



HAL
open science

Analyse multi-paramétrique des voix de paralysie laryngée unilatérale

Mélodie Roux-Burckle

► **To cite this version:**

Mélodie Roux-Burckle. Analyse multi-paramétrique des voix de paralysie laryngée unilatérale. Médecine humaine et pathologie. 2017. dumas-01632554

HAL Id: dumas-01632554

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01632554>

Submitted on 10 Nov 2017

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.

UNIVERSITE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS
FACULTE DE MEDECINE DE NICE

ANALYSE MULTIPARAMETRIQUE DES VOIX DE PARALYSIE LARYNGEE UNILATERALE

THESE

Pour le diplôme d'état de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine de Nice

Le 22 Septembre 2017

Par

Mélodie ROUX-BURCKLE

Née le 12 Juin 1987 à Gap

Membres du Jury :

<u>Président du Jury</u> :	Monsieur le Professeur	José SANTINI
<u>Directeur de Thèse</u> :	Monsieur le Professeur	Antoine GIOVANNI
<u>Assesseurs</u> :	Monsieur le Professeur	Laurent CASTILLO
	Monsieur le Docteur	Paul GIACCHERO

UNIVERSITE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS
FACULTE DE MEDECINE DE NICE

ANALYSE MULTIPARAMETRIQUE DES VOIX DE PARALYSIE LARYNGEE UNILAERALE

THESE

Pour le diplôme d'état de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine de Nice

Le 22 Septembre 2017

Par

Mélodie ROUX-BURCKLE

Née le 12 Juin 1987 à Gap

Membres du Jury :

<u>Président du Jury</u> :	Monsieur le Professeur	José SANTINI
<u>Directeur de Thèse</u> :	Monsieur le Professeur	Antoine GIOVANNI
<u>Assesseurs</u> :	Monsieur le Professeur	Laurent CASTILLO
	Monsieur le Docteur	Paul GIACCHERO

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

Doyen	M. BAQUÉ Patrick
Vice-Doyen	M. BOILEAU Pascal
Assesseurs	M. ESNAULT Vincent M. CARLES Michel Mme BREUIL Véronique M. MARTY Pierre
Conservateur de la bibliothèque	Mme DE LEMOS Annelise
Directrice administrative des services	Mme CALLEA Isabelle
Doyens Honoraires	M. AYRAUD Noël M. RAMPAL Patrick M. BENCHIMOL Daniel

Professeurs Honoraires

M ALBERTINI Marc	M. HARTER Michel
M. BALAS Daniel	M. INGLESAKIS Jean-André
M. BATT Michel	M. JOURDAN Jacques
M. BLAIVE Bruno	M. LALANNE Claude-Michel
M. BOQUET Patrice	M. LAMBERT Jean-Claude
M. BOURGEON André	M. LAZDUNSKI Michel
M. BOUTTÉ Patrick	M. LEFEBVRE Jean-Claude
M. BRUNETON Jean-Noël	M. LE BAS Pierre
Mme BUSSIERE Françoise	M. LE FICHOUX Yves
M. CAMOUS Jean-Pierre	Mme LEBRETON Elisabeth
M. CANIVET Bertrand	M. LOUBIERE Robert
M. CASSUTO Jill-patrice	M. MARIANI Roger
M. CHATEL Marcel	M. MASSEYEFF René
M. COUSSEMENT Alain	M. MATTEI Mathieu
Mme CRENESSE Dominique	M. MOUIEL Jean
M. DAR COURT Guy	Mme MYQUEL Martine
M. DELLAMONICA Pierre	M. OLLIER Amédée
M. DELMONT Jean	M. ORTONNE Jean-Paul
M. DEMARD François	M. SAUTRON Jean Baptiste
M. DOLISI Claude	M. SCHNEIDER Maurice
M. FRANCO Alain	M. TOUBOL Jacques
M. FREYCHET Pierre	M. TRAN Dinh Khiem
M. GÉRARD Jean-Pierre	M VAN OBBERGHEN Emmanuel
M. GILLET Jean-Yves	M. ZIEGLER Gérard
M. GRELLIER Patrick	
M. GRIMAUD Dominique	

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

M.C.A. Honoraire

Mlle ALLINE Madeleine

M.C.U. Honoraires

M. ARNOLD Jacques
M. BASTERIS Bernard
Mlle CHICHMANIAN Rose-Marie
Mme DONZEAU Michèle
M. EMILIOZZI Roméo
M. FRANKEN Philippe
M. GASTAUD Marcel
M. GIRARD-PIPAU Fernand
M. GIUDICELLI Jean
M. MAGNÉ Jacques
Mme MEMRAN Nadine
M. MENGUAL Raymond
M. PHILIP Patrick
M. POIRÉE Jean-Claude
Mme ROURE Marie-Claire

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M.	AMIEL Jean	Urologie (52.04)
M.	BENCHIMOL Daniel	Chirurgie Générale (53.02)
M.	BOILEAU Pascal	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (50.02)
M.	DARCOURT Jacques	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
M.	DESNUELLE Claude	Biologie Cellulaire (44.03)
Mme	EULLER-ZIEGLER Liana	Rhumatologie (50.01)
M.	FENICHEL Patrick	Biologie du Développement et de la Reproduction (54.05)
M.	FUZIBET Jean-Gabriel	Médecine Interne (53.01)
M.	GASTAUD Pierre	Ophthalmologie (55.02)
M.	GILSON Éric	Biologie Cellulaire (44.03)
M.	HASSEN KHODJA Reda	Chirurgie Vasculaire (51.04)
M.	HÉBUTERNE Xavier	Nutrition (44.04)
M.	HOFMAN Paul	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	LACOUR Jean-Philippe	Dermato-Vénéréologie (50.03)
M.	LEFTHERIOTIS Geogres	Physiologie- médecine vasculaire
M.	MARTY Pierre	Parasitologie et Mycologie (45.02)
M.	MICHIELS Jean-François	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	MOUROUX Jérôme	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)
Mme	PAQUIS Véronique	Génétique (47.04)
M.	PAQUIS Philippe	Neurochirurgie (49.02)
M.	PRINGUEY Dominique	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	QUATREHOMME Gérald	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	RAUCOULES-AIMÉ Marc	Anesthésie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	ROBERT Philippe	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	SANTINI Joseph	O.R.L. (55.01)
M.	THYSS Antoine	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	TRAN Albert	Hépto Gastro-entérologie (52.01)

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS PREMIERE CLASSE

Mme	ASKENAZY-GITTARD Florence	Pédopsychiatrie (49.04)
M.	BAQUÉ Patrick	Anatomie - Chirurgie Générale (42.01)
M.	BARRANGER Emmanuel	Gynécologie Obstétrique (54.03)
M.	BÉRARD Étienne	Pédiatrie (54.01)
M.	BERNARDIN Gilles	Réanimation Médicale (48.02)
Mme	BLANC-PEDEUTOUR Florence	Cancérologie – Génétique (47.02)
M.	BONGAIN André	Gynécologie-Obstétrique (54.03)
M.	CASTILLO Laurent	O.R.L. (55.01)
M.	DE PERETTI Fernand	Anatomie-Chirurgie Orthopédique (42.01)
M.	DRICI Milou-Daniel	Pharmacologie Clinique (48.03)
M.	ESNAULT Vincent	Néphrologie (52-03)
M.	FERRARI Émile	Cardiologie (51.02)
M.	FERRERO Jean-Marc	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	GIBELIN Pierre	Cardiologie (51.02)
M.	GUGENHEIM Jean	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	HANNOUN-LEVI Jean-Michel	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
Mme	ICHAÏ Carole	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	LONJON Michel	Neurochirurgie (49.02)
M.	MARQUETTE Charles-Hugo	Pneumologie (51.01)
M.	MOUNIER Nicolas	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	PADOVANI Bernard	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	PRADIER Christian	Épidémiologie, Économie de la Santé et Prévention (46.01)
Mme	RAYNAUD Dominique	Hématologie (47.01)
M.	ROSENTHAL Éric	Médecine Interne (53.01)
M.	SCHNEIDER Stéphane	Nutrition (44.04)
M.	STACCINI Pascal	Biostatistiques et Informatique Médicale (46.04)
M.	THOMAS Pierre	Neurologie (49.01)

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS DEUXIEME CLASSE

M.	BAHADORAN Philippe	Cytologie et Histologie (42.02)
Mme	BAILLIF Stéphanie	Ophtalmologie (55.02)
M.	BENZIRI Emmanuel	Chirurgie Générale (53.02)
M.	BENOIT Michel	Psychiatrie (49.03)
M.	BREAUD Jean	Chirurgie Infantile (54-02)
Mlle	BREUIL Véronique	Rhumatologie (50.01)
M.	CARLES Michel	Anesthésiologie Réanimation (48.01)
M.	CHEVALIER Nicolas	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques (54.04)
M.	CHEVALLIER Patrick	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
Mme	CHINETTI Giulia	Biochimie-Biologie Moléculaire (44.01)
M.	DELLAMONICA Jean	réanimation médicale (48.02)
M.	DELOTTE Jérôme	Gynécologie-obstétrique (54.03)
M.	FONTAINE Denys	Neurochirurgie (49.02)
M.	FOURNIER Jean-Paul	Thérapeutique (48-04)
Mlle	GIORDANENGO Valérie	Bactériologie-Virologie (45.01)
M.	GUÉRIN Olivier	Gériatrie (48.04)
M.	IANNELLI Antonio	Chirurgie Digestive (52.02)
M	JEAN BAPTISTE Elixène	Chirurgie vasculaire (51.04)
M.	LEVRAUT Jacques	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	PASSERON Thierry	Dermato-Vénéréologie (50-03)
M.	PICHE Thierry	Gastro-entérologie (52.01)
M.	ROGER Pierre-Marie	Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales (45.03)
M.	ROHRLICH Pierre	Pédiatrie (54.01)
M.	ROUX Christian	rhumatologie (50.01)
M.	RUIMY Raymond	Bactériologie-virologie (45.01)
Mme	SACCONI Sabrina	Neurologie (49.01)
M.	SADOUL Jean-Louis	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques (54.04)
M.	TROJANI Christophe	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (50.02)
M.	VENISSAC Nicolas	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS

M. HOFLIGER Philippe Médecine Générale (53.03)

MAITRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS

M. DARMON David Médecine Générale (53.03)

PROFESSEURS AGRÉGÉS

Mme LANDI Rebecca Anglais

Mme ROSE Patricia Anglais

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme ALUNNI Véronique Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M. AMBROSETTI Damien Cytologie et Histologie (42.02)
Mme BANNWARTH Sylvie Génétique (47.04)
M. BENOLIEL José Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
Mme BERNARD-POMIER Ghislaine Immunologie (47.03)
Mme BUREL-VANDENBOS Fanny Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M. DOGLIO Alain Bactériologie-Virologie (45.01)
M. DOYEN Jérôme Radiothérapie (47.02)
M. FAVRE Guillaume Néphrologie (52.03)
M. FOSSE Thierry Bactériologie-Virologie-Hygiène (45.01)
M. GARRAFFO Rodolphe Pharmacologie Fondamentale (48.03)
Mme GIOVANNINI-CHAMI Lisa Pédiatrie (54.01)
Mme HINAULT Charlotte Biochimie et biologie moléculaire (44.01)
M. HUMBERT Olivier Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
Mme LAMY Brigitte Bactériologie-virologie (45.01)
Mme LEGROS Laurence Hématologie et Transfusion (47.01)
Mme LONG-MIRA Elodie Cytologie et Histologie (42.02)
Mme MAGNIÉ Marie-Noëlle Physiologie (44.02)
Mme MOCERI Pamela Cardiologie (51.02)
Mme MUSSO-LASSALLE Sandra Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M. NAÏMI Mourad Biochimie et Biologie moléculaire (44.01)
Mme POMARES Christelle Parasitologie et mycologie (45.02)
Mme SEITZ-POLSKI barbara Immunologie (47.03)
M. TESTA Jean Épidémiologie Économie de la Santé et Prévention (46.01)
M. TOULON Pierre Hématologie et Transfusion (47.01)

Liste des professeurs au 1er septembre 2016 à la Faculté de Médecine de Nice

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

M. DURAND Matthieu Urologie (52.04)

PROFESSEURS ASSOCIÉS

M. GARDON Gilles Médecine Générale (53.03)
M. GONZALEZ Jean-François Chirurgie Orthopédique et traumatologie (50.02)
M. PAPA Michel Médecine Générale (53.03)
M. WELLS Michael Anatomie-Cytologie (42.03)

MAITRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

M BALDIN Jean-Luc Médecine Générale (53.03)
Mme CASTA Céline Médecine Générale (53.03)
Mme MONNIER Brigitte Médecine Générale (53.03)

PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ

M. BERTRAND François Médecine Interne
M. BROCKER Patrice Médecine Interne Option Gériatrie
M. CHEVALLIER Daniel Urologie
Mme FOURNIER-MEHOUAS Manuella Médecine Physique et Réadaptation
M. JAMBOU Patrick Coordination prélèvements d'organes
M. ODIN Guillaume Chirurgie maxilo-faciale
M. PEYRADE Frédéric Onco-Hématologie
M. PICCARD Bertrand Psychiatrie
M. QUARANTA Jean-François Santé Publique

REMERCIEMENTS

Professeur Santini, merci pour ces 5 années à vos côtés, pour votre bienveillance et votre soif de transmettre. Vous m'avez poussé tous les jours à donner le meilleur de moi-même, à prendre du recul et à me poser les bonnes questions sur chaque cas clinique. Même si j'entamais tous les staffs du jeudi matin avec la même appréhension de vous décevoir, c'est grâce à vous que j'ai réussi à prendre un peu plus d'assurance.

Professeur Castillo, merci d'avoir supporté pendant un an mes coups de tête et mes coups de marteaux inopinés. Merci pour votre GRANDE patience et pour l'entière confiance dont vous m'avez fait part !! Je parlais de très loin en chirurgie endonasale mais vous m'avez guidée, soutenue et aiguillée sur le chemin difficile du sinus frontal.

Professeur Giovanni, merci d'avoir recueilli l'élève niçoise et de m'avoir transmis toute votre passion pour la phoniatrie. Vous êtes un directeur de thèse comme chaque interne en rêverai : patient, disponible, investi et à l'écoute. Merci de m'avoir fait confiance pour poursuivre les travaux de toute votre équipe et de m'avoir poussé à faire cette présentation EN ANGLAIS au pied levé à l'IFOS (un vrai défi pour une ancienne timide pathologique).

Merci au Dr Giacchero, si je me suis intéressée à la phoniatrie c'est grâce à vous. Quelques consultations à vos côtés dans la salle 1 m'ont ouvert au vaste monde de la phoniatrie. C'est un bonheur de d'apprendre à vos côtés. Vous avez tant d'expérience à me transmettre, j'espère que je pourrais rester à vos côtés pour faire perdurer, grandir et briller cette belle activité niçoise.

Pr Demard, merci d'avoir créé cette belle école d'ORL niçoise, je vous admire.

Merci à Cécile et au Dr Kestemont, pour tous vos bons conseils et cours d'esthétique qui m'auront permis d'étoffer ma formation ORL.

Merci au Dr Maschi, de m'avoir détournée de l'orthopédie. Vous n'étiez pas vraiment ravi de recevoir en stage une orthopédiste mais vous m'avez intégrée dans l'équipe comme une ORL. Grâce à vous j'ai eu un véritable coup de cœur pour cette spécialité. MERCI. C'est avec un peu d'appréhension, et en espérant être à la hauteur, que je prendrai avec plaisir mon poste d'assistante à Lenal en novembre.

Merci à Olivier, THE PATRON, self control et application, rien ne te fait peur !

Merci à Gilles, THE ARTISTE, de m'avoir appris toute la délicatesse et la réflexion autour de la chirurgie cutanée.

Merci à Alex, THE MACHINE, brillantissime chirurgien et pédagogue, un modèle.

Merci à vous TOUS pour la confiance que vous m'avez accordée et ces heures de bloc (et de soirées) passées à vos côtés.

Merci à Sonanda, qui, tout comme le Dr Maschi m'a fait découvrir l'ORL alors que je n'étais qu'une toute jeune interne... C'est avec plaisir que je passerai cette année à tes côtés afin de t'épauler à Lenal du mieux que je peux.

Nico, merci de m'avoir fait découvrir le monde mystique de l'otologie. Merci d'être de plus en plus disponible pour nous, d'avoir créé ces petits staffs et RCP otologie (apéro ☺) qui nous font nous intéresser chaque jour un peu plus à l'otologie.

Merci à Guillaume et Charles, même si je ne suis jamais passée en maxillo, cela n'empêche pas d'avoir partagé de bons moments avec vous.

Merci au Dr Lenher, notre bonne fée des explorations, toujours disponible pour prendre en charge les petits et les grands.

Merci à vous Mr Beltran, un cocktail de bonne humeur, de blagues, de professionnalisme, de pédagogie qui font de vous un médecin rare et si précieux dans le monde de l'ORL. Vous m'avez transmis votre passion de l'ORL et de l'être humain.

Merci au Dr Vedrine et au Dr Haddad, de m'avoir accueillie à Cannes.

Merci aux Pr Fakhry, Dr Robert, Dr Santini et au Dr Loth de m'avoir transmis les secrets et la rigueur de l'école marseillaise.

Merci aux Pr Gugenheim, Pr Ianelli, Dr Ben Amor, Dr Ciampi, Dr Staccini et au Dr Sejour d'avoir réalisé mon baptême en tant qu'interne. Merci pour ces 4 tableaux de gardes et ces 6 mois intenses sans ouvrir mes volets qui ont forgé ma volonté d'être chirurgien et de ne rien lâcher.

Nath, merci pour TOUT !! Tu m'as pris sous ton aile dès mes premiers jours à l'IUFC et tu m'as épaulée avec patience et bienveillance dans mes débuts. De mojito, en vodka redbull et quelques soirées plus tard debout sur les comptoirs, tu es devenue une véritable amie pour moi sur qui je peux toujours compter. Tu es un vrai modèle pour moi, ma superwoman !! Et merci à Nicky, de nous avoir adopté avec Guillaume.

Clair, de co interne à chef de piquenique en titre, des pistes enneigées de Courchevel au soleil de la French Riviera, de la Folie Douce à Méribel aux soirées à la niçoise, on partage depuis le début TOUS les bons moments de notre relation professionnelle et personnelle ;).

Riad, toujours de smile, toujours partant pour tout !! Une belle rencontre !

Merci à tous mes anciens « mentors » (Rémi, Jean Chri, Claire) pour tout ce que vous m'avez transmis dans la joie et la bonne humeur.

Merci à Sébastien, Pouya, Mailleul, Claire et le Dr Elena de m'avoir fait confiance pour les remplacer et de m'avoir fait découvrir l'ORL de ville.

Merci à Alain Ghio pour tout son travail de statistiques et nos réunions de thèse à Aix.

Merci à la team des orthophonistes de Marseille (Marie Do, Christine, ma Camille) : de belles et riches rencontres avec des filles exceptionnelles et passionnées.

Merci à la team des orthophonistes de Nice qui sont aussi motivées que moi pour développer la phoniatrie dans le service.

Un immense merci à l'équipe médicale (Régine, Sylvaine et TOUS les anesthésistes du CAL), paramédicale (cadres de santé, IDE, AS, ASH, brancardiers, IADE, IBODE, Michel aux explorations ORL du I4, A4, USC, ambu, soins externes, consultations, accueil de Nice, Cannes et Marseille) et à l'armée de secrétaire de l'IUFC et du CAL.

Merci tout particulier à Isa, la maman des internes, qui nous nous chouchoute au quotidien !

Merci à Christelle, première infirmière que j'ai croisée au cours de mon internat, qui était BIEN plus performante que moi, qui m'a prise sous son aile et qui m'a apportée toute son aide et sa bienveillance dans mes 6 premiers mois d'internat.

Merci à mon PREMIER CO INTERNE qui restera à jamais gravé dans mon cœur : Vincent. Je ne savais pas dans quelle galère je m'étais mise avant cette fameuse soirée d'intégration...Même si le premier jour de notre internat on voulait déjà tout laissé tomber, on a rien lâché, on s'est serré les coudes et même les staffs ne nous ont pas découragé. Toujours de bonne humeur, ça été un vrai plaisir de travailler

avec toi (même si on a oublié quelques contrôles plaquettaires). Merci également à ta douce Anne et à ta princesse Lucie, vous êtes des voisins au top et de véritables amis.

Merci à mes autres co internes de viscéral : Alex, Thomas, Vincent, Caroline. Tous unis dans la même galère et au final un stage dont je garde un beau souvenir grâce à vous tous.

Merci à la team du bureau de l'internat : Ben, Gégé et son boyfriend, Lolo, Ghis, Marc, Rémi, Jeff pour tous les bons moments qu'on a partagé, qu'on partage et tous ceux qui vont arriver. Cœur, cœur, love paillettes les copains ; « La soirée ne fait que commencer » ; bref je vous aime !!!

Merci à tous mes co internes marseillais et en particulier à :

- Alexia, mon binôme de phoniatrice
- Abdy, mon prince/pigeon du Koweit
- Ma julie, ma belle rencontre marseillaise, mon coup de foudre amical. Je suis arrivée avec une co interne, je suis repartie avec une Amie. Tu es géniale.

- Mon Dorian, sous tes airs de robuste toulousain, se cache un garçon brillant et plein de délicatesse. Merci pour tous ces moments de rigolade en DU, congrès, soirées... On a jamais réussi à être co interne mais on sera co chef ☺
- Benjamin, notre maître zen
- Benoit, notre cross fiteur
- Florent, notre bourreau des cœurs
- Boris, notre soleil strasbourgeois casse coup (après un premier hiver niçois passé en teeshirt, tu as su t'adapter au climat)
- Agathe, notre dose de bonne humeur (un jour je t'enlèverai tes nodules)
- Grégoire, notre anatomiste passionné et passionnant
- Raphaëlle, notre syndicaliste révolutionnaire se cache sous ta frimousse
- Roxane, notre atout charme de l'ORL

Je vous AIME les loulous et ces 5 ans n'auraient jamais été les mêmes sans vous TOUS à mes côtés. Vous avez été ma famille pour le meilleur et pour le pire ! MERCI !

Spéciale dédicace à mon Francky international ! La vérité tu es un modèle unique, ne change rien, tu es mon arracheur de dents préféré.

Merci à tous les chir oraux : Guillaume, Romain, Xavier, Hélène, Gauthier de votre curiosité et de vous être impliqués autant en ORL.

Merci au seul interne d'anesthésie qui a bien voulu défier notre Régine : Cédric

Merci aux plasticiens : Alexandra, Katharina et en particulier :

- à mon cléricocotte pour ces 6 mois au CAL à tes côtés où malgré un GRAND nombre de reprises on s'est bien éclaté
- à ma douce Marianne : co interne et voisine d'internat de galère. Je n'aurai jamais survécu sans toi ni au CAL, ni pendant ces 6 mois dans notre trou à rat marseillais. Merci pour ta gentillesse et ta sincère amitié. Tu es une brillante chirurgienne qui ira loin !

Merci à Edouard, le plus ORL des ophtalmo. Ton surnom cannois de gendre idéal te va à ravir. Tu es GENIALISSIME change rien.

Merci à Sacha, pour tous ces bons moments passés avec la famille Cannoise.

Merci à Pascale, secrétaire de l'internat mais pas que...véritable maman poule, merci pour toute ton aide, tes bons conseils et ta bienveillance pendant ces 5 ans.

Merci à Solenne, Mallo et Jen. 4 filles qui ne se connaissent pas + 1 voyage d'externat en commun chez les pharaons= une amitié qui DURE avec des filles extraordinaires et complémentaires. Je me bénis des

dieux d'avoir fait cette lettre de motivation et d'avoir pu ainsi vous rencontrer. Je vous aime les copinettes.

Ma Karine, de la cour de récré où on jouait au taxi infirmier à aujourd'hui, tu as été mon soutien et mon amie de toujours. A ma Célia et ma Laurence (leurs boyfriends + babychou mon filleul), même si j'ai toujours été la copine relou toujours en train de réviser puis de garde pour les week-ends entre filles, vous ne m'avez jamais mise de côté et vous avez toujours été compréhensives. Merci d'être toujours là pour moi.

Merci à mon copain de couche culotte (Guillaume Appy), à Guillaume Forest, à Fabian, Delia, Virginie....avec qui j'ai évolué pendant toutes mes études.

Merci à mes parents et mon petit frère, mon ancre, mes racines, ma vie. Merci de m'avoir permis de mener à bout mes études, d'avoir toujours cru en moi, d'avoir été un soutien sans faille dans les bons et les mauvais moments. Sans votre soutien je n'aurais jamais réussi à mener à bout ce long et diificile marathon. Je n'aurais jamais assez de mots pour vous dire à quel point je vous aime et à quel point je vous remercie et je vous admire !! MERCI !

Merci à Mamie Rège, Papi Momo, Mamoq, vous n'auriez jamais misé que la petite fille « qui aimait trop que tout soit propre » fasse un jour de la chirurgie. Les mots me manquent pour vous dire tout l'amour que j'ai pour vous. Des crises de pleurs pour les cours de latin, aux torrents de larmes pour les textes de LCA, j'ai quand même réussi à aller au bout grâce à votre soutien ! MERCI !

A ma famille formidable (Véro, Fabi, Tophe, Caro, Mimi, Charlie) et ma tribu de cousins d'amour (Vincent, Guillaume, Sacha, Willy, Elisa, Lucie, Matteo, Anna, Lola, Victoria) qui sont mes racines solides et pleines d'amour.

Merci à ma belle-mère Françoise, d'avoir accepté sa nouvelle belle-fille et de comprendre les impératifs de mon métier.

Merci à mon mari, je t'ai fait vivre pendant ces 5 ans : gardes, interCHU, mémoires, staff, crises d'angoisse et crise de pleurs... Pas très disponible pour toi, pour nous, pour toute l'organisation de notre quotidien. Tu m'as toujours poussé à aller de l'avant, à me former, à donner le meilleur de moi-même, à ne jamais abandonner. Tu m'as porté et supporté avec toujours autant d'amour et de compréhension. Tu es ma pépite, ma bonne étoile et je savoure tous les jours la chance que j'ai de vivre aux côtés d'une personne extraordinaire comme toi. JE T'AIME.

SOMMAIRE

I. Introduction	14
II. Etat des lieux	16
A/ Physiopathologie de la paralysie laryngée unilatérale.....	16
B/ Les moyens d'évaluation	21
a/ L'évaluation par le patient : VHI.....	21
b/ L'évaluation perceptive par le clinicien.....	21
c/ Les mesures acoustiques.....	23
d/ Les mesures aérodynamiques.....	27
e/ Les indices composites.....	28
f/ Le phonétogramme.....	31
III. Matériel et méthode	32
A/ Population de l'étude	32
B/ Enregistrement vocal.....	33
C/ Analyse perceptive : méthodes et résultats.....	34
D/ Mesures objectives.....	36
E/ Analyse statistique.....	40
IV. Résultats	41
A/ Données du VHI classées par grade perceptif.....	42
B/ Données de l'OAF classées par grade perceptif	46
C/ Données du TMP classées par grade perceptif	50
D/ Données du Sr > 1 KHz classées par grade perceptif	54
E/ Données du CV F0 classées par grade perceptif	58
F/ Données du Jitter classées par grade perceptif	62
G/ Données de la PSG classées par grade perceptif	66
V. Discussion	67
A/ VHI et grades perceptifs	67
B/ Données objectives et grades perceptifs.....	67
C/ Les données objectives sont-elles corrélées entre elles ?	70
VI. Conclusions et perspectives.....	75
VII. Annexes	77
VIII. Bibliographie.....	80

I. Introduction

L'évaluation de la qualité de la voix est un enjeu important pour la laryngo-phoniatrie dans le but de valider la pertinence et l'efficacité des traitements proposés qu'il s'agisse de la rééducation ou de la phonochirurgie. Dans ce sens de très nombreux travaux ont été présentés visant à élaborer un protocole d'analyse qui serait à la fois suffisamment complet et simple à réaliser pour correspondre aux nécessités de la pratique clinique quotidienne. Notamment le comité de phoniatrie de l'European Laryngological Society (ELS) a défini un protocole minimum sous l'autorité de Dejonckere (1). Le protocole initial de l'ELS qui comprenait plusieurs niveaux d'analyse de la voix recommandait de réaliser :

- une étude stroboscopique du fonctionnement des cordes vocales
- une analyse subjective par le patient à la fois de la qualité de sa voix avec une échelle spécifique et du handicap ressenti par le VHI.
- une analyse subjective par le praticien de la qualité de sa voix (échelle GRBAS)
- une analyse acoustique avec simultanément l'analyse de l'instabilité fréquentielle (jitter) et d'amplitude (shimmer), le HNR
- une analyse aérodynamique avec la mesure du TMP, DAB
- une analyse des capacités du patient avec le phonétogramme

La diffusion de ce protocole reste cependant restreinte même dans les équipes spécialisées et le comité de phoniatrie de l'ELS, présidé par le Dr Lise Crevier-Buchman, entreprend actuellement une série de consultations dans le but de mettre à jour ce protocole qui a maintenant 15 ans. Notre travail s'inscrit dans cette perspective visant à repenser et à refonder les éléments du bilan d'évaluation de la voix. Il a été décidé d'étudier dans un premier temps à un groupe de pathologie le plus homogène possible sur le plan du fonctionnement glottique et le choix s'est porté sur les immobilités laryngées unilatérales.

L'objectif de notre travail était de répondre aux problématiques suivantes :

- les données objectives sont-elles corrélées aux grades perceptifs dans le cadre des paralysies laryngées unilatérales ?
- les données objectives caractérisant la fuite glottique sont-elles corrélées entre elles et quelle information tirer de cette corrélation ?
- est-il possible de déterminer plusieurs « profils vocaux » sur la base des informations obtenues et quelles informations pratiques en tirer dans la prise en charge de nos patients ?

Notre travail a porté sur l'analyse a posteriori d'une base de données recueillie dans le service ORL du CHU de Marseille et qui comprenait :

- une étude stroboscopique du fonctionnement des cordes vocales
- une analyse subjective du patient sur sa voix par le VHI
- une analyse subjective par le praticien de la qualité de la voix (échelle GRB)
- une analyse acoustique avec simultanément l'analyse de l'instabilité fréquentielle (jitter) et du HNR
- une analyse aérodynamique avec la mesure du TMP, DAB, PSG

II. Etat des lieux

A/ Physiopathologie de la paralysie laryngée unilatérale

La paralysie laryngée unilatérale (PLU) correspond à une atteinte généralement périphérique du nerf moteur de la corde vocale (Xème paire crânienne) entre son noyau au niveau du tronc cérébral et son entrée dans le larynx (2). La configuration laryngée et les symptômes (dysphonie, fausses routes) sont extrêmement variables en fonction du degré de fuite glottique. La PLU contribue à la diminution de la qualité de vie (3).

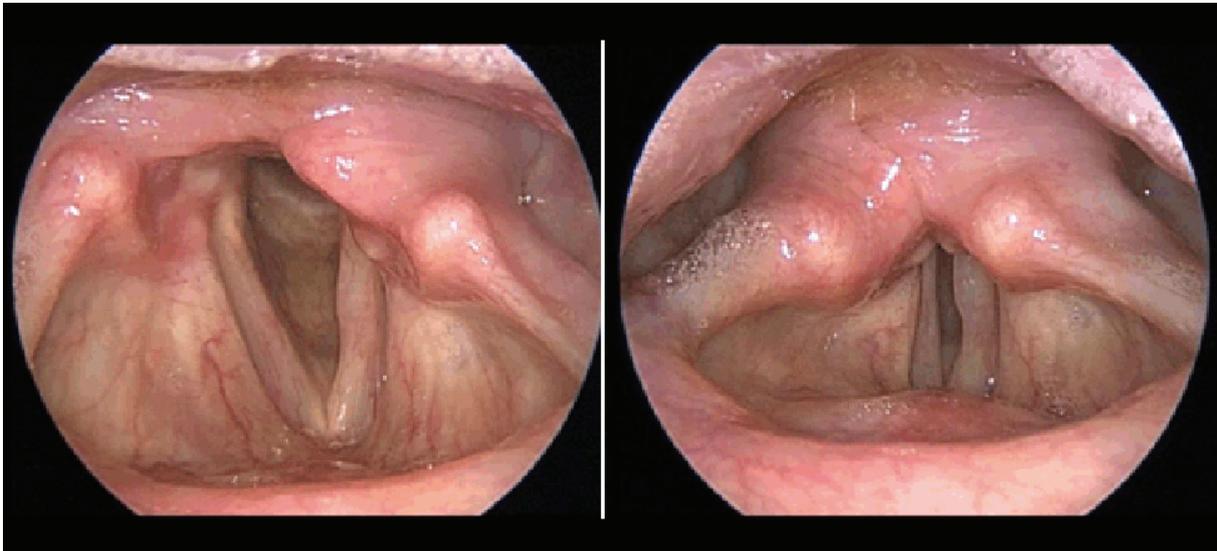


Figure 1 : Paralysie unilatérale de la corde vocale gauche

Le diagnostic de la position de la corde ouverte ou fermée ne fait pas l'objet d'un consensus entre les différents cliniciens comme décrit dans l'article de David, qui montre une variabilité dans le jugement en fonction des cliniciens (4). Classiquement on décrit 4 types de position pour le pli vocal : médiane, paramédiane (entre 0 et 1,5mm de la ligne médiane), intermédiaire (entre 1,5 et 2,5mm de la ligne médiane) et latérale (plus de 2,5mm de la ligne médiane) (5) (**Figure 2**). Plusieurs facteurs semblent intervenir pour déterminer la

configuration glottique en phonation dans la PLU mais celle-ci ne permet pas de distinguer une paralysie du nerf vague d'une paralysie du nerf récurrent. La position de la corde vocale paralysée semble dépendre de l'afflux nerveux résiduel notamment en ce qui concerne le tonus de la corde. Seule l'atteinte EMG du muscle crico-thyroïdien permet d'affirmer le diagnostic de paralysie laryngée d'origine vagale et seul l'EMG pourra être prédictif de la récupération musculaire (6)(7). La configuration laryngée n'est pas prédictive du mode de lésion nerveuse, du degré de gêne fonctionnelle ni de la probabilité de récupération fonctionnelle spontanée.

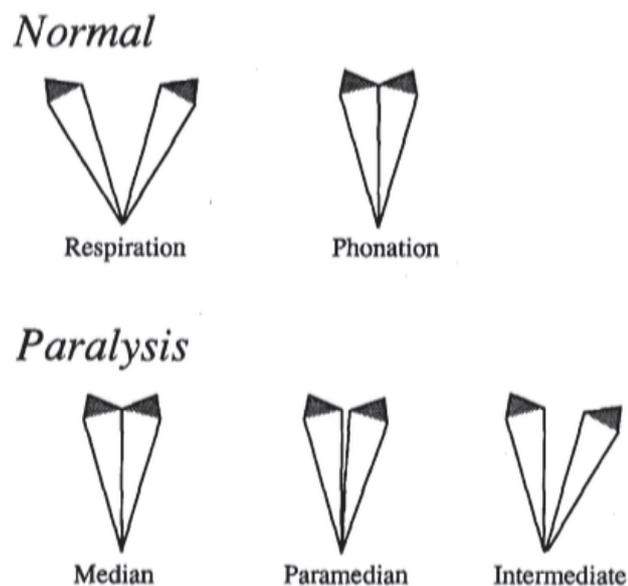


Figure 2 : Les positions possibles de la corde vocale dans le cadre d'une paralysie laryngée unilatérale

Les symptômes vocaux semblent liés directement à la configuration glottique d'autant qu'il s'agit d'une paralysie périphérique donc flasque. La position de la corde vocale en phonation est responsable d'une fuite glottique plus ou moins sévère entraînant la dysphonie observée. La voix est d'autant plus soufflée que la fuite est importante. En phonation cette fuite glottique est responsable d'un débit aérien élevé avec la perception d'un souffle dans la voix (voix voilée, soufflée, éteinte, bruit de coulage aérien). Les patients se plaignent même d'un

essoufflement à la parole lié à l'augmentation du débit aérien phonatoire. Cet essoufflement doit être bien distingué de la sensation d'obstruction inspiratoire rencontrée parfois même dans les PLU (il s'agit alors d'une dyspnée d'effort et une diminution du VIMS (Volume Inspiratoire Maximal lors de la première Seconde)). En ce qui concerne la déglutition il existe un risque de fausse route directe par inhalation mais également un risque de fausses route indirecte par débordement en cas d'atteinte simultanée de la motricité hypopharyngée. La toux est inefficace. Enfin, lors de l'évolution spontanée des paralysies, une réinnervation avec syncinésies peut conduire à une adduction inspiratoire paradoxale du pli vocal paralysé, majorant la dyspnée laryngée surtout à l'effort.

Les conséquences d'une PLU sur la régularité de la vibration méritent quelques explications supplémentaires sur la physiologie de la vibration laryngée. En position phonatoire, lorsque les cordes vocales sont accolées, la vibration glottique est un phénomène cyclique caractérisé par un écartement et un rapprochement du bord libre de la partie ligamentaire des cordes vocales. La théorie myoélastique offre actuellement le modèle le plus pertinent de la vibration. Le principe général repose sur la mise en vibration passive des cordes vocales sous l'influence de l'air expiratoire qui constitue la source d'énergie du système. La vibration glottique entraîne la vibration de l'air transglottique et génère ainsi le son laryngé.

Le seuil à partir duquel ces phénomènes se produisent dépend de plusieurs facteurs :

- la raideur de la partie vibrante de la corde vocale
- sa viscosité
- l'épaisseur du bord libre
- la largeur de la fente glottique préphonatoire
- la différence de pression trans glottique

Malgré leurs petites asymétries, même dans un larynx normal, les cordes parviennent à vibrer de façon synchrone. Le couplage des cordes vocales entre elles est un des mécanismes responsables de cette synchronisation. En pathologie l'asymétrie peut empêcher cette synchronisation (8). Les asymétries observées dans les paralysies laryngées ont été rendues responsables de l'apparition de divers phénomènes acoustiques comme des modulations d'amplitude ou de fréquence ainsi que des doublements de période ou des sauts d'octave ou encore des subharmoniques. Pour étudier ces phénomènes, les outils d'analyse non linéaire proposés et les théories du chaos évoquées pour expliquer ces phénomènes à la fois déterministes et imprévisibles dans le signal sonore (9). Sur le plan du mécanisme glottique, les observations de Herzel peuvent difficilement être expliquées par deux cordes vocales complètement indépendantes et il est nécessaire d'utiliser la notion de couplage. Elles impliquent que les cordes vocales continuent à interagir l'une sur l'autre en dépit de leur asymétrie. Garrel a montré dans son étude sur des larynx expérimentaux porteurs d'une paralysie laryngée unilatérale, qu'en augmentant l'intensité phonatoire la vibration peut devenir stable malgré l'asymétrie de masse et de tension des cordes vocales si les forces de couplages compensent l'asymétrie. Dès que la muqueuse des cordes vocales rentre en contact, grâce à l'effet Bernoulli, une corde vocale paralysée avec une vibration instable et irrégulière tend à se coupler et à se resynchroniser avec la corde controlatérale (10).

Lorsque les cordes vocales viennent au contact, elles permettent de limiter la fuite glottique (évolution spontanée, après travail de rééducation, après une médialisation). La voix est ainsi très améliorée avec une diminution importante de la fuite glottique et une amélioration de la stabilité de la vibration probablement par amélioration de la synchronisation des cordes comme l'a montré l'équipe de Marseille (couplage) (11). Après traitement il n'est pas rare que le pli vocal dépasse la ligne médiane. Ce type de compensation peut apparaître immédiatement

après la survenue de la paralysie unilatérale ou plus tardivement. Les structures supra glottiques peuvent intervenir également lors de la phonation donnant lieu à des comportements supraglottiques compensatoires selon la classification de Koufman (12).

Au total la physiologie d'un larynx avec une PLU peut être considérée comme suit :

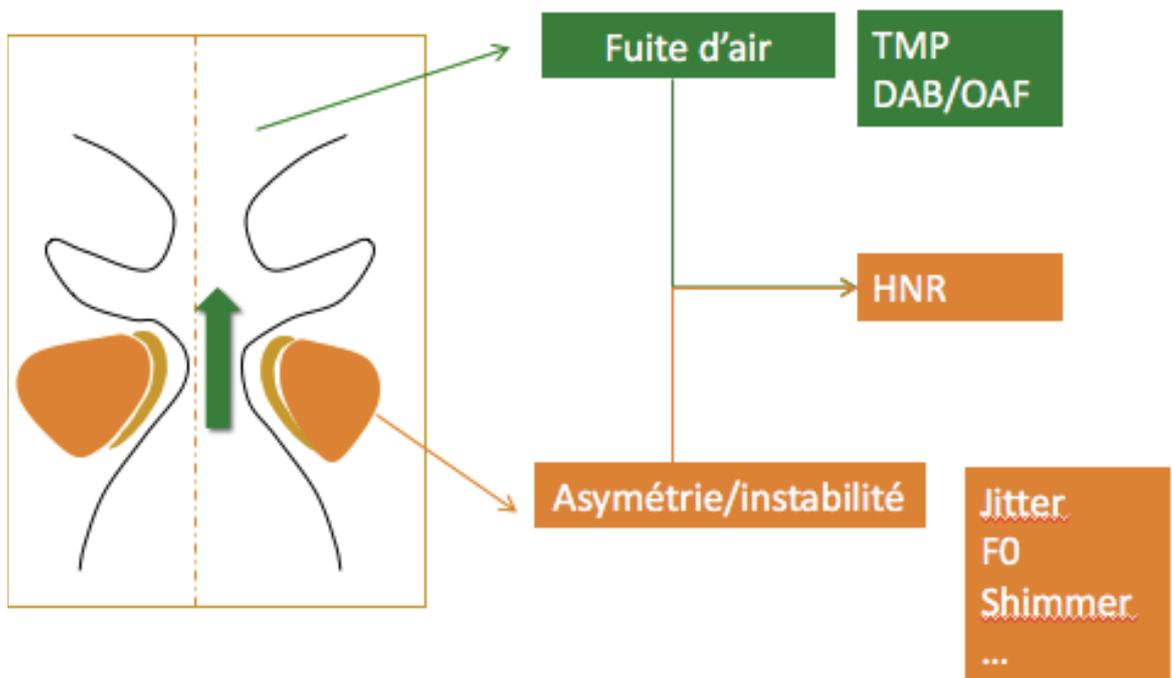


Figure 3 : Mécanismes secondaires à une paralysie laryngée unilatérale

B/ Les moyens d'évaluation

a/ L'évaluation par le patient : VHI

Le Voice Handicap Index (VHI) est une auto-évaluation réalisée par le patient lui-même. L'intérêt de ce questionnaire (10 ou 30 questions) est qu'il reflète le degré d'impact du trouble sur la vie du patient au niveau physique (« je suis agacé quand les gens me demandent de répéter »), fonctionnel (« mes difficultés de voix limitent ma vie professionnelle et sociale ») et émotionnel (« ma voix m'abandonne en cours de conversation »). C'est un outil qui permet de mieux quantifier la gêne ressentie par le patient et représente un outil de monitoring. Le VHI de Jacobson est le plus utilisé (3) (**Annexe 1**).

L'intérêt clinique du VHI est largement établi et ne fait pas l'objet de controverse ni sur sa pertinence, ni sur sa reproductibilité (13)(14). De plus il s'agit d'un auto questionnaire qui ne prend pas de temps sur la consultation médicale et qui permet d'organiser et de quantifier les renseignements habituellement fournis par l'interrogatoire. Il faut garder à l'esprit qu'il s'agit d'un jugement subjectif par le patient lui-même. Il n'est donc pas possible de considérer le VHI comme un Gold Standard.

Il existe d'autres index comme le Voice Symptom Scale (15) non traduit en français ou le questionnaire EASE (16).

b/ L'évaluation perceptive par le clinicien

L'analyse perceptive reste de toute façon la première analyse réalisée par les cliniciens au moment de la consultation. C'est parce que la voix est altérée que les patients viennent consulter, c'est donc sur la qualité de la voix que doivent être jugés les résultats des thérapeutiques. Pour simplifier la tâche des cliniciens, le classement des dysphonies sur une échelle perceptive se fait selon l'échelle d'Hirano (17) qui a décrit 5 paramètres qualitatifs à 4 niveaux (0=voix normale, 1=altération légère, 2=altération moyenne, 3=altération sévère) :

- G = grade global de la dysphonie qui se définit par l'impression globale du degré d'anormalité de la voix
- R = degré de raucité de la voix qui se définit par l'impression d'irrégularité des vibrations des cordes vocales qui correspond aux fluctuations irrégulières de la Fo et/ou à l'amplitude du son
- B = caractère soufflé de la voix et se définit comme l'impression d'une fuite d'air assez importante à travers les cordes vocales
- A = asthénie vocale, voix hypotonique, manque de puissance vocale
- S = correspond à la sensation de forçage et se définit par l'impression d'un état hyperfonctionnel de phonation

Il a été démontré que parmi les 5 paramètres perceptifs proposés par l'échelle GRBAS, l'évaluation du grade global de la dysphonie (paramètre G est plus fiable et plus constante que l'évaluation des autres paramètres (1). Dans le protocole de l'ELS et dans notre étude, seuls les paramètres GRB sont utilisés du fait d'un manque de fiabilité des paramètres A et S (18).

L'une des limites les plus mentionnées dans la littérature est la variabilité inter et intra-individuelle dans la perception de la voix par un jury d'experts. Cette variabilité peut être influencée par le contexte, par l'état émotionnel ou l'attention de l'auditeur. Plusieurs travaux ont tenté d'étudier la fiabilité de l'analyse perceptive en étudiant le degré d'agrément entre les auditeurs [2, 6, 21]. Les résultats mettent en évidence un désaccord important entre les auditeurs dans la perception d'une même voix. Néanmoins, un accord parfait et une analyse commune de la voix ne sont pas évidents au sein d'un groupe d'auditeurs. En pratique, l'analyse perceptive par un auditeur isolé ne peut pas être considérée comme un outil fiable de comparaison entre deux échantillons de voix et seul un jury d'experts peut être considéré comme une méthode de référence. Il va sans dire qu'il s'agit d'une méthode extrêmement lourde et est difficile à proposer en routine.

c/ Les mesures acoustiques

Il s'agit des mesures réalisées sur le signal vocal recueilli par un microphone généralement positionné à une distance fixe des lèvres. Ce microphone recueille les variations locales de la pression acoustique. L'ensemble de ces variations constitue le signal vocal. Celui-ci peut être conservé de façon analogique ou digitale pour analyse ultérieure.

Les mesures fréquentielles

Le signal vocal est analysé cycle par cycle pour déterminer notamment la période du signal et en déduire la fréquence ($F = P^{-1}$).

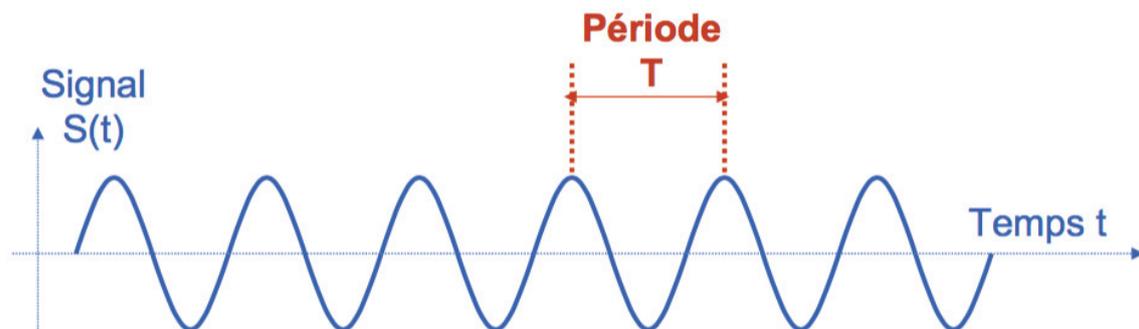


Figure 4 : Signal vocal

L'instabilité vibratoire glottique est une caractéristique essentielle des dysphonies en générale et des paralysies laryngées unilatérales en particulier. Lorsque les irrégularités de vibration des cordes vocales sont importantes, elles donnent une impression de raucité. On peut définir plusieurs indices d'instabilité qui ont pour objectif de déterminer le degré d'irrégularité de vibration des cordes vocales.

Le jitter fait référence à la variabilité à court terme de la fréquence fondamentale.

D'innombrables formules ont été utilisées dans la littérature. Ci-dessous, la formule utilisée par le système EVA :

$$Jitter\ factor\ (\%) = \frac{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{n-1} |F_i - F_{i+1}| \right]}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i} \times 100$$

Sous ses différentes formes et avec différentes formules le jitter est un indice très utilisé, assez bien corrélé à l'intensité de la dysphonie (19). Il donne une idée de la variabilité fréquentielle d'un cycle à l'autre. Dans la corrélation entre la mesure du jitter et l'analyse perceptive, les résultats obtenus dans la littérature sont très hétérogènes. Dans l'étude de Morsomme, on retrouve une corrélation statistiquement significative du jitter avec GRBA ; avec un coefficient de corrélation plus élevé pour R (0,622) (20). Vaz Freitas retrouve corrélation statistiquement significative du jitter à l'analyse perceptive en fonction du logiciel utilisé. Cette étude montre une tendance à une corrélation plus forte avec les paramètres B et A (21). Le jitter ne peut pas caractériser les dysphonies sévères en raison d'une périodicité trop difficile à déterminer. Il semble que des valeurs élevées du jitter traduisent en réalité un signal glottique complètement instable et seule une valeur de jitter inférieure à 5% peut être considérée comme fiable (22).

Le shimmer est le calcul de la variation cycle à cycle de l'amplitude de l'onde sonore et représente également un paramètre d'instabilité. Dans la corrélation entre la mesure du shimmer et l'analyse perceptive, plusieurs études montrent que le shimmer est bien corrélé à la sévérité globale de la dysphonie et en particulier aux paramètres B et à R (23)(19)(21). Il semble

cependant que l'information contenue dans le shimmer soit redondante avec celle du jitter et nous n'avons pas retenu cette mesure dans le protocole de notre étude.

La nécessité de déterminer la période et la difficulté de cette détermination précisément dans les dysphonies sévères ont conduit certaines équipes (équipe giovanni) à proposer des méthodes non linéaires d'analyse du signal et en particulier la quantification des portraits de phase par la méthode du CL. Ces méthodes ne sont pourtant pas rentrées dans la pratique clinique quotidienne et reste le fait de travaux de recherche (24) (25) (26).

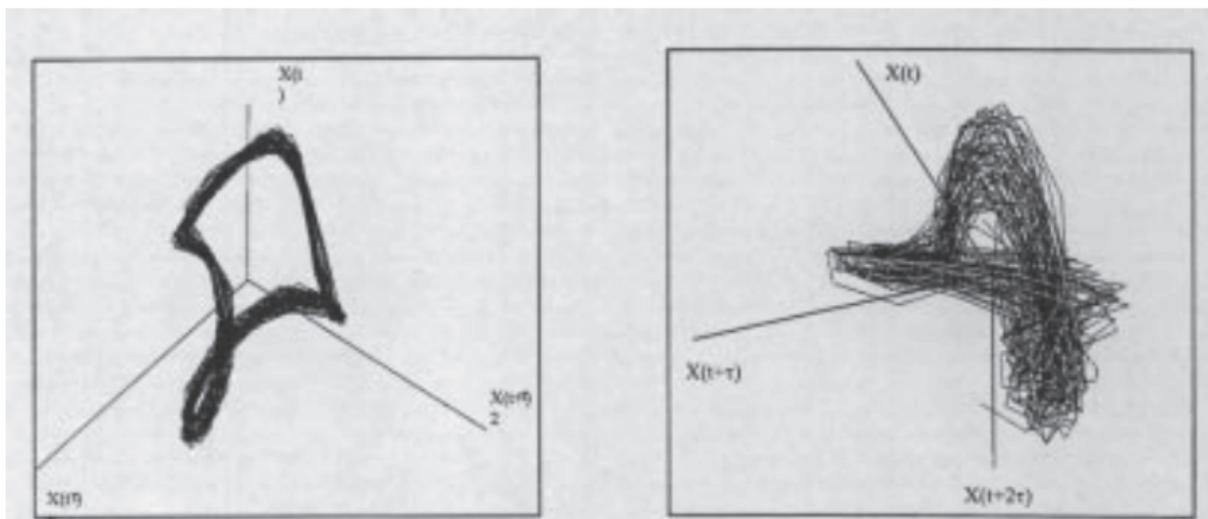


Figure 5: Portrait de phase d'un sujet présentant une voix normale (à gauche) et un sujet porteur d'une paralysie laryngée unilatérale (à droite)

Les mesures spectrales

L'analyse spectrale du signal repose sur le théorème de Fourier qui stipule qu'un signal complexe peut être reproduit par l'accumulation de signaux sinusoïdaux simples. Il est ainsi possible de déterminer un spectrogramme permettant de mesurer le rapport signal bruit.

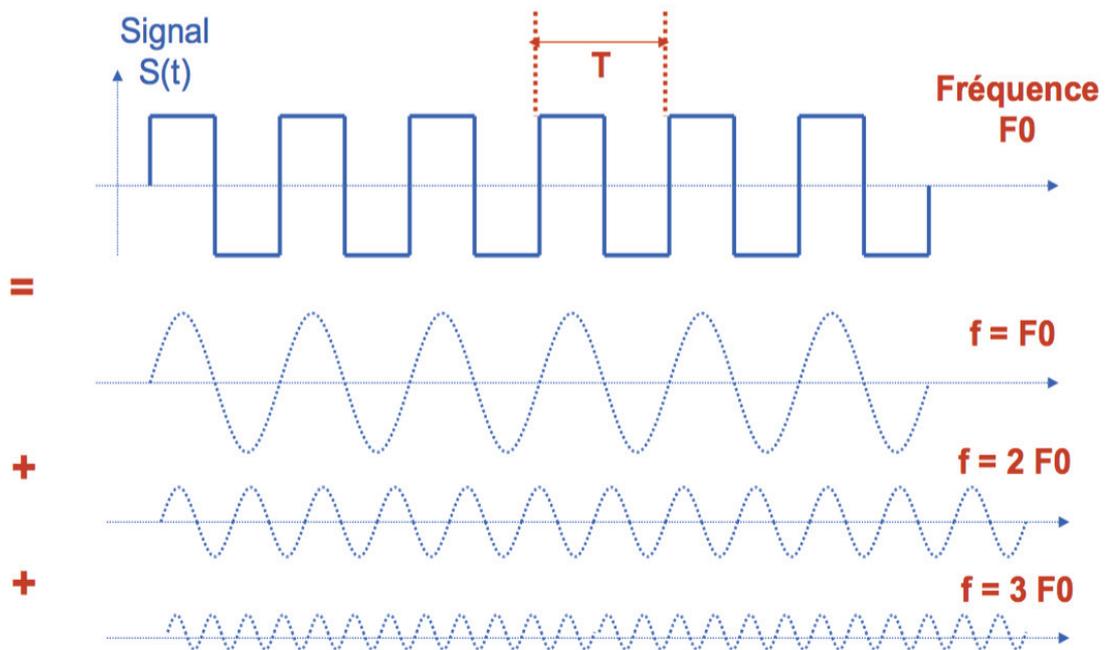


Figure 6 : Théorème de Fourier : un signal complexe peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux

La mesure du rapport signal/bruit explore la présence (ou absence) de « bruit » au cours de la phonation. Ce bruit peut être dû à un écoulement turbulent causé par un mauvais accolement des cordes vocales. On parle alors de « bruit additif ». Toutefois, il faut signaler qu'une vibration très instable peut être elle aussi mise en évidence par cette analyse : l'écart de la F_0 et de ses harmoniques par rapport à la valeur moyenne est détecté comme un « bruit de modulation ». L'importance de la composante de bruit dans le signal, qu'elle soit exprimée par le rapport signal/bruit ou par le rapport harmonique/bruit, semble être une variable acoustique bien corrélée avec le degré de sévérité de la dysphonie (27) (24).

L'analyse cepstrale n'est qu'un artifice technique supplémentaire visant à appliquer le théorème de Fourier à l'analyse spectrale elle-même. Elle peut donc être considérée comme un logarithme inverse de l'analyse spectrale. La détermination du CPP est actuellement l'objet de

nombreuses études (28)(29)(30). Le CPP est un bon indice prédictif de la sévérité de la dysphonie avec une sensibilité (85%), une spécificité (77%), une valeur prédictive négative (80%) et une valeur prédictive positive (69%) meilleure que le jitter, le shimmer et le rapport signal/bruit. (31). On comprend cependant que c'est un artifice mathématique supplémentaire et qu'il n'apporte pas d'informations nouvelles réelles. De plus la présentation reste encore relativement complexe.

d/ Les mesures aérodynamiques

Le temps maximal de phonation (TMP)

C'est le temps de tenue maximale d'une émission vocalique après une inspiration profonde. Il représente un reflet tout à fait fidèle de la qualité de la fermeture glottique et, de ce fait, il est considéré par de nombreux auteurs comme un bon indicateur de la fonction vocale (32). Il faut cependant souligner que le TMP présente une variabilité inter et intra individuelle assez importante. Le coefficient de corrélation inter individu est de l'ordre de 0,86 (33).

Le débit d'air buccal (DAB/OAF/MFR)

Le DAB est un paramètre qui permet de mesurer le débit aérien lors de la phonation et de quantifier la fuite d'air glottique secondaire à la pathologie vocale. Ainsi, Dejonckere rend compte de la composante du souffle que l'on peut entendre dans le timbre des voix pathologiques et l'associe à une occlusion glottique insuffisante engendrant une fuite continue d'air pendant la phonation. Cette fuite d'air glottique se caractérise par une augmentation du DAB (34). Le principe est de mesurer le débit d'air glottique pendant une émission vocale sur une voyelle tenue en l'absence de fuite nasale. On considère que les résultats sont pathologiques lorsqu'ils se situent en deçà de 40ml/s ou au-delà de 200ml/s.

La pression sous glottique (PSG)

La PSG est la pression à laquelle l'air arrive dans les poumons. Elle permet la mise en vibration des cordes vocales et ainsi la production du son. Elle augmente avec l'intensité de la voix et plus légèrement avec la hauteur tonale.

Le forçage vocal est un mode phonatoire pathologique caractérisé par une augmentation anormale des tensions à la fois aérodynamiques et musculaires lors de la phonation : il correspond à l'augmentation de l'énergie aérodynamique nécessaire pour vaincre la résistance laryngée. L'appréciation complète de la résistance laryngée nécessite, bien sûr, la prise en compte de la fuite glottique appréciée par le débit d'air. Cependant dans le cadre des paralysies laryngées, la fuite peut être augmentée selon la position de la corde vocale tandis que la pression sous glottique est augmentée pour compenser cette fuite.

e/ Les indices composites

Les indices composites acoustiques

Wolfe avait ainsi étudié la combinaison de 4 mesures acoustiques : la F_0 moyenne, le jitter, le shimmer et le rapport harmonique sur bruit et il avait montré que la combinaison de ces paramètres (surtout F_0 et shimmer) permettait de trouver une corrélation de 0.56 entre les mesures perceptives et les mesures acoustiques, ce qui restait faible, bien en deçà de la possibilité d'une réelle utilisation clinique (27).

Wuyts a proposé un index de la sévérité de la dysphonie (Dysphonia Severity Index, DSI) dans le cadre d'une étude multicentrique en Belgique. L'étude a été réalisée sur 319 sujets présentant une pathologie variée et 68 sujets normophoniques. L'analyse objective a été effectuée sur 13 paramètres acoustiques et aérodynamiques. L'analyse perceptive a été réalisée

selon le grade G de la méthode GRBAS sur une échelle à 4 niveaux. A l'aide d'une analyse de régression multivariée, il a sorti 4 paramètres pertinents :

- fréquence la plus élevée (Fo-High in Hz)
- intensité la plus basse (I-Low in dB)
- temps maximum de phonation (TMP)
- jitter (%)

A partir de ces 4 paramètres, il a été établi une équation de régression linéaire :

$$\text{DSI} = 0.13 * \text{MPT (s)} + 0.0053 * \text{Fo-High (Hz)} - 0.26 * \text{I-Low (dB)} - 1.18 * \text{Jitter (\%)} + 12.4$$

Le résultat a montré que plus la valeur de DSI est négative, plus la dysphonie est importante. A l'inverse, plus la valeur de DSI est positive, plus la dysphonie est légère. Par ailleurs, les mêmes auteurs ont réalisé une analyse de type discriminant et la combinaison de ces 4 mêmes variables a permis de retrouver 56% d'adéquation entre les deux systèmes d'analyse objective et perceptive (35).

L'ABI (Acoustic Breathiness Index) est un nouvel indice multiparamétrique calculé à partir de modèles de régression logistique de 9 variables permettant de prédire le souffle.

$$\text{ABI} = (5.0447730915 - [0.172 * \text{CPPs}] - [0.193 * \text{Jit}] - [1.283 * \text{GNEmax-4500 Hz}] - [0.396 * \text{Hfno-6000 Hz}] + [0.01 * \text{HNR-D}] + [0.017 * \text{H1-H2}] + [1.473 * \text{Shim-dB}] - [0.088 * \text{Shim}] - [68.295 * \text{PSD}]) * 2.9257400394$$

Cet indice a une sensibilité de 82,4% et une spécificité de 92,9% (36).

L'AVQI (Acoustic Voice Quality Index) développé par Maryn (37) est calculé à partir d'un modèle de régression logistique de 6 paramètres. $\text{AVQI} = 2.905 - 0.111 * \text{CPPs} - 0.073 * \text{HNR} - 0.213 * \text{shimmer local} + 2.789 * \text{shimmer local dB} - 0.032 * \text{slope} + 0.077 * \text{tilt}$. Cet indice a une sensibilité de 74% et une spécificité de 96% dans la détermination de la dysphonie. Il est très bien corrélé avec le grade G ($r=0,78$). (38)

Les indices composites acoustiques et aérodynamiques

Dans son travail, Piccirillo avait montré que la combinaison de 4 paramètres (la pression sous glottique (PSG), le débit d'air buccal (DAB), le temps maximum de phonation (TMP) et l'étendue vocale) était en corrélation significative avec chaque paramètre de l'échelle GRBAS ($r=0.49$ à 0.73) (32).

Giovanni avait présenté une étude combinant des mesures acoustiques et des mesures aérodynamiques à l'aide de l'appareillage EVA. Il s'agissait de comparer les résultats de l'analyse perceptive par un jury utilisant le paramètre G de l'échelle GRBAS à 4 niveaux et une ensemble de mesures objectives. 151 patients dysphoniques des deux sexes et 88 sujets témoins avaient été analysés. Pour chacun des sujets, un ensemble de paramètres objectifs avaient été mesurés au cours de la production d'une voyelle /a/ tenue : le jitter, le débit d'air, l'analyse spectrale et la durée de l'onset vibratoire. Une analyse statistique discriminante avait été réalisée. Les résultats montraient que 66% des sujets avaient été classés de la même façon que par le jury (39).

f/ Le phonétogramme

Le phonétogramme consiste à tracer l'étendue vocale dans un plan cartésien avec les fréquences en abscisse et les intensités en ordonnée, en portant sur un graphique les notes produites aux intensités les plus basses et les plus fortes possibles. La distance entre les deux extrémités représente la dynamique tonale (en notes ou en Hz) et l'épaisseur la dynamique de l'intensité (en dB). Bien que l'étendue vocale soit entachée par la variabilité individuelle importante, elle est bien corrélée avec l'état vocal du locuteur.

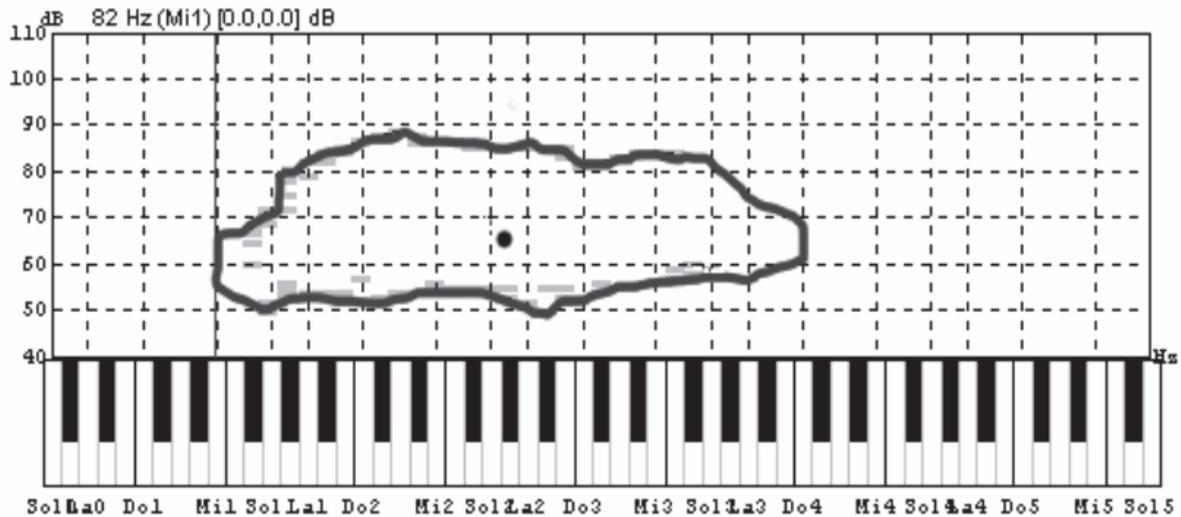


Figure 7 : Phonétogramme d'un sujet normal

III. Matériel et méthode

A/ Population de l'étude

Notre étude est une étude rétrospective menée de octobre 2012 à mai 2016 à l'Hôpital de la Conception à Marseille. 153 patients de plus de 18 ans ont été inclus (75 hommes et 78 femmes). La moyenne d'âge était de 60 ans. Le diagnostic de PLU a été posé par laryngoscopie indirecte, réalisée soit à l'optique rigide, soit par nasofibroscopie.

Les enregistrements vocaux ont été effectués avant tout traitement chirurgical.

La **Figure 8** montre la répartition des étiologies des PLU dans notre série. Nous n'avons pas retenu les cas de paralysie secondaire à une immobilité par blocage.

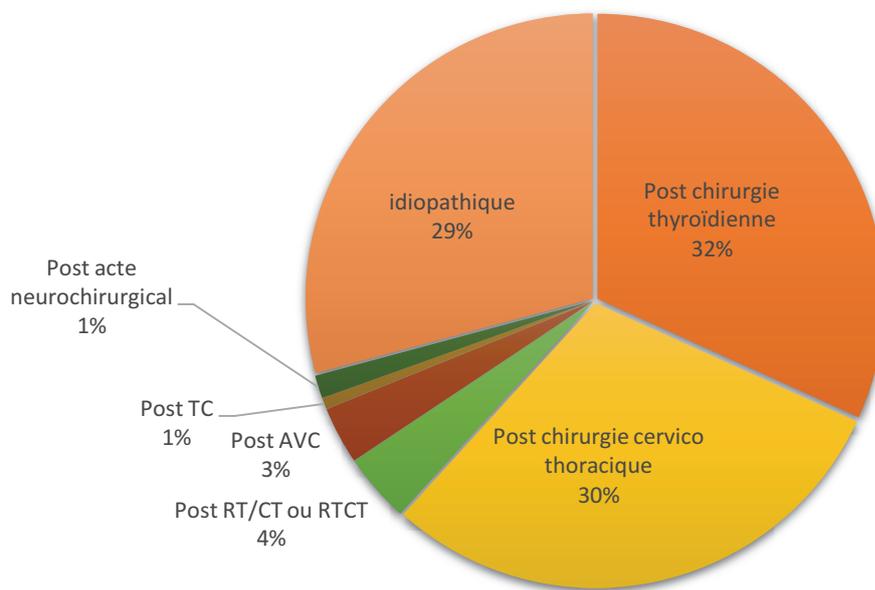


Figure 8 : Etiologies des paralysies laryngées unilatérales

B/ Enregistrement vocal

Les enregistrements vocaux ont été réalisés avec un microphone AKG C4000B qui était placé à 20 cm légèrement plus haut que la bouche du patient avec un filtre anti pop. Le gain avait été ajusté à l'enregistrement, pour optimiser au mieux la dynamique du système tout en évitant la saturation.

Il avait été demandé au patient de lire un texte d'environ 100 mots à hauteur et à intensité confortable :

« M. Seguin n'avait jamais eu de bonheur avec ses chèvres. Il les perdait toutes de la même façon : un beau matin, elles cassaient leur corde, s'en allaient dans la montagne, et là-haut le loup les mangeait. Ni les caresses de leur maître, ni la peur du loup, rien ne les retenait. C'était, paraît-il, des chèvres indépendantes, voulant à tout prix le grand air et la liberté. Le brave M. Seguin, qui ne comprenait rien au caractère de ses bêtes, était consterné. Il disait : C'est fini,; les chèvres s'ennuient chez moi, je n'en garderai pas une. »



Photo 1 : Salle des enregistrements vocaux

C/ Analyse perceptive : méthodes et résultats

Le classement GRBAS a été mené par 3 orthophonistes expérimentées du service. Chaque orthophoniste a écouté de façon indépendante chaque enregistrement vocal dans un ordre aléatoire (**Annexe 2**). Dans notre étude, conformément au protocole ELS et aux données de la littérature, les paramètres A (Asthénie) et S (Serrage) de l'échelle d'Hirano ne sont pas utilisés du fait d'un faible taux de corrélation avec les mesures acoustiques (1).

Les sujets pour lesquels les 3 membres du jury avaient donné 3 grades différents ont été éliminés. Nous avons gardé les sujets pour lesquels il n'existait une discordance que pour une orthophoniste. Le résultat final conservé est le grade choisi par au moins deux orthophonistes.

Puis nous avons recherché dans chaque grade G, les sujets pour lesquels les grades R et B étaient incohérents par rapport à G et nous avons décidé d'extraire ces sujets de l'analyse statistique (**Tableaux 1 et 2**).

Tableau 1 : Nombre final de patients

		SUJETS EXCLUS		
	n initial	Discordance du jury	Discordance G vs R/B	n final
GO	0	0	0	0
G1	39	22	2	15
G2	75	28	9	38
G3	39	6	7	26
Total	153	56	18	79

Au total la population finale conservée est la suivante :

Tableau 2 : Nombre final de patients par grade perceptif

	G	R	B
0	0	3	6
1	15	26	23
2	38	33	31
3	26	17	18
N/A	-	-	1
Total	79	79	78

D/ Mesures objectives

Pour ce travail, nous avons pris en compte trois enregistrements sonores pour chaque patient :

- le /a/ le plus long possible avec une voix usuelle et confortable
- une série de trois /a/ consécutifs
- trois séries d'environ 7 /papapa/

L'enregistrement des voix des patients a été effectué avec le système EVA 2 (Evaluation Vocale Assistée) qui recueille simultanément les mesures acoustiques et aérodynamiques.



Photo 2 : Enregistrement des mesures objectives avec le système EVA

Les premières données qui nous intéressent sont mesurées à partir de la production des trois /a/ consécutifs : la fréquence fondamentale ou F0 (Hertz) et son écart-type (Hertz), le jitter factor (%), l'intensité (décibel dB), l'écart-type de l'intensité, le shimmer absolu (dB), le débit d'air oral (dm^3/s), le rapport signal/bruit, le rapport harmonique/bruit (HNR), le Signal Ratio (Sr) (%) et le Signal Ratio pour les fréquences supérieures à 1kHz (%). Le rapport de la F0 sur son écart type nous a permis de calculer le Coefficient de Variation de la Fréquence fondamentale (CV) qui mesure l'instabilité globale de la voix sur tout l'échantillon.

Le Temps Maximum de Phonation (en seconde) a été calculé à partir de la production du /a/ tenu.

La production des /papapa, nous a permis d'obtenir la Pression Sous Glottique Estimée (PSGE) (hPa) à partir de la PIO (Pression Intra-Orale). Le Débit d'Air Buccal (DAB) (dm^3/s) a aussi été relevé. On a alors calculé l'efficacité glottique (rapport d'énergie acoustique : l'intensité sur l'énergie aérodynamique, la PSGE).

Toutes ces mesures ont été recueillies sur le logiciel SESANE qui fait partie du système EVA 2. Pour chaque mesure, une analyse indépendante de chaque courbe a été nécessaire pour obtenir des valeurs fiables et précises.

Chaque mesure objective a été calculée à partir de la partie stable du signal sonore sur une fenêtre d'analyse de 2 secondes, 200 ms après l'attaque vocale. Systématiquement chaque mesure a été répétée sur les 3 séries de /a/ et les 7 séries de /papapa/ et la moyenne des valeurs a été rapportée dans les résultats.

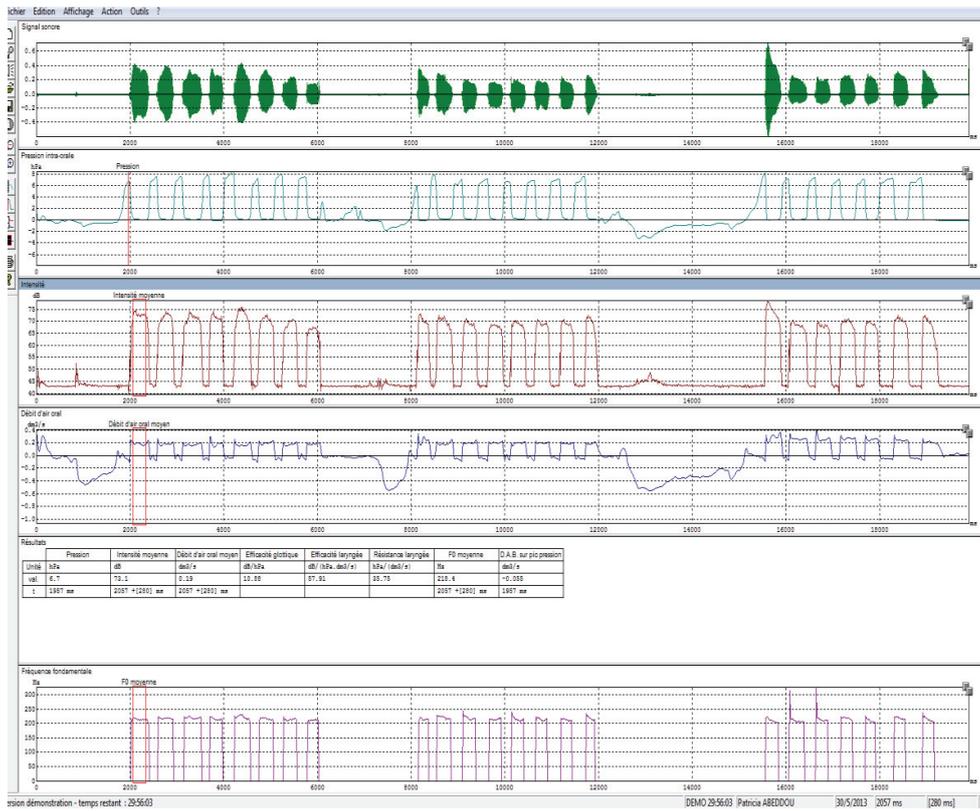


Figure 9 : Capture d'écran du logiciel SESANE (EVA 2). Trois séries de /papapa/

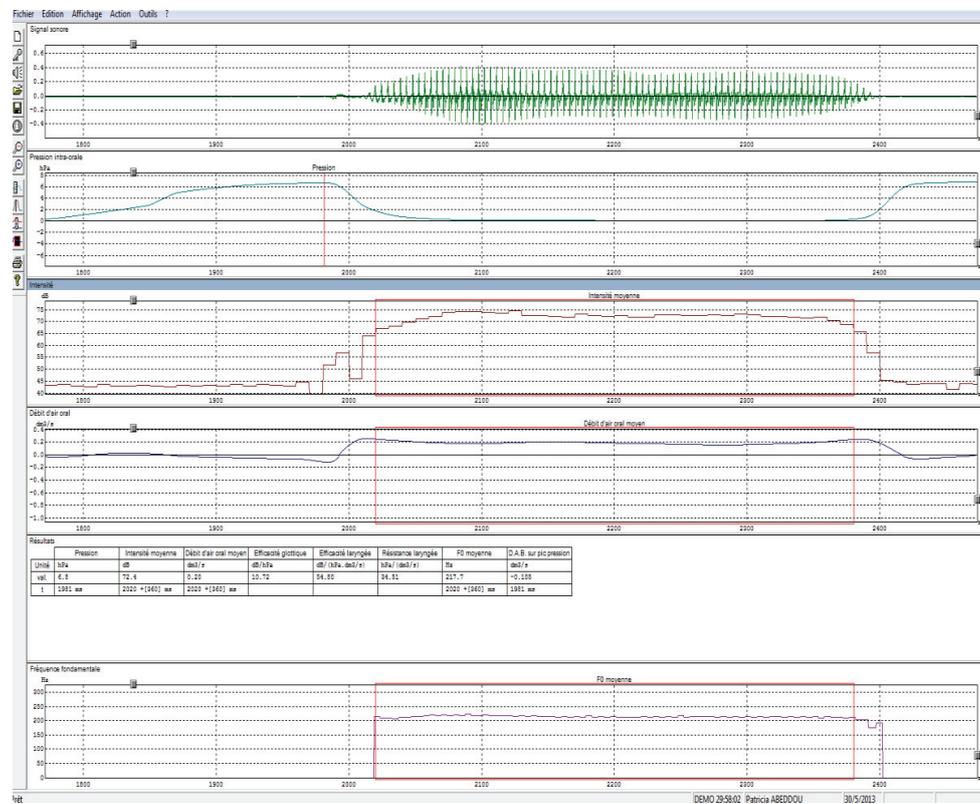


Figure 10 : Mesure de la pression sur la syllabe /pa/ dans SESANE

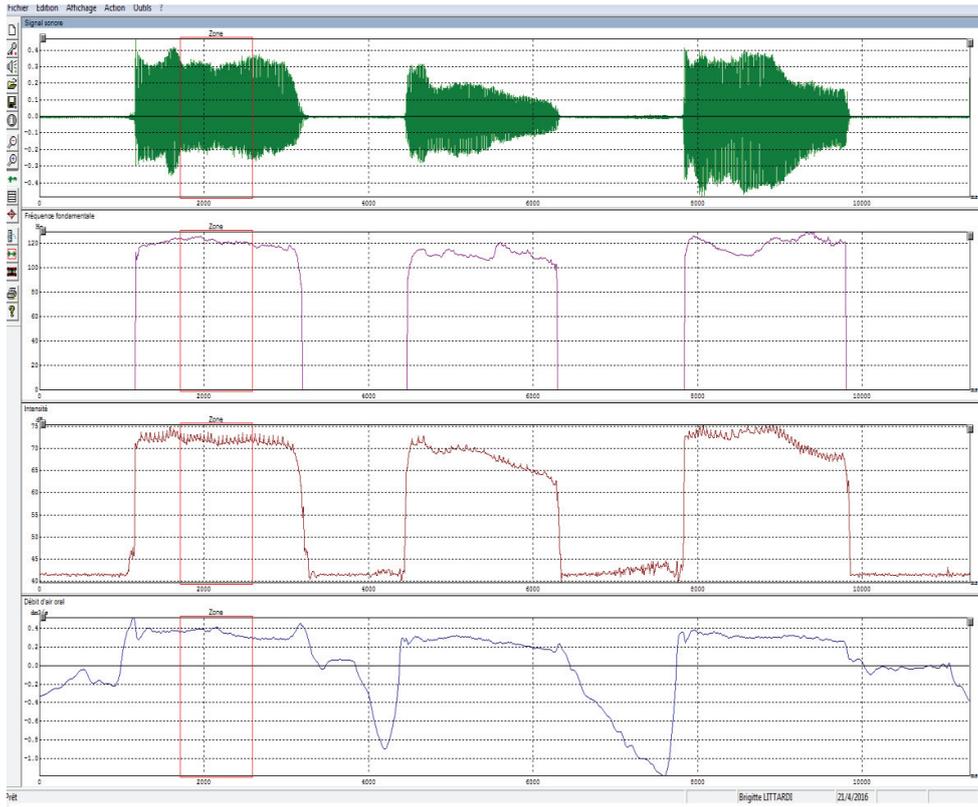


Figure 11 : Mesure de la F0, de l'intensité et du DAB dans trois séries de /a/

E/ Analyse statistique

Nous avons utilisé le logiciel 'R' version 3.4. Les deux modèles statistiques utilisés sont :

- Des analyses de variances dans lesquelles les grades de dysphonies sont les effets fixes catégoriels et les variables dépendantes sont les mesures instrumentales
- Des corrélations de Pearson lors de comparaison de mesures instrumentales

IV. Résultats

Nous avons choisi de présenter les résultats des paramètres de fuite et d'instabilité glottique représentant les caractéristiques principales des voix de paralysie laryngée unilatérale ; ainsi que le VHI relatif à la perception du handicap par le patient.

Nous avons calculé la moyenne et l'écart type (SD) des variables en fonction du grade perceptif et fait une analyse comparative entre grades consécutifs. Les résultats sont présentés dans les **Tableaux 3 à 21**. Puis, pour bien visualiser la répartition des variables en fonction du grade, nous les avons représentées sous forme de Box Plot (**Figures 9 à 26**).

A/ Données du VHI classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 3 : Moyenne du VHI en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
VHI					
<i>Moyenne</i>	38		51		65
<i>SD</i>	16		24		19
<i>p</i>		0,048		0,01	

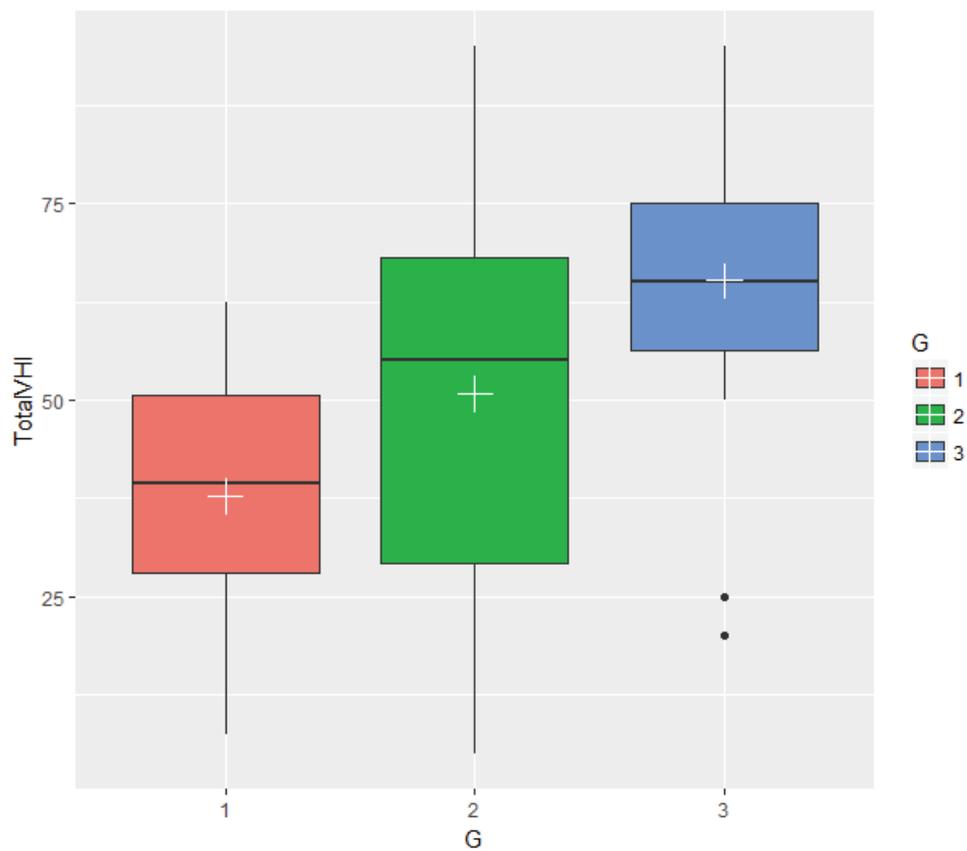


Figure 9 : VHI en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 4 : Moyenne du VHI en fonction du grade R

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
VHI							
<i>Moyenne</i>	42		48		52		64
<i>SD</i>	24		23		24		21
<i>Valeur p</i>		0,64		0,56		0,1	

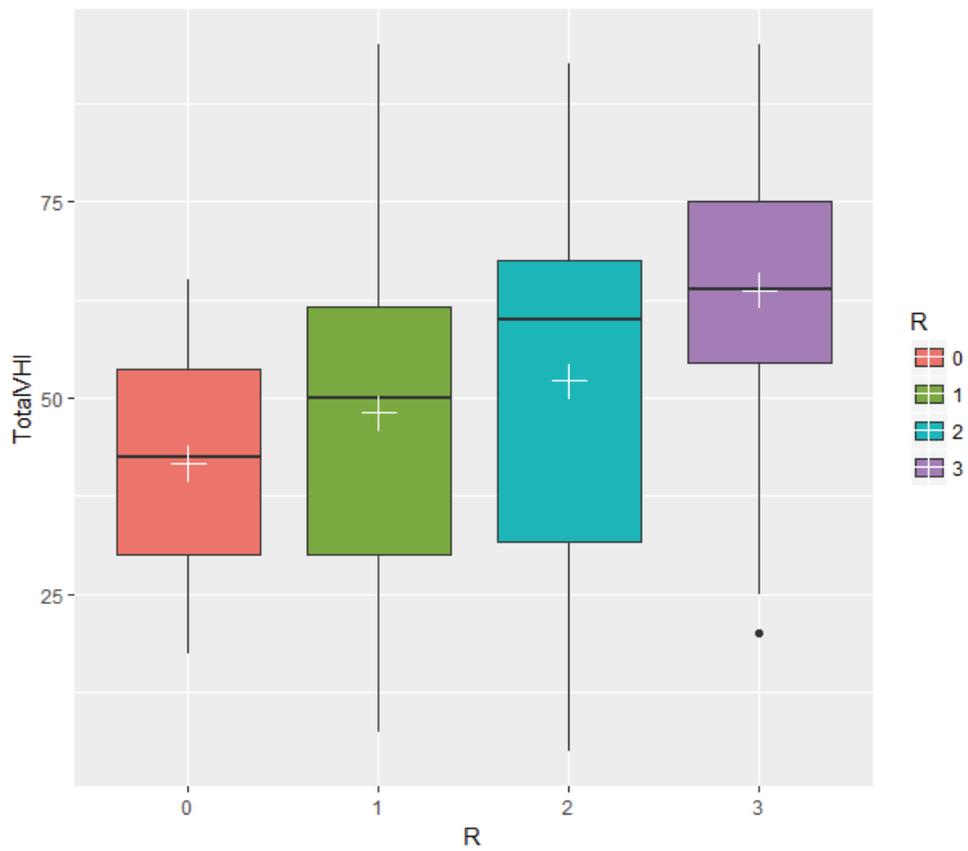


Figure 10 : VHI en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 5 : Moyenne du VHI en fonction du grade B

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
VHI							
<i>Moyenne</i>	46		41		60		60
<i>SD</i>	26		20		23		19
<i>Valeur p</i>		0,6		0,002		0,95	

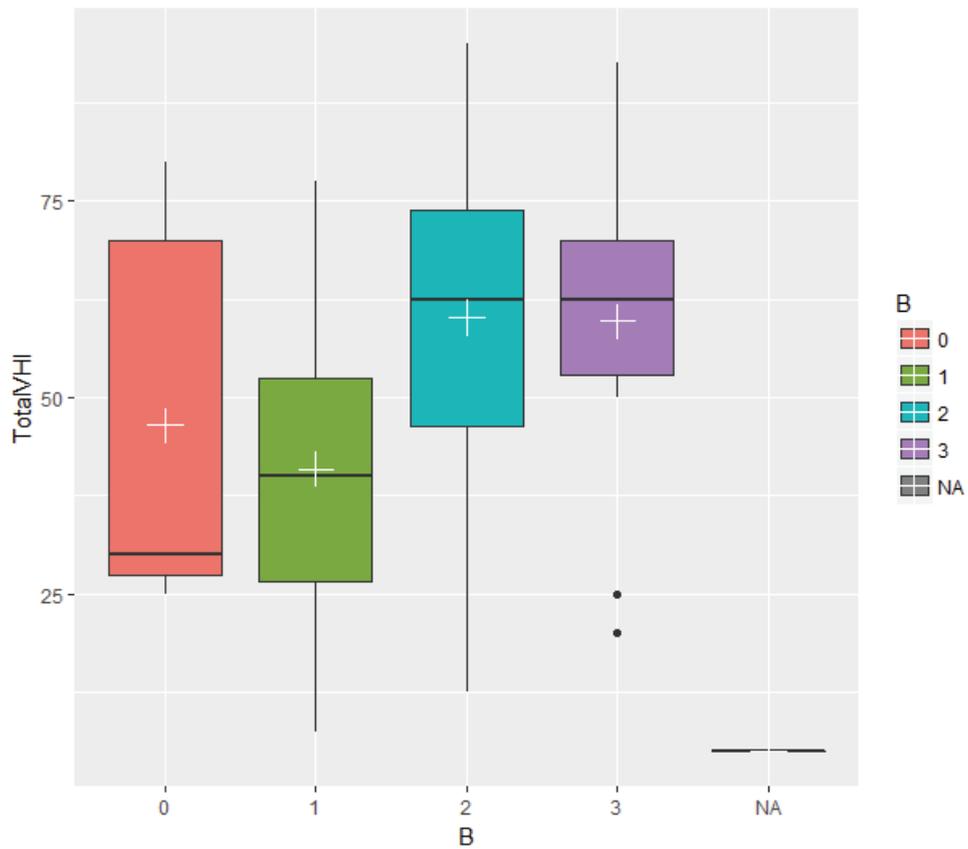


Figure 11 : VHI en fonction du grade B

On voit que :

Par rapport à G :

- Le VHI est assez bien corrélé au jugement perceptif de type G
- Les valeurs de VHI sont bien distinctes entre G1 et G2 ($p=0,48$) , G2 et G3 ($p=0,01$)

Par rapport à R :

- Le VHI semble corrélé à R surtout dans les formes sévères R3 ($p=0,1$)

Par rapport à B :

- Il existe une grande dispersion des valeurs de B0
- B2 et B3 ont la même valeur moyenne et la valeur moyenne du VHI est bien distincte entre B1 et B2 ($p=0,002$)

B/ Données de l'OAF classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 6 : Moyenne de l'OAF en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
OAF					
<i>Moyenne</i>	208		304		460
<i>SD</i>	54		188		209
<i>Valeur p</i>		0,01		0,009	

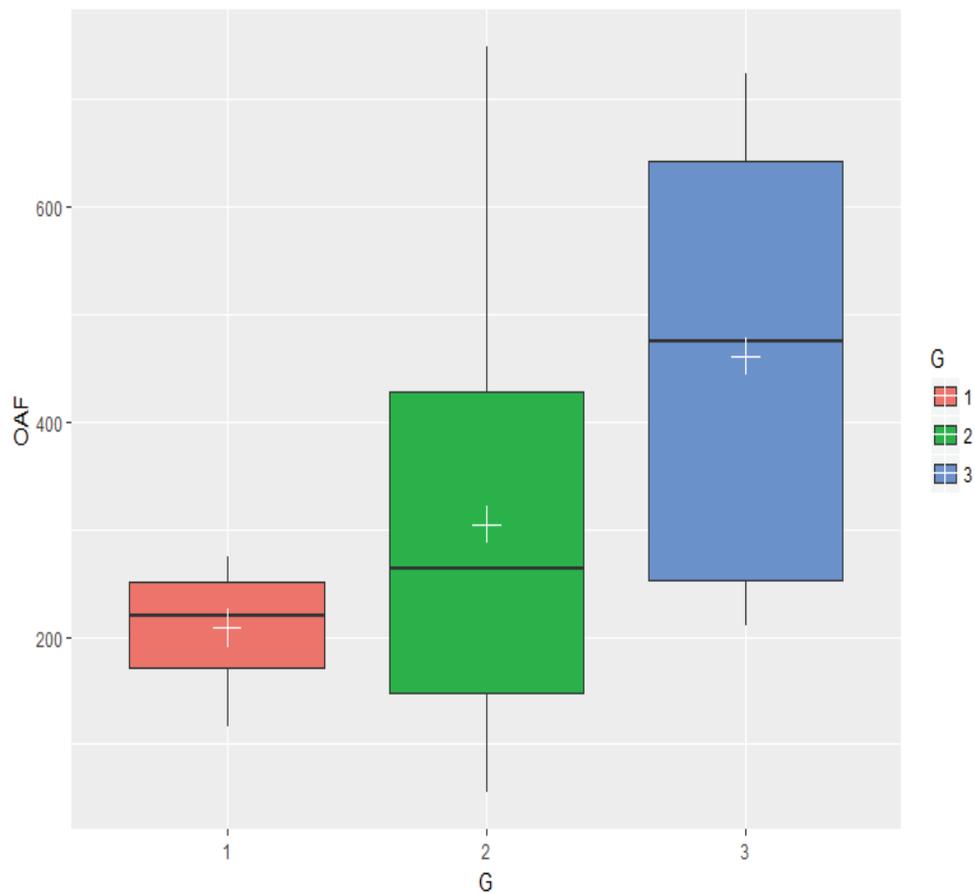


Figure 12 : OAF en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 7 : Moyenne de l'OAF en fonction du grade G

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
OAF							
<i>Moyenne</i>	320		269		307		497
<i>SD</i>	138		136		200		224
<i>Valeur p</i>		0,06		0,52		0,01	

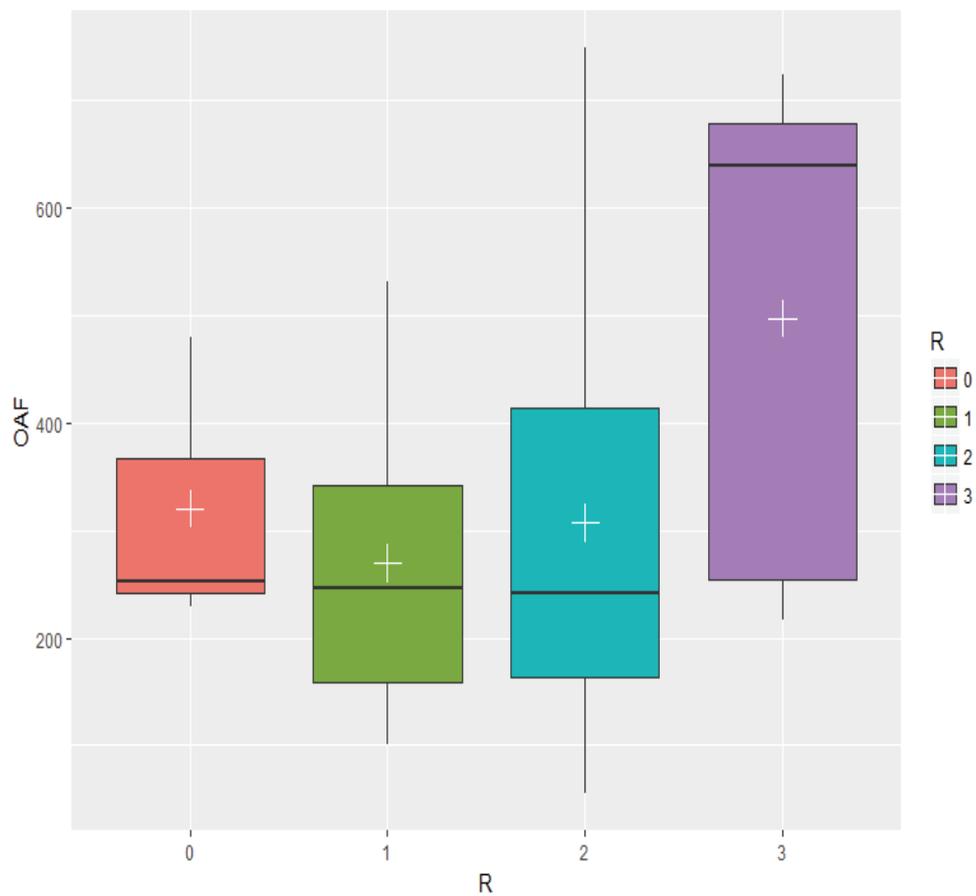


Figure 13 : OAF en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 8 : Moyenne de l'OAF en fonction du garde B

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
OAF							
<i>Moyenne</i>	148		226		263		496
<i>SD</i>	88		72		201		241
<i>Valeur p</i>		0,41		0,01		0,04	

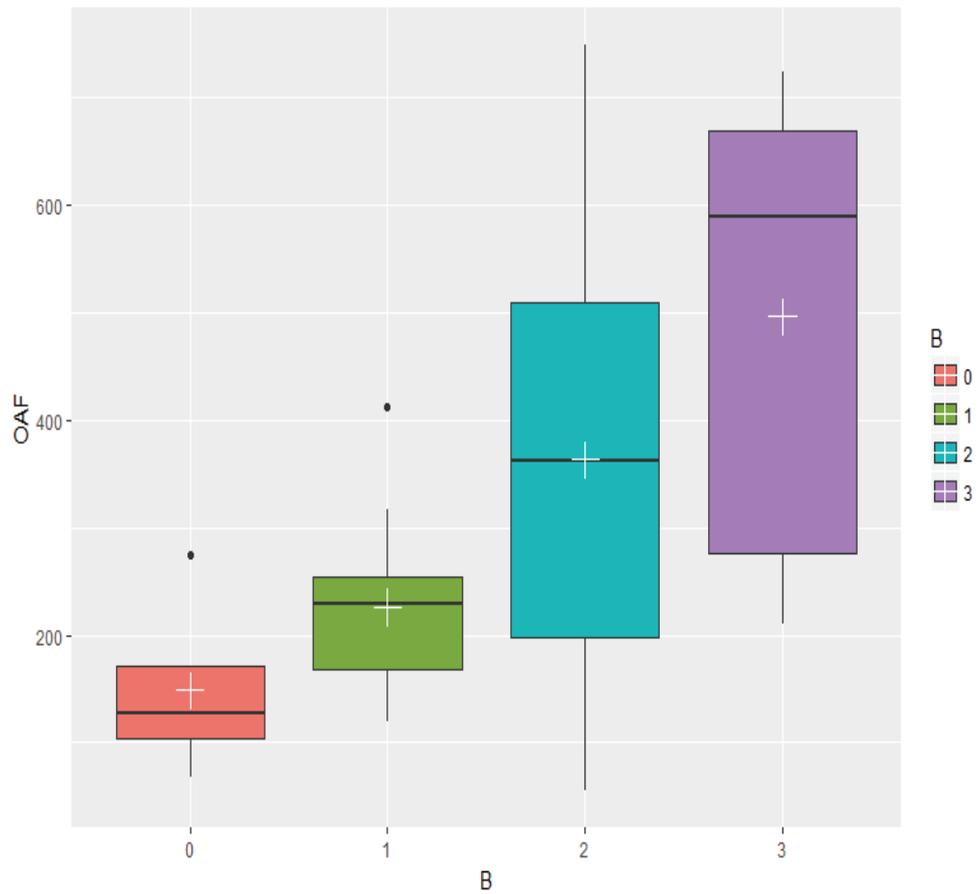


Figure 14 : OAF en fonction du grade B

On voit que :

Par rapport au grade G :

- L'OAF est bien corrélé aux grades et surtout à G avec une différence statistiquement significative entre G1 et G2 ainsi qu'entre G2 et G3

Par rapport au grade R :

- Il n'y a pas de différence entre R1 et R2 ($p=0,02$)
- Les R0 ont un débit élevé, on peut en déduire que OAF n'est pas corrélé à R

Par rapport au grade B :

- Le débit est bien corrélé aux grades et plus particulièrement avec B
- On observe une bonne discrimination entre des grades contigus mais on peut observer une dispersion des valeurs entre les grades B2 et B3

C/ Données du TMP classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 9 : Moyenne du TMP en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
TMP					
<i>Moyenne</i>	9,7		7,2		4,1
<i>SD</i>	4,5		4,34		3,2
<i>Valeur p</i>		0,04		0,005	

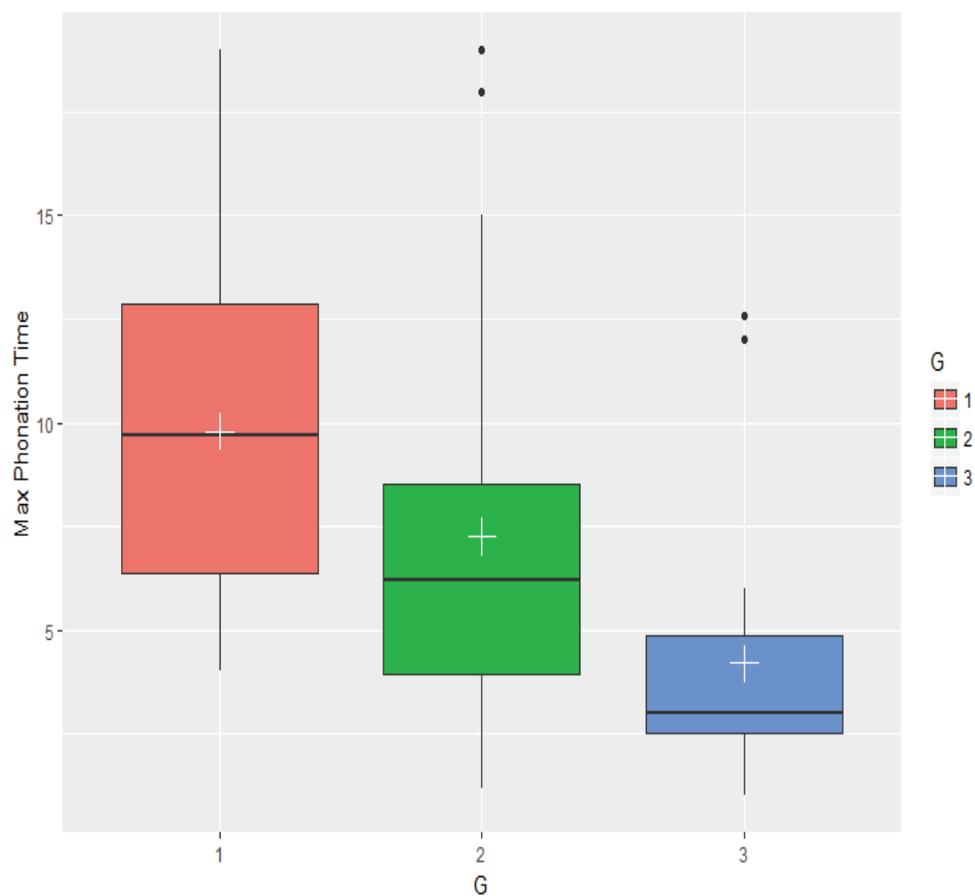


Figure 15 : TMP en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 10 : Moyenne du TMP en fonction du grade R

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
TMP							
<i>Moyenne</i>	9,7		6,5		5,7		3,3
<i>SD</i>	4,2		4,6		4,9		2,6
<i>Valeur p</i>		0,9		0,8		0,01	

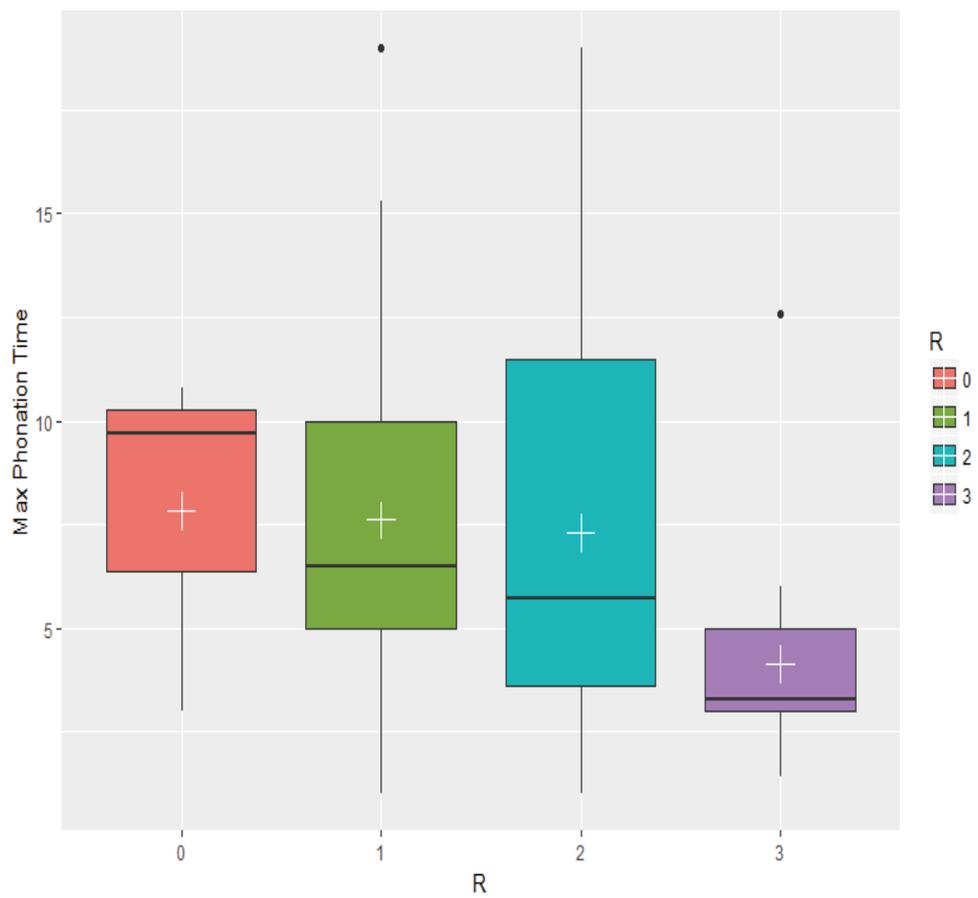


Figure 16 : TMP en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 11 : Moyenne du TMP en fonction du grade R

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
TMP							
<i>Moyenne</i>	10,7		9,5		5,9		3,6
<i>SD</i>	5,1		4,6		3,3		3,2
<i>Valeur p</i>		0,5		0,01		0,05	

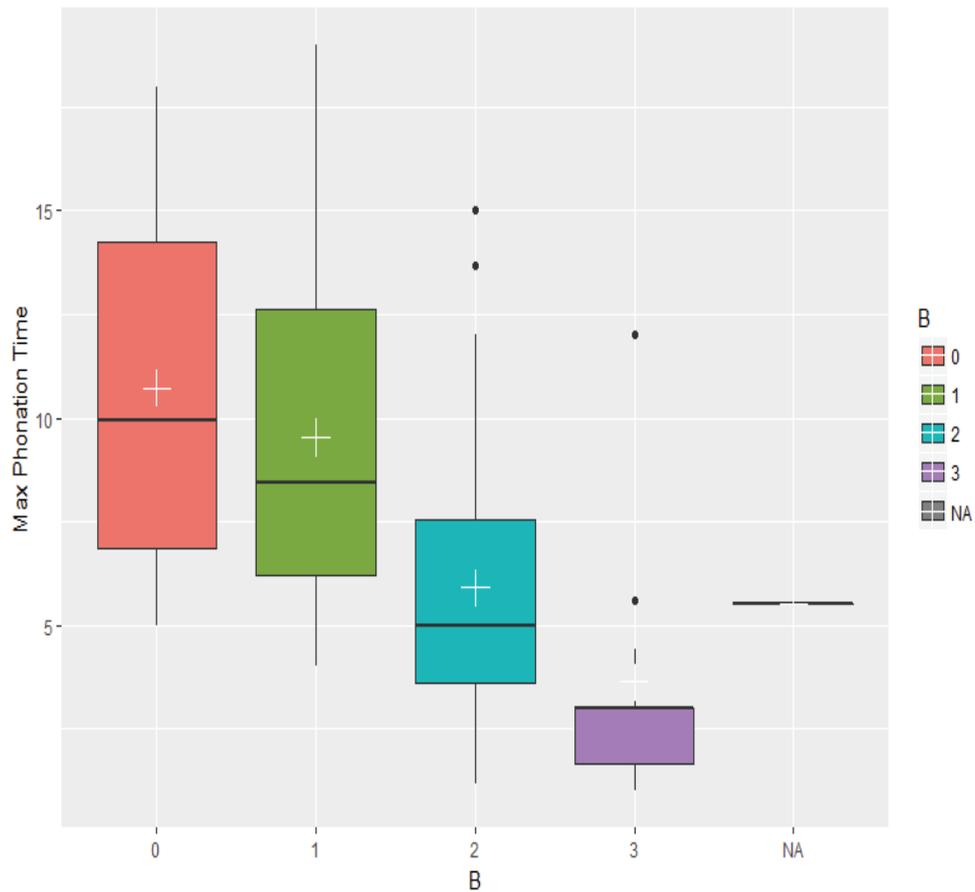


Figure 17 : TMP en fonction du grade B

On voit que :

Par rapport au grade G :

- Le TMP bien corrélé aux grades et surtout à G avec une différence statistiquement significative entre G1 et G2 ainsi qu'entre G2 et G3

Par rapport au grade B :

- Il existe une différence statistiquement significative entre B1 et B2 ainsi qu'entre B2 et B3. Le TMP semble être un indicateur discriminant
- Il existe un chevauchement des valeurs entre B0 et B1

D/ Données du Sr > 1 KHz classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 12 : Moyenne du Sr > 1 kHz en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
Sr > 1 kHz					
<i>Moyenne</i>	76		54		32
<i>SD</i>	15		23		17
<i>Valeur p</i>		0,003		0,0003	

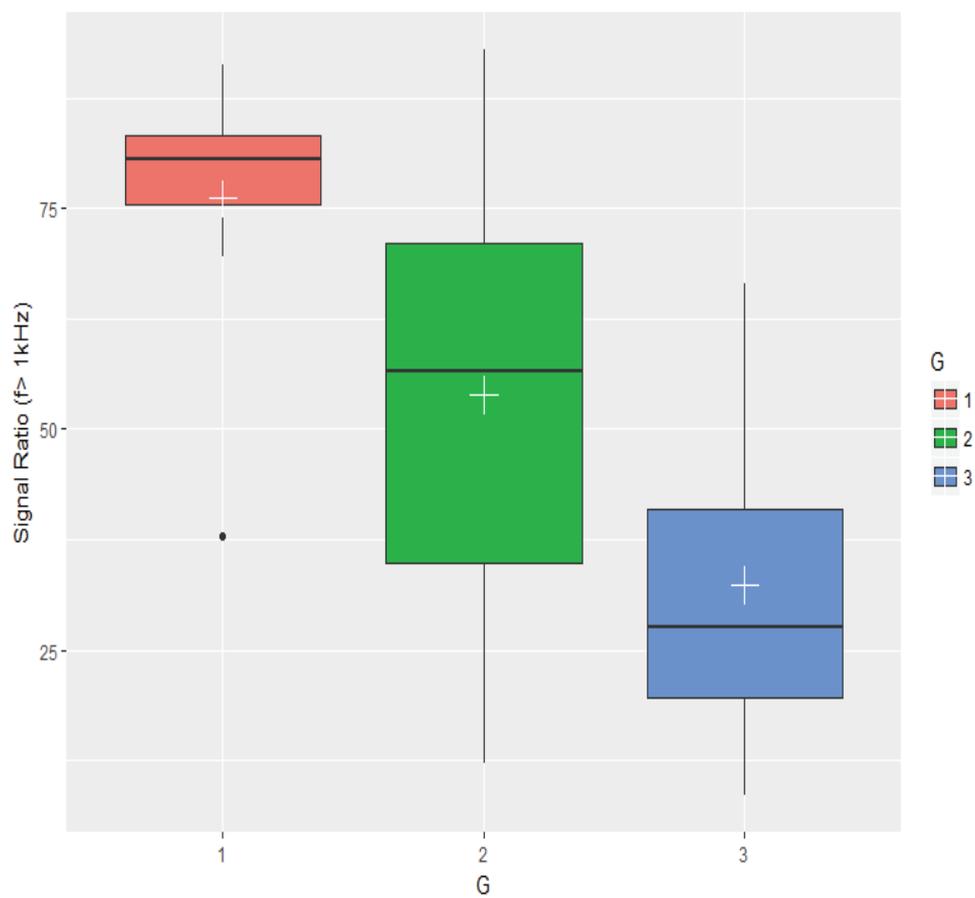


Figure 18 : Sr > 1kHz en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 13 : Moyenne du $Sr > 1$ kHz en fonction du grade R

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
$Sr > 1$ kHz							
<i>Moyenne</i>	70		65		47		31
<i>SD</i>	31		22		21		20
<i>Valeur p</i>		0,7		0,006		0,02	

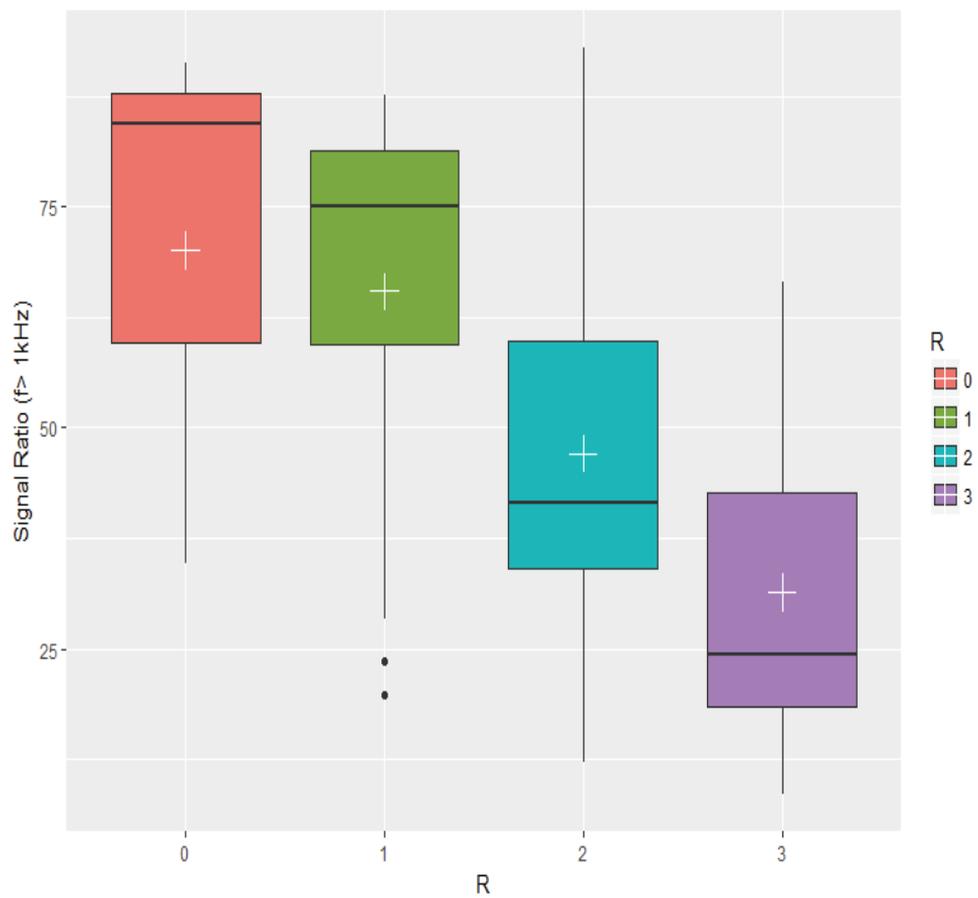


Figure 19 : $Sr > 1$ kHz en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 14 : Moyenne du Sr > 1 kHz en fonction du grade B

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
Sr > 1 kHz							
<i>Moyenne</i>	76		64		48		30
<i>SD</i>	10		21		24		14
<i>Valeur p</i>		0,03		0,02		0,01	

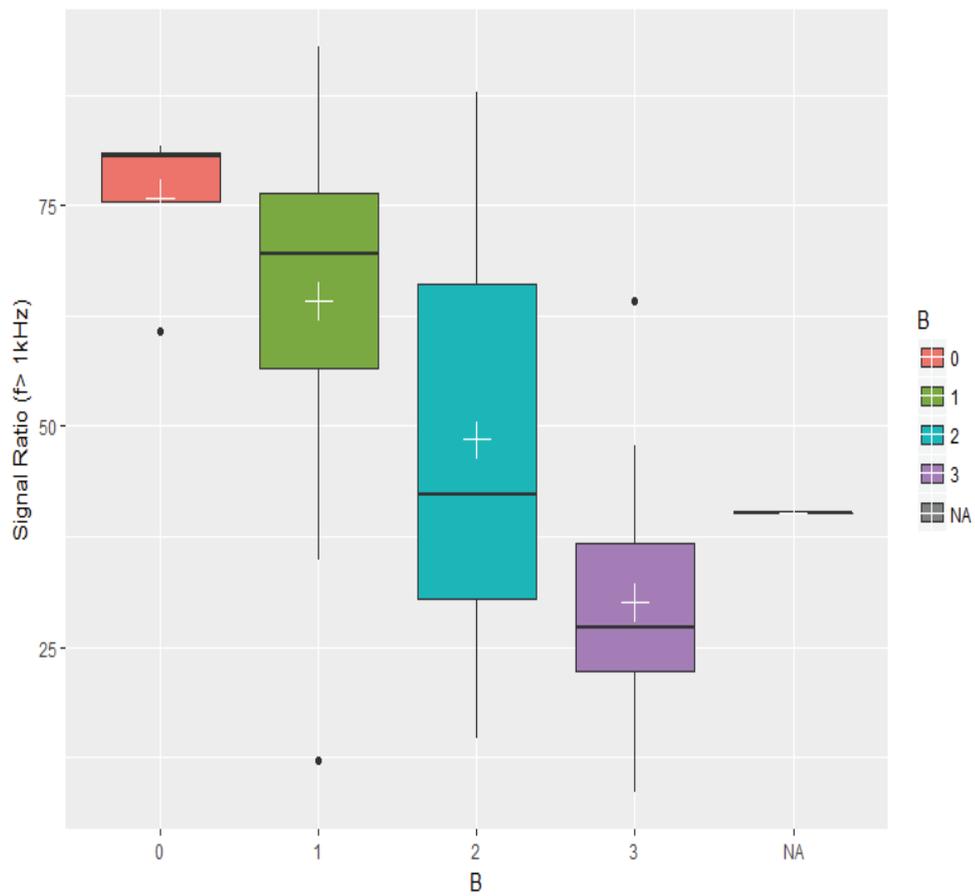


Figure 20 : Sr > 1kHz en fonction du grade B

On voit que :

- Le $Sr > 1\text{kHz}$ est bien corrélé à G, R et B et plus particulièrement à B

E/ Données du CV F0 classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 15 : Moyenne du CV F0 en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
CV F0					
<i>Moyenne</i>	1,8		3,2		3,8
<i>SD</i>	0,6		2,3		1,9
<i>Valeur p</i>		0,08		0,3	

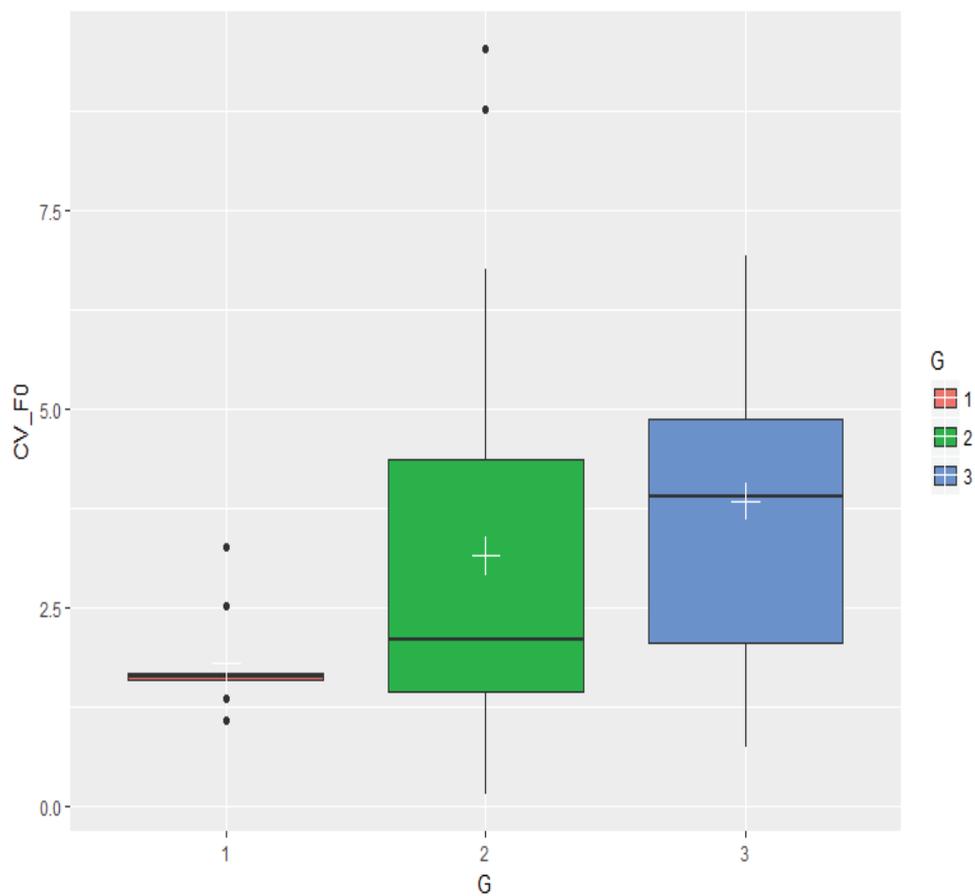


Figure 21 : CV FO en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 16 : Moyenne du CV F0 en fonction du grade R

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
CV F0							
<i>Moyenne</i>	2,7		2,2		3,5		3,9
<i>SD</i>	2,3		2		2,2		1,7
<i>Valeur p</i>		0,7		0,051		0,7	

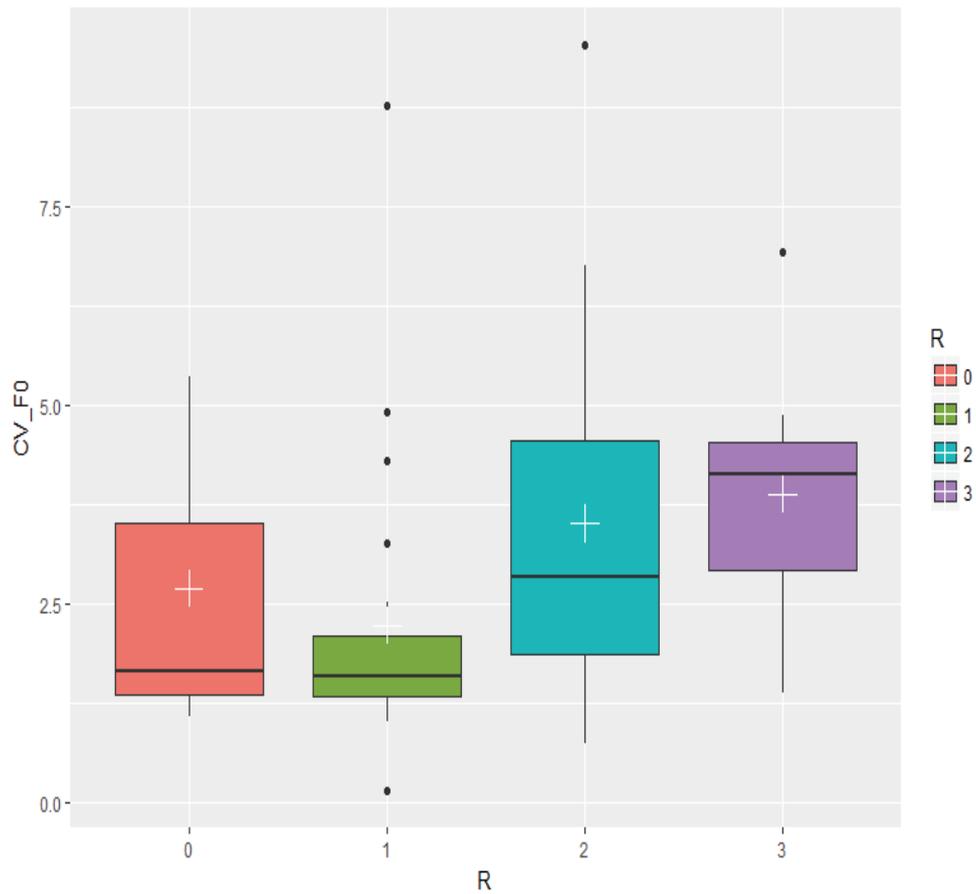


Figure 22 : CV FO en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 17 : Moyenne du CV F0 en fonction du grade B

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
CV FO							
<i>Moyenne</i>	2,7		2		3,5		3,9
<i>SD</i>	2,3		0,75		2,5		2
<i>Valeur p</i>		0,6		0,04		0,6	

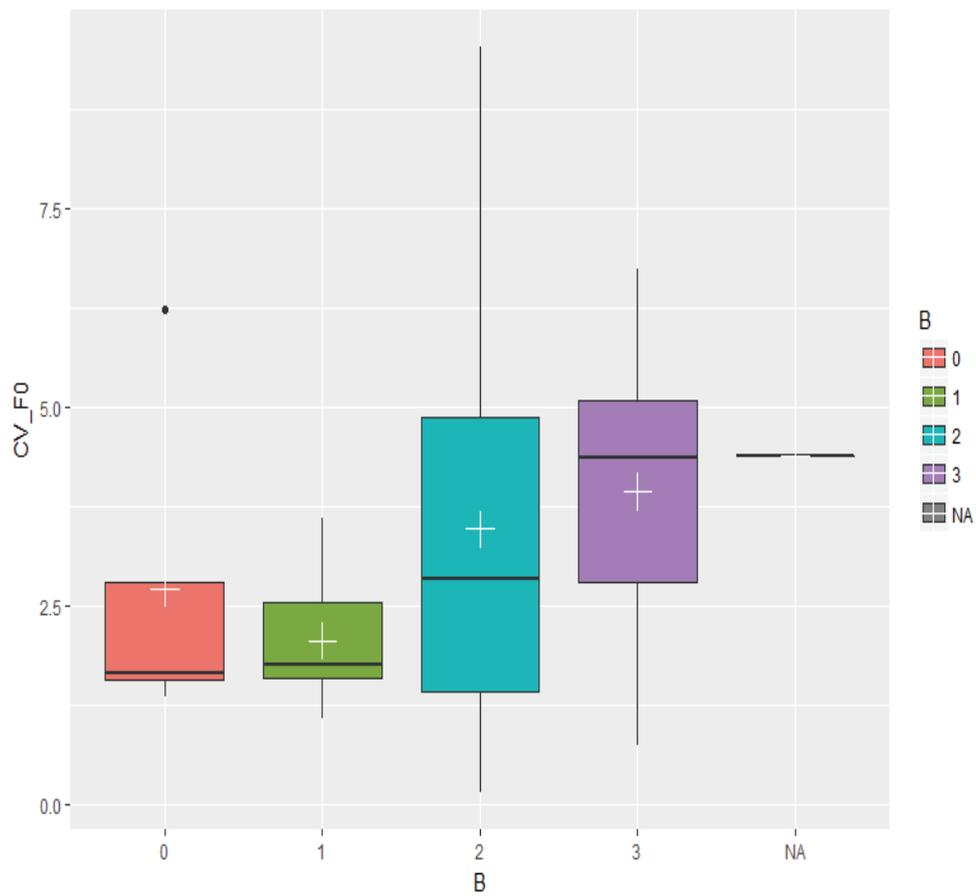


Figure 23 : CV FO en fonction du grade B

On voit que :

- Le CV FO est bien corrélé pour différencier le grade 1 et le grade 2 que se soit pour G, R, B

F/ Données du Jitter classées par grade perceptif

On retire de l'étude les jitter supérieur à 5

- En fonction du grade G

Tableau 18 : Moyenne du Jitter en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
Jitter					
<i>Moyenne</i>	0,55		1,1		2
<i>SD</i>	0,36		0,82		1,9
<i>Valeur p</i>		0,002		0,0001	

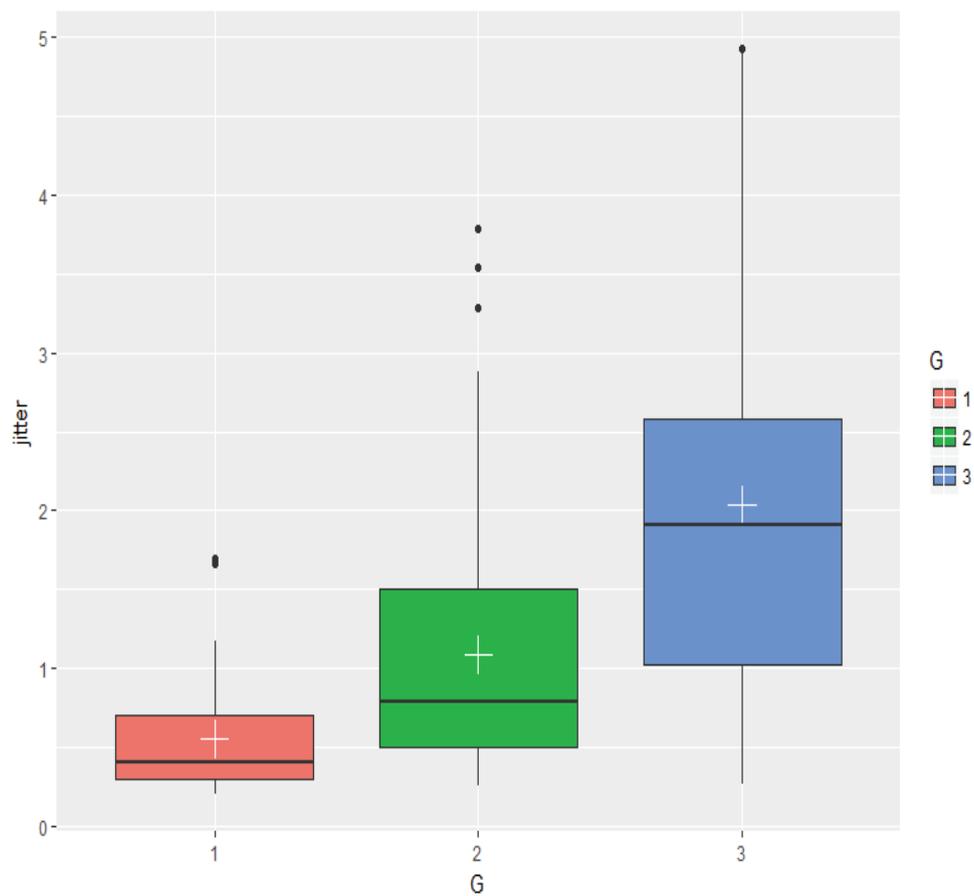


Figure 24 : Jitter en fonction du grade G

- En fonction du grade R

Tableau 19 : Moyenne du Jitter en fonction du grade R

	R 0	R0/R1	R1	R1/R2	R2	R2/R3	R3
Jitter							
<i>Moyenne</i>	0,7		0,8		1,3		2,1
<i>SD</i>	0,53		0,67		0,91		1,42
<i>Valeur p</i>		0,7		0,005		0,0005	

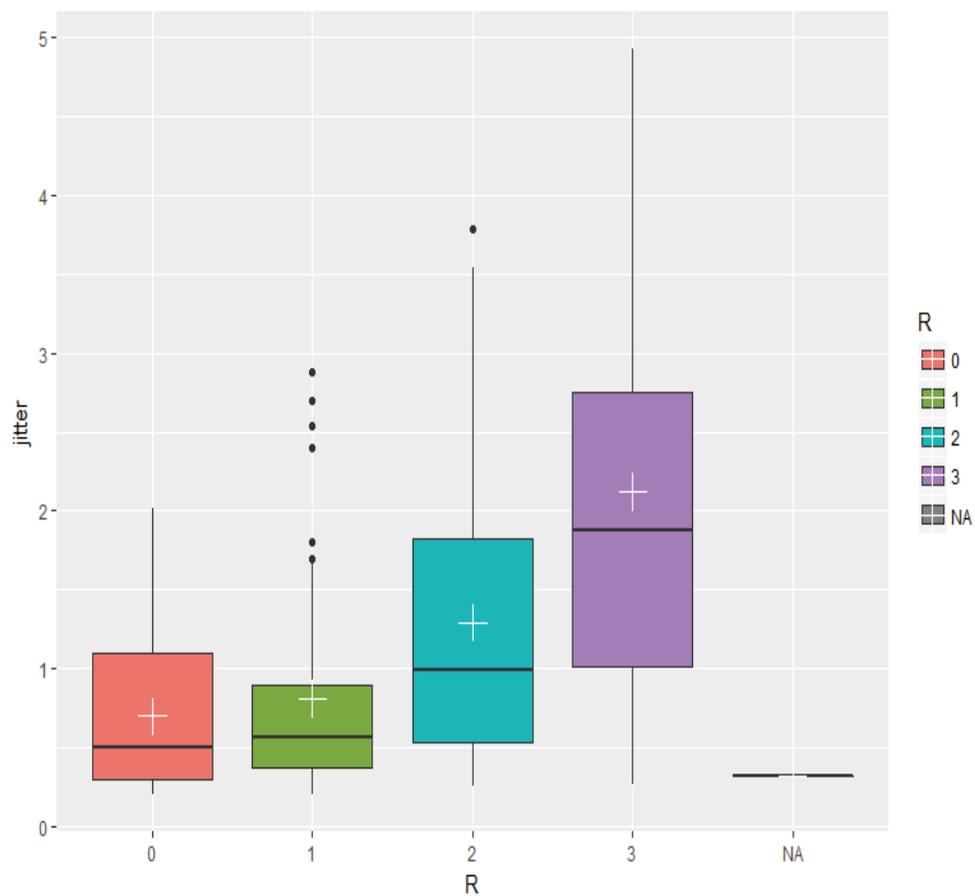


Figure 25 : Jitter en fonction du grade R

- En fonction du grade B

Tableau 20 : Moyenne du Jitter en fonction du grade B

	B0	B0/B1	B1	B1/B2	B2	B2/B3	B3
Jitter							
<i>Moyenne</i>	0,38		0,81		1,5		1,9
<i>SD</i>	0,16		0,76		1,1		0,95
<i>Valeur p</i>		0,14		0,0002		0,15	

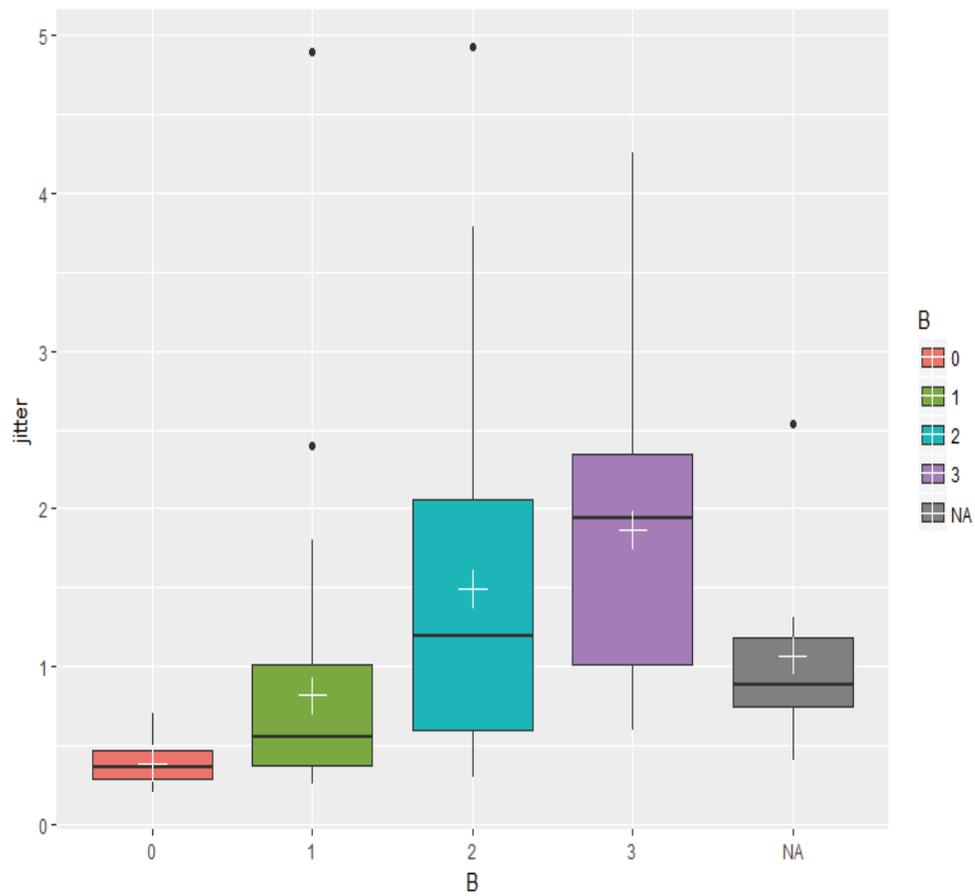


Figure 26 : Jitter en fonction du grade B

On voit que :

- Le jitter est mieux corrélé à R qu'à B
- Concernant B, le jitter permet de bien différencier B0-B1 de B2-B3

G/ Données de la PSG classées par grade perceptif

- En fonction du grade G

Tableau 21 : Moyenne de la PSG en fonction du grade G

	Grade 1	G1/G2	Grade 2	G2/G3	Grade 3
PSG					
<i>Moyenne</i>	6,6		5,7		6,5
<i>SD</i>	3,8		2,6		2,9
<i>Valeur p</i>		0,3		0,4	

On voit que :

- La PSG n'est pas corrélée au grade global

V. Discussion

A/ VHI et grades perceptifs

La corrélation entre VHI et grades perceptifs nous donne des informations sur deux points de vue totalement différents : celui du patient (VHI) et celui du clinicien (échelle GRBAS) (Tableaux 3 à 5 et Figures 9 à 11).

Le VHI représente une analyse subjective du ressenti du patient sur sa pathologie vocale tandis que le GRBAS représente le jugement de l'expert sur sa dysphonie. En dépit des limites qu'elle peut présenter, l'évaluation perceptive reste la plus utilisée et la référence du bilan (40). Mais la corrélation entre VHI et grades perceptifs n'a aucun fondement méthodologique.

B/ Données objectives et grades perceptifs

Les mesures objectives ont été conçues comme des moyens d'améliorer l'information sur la voix pour le clinicien et il est logique de rechercher une corrélation entre les grades perceptifs et les différentes mesures proposées. Le grade G n'est pas en réalité une variable indépendante des grades R et B mais on peut considérer au contraire le grade global G comme une valeur composite, représentative de la plus élevée du grade R ou du grade B (Figure 27). Compte tenu de la physiopathologie des PLU pour lesquelles on suppose que l'essentiel de la perception de la dysphonie correspond au grade B, il est logique de privilégier le grade B comme le grade perceptif de référence dans la suite de l'étude.

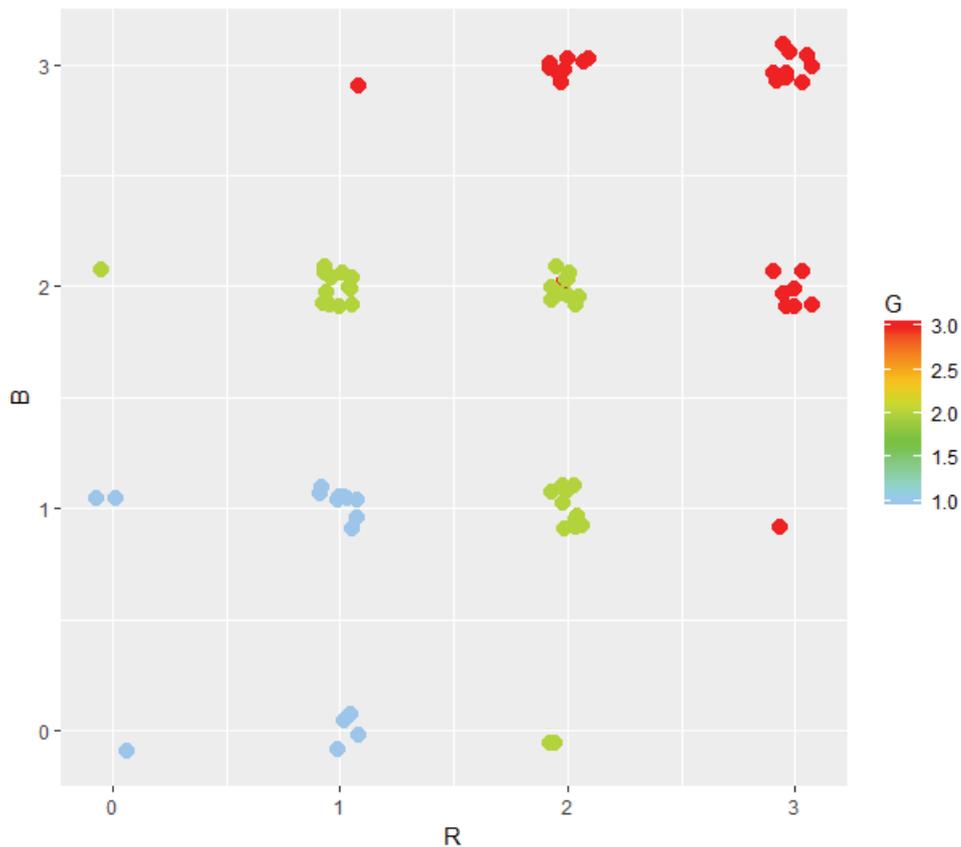


Figure 27 : Corrélation entre G, R et B

Concernant l'OAF il existe une bonne discrimination entre grades contigus mais une dispersion entre les grades B2 et B3 qui peut être interprété comme un manque de fiabilité du jury pour discriminer un souffle modéré à sévère secondaire à une sorte de « saturation » dans l'analyse perceptive du jury (41)(19) (Tableaux 6 à 8 et Figures 12 à 14).

Le TMP est un outil simple et accessible, représentatif du degré global de dysphonie et qui semble être un indicateur discriminant dans l'analyse du souffle. Le TMP est fortement corrélé avec le grade B (Tableaux 9 à 11 et Figures 15 à 17). On observe un chevauchement des valeurs de B0 et B1 et une différence statistiquement significative entre les grades consécutifs B1/B2 et B2/B3. Une des hypothèses pour expliquer cela est le manque de fiabilité du jury pour différencier les grades B0 et B1, c'est-à-dire des patients ayant une voix pas ou peu soufflée.

Cela représente une des limites de l'analyse perceptive liée à l'utilisation d'une échelle à 4 niveaux et à un jury d'écoute qui ne sont pas capables d'apprécier des certaines variations de la dysphonie (41) .

Le $Sr > 1\text{kHz}$ est parfaitement corrélé au grade B même si on observe une dispersion des valeurs de B2. Cela souligne encore une fois la difficulté du jury à juger les grades intermédiaires (Tableaux 12 à 14 et Figures 18 à 20).

Le jitter est corrélé à R dans notre étude (Tableaux 18 à 20 et Figures 24 à 26). Il permet de mesurer la variation de fréquence sur un échantillon supposé stable ; or les PLU sont caractérisées par une asymétrie glottique responsable de phénomènes non linéaires. L'apport de la corrélation du jitter aux grades perceptifs est donc limité et il aurait été peut-être plus informatif de mettre en corrélation un paramètre d'analyse non linéaire.

La PSG n'est pas corrélée au degré de dysphonie (Tableau 21). Dans le cadre des paralysies laryngées, la fuite peut être augmentée selon la position de la corde vocale tandis que la pression sous glottique est augmentée pour compenser cette fuite. Or passé un certain seuil la PSG ne peut plus augmenter.

Ces résultats montrent que toutes les mesures objectives relatives à la fuite glottique sont mieux corrélées à B qu'à G, ce qui sous entend que dans la PLU, le grade B semble être le Gold Standard. Dans l'étude de Vaz Freitas, le paramètre le plus prédictif de la qualité vocale est également le paramètre B (souffle) quelque soit le logiciel d'analyse vocale utilisé ($0,52 < r < 0,71$; $p < 0,001$) (21).

C/ Les données objectives sont-elles corrélées entre elles ?

La corrélation convenable que nous avons retrouvée entre le grade B et les données objectives, nous incite à étudier la corrélation des données objectives entre elles.

Il existe une forte corrélation entre OAF et TMP pour des OAF élevés (**Figure 28**). Cependant il existe une grande dispersion des valeurs pour les TMP courts. On peut observer que certains patients avec un TMP court et un OAF bas, ce qui peut être interprété comme une insuffisance du patient à utiliser sa voix.

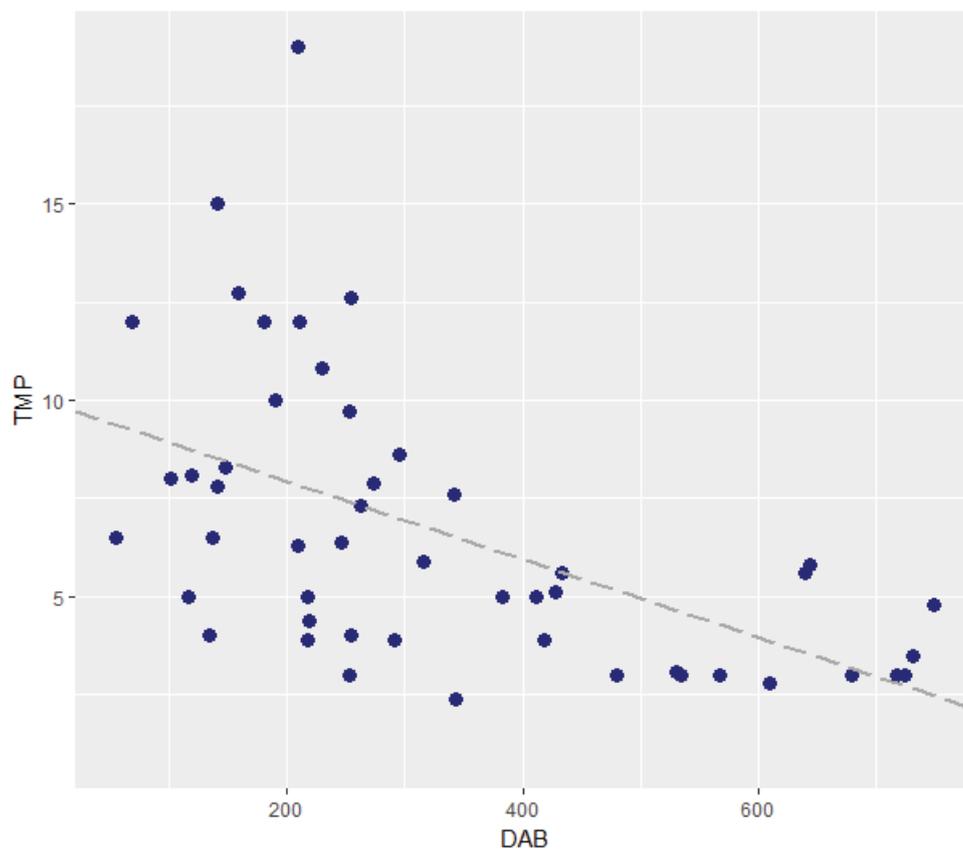


Figure 28 : Régression linéaire explorant les relations entre le TMP et le DAB

Il existe une bonne corrélation entre OAF et $Sr > 1\text{kHz}$ pour les OAF élevés

(Figure 29). L'OAF donne la valeur de quantité d'air qui passe à travers les cordes vocales et le $Sr > 1\text{kHz}$ renseigne sur le bruit induit par ce flux turbulent d'air. La corrélation est moins bonne pour les OAF bas expliqué par un mauvais couplage des cordes vocales. La dispersion des valeurs s'explique par le fait que ces deux indicateurs mesurent différentes dimensions de la fuite d'air. Notre hypothèse est que lorsque le débit est relativement bas la voix est altérée principalement à cause de la flaccidité de la corde vocale paralysée mais on sait également que le $Sr > 1\text{kHz}$ est aussi bien altéré par le bruit additif que le bruit de modulation. Des études complémentaires doivent être proposées pour essayer d'extraire plus précisément le bruit de turbulence aérienne.

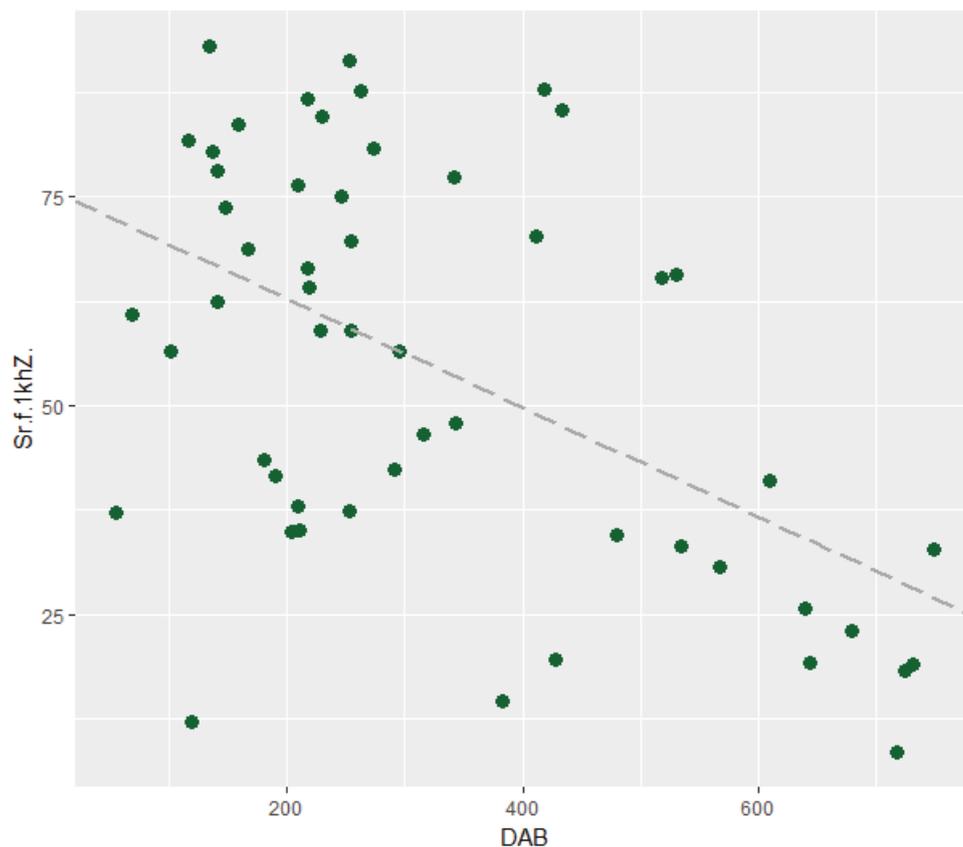
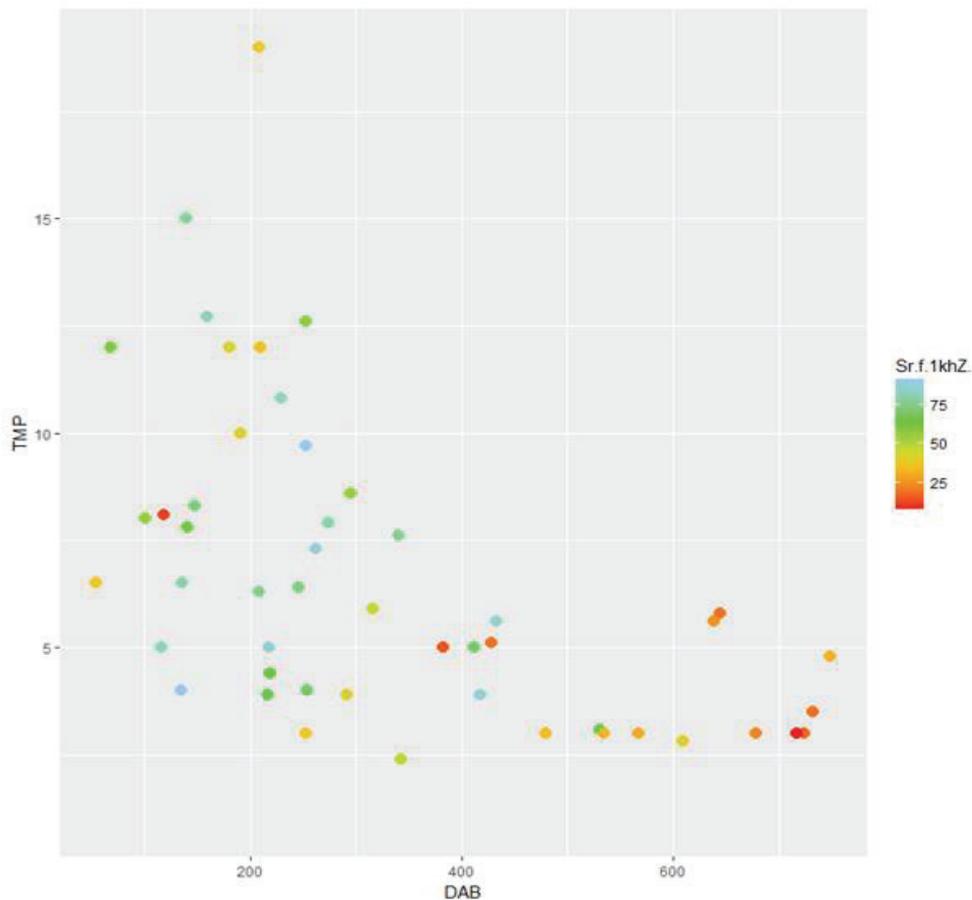


Figure 29 : Régression linéaire explorant les relations entre le $Sr > 1\text{ kHz}$ et le DAB

Enfin il est possible de proposer une représentation tridimensionnelle explorant les relations entre DAB/TMP/Sr>1kHz, qui confirme une indépendance de ces données. Même si chacune des données est corrélée au grade B, elles ne sont pas superposables (Figures 30,31,32). Chaque échantillon vocal (patient) occupe une position spécifique dans l'espace tridimensionnel des mesures objectives, ce qui confirme que chaque paramètre doit être étudié de façon indépendante. Chaque paramètre nous donne une indication différente sur la fuite d'air :

- OAF/DAB donne une idée de la géométrie glottique
- Sr>1kHz donne une idée du bruit produit par cet air
- TMP donne une idée de ce que le patient est capable de faire avec sa voix



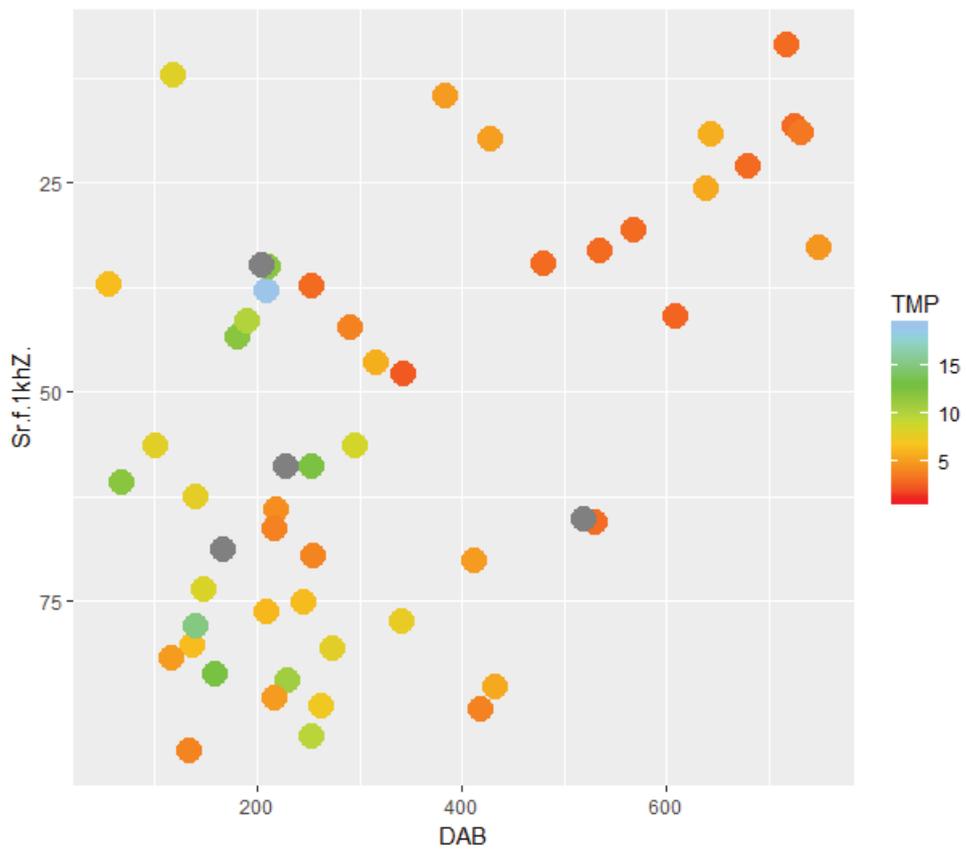
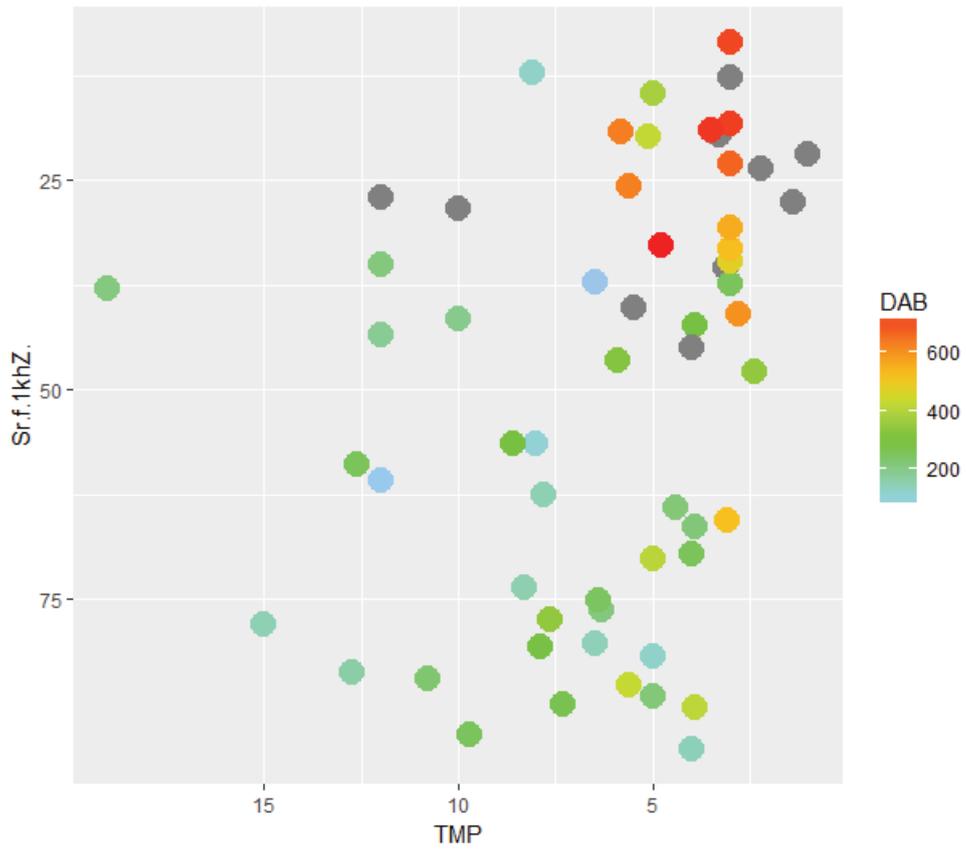


Figure 30,31,32 : Corrélations entre TMP, DAB et Sr>1kHz

Au total, il est donc possible d'envisager l'intégration de telles données dans un profil vocal. En pratique cela pourrait nous aider à la prise de décision thérapeutique : par exemple il serait peut-être préférable d'envisager une médialisation chez un patient dont le DAB est élevé avec un HNR bas, témoin d'un écoulement relativement laminaire. Cela reste pour le moment du domaine de l'hypothèse et devra faire l'objet d'études ultérieures.

VI. Conclusions et perspectives

L'étude de la corrélation entre données objectives et grades perceptifs, dans le cadre des paralysies laryngées unilatérales, montre que le grade B est le Gold Standard dans ce type de pathologie. Ce qui est logique quand on considère que la caractéristique principale des PLU est la voix soufflée.

L'analyse des corrélations entre DAB/TMP et $Sr > 1\text{kHz}$ montre qu'il n'y a peu d'intérêt des scores composites dans le sens où chaque paramètre qualifiant la fuite glottique doit être étudié de façon indépendante du fait qu'ils apportent des informations différentes et complémentaires sur la pathologie vocale.

Les limites de notre étude sont les suivantes :

- La taille limitée de l'échantillon et du coup le manque de puissance de l'étude
- Un biais de sélection a pu être introduit lors de l'exclusion des sujets pour qui les grades R et B étaient incohérents par rapport à G
- L'utilisation de l'échelle GRB à 4 points qui augmente le risque de mauvais staging vocal du patient
- L'étude n'a pas inclus les patients après traitement et nous ne savons pas si les paramètres objectifs sont aussi capables d'en apprécier l'efficacité

La suite de ce travail serait :

- L'inclusion des voix post traitement afin d'apprécier si l'association des mesures objectives peut aussi être capable d'apprécier le résultat vocal après traitement
- L'extrapolation de ces observations à d'autres groupes de pathologies vocales
- L'élaboration de profils vocaux qui pourront aider le praticien à la prise de décision thérapeutique afin d'aider au mieux son patient : orthophonie, chirurgie, abstinence thérapeutique

VII. Annexes

Annexe 1 : Voice Handicap Index

Questionnaire *Voice Handicap Index 30 (VHI 30)*

Vous devez répondre à chacune des propositions en ne cochant qu'une seule case à chaque fois. Rappel sur les notations employées dans le cadre de cette évaluation : J=jamais ; PJ=presque jamais ; P=parfois ; PT=presque toujours ; T=toujours

Ce test explore les caractéristiques physique (P), fonctionnelle (F) et émotionnelle (E) de la dysphonie.

		(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
		J	PJ	P	PT	T
F1	On m'entend difficilement à cause de ma voix					
P2	Je suis à court de souffle quand je parle					
F3	On me comprend difficilement dans un milieu bruyant					
P4	Le son de ma voix varie au cours de la journée					
F5	Les membres de la famille ont du mal à m'entendre quand je les appelle dans la maison					
F6	Je téléphone moins souvent que je le voudrais					
E7	Je suis tendu(e) quand je parle avec d'autres à cause de ma voix					
F8	J'ai tendance à éviter les groupes à cause de ma voix					
E9	Les gens semblent irrités par ma voix					
P10	On me demande : « Qu'est-ce qui ne va pas avec ta voix ? »					
F11	Je parle moins souvent avec mes voisins, mes amis, ma famille à cause de ma voix					
F12	On me comprend difficilement quand je parle dans un endroit calme					
P13	Ma voix semble grinçante et sèche					
P14	J'ai l'impression que je dois forcer pour produire la voix					
E15	Je trouve que les autres ne comprennent pas mon problème de voix					
F16	Mes difficultés de voix limitent ma vie personnelle et sociale					
P17	La clarté est imprévisible					
P18	J'essaie de changer ma voix pour qu'elle sonne différemment					
F19	Je me sens écarté(e) des conversations à cause de ma voix					
P20	Je fais beaucoup d'effort pour parler					
P21	Ma voix est plus mauvaise le soir					
F22	Mes problèmes de voix entraînent des pertes de revenus					
E23	Mes problèmes de voix me contrarient					
E24	Je suis moins sociable à cause de mon problème de voix					
E25	Je me sens handicapé(e) à cause de ma voix					
P26	Ma voix m'abandonne en cours de conversation					
E27	Je suis agacé(e) quand les gens me demandent de répéter					
E28	Je suis embarrassé(e) quand les gens me demandent de répéter					
E29	A cause de ma voix je me sens incompetent(e)					
E30	Je suis honteux (se) de mon problème de voix					
	SCORE TOTAL : _ _ _ _ 					

Annexe 2 : Classification GRBAS par les 3 orthophonistes

Nom	Sexe	Age	Jugement orthophoniste 1					Jugement orthophoniste 2					Jugement orthophoniste 3				
			G	R	B	A	S	G	R	B	A	S	G	R	B	A	S
1	F	68	2	2	1	0	1	2	2	2	1	0	2	2	2	1	1
2	M	67	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2	1	0
3	M	63	2	2	1	0	2	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
4	M	61	3	2	3	2	2	3	2	2	2	0	2	2	2	2	0
5	F	52	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
6	F	39	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0
7	F	61	2	1	2	0	0	2	0	2	2	0	2	1	2	1	1
8	M	32	2	2	1	1	1	3	2	2	3	0	3	3	2	2	0
9	F	52	2	1	2	0	0	1	0	1	1	0	2	1	2	1	0
10	F	60	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	M	33	2	2	1	0	0	2	1	2	1	0	1	1	1	0	0
12	F	35	2	1	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2	2	1	0
13	M	57	3	2	3	2	2	3	2	3	3	0	3	2	3	3	1
14	M	68	2	2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
15	M	52	2	2	3	2	1	2	1	2	2	0	2	1	2	2	0
16	M	57	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
17	F	57	2	1	1	2	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
18	F	57	2	1	2	1	0	2	0	2	1	0	2	1	2	1	0
19	F	76	2	2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	2	1	1	1
20	F	59	2	1	2	2	0	2	1	2	2	0	2	1	2	2	0
21	M	20	2	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
22	F	58	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	3	2
23	M	49	1	1	1	0	0	2	1	2	2	0	2	1	2	1	0
24	M	48	3	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1
25	M	73	2	2	1	0	0	3	3	3	2	0	2	2	2	1	1
26	M	63	3	3	3	2	2	3	3	3	3	0	3	3	3	3	2
27	M	66	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
28	F	84	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
29	M	61	2	1	2	0	0	3	2	3	2	0	3	1	3	1	1
30	M	77	2	2	0	0	0	3	3	1	1	2	3	3	1	1	2
31	M	66	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2
32	F	37	2	1	2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
33	F	61	3	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3
34	F	68	3	3	2	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
35	F	71	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	3	2	3	3	2
36	F	47	2	1	1	2	0	3	1	2	3	1	3	0	2	3	0
37	M	64	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
38	M	54	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
39	F	58	2	1	2	0	0	2	0	1	2	0	1	0	1	1	0
40	M	48	3	0	3	2	0	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2
41	M	82	2	1	2	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
42	M	67	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
43	F	66	2	2	0	0	0	2	2	1	0	2	2	2	0	1	2
44	F	77	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	M	72	2	1	1	0	0	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1
46	F	52	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	3	2	3	3	1
47	F	64	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	M	61	2	2	0	0	1	2	2	1	1	0	2	2	1	0	1
49	M	33	2	2	1	0	0	1	1	1	1	0	2	2	2	1	1
50	F	69	2	2	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	1	1	0
51	M	57	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	2	1	1	1	1
52	F	53	2	1	2	1	0	2	0	2	2	0	2	1	2	2	2
53	F	85	2	2	1	0	0	2	2	2	2	1	2	2	0	1	1
54	F	77	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	0
55	H	75	1	1	0	0	0	2	2	1	1	0	1	1	0	0	1
56	F	48	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
57	M	57	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
58	F	73	2	2	1	0	1	2	2	1	1	0	2	2	1	1	2
59	M	70	3	3	2	1	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2
60	M	65	2	2	1	0	0	2	2	1	0	1	2	2	2	1	0
61	M	66	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
62	M	58	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
63	F	74	2	2	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	0	0	1
64	F	70	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
65	M	38	2	2	1	0	1	3	3	2	2	2	3	3	2	1	1
66	F	54	2	2	0	2	1	2	2	0	1	2	2	2	1	2	2
67	F	64	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
68	F	71	2	2	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
69	F	40	2	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
70	F	51	2	2	1	0	2	1	0	1	1	1	2	2	2	2	1
71	F	62	3	2	3	2	2	3	1	3	3	0	3	2	3	3	3
72	F	58	3	2	2	2	2	1	1	0	1	0	3	1	3	2	3
73	M	48	1	1	0	0	0	2	2	1	1	0	2	2	2	2	1
74	F	64	2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
75	F	72	2	2	1	0	0	2	2	1	1	1	3	3	2	2	0
76	M	69	2	2	0	0	2	2	2	1	1	2	3	2	1	0	3
77	F	48	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
78	M	55	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
79	M	54	2	2	1	0	0	3	3	3	2	2	3	3	2	2	1
80	M	79	2	2	2	0	0	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1
81	M	56	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0

82	M	24	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	
83	M	79	3	2	2	0	1	3	3	3	2	2	3	3	2	1	2	
84	M	80	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	
85	M	75	3	2	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	2	3	
86	F	54	2	1	2	2	0	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	
87	F	69	2	2	1	0	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	
88	F	-30	2	1	2	2	0	2	0	2	2	0	2	1	2	2	0	
89	F	73	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	2	2	1	2	2	
90	F	65	2	1	2	0	0	1	1	1	1	1	0	2	1	2	1	2
91	F	50	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
92	F	36	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
93	M	56	2	2	1	0	2	2	2	1	0	2	3	3	2	0	0	3
94	M	56	3	2	2	1	1	3	3	2	2	1	3	3	3	3	3	2
95	M	56	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
96	M	74	3	2	2	2	0	3	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3
97	F	76	3	2	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3
98	F	46	3	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3
99	F	44	2	0	2	1	0	2	0	2	1	0	1	1	1	1	1	1
100	F	64	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2
101	M	69	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2
102	F	56	2	2	2	0	0	2	2	2	1	0	2	2	2	0	0	0
103	M	60	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	1	1
104	F	87	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
105	F	37	2	0	2	0	0	2	0	2	2	0	1	0	1	0	0	0
106	F	55	2	1	2	0	0	2	1	2	2	0	2	1	2	1	1	1
107	M	30	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	2	2	2	1	1	1
108	M	65	3	2	3	2	0	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2
109	F	71	2	0	2	2	0	2	0	1	2	0	2	1	2	2	0	0
110	M	66	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1
111	F	71	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
112	M	53	2	1	2	2	0	3	0	3	2	0	2	1	2	2	1	1
113	F	62	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2
114	F	49	2	2	2	0	0	1	1	1	1	1	2	1	2	0	1	1
115	M	69	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3	2	3	3	0	0
116	F	51	2	2	0	0	0	2	2	1	1	0	2	2	1	0	1	1
117	M	83	2	2	1	0	0	1	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0
118	F	55	2	2	1	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2
119	M	75	2	2	2	1	0	3	3	2	2	0	2	1	2	2	0	0
120	F	82	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
121	M	58	2	2	0	0	1	3	3	2	2	2	2	2	2	0	1	1
122	F	56	1	1	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0
123	F	40	3	1	3	3	2	3	1	3	3	1	3	2	3	3	3	3
124	F	53	2	1	2	2	0	2	1	2	2	0	2	2	2	2	1	1
125	F	72	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
126	M	64	3	2	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	2
127	M	65	2	2	2	1	0	2	1	2	2	0	2	2	2	1	0	0
128	F		2	2	1	0	0	2	2	1	2	1	2	2	1	0	0	0
129	M	70	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	2	2
130	M	71	3	2	3	1	1	3	3	2	3	2	3	3	3	1	2	2
131	M	74	3	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2
132	F	59	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0
133	M	59	2	2	1	1	1	2	2	0	1	0	2	2	1	1	1	1
134	F	68	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1
135	M	49	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
136	F	83	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
137	F	75	2	2	1	0	1	2	2	1	1	1	2	2	1	0	1	1
138	M	69	2	2	1	1	2	3	3	2	3	2	2	2	1	1	2	2
139	F	81	2	2	2	1	0	3	3	2	3	2	2	2	2	2	1	1
140	M	59	2	1	2	1	0	2	0	2	2	0	2	1	2	1	1	1
141	M	64	1	1	1	0	0	2	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0
142	F	52	1	0	1	1	0	2	0	2	1	0	1	0	1	1	0	0
143	F	70	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	2	1	2	2	1	1
144	F	37	2	1	2	2	0	2	1	2	2	0	2	2	2	2	1	1
145	M	75	3	3	2	0	0	3	3	1	2	2	3	3	2	0	0	0
146	M	79	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2
147	M	57	3	3	1	1	2	3	3	2	2	3	3	3	1	2	2	2
148	F	55	3	1	3	3	1	2	0	2	2	0	3	1	3	3	1	1
149	M	44	2	2	2	1	1	2	2	2	2	0	2	2	2	1	1	1
150	F	71	2	2	2	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
151	M	62	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	0	1	1
152	M	64	2	2	2	0	0	1	0	1	1	0	2	2	2	0	0	0
153	M	55	2	2	0	0	0	1	1	1	1	0	2	2	2	0	0	0

VIII. Bibliographie

1. Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier-Buchman L, Friedrich G, et al. 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 Laryngology. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2001;258(2):77–82.
2. Brasnu JD, Ayache D, Hans S, Hartl D PJ. *Traité d'ORL. Médecine S*. 2018.
3. Spector BC, Nettekville JL, Billante C, Clary J, Reinisch L, Smith TL. Quality-of-life assessment in patients with unilateral vocal cord paralysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2001;125(3):176–82.
4. Crumley RL. Unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis. [Review]. *J Voice*. 1994;8(1):79–83.
5. Koufman JA, Walker FO JG. The cricothyroid muscle does not influence vocal fold position in laryngeal paralysis. *Laryngoscope*. 1995;105:368-37.
6. Wang CC, Chang MH, De Virgilio A, Jiang RS, Lai HC, Wang CP, et al. Laryngeal electromyography and prognosis of unilateral vocal fold paralysis-A long-term prospective study. *Laryngoscope*. 2015;125(4):898–903.
7. Benninger MS, Crumley RL, Ford CN, Gould WJ, Hanson DG, Ossoff RH, et al. Evaluation and treatment of the unilateral paralyzed vocal fold. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1994;111(4):497–508.
8. Berry DA, Herzel H, Titze IR KK. Interpretation of biomechanical simulations of normal and chaotic vocal fold oscillations with empirical eigenfunctions. *J Acoust Soc Am*. 1994;95(6):3595.
9. Herzel H, Berry D, Titze I, Steinecke I. Nonlinear dynamics of the voice: Signal analysis and biomechanical modeling. *Chaos*. 1995;5(1):30–4.
10. Garrel R, Nicollas R, Chapus E, Ouaknine M, Giovanni A. Voice improvement in unilateral laryngeal paralysis during loud voicing: Theoretical impact. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2007;264(10):1201–5.
11. Ouaknine M, Giovanni A, Guelfucci B, Teston B TJ. Non linear behavior of vocal fold vibration in an experimental model of asymmetric larynx: role of coupling between the two folds. *Rev Laryngol Otol Rhinol*. 1998(119(4):249-52.).
12. Koufman JA BP. Functional voice disorders. *Otolaryngol Clin North Am*. 1991;24(5):1059.
13. Gillespie AI, Gooding W, Rosen C, Gartner-Schmidt J. Correlation of VHI-10 to voice laboratory measurements across five common voice disorders. *J Voice*. 2014;28(4):440–8.
14. Hsiung MW, Pai L WH. Correlation between voice handicap index and voice laboratory measurements in dysphonic patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2002;259(2):97-.
15. Deary IJ, Wilson JA, Carding PN, MacKenzie K. VoiSS: A patient-derived Voice Symptom Scale. *J Psychosom Res*. 2003;54(5):483–9.
16. Phyland DJ, Pallant JF, Thibeault SL, Benninger MS, Vallance N SJ. Measuring vocal function in professional music theater singers: construct validation of the Evaluation of the Ability to Sing Easily (EASE). *Folia Phoniatr Logop*. 2014;66(3):100-.
17. Hirano. *Clinical Examination of Voice*. 1981.
18. Dejonckere PH, Remacle M, Fresnel-Elbaz E, Woisard V, Crevier-Buchman L MB. Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and

- correlations with acoustic measurements. *Rev Laryngol Otol Rhinol.* 1996;117(3):219.
19. Yu P, Ouaknine M, Revis J, Giovanni A. Objective voice analysis for dysphonic patients: A multiparametric protocol including acoustic and aerodynamic measurements. *J Voice.* 2001;15(4):529–42.
 20. Morsommz D, JJamart J, Giovanni A RM. Comparison between the GIRBAS Scale and the Acoustic and Aerodynamic Measures Provided by EVA for the Assessment of Dysphonia following Unilateral Vocal Fold Paralysis. 2001.
 21. Vaz Freitas S, Melo Pestana P, Almeida V, Ferreira A. Integrating voice evaluation: Correlation between acoustic and audio-perceptual measures. *J Voice.* 2015;29(3):390.e1-390.e7.
 22. Titze I, Baken R HHITI. Evidence of chaos in vocal fold vibration. *Vocal Fold Physiol Front Basic Sci.* 1993;1:143-188.
 23. DeJonckere, Obbens, De Moor W. Perceptual Evaluation Of Dysphonia Reliability And Relevance. 1993.
 24. Yu P, Garrel R, Nicollas R, Ouaknine M, Giovanni A. Objective voice analysis in dysphonic patients: New data including nonlinear measurements. *Folia Phoniatr Logop.* 2006;59(1):20–30.
 25. Giovanni A, Ouaknine M, Triglia JM. Determination of largest Lyapunov exponents of vocal signal: Application to unilateral laryngeal paralysis. *J Voice.* 1999;13(3):341–54.
 26. Jiang JJ, Zhang Y, McGilligan C. Chaos in voice, from modeling to measurement. *J Voice.* 2006;20(1):2–17.
 27. David M, Fitch J, Wolfe V. Pathologic voice type and the acoustic prediction of severity. 1995.
 28. Kopf LM, Jackson-Menaldi C, Rubin AD, Skeffington J, Hunter EJ, Skowronski MD, et al. Pitch Strength as an Outcome Measure for Treatment of Dysphonia. *J Voice.* 2017;
 29. Maryn Y, Weenink D. Objective dysphonia measures in the program praat: Smoothed cepstral peak prominence and acoustic voice quality index. *J Voice.* 2015;29(1):35–43.
 30. Heman-Ackah YD, Sataloff RT, Laureyns G, Lurie D, Michael DD, Heuer R, et al. Quantifying the cepstral peak prominence, a measure of dysphonia. *J Voice.* 2014;28(6):783–8.
 31. Heman-Ackah YD, Heuer RJ, Michael DD, Ostrowski R, Horman M, Barody MM, et al. Cepstral peak prominence: A more reliable measure of dysphonia. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2003;112(4):324–33.
 32. Piccirillo JF, Painter C, Fuller D, Haiduk A FJ. Assessment of two objective voice function indices. *Ann Otol Rhino laryngol.* 1998;
 33. Johnson AM, Goldfine A. Intrasubject Reliability of Maximum Phonation Time. *J Voice.* 2016;30(6):775.e1-775.e4.
 34. Dejonckere PH. Turbulence noise and aperiodicity in the pathologic voice. A multifactorial approach. *Rev Laryngol Otol Rhinol.* 1990;111(4):353.
 35. Wuyts FL, Van de Heyning PH, De Bodt M, Heylen L, Remacle M. Dysphonia severity index: a multiparameter approach for the assessment of voice quality.
 36. Barsties v. Latoszek B, Maryn Y, Gerrits E, De Bodt M. The Acoustic Breathiness Index (ABI): A Multivariate Acoustic Model for Breathiness. *J Voice.* 2017;31(4):511.e11-511.e27.
 37. Maryn Y, Corthals P, Van Cauwenberge P, Roy N, De Bodt M. Toward improved ecological validity in the acoustic measurement of overall voice quality: Combining continuous speech and sustained vowels. *J Voice.* 2010;24(5):540–55.

38. Maryn Y, De Bodt M, Roy N. The Acoustic Voice Quality Index: Toward improved treatment outcomes assessment in voice disorders. *J Commun Disord.* 2010;43(3):161–74.
39. Giovanni A, Robert D, Estublier N, Teston B, Zanaret M CM. Objective evaluation of dysphonia: Preliminary results of a device allowing simultaneous acoustic and aerodynamic measures. *Folia Phoniatr Logop.* 1996;48:175-185.
40. Shrivastav R. The Use of an Auditory Model in Predicting Perceptual Ratings of Breathy Voice Quality. *J Voice.* 2003;17(4):502–12.
41. Gerratt BR, Kreiman J, Antonanzas-Barroso N, Berke GS. Comparing internal and external standards in voice quality judgments. *J Speech Hear Res.* 1993;36(1):14–20.