions related to *quality of life* (vocal fatigue, satisfaction of linguistic productions, self-esteem, etc.).

KEY WORDS: speech production, disordered speech, clinical phonetics, thyroidectomy, perturbations, compensations, readjustments, aerodynamic and acoustic data, viability.