



HAL
open science

Élaboration de profils types en fonction de pathologies vocales à partir de critères d'analyse objectifs, par le logiciel Vocalab

Marie Daumet

► **To cite this version:**

Marie Daumet. Élaboration de profils types en fonction de pathologies vocales à partir de critères d'analyse objectifs, par le logiciel Vocalab . Médecine humaine et pathologie. 2015. dumas-01497148

HAL Id: dumas-01497148

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01497148>

Submitted on 28 Mar 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.

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

DAUMET Marie
Née le 18 mai 1993 à Echirolles

**ELABORATION DE PROFILS TYPES EN
FONCTION DE PATHOLOGIES VOCALES A
PARTIR DE CRITERES D'ANALYSE
OBJECTIFS, PAR LE LOGICIEL VOCALAB**

Directeur de Mémoire : **PERIERRE Stéphanie**,
Orthophoniste
Co-directeur de Mémoire : **SICARD Etienne**,
Professeur à l'INSA, Toulouse

Nice
2015

MEMOIRE présenté pour l'obtention du
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

DAUMET Marie
Née le 18 mai 1993 à Echirolles

**ELABORATION DE PROFILS TYPES EN
FONCTION DE PATHOLOGIES VOCALES A
PARTIR DE CRITERES D'ANALYSE
OBJECTIFS, PAR LE LOGICIEL VOCALAB**

Directeur de Mémoire : **PERIERRE Stéphanie**, Orthophoniste

Co-directeur de Mémoire : **SICARD Etienne**, Professeur à l'INSA,
Toulouse.

Rapporteurs : **PERRIERE Stéphanie**, Orthophoniste.
MANONNI Pierre-Alain, Ingénieur.

Nice

2015

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus sincères remerciements à Etienne et Stéphanie qui sont à l'origine de ce projet. Merci pour votre écoute, vos conseils, votre implication et vos réponses à mes interrogations durant ces deux années. Etienne, merci d'avoir eu la patience de répondre à mes innombrables questions techniques, d'avoir apporté un éclairage pertinent sur l'ensemble de mes remarques. Stéphanie, merci de m'avoir ouvert les portes de ton cabinet et de m'avoir fait partager tes connaissances et ta pratique, notamment dans la spécialité de la voix, cela a d'autant plus renforcé mon intérêt pour ce domaine.

Je remercie Pierre-Alain Manonni d'avoir porté un intérêt à mon travail et d'avoir accepté de lire l'intégralité de ce mémoire.

Je remercie les orthophonistes qui ont accepté de participer à ce travail en me fournissant leurs enregistrements : Stéphanie Perrière, Aurélie Lassalle, Delphine Macke, Claire Magranville, Marianne Bonnaud Tondat, Anne Sicard.

Dans un cadre plus large, merci à Mmes Roger-Gentillet, Souhal, Perrière, Delhoume, Borg, Bersot, maîtres de stage de cette dernière année d'études. Ces mois d'enseignement pratique ont été d'une richesse incroyable et ont nourri ma passion pour ce métier.

Mes pensées vont aussi...

A Marc et Françoise. Merci pour votre présence, votre patience, votre soutien sans failles depuis toutes ces années. Ma reconnaissance ne trouvera jamais de limites. Plus particulièrement, merci de vous être plongés cette année dans le monde de la voix et d'avoir lu et relu les bribes d'un mémoire en construction.

A Oriane et Laura, pour votre bon plaisir de lire votre nom ici.

A mes amies niçoises : Laure, Laura, Dorine, Hélène, Marion. Ce mémoire signe la fin de 4 années d'études que vous avez su rendre inoubliables.

A MD036, Alexis...Merci de m'avoir prêté ta voix pendant ces quelques mois. Merci pour ta présence quotidienne, pour la joie et la fraîcheur que tu répands dans ma vie.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION	5
DONNEES THEORIQUES	7
I. RAPPEL : LA FONCTION PHONATOIRE.....	8
1. <i>Définition</i>	8
2. <i>Anatomie et physiologie</i>	9
3. <i>Les paramètres acoustiques de la voix</i>	15
II. METHODES D’EVALUATION DE LA VOIX.....	17
1. <i>Evaluation perceptive</i>	18
2. <i>Evaluation instrumentale</i>	25
3. <i>Approche multiparamétrique et concordance entre mesures instrumentales et mesures perceptives</i>	41
4. <i>Logiciels d’évaluation vocale</i>	50
5. <i>Profils vocaux existants</i>	52
III. CARACTERISTIQUES VOCALES THEORIQUEMENT ATTENDUES POUR LES PATHOLOGIES CHOISIES.....	63
DONNEES PRATIQUES.....	72
I. OBJECTIFS	73
II. METHODOLOGIE	73
1. <i>Pathologies vocales sélectionnées</i>	73
2. <i>Population</i>	74
3. <i>Le protocole</i>	74
III. PRESENTATION ET UTILISATION DU LOGICIEL VOCALAB	80
1. <i>Le logiciel : sa création, ses fonctionnalités</i>	80
2. <i>Présentation des cinq indicateurs de pathologie de VOCALAB</i>	81
3. <i>Présentation de l’outil statistique et de son utilisation</i>	84
IV. RESULTATS ET INTERPRETATION	85
1. <i>Population</i>	85
2. <i>Profils vocaux</i>	87
3. <i>Synthèse des résultats</i>	122
V. ETUDE DE LA VARIABILITE DES INDICATEURS.....	125
1. <i>Variabilité des indicateurs : voix féminine</i>	125
2. <i>Variabilité des indicateurs : voix masculine</i>	129
DISCUSSION.....	134
CONCLUSION	141
BIBLIOGRAPHIE	142
ANNEXES	148
ANNEXE I : RAPPEL DES PROFILS PAR PATHOLOGIES.....	149
ANNEXE II : SYNTHESE DES RESULTATS CHIFFRES OBTENUS AVEC LES INDICATEURS, PAR PATHOLOGIES : MOYENNES ET ECART TYPES.....	155
ANNEXE III : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS, MISE EN RELATION AVEC LES RESULTATS ATTENDUS ET EXPLICATION DES EVENTUELLES INCOHERENCES.	159
TABLE DES MATIERES	162

INTRODUCTION

« *La voix humaine contient, elle aussi, un nombre étonnant de signaux : dès la première phrase au téléphone, on sait à qui l'on a affaire, son sexe, son âge, sa culture, son humeur agressive, abattue ou érotique, et même son niveau social* ». Cette phrase, empruntée à Boris Cyrulnik, souligne le fait que la voix fait partie intégrante de notre identité, nous rendant unique et reconnaissable entre tous. Elle véhicule des informations par le biais de la parole, mais ; à l'instar du sourire et du regard, elle délivre également des signaux d'un autre ordre. Nous utilisons notre voix en permanence dans la vie quotidienne, et nous pouvons jouer sur ses modalités dans les situations de communication pour tour à tour convaincre, attendrir, séduire, émouvoir, informer... Cependant, du fait de son utilisation constante il est facile d'oublier la fragilité de cet outil. « J'ai la voix cassée », « je ne reconnais plus ma voix », « je n'arrive plus à monter dans les aigus », « on ne m'entend pas quand il y a un bruit ambiant », « ça me gêne dans la gorge » sont autant de remarques que les orthophonistes reçoivent de la part de patients. Qu'il y ait pour origine un trouble organique ou un trouble fonctionnel, les répercussions des altérations vocales sur la communication représentent une souffrance. A l'orthophoniste donc de construire un projet thérapeutique ajusté à la plainte du patient. L'étape préalable d'évaluation est cependant indispensable. A partir des divers moyens d'évaluation de la voix existants, l'orthophoniste va réaliser un bilan vocal aussi précis que possible pour identifier les troubles acoustiques et fonctionnels de la voix du patient, et les mettre en relation avec sa plainte.

Comme les outils informatiques, à l'instar de bien des domaines, y compris celui de la santé, ont envahi la pratique orthophonique, nous nous sommes intéressés à l'utilisation du logiciel VOCALAB pour l'évaluation de la voix. Cinq indicateurs de pathologie ont été nouvellement implantés dans le module « évaluation » du logiciel. Notre objectif consiste en l'élaboration de profils vocaux objectifs en fonction de pathologies vocales à partir de ces cinq indicateurs ; et l'étude de leur pertinence.

Après avoir décrit le fonctionnement de la phonation, nous ferons l'inventaire des principales méthodes d'évaluation de la voix existantes. Nous présenterons ensuite des profils vocaux qui ont déjà été réalisés. Nous poursuivrons par la description des

altérations théoriquement attendues dans les pathologies que nous avons sélectionnées pour notre étude.

Dans un second temps nous proposerons les profils vocaux objectifs que nous aurons construits pour chaque pathologie. Nous les décrirons et les mettrons en relation avec les données théoriques attendues et les phénomènes anatomo-physiologiques sous jacents. Puis nous discuterons de la variabilité des indicateurs de pathologie de VOCALAB.

Pour finir nous réfléchirons sur la validation des objectifs et mettrons en avant les intérêts et les limites de l'étude.

Chapitre I
DONNEES THEORIQUES

I. Rappel : la fonction phonatoire

1. Définition

L'appareil phonatoire, c'est à dire l'ensemble des organes permettant à l'homme de produire des sons, se décompose classiquement en trois parties :

- La *soufflerie pulmonaire* : Elle fournit l'énergie nécessaire à la production sonore. La production de tous les sons s'appuie sur un flux d'air qui provient des poumons et qui est nécessaire à la vibration des cordes vocales.
- Le *vibrateur* : le larynx, qui contient les cordes vocales, produit le son laryngé primaire.
- Les *résonateurs* : ce sont la cavité buccale, les cavités naso-sinusiennes, et le pharynx, appelés cavités supra laryngées. Ils vont moduler le son laryngé initial et ainsi produire le timbre de la voix.

Un geste vocal efficace nécessite l'intégrité de l'appareil phonatoire ainsi qu'une posture adaptée : verticalité du corps, relâchement scapulaire, ancrage au sol.

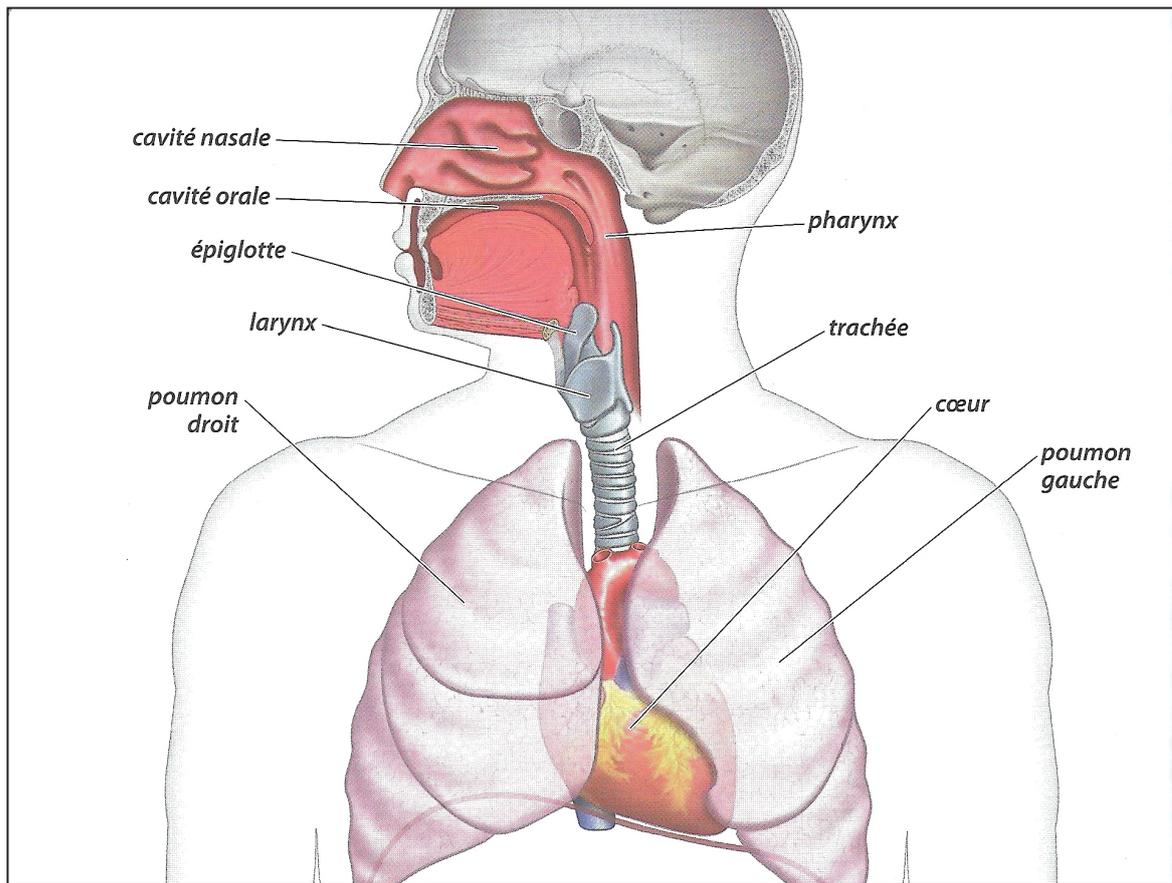


Figure 1 - Schéma de l'appareil phonatoire - Manuel d'anatomie, DUPONT.S et BOISTIER.C, p.82

2. Anatomie et physiologie

2.1. La soufflerie

L'appareil respiratoire est constitué de la cage thoracique (qui contient les poumons, la trachée et les bronches) et des muscles respirateurs : diaphragme, muscles abdominaux, muscles intercostaux et muscles inspireurs accessoires.

Lors de la respiration, l'abaissement du diaphragme crée une dépression intra-thoracique qui aspire l'air extérieur, remplissant ainsi les poumons. Ceci assure une oxygénation suffisante pour une activité sans effort notable. Le relâchement du diaphragme ainsi que l'élasticité du tissu pulmonaire permet d'expulser l'air dans un mouvement lui aussi passif en quasi totalité. Lors de la phonation en revanche, l'augmentation des besoins en oxygène demande la mise en route des muscles inspireurs accessoires dont les plus importants sont les muscles intercostaux qui permettent d'augmenter, par l'horizontalisation des côtes qu'ils génèrent, le volume de la cage thoracique (et donc

celui de l'air inspiré). Cette phase d'inspiration est courte, on parle « d'élan » phonatoire. L'expiration qui suit est une expiration forcée et active qui met en jeu les muscles expirateurs accessoires que sont les muscles abdominaux. Le Huche parle de « souffle phonatoire » et en décrit plusieurs types :

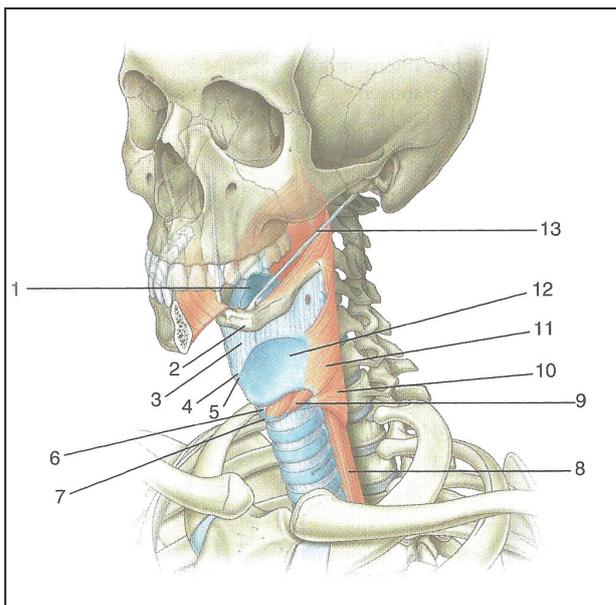
- **souffle thoracique supérieur** : le plus souvent remarqué dans l'expression simple, ce souffle est produit par l'abaissement des côtes. On parle aussi de « respiration haute ».

- **souffle abdominal** : c'est l'action des muscles abdominaux qui produit ce souffle, également appelé « respiration basse ». Ce mouvement, compatible avec l'effort, est généralement observé lors de la projection vocale.

- **souffle vertébral** : utilisé lors de la voix de détresse, le souffle vertébral est provoqué par l'action de plusieurs muscles, qui conduit à une flexion thoracique : le dos s'arrondit, la verticalité est perdue. L'usage prolongé de ce souffle est déconseillé ; on le retrouve notamment dans le comportement de forçage vocal.

Pendant la phonation, le sujet exerce un contrôle musculaire très fin pour maintenir une pression d'air la plus constante possible dans la trachée.

2.2. Le vibreur : le larynx



- 1 : épiglotte
- 2 : Os hyoïde
- 3 : Membrane thyrohyoïdienne
- 4 : Incisure thyroïdienne supérieure
- 5 : Proéminence laryngée
- 6 : Membrane cricothyroïdienne (cricovocale)
- 7 : Arc antérieur du cartilage cricoïde
- 8 : Œsophage
- 9 : Muscle cricothyroïdien
- 10 : Muscle constricteur inférieur du pharynx
- 11 : Muscle constricteur moyen du pharynx
- 12 : Cartilage thyroïde
- 13 : Ligament stylohyoïdien

Figure 2 - Vue globale du larynx - Fiches d'anatomie de GRAY'S, p.281

2.2.1. Anatomie

Le premier rôle du larynx est celui de sphincter : il permet d'obturer la trachée lors de la déglutition grâce à l'abaissement de l'épiglotte, ce qui protège les voies respiratoires. Il intervient également pendant la respiration, ainsi que lors d'un effort musculaire. Enfin, il est l'organe principal de la voix.

Le larynx peut être comparé à une boîte allongée verticalement. On identifie :

- une charpente fibro cartilagineuse : des cartilages articulés entre eux et reliés par des ligaments. L'épiglotte, le thyroïde et le cricoïde forment une armature fibro-cartilagineuse solide, dans laquelle se trouvent les aryténoïdes. Ces deux petits cartilages latéraux sont des organes mobiles qui permettent les mouvements d'ouverture et de fermeture du larynx.
- Une musculature : des muscles intrinsèques qui permettent le mouvement des cartilages, et des muscles extrinsèques qui relient le larynx aux structures anatomiques voisines.
- Une muqueuse de recouvrement qui tapisse la face interne du larynx.

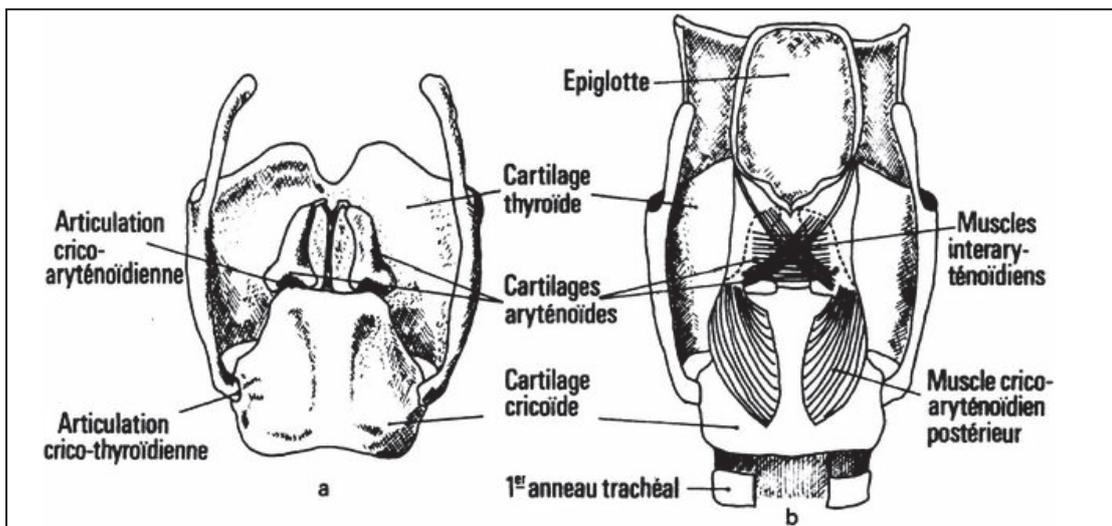


Figure 3 : vue postérieure du larynx – G. CORNUT, La voix, p.23

Les cordes vocales (ou ligaments vocaux) s'insèrent en avant dans l'angle rentrant du thyroïde, et en arrière sur l'apophyse vocale des aryténoïdes. Elles s'ouvrent (abduction) et se ferment (adduction) grâce à la rotation des cartilages aryténoïdes.

Les cordes vocales sont constituées de ce qu'on appelle « une structure feuilletée » au niveau du tiers moyen :

- Le ligament vocal recouvre et protège le muscle vocal (muscle thyro-aryténoïdien). Ce ligament comporte trois couches : une couche superficielle avec un tissu lâche et quelques fibres élastiques, une couche moyenne comportant essentiellement des fibres élastiques, et une couche profonde composée de fibres collagènes.
- L'espace de Reinke : c'est un espace virtuel entre la muqueuse et le ligament vocal. Il est très important puisqu'il permet la mise en vibration de la corde vocale par ondulation du bord libre et de la muqueuse.
- La muqueuse : ensemble formé par la couche superficielle du ligament vocal et l'épithélium qui le recouvre.

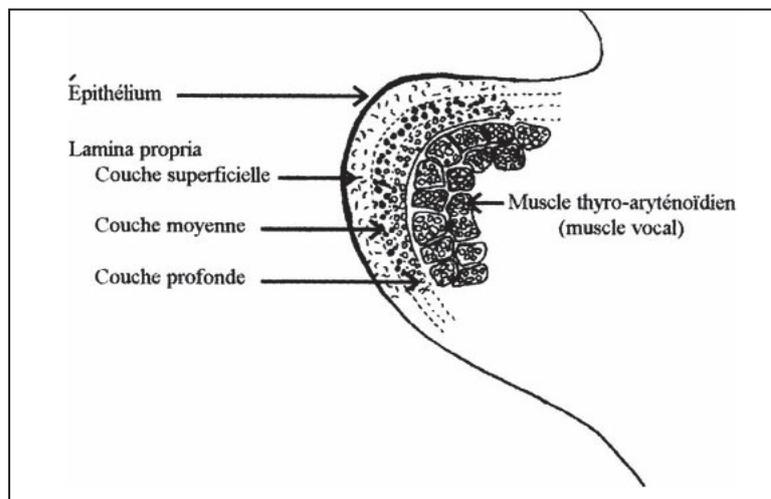


Figure 4 - Structure de la corde vocale. G.CORNUT, La voix, p.32

Le larynx est divisé en trois parties par les cordes vocales et les bandes ventriculaires :

- L'étage sus glottique : c'est un vestibule laryngé qui s'ouvre en haut par l'orifice supérieur du larynx. Il comprend les ventricules de Morgani et les bandes

ventriculaires. Celles ci sont situées au-dessus des cordes vocales, et appelées « fausses cordes vocales ».

- l'étage glottique : C'est la partie la plus rétrécie du larynx. Elle est constituée des cordes vocales, des aryténoïdes et de la glotte. La glotte est une fente allongée d'arrière en avant. C'est l'espace compris entre les plis vocaux lorsqu'ils sont éloignés l'un de l'autre. La longueur, la largeur et la forme de la glotte dépendent de l'état et de la position qu'occupent les cordes vocales pendant la respiration et la phonation.
- L'étage sous glottique : c'est un espace compris entre la glotte et le plan passant par le bord inférieur du cricoïde. La cavité laryngée s'élargit progressivement pour ensuite s'unir à la trachée.

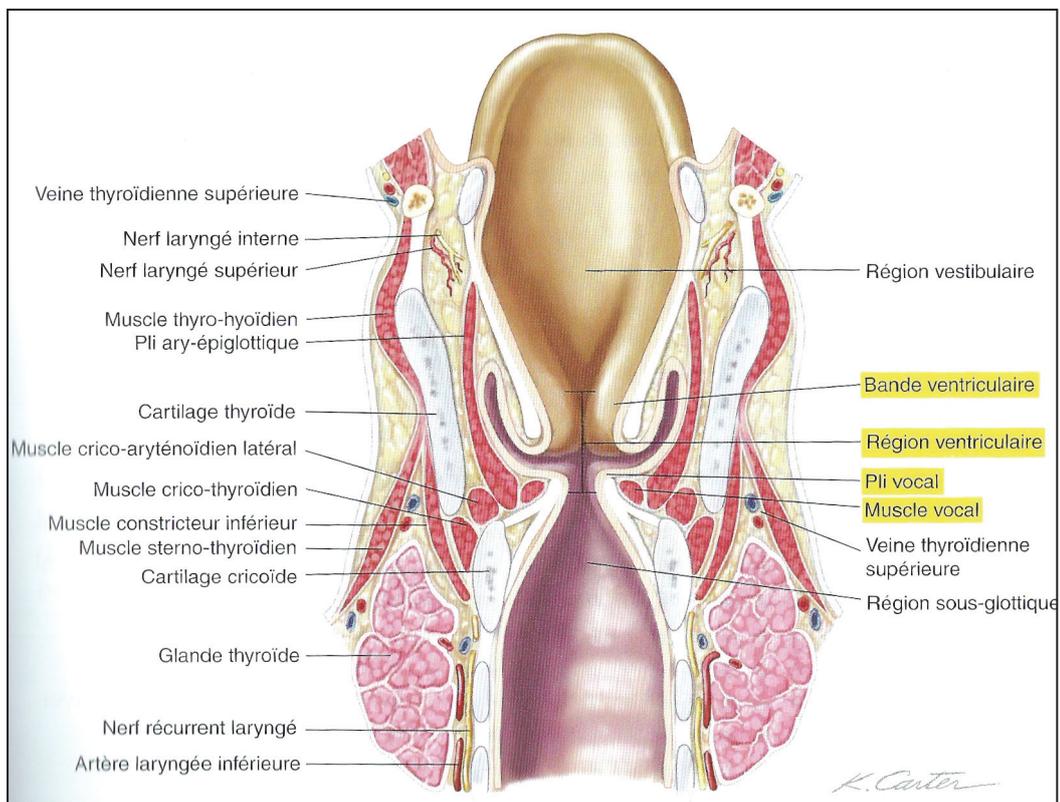


Figure 5 - Coupe coronale du larynx - D'après L'anatomie en Orthophonie, MCFARLAND.D-H, p 87

2.2.2. Physiologie

C'est au niveau des cordes vocales que s'effectue la transformation de l'énergie aérodynamique en énergie acoustique. La soufflerie pulmonaire constitue la source d'énergie nécessaire à la phonation, et la glotte est le générateur sonore. Le son laryngé

est dû à la vibration des cordes vocales. D'après la théorie myoélastique de Ewald, la vibration des cordes vocales correspond à la résolution d'un conflit élastique entre la pression de l'air et la force de fermeture des cordes vocales. Le phénomène peut être décrit en trois étapes :

- les cordes vocales sont en position d'adduction de part et d'autre de la ligne médiane ; elles opposent ainsi une certaine résistance à l'écoulement de l'air. C'est le rapprochement des aryténoïdes qui permet cette fermeture glottique.
- La vibration commence avec la compression de l'air sous glottique grâce aux muscles expiratoires. Lorsque cette pression dépasse la résistance des cordes vocales, le mécanisme vibratoire se met en route. A chaque vibration, les cordes vocales s'ouvrent et se ferment. Les mouvements débutent sur la partie inférieure du bord de la corde puis se prolongent vers le haut.
- L'air passe à travers les cordes, ce qui fait diminuer la pression sous glottique. Les cordes vocales se referment sous l'effet Bernouilli : le passage de l'air crée une pression négative qui produit une aspiration de la muqueuse des deux cordes, provoquant ainsi la fermeture. Les cordes vocales sont de nouveau en position initiale, le phénomène peut alors recommencer.

La production d'un son est donc un phénomène périodique. Les deux phases que sont la phase d'occlusion et la phase d'ouverture se succèdent rapidement : on observe entre 100 et 400 cycles par secondes. Ce système d'oscillation perd une certaine quantité d'énergie qui doit être compensée, en quantité similaire, par la respiration active.

2.3. Les résonateurs

Pour avoir un message vocal harmonieux, l'élaboration du son par le larynx ne suffit pas. La modulation de ce son primaire est indispensable : avant d'arriver à l'air libre, le son va traverser le pharynx, la cavité buccale, les fosses nasales et les sinus. Ces organes modulateurs sont des cavités plus ou moins larges qui vont moduler le son. Ils enrichissent le son en harmoniques et vont constituer le timbre personnel de la voix. Ces cavités sont indispensables dans le mécanisme de la phonation. Un bon accord « phono-résonantiel » est important pour un timbre riche en harmoniques et pour l'amplification du son : le son source laryngé ne représente en effet que 15% du volume final.

3. Les paramètres acoustiques de la voix

Tout son émis peut être défini par trois paramètres principaux : la hauteur, l'intensité et le timbre.

3.1. La hauteur

3.1.1. Définition

La hauteur correspond à la fréquence de vibration des cordes vocales, mesurée en Hertz. Plus la fréquence est haute, c'est à dire plus les vibrations sont rapides, plus le son rendu est aigu. C'est l'équilibre entre la tension, la longueur et l'épaisseur des cordes vocales qui va déterminer cette fréquence de vibration : plus la corde est fine, longue et tendue, plus le son est aigu. L'âge et le sexe interviennent également dans la variation de la hauteur de la voix : on mesure environ 500 Hz pour un nourrisson, 300 Hz pour un enfant de huit ans, 200 Hz pour une femme adulte, et 125 Hz pour un homme adulte.

La hauteur varie constamment au cours d'une émission vocale : l'état émotionnel du locuteur, son état de santé, son caractère, son acte de parole (expression simple, voix projetée, voix de détresse...) sont autant de paramètres ayant une répercussion sur la hauteur de la voix.

3.1.2. Mécanisme d'émission

Quatre mécanismes laryngés existent. Ils correspondent à des patterns vibratoires différents. C'est grâce à ces mécanismes que le larynx peut produire toute l'étendue des graves et des aigus de la voix.

- Mécanisme 0, dit « fry » ou « strohbass » : Très peu utilisé en phonation, il permet la production de sons très graves, dont la fréquence est inférieure à 87 Hz. Il est caractérisé par des ondulations de très grande amplitude, un faible temps de fermeture et une pression sous glottique basse.
- Mécanisme 1, dit « de poitrine » : Le larynx est en position basse. Les cordes vocales sont très peu tendues, et réalisent des mouvements de grande amplitude. L'épaisseur d'accolement est importante, et toute la longueur de la corde vocale

participe à l'ondulation grâce à l'action du muscle vocal. Ce mécanisme permet d'obtenir des fréquences entre 80/100 Hz pour les fréquences basses, et 300/400 Hz pour les fréquences hautes.

- Mécanisme 2, dit « de tête » : à l'inverse du mécanisme 1, les cordes vocales sont allongées, tendues et minces, avec une amplitude et une ondulation de la muqueuse limitée. L'ondulation est permise par l'action du muscle crico thyroïdien. Les fréquences obtenues s'étalent de 300 Hz à 1500 Hz.
- Mécanisme du « sifflet » : ce mécanisme permet de produire des sons suraigus. Il est caractérisé par l'absence de vibration des cordes vocales, qui ne s'accolent plus. La glotte est très tendue, et ce sont les muscles crico aryténoïdiens latéraux qui laissent passer le flux d'air.

3.2. L'intensité

C'est la puissance du son mesurée en décibel (dB) par un sonomètre. L'intensité de la voix est fortement corrélée à l'amplitude de vibration des cordes vocales, qui dépend elle-même de la pression d'air sous glottique. Elle varie d'un individu à un autre, en fonction des habitudes vocales anciennes et des facteurs anatomo physiologiques.

La puissance d'une voix se modifie selon le contexte d'émission. La voix conversationnelle se situe aux alentours de 40 à 50 dB alors que la voix d'appel nécessite au minimum 80 dB. La dynamique respiratoire ainsi que l'occlusion glottique doivent donc être de bonne qualité pour permettre une telle augmentation de la puissance vocale.

3.3. Le timbre

Le timbre est l'identité vocale d'un individu. Il dépend de la composition acoustique du son : le son glottique est composé d'un son fondamental et d'harmoniques. La qualité du timbre est directement liée à la richesse en harmoniques : plus la phase d'accolement des cordes vocales est longue et bonne, plus il y a d'harmoniques, et plus le timbre sera de qualité. Les harmoniques sont regroupées en ce que l'on appelle des formants. On distingue trois formants principaux :

- F1 : 500 – 1000 Hz

- F2 : 1200 – 2400 Hz
- F3 : 2400 – 3500 Hz.

Les deux premiers formants sont appelés formants vocaliques car ils caractérisent les voyelles. La position de la langue, des lèvres ainsi que l'ouverture de la mandibule sont des facteurs dont ils dépendent. A partir de F3, on parle de formants extra vocaliques. Plus il y a d'énergie au delà de 1500 Hz (c'est à dire vers la fin des formants vocaliques) plus on considère que le timbre est riche, et plus la voix est audible.

Un beau timbre de voix résulte aussi de l'action des modulateurs sur le son source laryngé, modulateurs qui vont favoriser certains harmoniques au détriment d'autres. Le timbre est décrit avec un large panel d'adjectifs : on peut qualifier une voix de douce, chaude, colorée, pointue, rauque, nasonnée, voilée, éclatante, lumineuse, brouillée...

II. Méthodes d'évaluation de la voix

Il est indispensable qu'un patient souffrant de troubles de la voix soit soumis à un examen phoniatrique, réalisé par un ORL. Le but est de vérifier l'intégrité du larynx, d'observer d'éventuelles lésions morphologiques ou leur absence, ce qui conduira au diagnostic. Plusieurs moyens existent, le plus pratiqué à l'heure d'aujourd'hui semble être la naso fibroscopie : il s'agit d'une tige souple qu'on introduit dans le nez du patient jusqu'à son pharynx : on obtient ainsi une vue « d'en haut » du larynx. Cela n'empêche en rien le patient de parler, lequel doit par ailleurs réaliser des sons (voyelles tenues ou piquées). Le médecin apprécie alors le comportement vibratoire des cordes vocales, et peut objectiver une éventuelle fuite glottique, un comportement de forçage, une ondulation diminuée ou tout autre dysfonctionnement. Ce bilan phoniatrique est une étape préalable au bilan orthophonique de la voix, qui lui sera réalisé par un orthophoniste.

Il existe un grand nombre d'approches pour évaluer l'état vocal d'un sujet atteint de troubles de la voix : interrogatoire du patient, analyse instrumentale, analyse posturale, respiratoire, jugement perceptif, questionnaire d'autoévaluation... Il est nécessaire de diversifier les méthodes pour pouvoir prendre en compte l'aspect multiparamétrique de la

communication parlée. A l'heure actuelle, une évaluation complète de la voix doit contenir une évaluation de la qualité vocale, de la qualité de la parole, de son efficacité et de son intelligibilité.¹

Les intérêts du bilan sont multiples. Cette première rencontre avec le patient va permettre d'établir la relation thérapeute-patient, d'écouter sa plainte vis à vis de sa voix, tout en prenant connaissance de l'examen ORL. L'orthophoniste va évaluer subjectivement la voix du patient, et observer le geste vocal (tensions, posture, respiration...). Des mesures objectives et une analyse acoustique seront réalisées pour apprécier la qualité vocale et mettront en exergue les signes pathologiques de la voix. Il est important de corréliser ces mesures interprétées avec les données perceptives et le geste vocal observé, de façon à pouvoir élaborer un projet thérapeutique au plus près des attentes et des difficultés du patient. Un bilan rigoureux et complet est une vraie aide à la rééducation ; l'orthophoniste met ainsi en place des objectifs précis pour chaque paramètre pathologique observé. Il est important que le bilan soit aussi précis de possible, car il permettra de mesurer l'évolution temporelle du patient et l'efficacité des solutions thérapeutiques. Enfin il pourra être source de motivation pour le patient : un individu démotivé par une stagnation de ses progrès pourra se rendre compte de l'importance de son évolution en réécoutant sa voix enregistrée lors du bilan initial ! La valorisation des acquis ainsi permise est motivante et stimulante pour le patient.

1. Evaluation perceptive

L'évaluation perceptive est fondée sur le jugement humain de la voix. C'est une méthode assez discutée de par sa grande variabilité intra-auditeurs ou inter-auditeurs. Néanmoins elle est d'une importance capitale, car quoi d'autre qu'une oreille humaine est plus adaptée pour juger une voix dont le but est d'être entendue ?

L'écoute de la voix commence dès l'entretien. Le thérapeute va apprécier les paramètres vocaux, qu'il va comparer à sa perception de la normalité : hauteur, intensité, timbre, ainsi que la mélodie et l'intonation. Il va identifier le fonctionnement vocal du sujet dans

¹ Oates, Jennifer. (2009), *Auditory perceptual evaluation of disordered voice quality*. Folia phoniatica and Logopedia 61, 49-56.

plusieurs situations : voix conversationnelle, voix forte, voix chantée, voix d'appel... Tout cela va lui permettre de déterminer le degré d'atteinte et la qualité vocale du patient. Il va pouvoir déterminer le retentissement du trouble sur les capacités de communication.

Le praticien va ainsi juger les caractéristiques esthétiques de la voix (aspect qualitatif), le voisement des voyelles et des consonnes (aspect phonétique) et l'efficacité de la parole (aspect linguistique).

1.1. Echelles perceptuelles

L'écoute et l'analyse d'une voix à l'oreille est très subjective, et soumise à divers paramètres : l'expérience du thérapeute, son état de santé du jour, ce qu'il a entendu juste avant sont autant de facteurs qui ont des répercussions sur le jugement. De ce fait, de nombreuses échelles d'évaluation ont été développées. Elles peuvent être utilisées par le thérapeute, ou proposées au patient pour une auto évaluation.

- *échelles bipolaires* : elles permettent d'opposer deux qualifications contraires. Basée sur le mode présence/absence, la présence d'un caractère exclut celle de son contraire.
- *échelles de classe* : également appelées « échelles d'intervalles équidistants », ces échelles comportent entre 4 à 7 degrés, sur lesquels l'auditeur doit se positionner pour quantifier le trouble.
- *échelles ouvertes* : ces échelles proposent à l'auditeur d'évaluer une voix en attribuant une note de 0 à l'infini. Chaque voix est évaluée par rapport à la voix précédente.
- *échelles visuelles analogiques* : il s'agit d'échelles semi ouvertes : un axe dont les bornes sont 0 et l'infini est présenté au sujet, qui doit y inscrire une marque. La distance entre cette marque et le 0 correspond au chiffre donné à la voix.

1.1.1. Le GRBAS d'Hirano

En 1969, une équipe de chercheurs japonais (Isshiki et al) a mis au point une étude perceptive du timbre de la voix, en sélectionnant 17 paires d'adjectifs parmi 260 termes décrits dans la littérature. A partir de cette étude, de nombreux travaux ont été réalisés par

des cliniciens, pour finalement aboutir à l'échelle GRBAS. Il s'agit de l'échelle la plus reconnue et la plus utilisée dans l'analyse des voix pathologiques, mise au point par Hirano en 1981 (dans Clinical evaluation of voice). Un de ses points forts est qu'elle est l'une des seules échelles à avoir été corrélée avec une analyse spectrographique des voix pathologiques. Le GRBAS est devenu le GRBASI par l'ajout d'un sixième item par P.DEJONCKERE, en 1996. Le protocole propose de noter la voix pour chacun des 6 paramètres avec une cote de 0 à 3 : 0 normale, 1 peu altérée, 2 modérément altérée, et 3 très altérée. Elle peut s'utiliser sur une voyelle tenue, une phrase ou un texte lu.

→ **Le Grade (G)** : Impression globale du degré d'anormalité de la voix.

→ **La Raucité (R)** : Impression d'irrégularité des vibrations des cordes vocales, qui correspond aux fluctuations régulières de la fréquence fondamentale et/ou à l'amplitude du son glottique.

→ **Le Souffle (B)** : Impression d'une fuite d'air assez importante à travers les cordes vocales, relative à des turbulences.

→ **L'Asthénie (A)** : Manque de puissance de la voix relatif à une intensité faible du son et/ou manque des harmoniques élevés.

→ **Le Forçage (S)** : Impression d'état hyperfonctionnel de phonation relatif à une fréquence fondamentale haute (bruit dans les hautes fréquences et/ou richesse en harmoniques dans les hautes fréquences).

→ **L'Instabilité (I)** : Impression d'instabilité de la qualité vocale ou des items G,R,B,A,S au cours du temps.

Néanmoins cette échelle présente quelques limites : elle est peu efficace pour la voix chantée, et ne rend pas compte des indices temporels (débit) ou prosodiques (intonation, pauses). Elle nécessite un certain entraînement par l'utilisateur qui doit se baser sur des références de normalité ou de gravité.

1.1.2. Autres échelles d'évaluation perceptive

La littérature rapporte l'existence de nombreuses autres échelles d'évaluation perceptive :

- *Echelle d'Osgood* : il s'agit de l'échelle la plus ancienne, mise au point par Osgood en 1957. C'est une échelle binaire qui regroupe 50 paires d'adjectifs en opposition, regroupées en classes. Deux qualificatifs opposés sont placés sur un même axe. Sept échelons les séparent, l'individu selon son opinion fait une marque à l'endroit voulu. Cette échelle fut à l'origine du développement de nombreuses autres échelles bipolaires. Cependant son utilisation ne dura pas, car les qualificatifs utilisés n'étaient pas assez clairs pour qualifier précisément la voix.
- *Echelle de Voiers* : mise au point en 1964, cette échelle permet d'évaluer la voix grâce à quatre paramètres : la raucité, l'intelligibilité, le débit syllabique et la sonie.
- *Buffalo Voice Profile* : crée par Wilson dans les années 1970, cette échelle était destinée au départ à l'évaluation des enfants. Douze paramètres sont étudiés, le thérapeute cotant chaque critère de 1 à 7.
- *Le profil vocal* : construit par Wilson, ce profil permet de juger de l'utilisation et de l'efficacité de la voix en étudiant 8 paramètres : sévérité générale, durée d'une tenue vocalique, hauteur de la cavité laryngée, utilisation des cavités de résonance, ouverture de la glotte, vitesse, intensité et portée de la voix.
- *Echelle bipolaire d'auto estimation vocale de Dejonckere* : 11 paires d'adjectifs opposés sont proposés au patient, qui doit situer sa voix sur une échelle de 1 à 7 (1 correspondant à « très mauvaise », 7 à « très bonne) pour chaque paire d'adjectifs.
- *SVEC (Stockholm Voice Evaluation Consensus)* : Uniquement validée en Suède, l'échelle, qui évalue la voix sur la lecture d'un texte de 40 secondes, se compose de 28 traits regroupés en 5 classes : stable-instable, soufflé-serré, hyper-hypofonctionnel, lourd-léger, registre. Le SVEC permet également de corréler l'évaluation perceptive et certains paramètres acoustiques. Les auteurs de cette échelle, Hammarberg et Gauffin, ont pour idée que la qualité vocale dépend du contexte culturel et linguistique d'une population, et qu'une échelle devrait être spécifique d'une langue.

1.2. Echelles d'autoévaluation

Il est fréquent que des patients atteints des mêmes troubles n'aient pas le même ressenti quant à leurs difficultés ou leur degré d'incapacité dans telle ou telle situation. Le niveau de handicap peut être perçu différemment. L'auto évaluation permet donc de savoir comment le patient perçoit sa voix, ce qu'il perçoit de son trouble et le degré de gêne ressentie dans la vie quotidienne. Il pourra mettre en avant ce qu'il veut faire de sa voix, ce qu'il attend de la rééducation. Elle permet également au thérapeute de comparer les informations recueillies au cours de l'évaluation perceptive et instrumentale avec les dires du patient. A.Giovanni souligne justement, par une citation d'Harries et Morrison, que « *le degré de satisfaction du patient est l'un des paramètres les plus importants du succès de l'intervention chirurgicale, peut être plus qu'un changement objectif* »².

Des questionnaires ont ainsi été créés et permettent au patient d'évaluer son trouble au moment du bilan et au cours de la prise en charge ce qui permet d'avoir une comparaison avant-après.

1.2.1. Le Voice Handicap Index (VHI) de Jakobson

Le VHI est l'échelle d'auto évaluation la plus diffusée dans le monde. Jakobson et al l'ont mise au point en 1997. Pour la réaliser, les auteurs ont tiré de dossiers cliniques de nombreux témoignages de patients décrivant des troubles vocaux liés à l'ensemble des pathologies de voix. Le test ainsi créé permet d'évaluer l'incidence d'un trouble de la voix dans la vie du patient, et ce dans trois domaines : émotionnel, fonctionnel et physique. Le VHI, proposant au départ 85 items, dont certains très redondants, ne contient désormais plus que 30 questions. Le sujet doit y répondre en attribuant une note de 0 à 4 selon la fréquence du problème ressenti : (0) correspond à une affirmation jamais vraie, (1) une affirmation presque jamais vraie, (2) parfois vraie, (3) presque toujours vraie, et (4) toujours vraie. Entre 0 et 30, le score est considéré comme bas. Entre 31 et 60 on juge qu'il s'agit d'un handicap modéré. Au delà de 60, le handicap est ressenti comme sévère.

² GIOVANNI, Antoine, *Le bilan d'une dysphonie, état actuel et perspectives*, p.47

En 2004, Rosen et al a publié une version raccourcie du VHI qui ne contient plus que 10 questions, tirées de l'échelle originale. Une étude a validé la pertinence et l'efficacité de ce nouveau questionnaire en le comparant à son prédécesseur.

Le VHI trouve légitimement sa place dans le bilan vocal puisqu'il permet à l'orthophoniste de mieux cerner les demandes du patient et la souffrance ressentie, choses que les mesures objectives ne sont pas en mesure de montrer. Il peut également être utile à la rééducation et être source de motivation, car chaque élément problématique devient un but de rééducation à atteindre. Enfin il peut parfois aider à mettre un terme à la rééducation, quand le patient se sent satisfait de sa voix, alors même qu'elle reste imparfaite du point de vue de l'orthophoniste.

1.2.2. Les autres échelles d'auto évaluation

En 1985, Dejonckere et al élaborent sous la direction de Françoise Estienne une échelle bipolaire d'auto estimation vocale. Elle se compose de 11 paires d'adjectifs, telles que « rauque/pure, désagréable/agréable, fatiguée/reposée ... ». Pour chaque paire le patient doit juger, sur une échelle à 7 degrés, sa voix actuelle ainsi que la voix qu'il souhaiterait avoir. Pour apprécier l'évolution, trois questionnaires avec les même paires d'adjectifs sont donnés au patient : avant, actuellement, et la voix souhaitée. En 1998 ces échelles sont complétées par une échelle d'évaluation subjective de la voix parlée. Le patient évalue l'importance du critère et son degré de satisfaction dans deux domaines : la qualité du fonctionnement de sa voix et son confort.

En 1999, Hogikan et Sethuraman présentent le V-RQOL Measure (voice-related quality of life measure). Le test présente de 10 items répartis en deux catégories : fonctionnement physique et niveau socio émotionnel. Même si les critères sont assez similaires à ceux du VHI, le V-RQOL a un avantage, puisque la corrélation entre l'amélioration du score et l'évolution de la voix au cours du traitement a été démontrée par les auteurs³. Une étude, réalisée par Duska et al, a montré qu'il était plus judicieux d'utiliser le V-RQOL Measure

³ Ibid. p.55

pour évaluer le niveau d'un groupe, alors que le VHI était plus adapté à l'évaluation individuelle⁴.

Ma et Yiu créent en 2001 le VAPP, Voice Activity and Participation Profile. C'est une échelle destinée à évaluer la limitation des activités vocales quotidiennes causée par le trouble. Elle comprend 28 items couvrant 5 domaines : communication quotidienne, sociale, impact émotionnel, impact professionnel et auto perception de la sévérité du trouble.

1.2.3. L'auto évaluation vocale de VOCALAB

En Juin 2013, Anne Menin-Sicard présente dans un article une échelle d'auto évaluation implantée dans le logiciel VOCALAB⁵.

L'échelle d'auto évaluation vocale fut implantée dans la version 3.7 du logiciel. Composée de 5 questions, c'est une échelle simple et rapide à faire passer au patient. Un des avantages majeurs est l'existence d'une corrélation entre les éléments objectifs relevés grâce à l'analyse acoustique du logiciel, et les critères proposés dans l'échelle :

- **Confort** : Le patient doit juger de sa situation de confort lors de ses interventions vocales.
- **Endurance** : Impression par le patient de sa capacité à tenir un effort vocal (parler ou chanter) pendant un certain laps de temps, et dans certaines conditions comme le bruit. Cet item est en lien avec l'intensité du travail vocal.
- **Performances** : Appréciation par le sujet de ses possibilités de maîtrise de la hauteur et de l'intensité (à mettre en lien avec le niveau de gestion de la pression expiratoire).
- **Qualité** : Le patient porte ici un jugement esthétique sur le timbre de sa voix. La qualité est liée à l'utilisation des résonateurs ainsi qu'à la qualité de l'ondulation des cordes vocales.

⁴ Magranville, Claire, *Tentative d'adaptation du « voice handicap index » a la personne transsexuelle*, p.42

⁵ Sicard, Anne. *Approche métacognitive dans le cadre de l'évaluation et la réévaluation de la voix*, p.121-134.

- **Adaptation** : L'individu estime le niveau de handicap que lui provoque son trouble vocal dans sa vie sociale, ainsi que sa facilité d'adaptation aux différentes situations d'interaction.

Pour chaque élément, le patient doit répondre par le biais d'une échelle de classe en plaçant un curseur sur l'échelon 1 (difficultés sévères), 2, 3, 4 ou 5 (satisfaction du patient). Une description précise les degrés de difficultés pour chacun des 5 critères. Le total, allant de 5 à 25, est calculé : la gêne sera d'autant plus importante que le score total s'approchera de 1.

2. Evaluation instrumentale

A l'évaluation perceptive de la voix s'ajoute désormais l'évaluation instrumentale, qui permet de porter un regard objectif sur le trouble et la qualité vocale grâce à des mesures acoustiques et aérodynamiques.

2.1. Mesures acoustiques

Les mesures acoustiques se définissent par « toutes les évaluations objectives menées à partir de l'enregistrement du signal vocal au moyen d'un microphone, c'est à dire le signal acoustique de la manifestation vocale »⁶. L'enregistrement magnétique, digital, numérique sur ordinateur, les fichiers audionumériques, les cartes audio, les microphones et l'écoute sont autant de moyens qui permettent de capturer le signal vocal afin d'en réaliser l'analyse. Ces méthodes d'enregistrements, rapides et non invasives, permettent une systématisation du recueil d'échantillons sonores. Les mesures acoustiques couvrent plusieurs domaines : étude des paramètres fréquentiels, des paramètres temporels et analyse de la fonction pneumo-phonatoire (grâce à la mesure du temps maximal de phonation et des débits syllabiques et phonatoires). Ces analyses permettent de mettre en évidence les particularités de la voix par rapport à une norme de pathologie, et de mesurer quantitativement les paramètres vocaux. L'approche thérapeutique s'en trouve améliorée.

⁶ Op.cit , p.112

2.1.1. Choix du support vocal

Le choix du matériau phonétique utilisé pour les analyses objectives ou perceptives est depuis longtemps une question débattue. Deux types de support vocal sont utilisés par les cliniciens : la voyelle tenue et la parole (discours spontané, répétition de mots ou de phrases, lecture d'un texte).

La parole, riche d'informations (phénomène de coarticulation, transitions entre les phonèmes voisés/non voisés, qualité de la vibration cordale lors de l'émission de phonèmes voisés), est le matériau le plus représentatif de la voix conversationnelle. Cette dernière étant le fondement de la communication quotidienne, il est légitime de considérer la parole comme le matériau privilégié pour l'évaluation perceptive de la voix. En 2002, J.Revis souligne la nécessité d'utiliser, pour l'analyse perceptive, un matériau phonétique contenant l'attaque. Le texte lu semble être un choix judicieux, d'autant plus qu'il permet la comparaison des données et la standardisation. Pour avoir un échantillon exploitable et de qualité, il conviendrait selon Hammarberg & Fritzell d'avoir un enregistrement de quarante secondes minimum.

L'utilisation de la voyelle tenue (dans le plupart des cas le /a/, sur deux ou trois secondes) est néanmoins très fréquente dans les études, parfois plus que celle de la parole. Effectivement elle comporte de nombreux avantages : le /a/ est une voyelle ouverte sans grande impédance, elle est donc très riche d'informations. De plus, elle permet grâce à sa présence dans de nombreuses langues et à sa facilité de reproduction, de réaliser des banques de données internationales. Enfin, l'état affectif du sujet n'a pas de conséquence sur sa production, à l'inverse de la parole. La voyelle tenue est donc considérée comme le matériau favori des cliniciens pour l'évaluation objective de la voix, qui nécessite un signal stable. En effet quand on parle, la fréquence fondamentale F0 varie invariablement. On parle de variation contrôlée, qui traduit une bonne maîtrise vocale. Or, sur la voyelle tenue on recherche une stabilité. On demande au patient de tenir un son tenu, donc des variations de F0 sont le signe d'un dysfonctionnement du système phonatoire. Il n'est plus question de variations contrôlées. Ainsi il convient mieux d'exploiter la voyelle tenue pour relever les mesures acoustiques d'instabilité (entre autres). Hammarberg en 1980 souligne que le /a/ tenu n'est pas assez caractéristique de la voix conversationnelle, justifiant ses propos par l'absence, dans la voyelle tenue, des informations contenues dans

la parole. De Krom au contraire a jugé que le /a/ tenu pouvait remplacer la parole dans l'analyse objective de la voix, car c'est un support pertinent, s'il contenait l'information de l'attaque.

En résumé, malgré la multiplicité des points de vue, il apparaît comme judicieux de choisir la lecture d'un texte pour l'évaluation perceptive et la voyelle tenue pour l'évaluation objective.

Pour être fiable, chaque enregistrement doit être identique d'un bilan à l'autre. Une salle silencieuse est nécessaire, pour minimiser au maximum les bruits parasites qui peuvent fausser certaines mesures. L'onde acoustique doit être captée par un microphone, placé à une distance fixe des lèvres (il est recommandé à 20 ou 30 cm de la bouche, surtout si la voix est très soufflée). Si le praticien utilise un micro-casque, le micro doit être placé latéralement par rapport aux lèvres, à une distance de 4 cm. L'échantillon doit être ensuite enregistré. Deux possibilités existent : la forme analogique (sur cassette ou bande magnétique) ou la forme numérique, qui a la faveur des praticiens et qui est largement utilisée à l'heure actuelle. En effet la forme numérique peut être immédiatement exploitable et n'a pas d'influence sur le signal. Enfin, il est nécessaire de respecter une durée d'enregistrement minimum, pour garantir la possibilité d'une analyse de qualité. La durée minimale pour analyser un signal est de 10 ms. Pour avoir un échantillon de taille correct, il convient d'enregistrer une voyelle sur une à trois secondes et la parole sur 40 secondes, si l'on veut faire des mesures « à long terme ».

2.1.2. Notion d'acoustique : le son

En 1960, Gunnar Fant publie des travaux qui montrent des relations entre l'articulation et l'acoustique. Il propose un modèle « source-filtre » sur lequel reposent les sons de la parole :

- *La source* : elle correspond à la glotte ou la néoglotte. La source est l'origine de l'onde acoustique.
- *Le filtre* : c'est le conduit vocal, qui va amplifier ou réduire certaines fréquences de la source.

Ainsi le signal de parole correspond à la production du signal de source qui est ensuite transformé par les articulateurs. Autrement dit, les sons sont constitués de traits phonétiques qui correspondent aux traits acoustiques et aux traits articulatoires. Parmi les sons de la parole, on rencontre des signaux dont on est capable de prédire l'évolution : ce sont les signaux périodiques, c'est à dire qu'ils se répètent à l'identique dans le temps. D'autres types de signaux sont présents dans la parole : les signaux pseudo périodiques, et les signaux non périodiques.

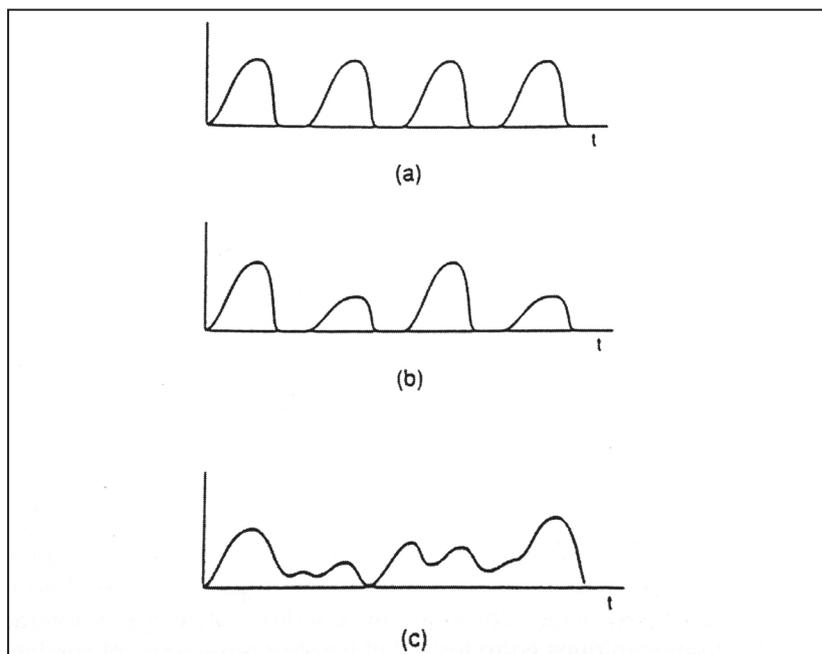
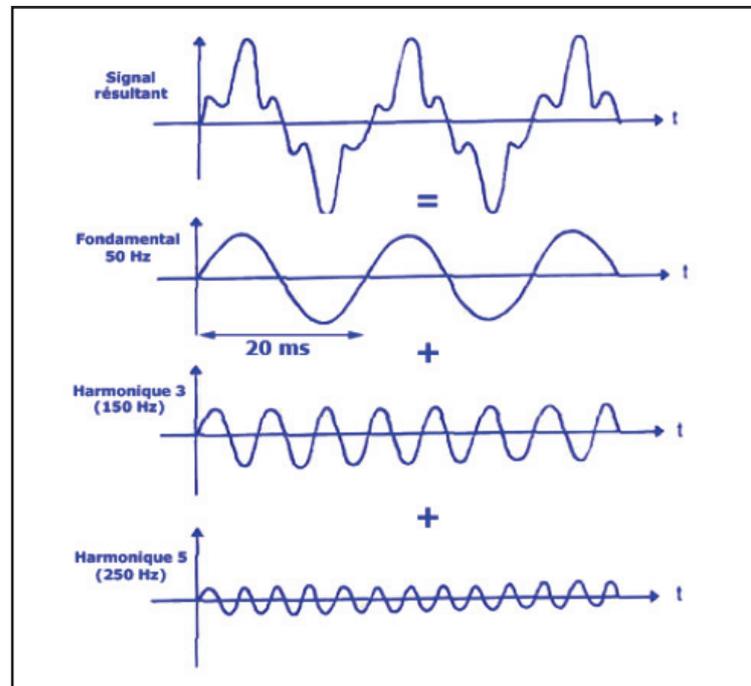


Figure 6 - Représentation schématique d'un signal pseudopériodique (voyelle) (a), non périodique continu (fricative) (b), et non périodique pulsé (occlusive) (c). La voix après chirurgie partielle du larynx, Lise Crevier-Buchman et al. pp.93

a. Analyses fréquentielle et temporelle

Le calcul du spectre se fait en utilisant le théorème de Fourier qui permet d'extraire les composantes fréquentielles du son. Ce théorème repose sur l'idée que tout son complexe peut être décomposé en plusieurs sons purs, de fréquences et d'amplitudes diverses. Ces différentes fréquences sont des multiples de la fréquence la plus basse (qui appartient à un des sons purs). On peut mesurer les variations de fréquences dans le domaine temporel

(analyse dans le temps des ondes acoustiques successives) et dans le domaine fréquentiel (qui permet de voir l'intensité de chaque fréquence).



Les différents éléments identifiables sont donc :

- F_0 : la fréquence fondamentale : c'est la fréquence la plus basse du son.
- *Les harmoniques* : ce sont les fréquences multiples de la fréquence fondamentale. La qualité de la voix est proportionnelle à la richesse en harmoniques. La présence de bruit entre les harmoniques, et plus précisément une trop forte amplitude de ce bruit par rapport à l'amplitude des harmoniques est révélatrice d'une altération de la voix.
- *Les formants* : ce sont des zones de forte énergie et de renforcements fréquentiels du spectre acoustique. Ce renforcement est lié à la forme du conduit vocal et aux caractéristiques articulatoires. Visuellement, un formant correspond à un groupe d'harmoniques.

➤ Aspect temporel

On représente la pression (ou la tension) des ondes en fonction du temps. Le spectre du son complexe apparaît visiblement comme la somme des sons sinusoïdaux. L'analyse temporelle permet d'apprécier les variations instantanées de la fréquence fondamentale.

➤ Aspect fréquentiel

Le spectre fréquentiel est la représentation de l'amplitude des ondes en fonction des fréquences. Ce graphique permet l'identification de la fréquence fondamentale, des harmoniques et des formants (groupes d'harmoniques). Plus les « pics » sont clairement définis, plus la qualité de la voix est bonne. La fréquence fondamentale correspond au « pic » de fréquence la plus basse (et pas nécessairement le pic de plus grande amplitude). Les autres pics correspondent aux harmoniques.

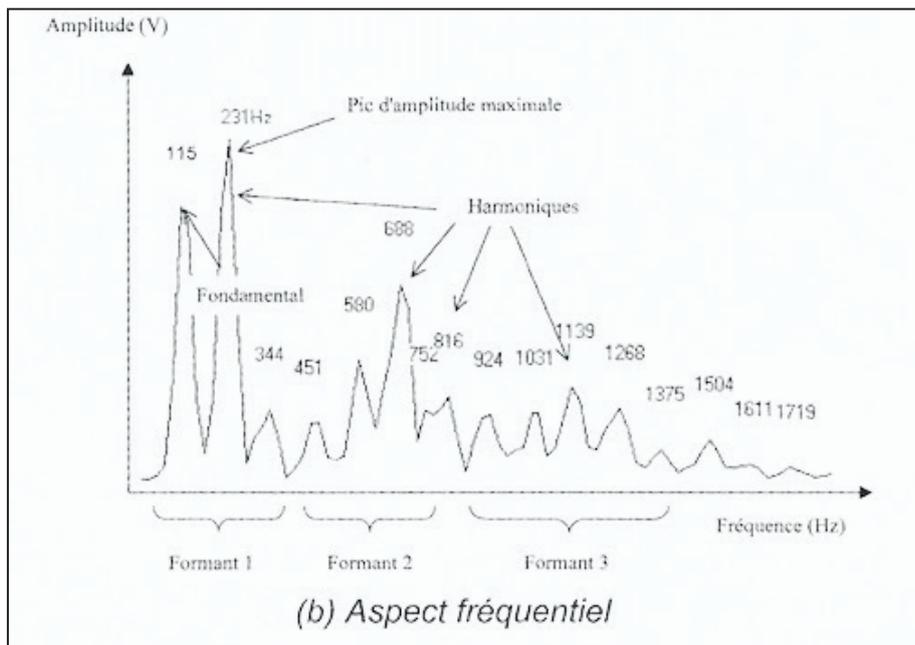


Figure 8 - Représentation fréquentielle - A. Menin-Sicard et E.Sicard, VOCALAB, de la théorie à la pratique, p.33

b. Le sonagramme ou spectrogramme

Le sonagramme est une figure qui montre la distribution en fréquences de l'énergie du signal de la parole. L'ensemble de la décomposition spectrale de la voix est visible : autrement dit, il s'agit d'une accumulation de spectres calculés à un instant « t » qu'on a mis les uns à la suite des autres.

C'est donc une représentation tri-dimensionnelle temps-fréquence d'un son : la fréquence est représentée sur l'axe des ordonnées, le temps sur l'axe des abscisses, et l'intensité des éléments du spectre est donnée en niveaux de couleurs. Il existe deux types d'analyse en fonction des filtres sélectionnés :

- Filtre à bande étroite (45 Hz) permettant de visualiser les harmoniques : la figure se compose de plusieurs traits parallèles et horizontaux, qui correspondent aux sons voisés. Le trait le plus inférieur correspond au fondamental.
- Filtre à large bande (300 Hz) permettant de visualiser les formants : un tel filtre permet une visualisation plus précise des phénomènes de la parole. Le dessin donne à voir des zones plus ou moins ombrées révélatrice du renforcement de certaines fréquences.

L'analyse d'un spectrogramme donne au praticien une multitude d'informations : énergie fournie, bruit sur-ajouté symbolisant une voix soufflée, place et intensité des formants, richesse des harmoniques, attaque dure, endurance, transitions des différents mécanismes, etc. Des notions d'acoustiques sont requises pour analyser un spectre, car chaque élément visible est le reflet d'un mécanisme physiologique ou pathologique dans certains cas.

Sur une voyelle tenue par exemple, voici les éléments principaux sur lesquels notre attention doit se porter⁷ :

- *la vitesse de dégradation du spectre* : directement liée à la pression expiratoire. Un spectre se dégradant très vite dans le temps est synonyme d'une mauvaise endurance et d'une mauvaise gestion du souffle pour tenir le son. Le niveau de coordination pneumo phonique peut alors être renseigné.
- *La richesse du spectre* : plus les harmoniques sont nombreux, plus le timbre est riche. Il est intéressant de noter le nombre d'harmoniques présents au dessus de 1500 Hz (au dessus des formants vocaliques).
- *La régularité du spectre* :

⁷ Menin-Sicard, Sicard, Anne et Etienne, *VOCALAB de la théorie à la pratique*, p63.

- En fréquence : si les traits sont rectilignes, la fréquence fondamentale est stable, donc le vibrateur laryngé a une bonne stabilité. A l'inverse, des traits vacillants témoignent d'une irrégularité en hauteur.
- En intensité : la régularité est visible quand les traits conservent leur couleur. Plus la couleur est jaune voire blanche, plus l'intensité est élevée.
- *La continuité du spectre* : des interruptions apparentes sur le spectre sont le reflet de désynchronisations.
- *La propreté du spectre* : La présence d'une composante de souffle dans la voix ou d'une éraillure peut se manifester par des traces intermittentes entre les harmoniques.
- *La qualité de l'attaque et de l'extinction du son* : Une attaque normale est caractérisée par le départ simultané de toutes les harmoniques du son. Il existe d'autres types d'attaques : la présence de bruit avant le commencement du son indique une attaque soufflée, alors qu'une attaque dure est longue et forte, générant une instabilité de la voyelle.

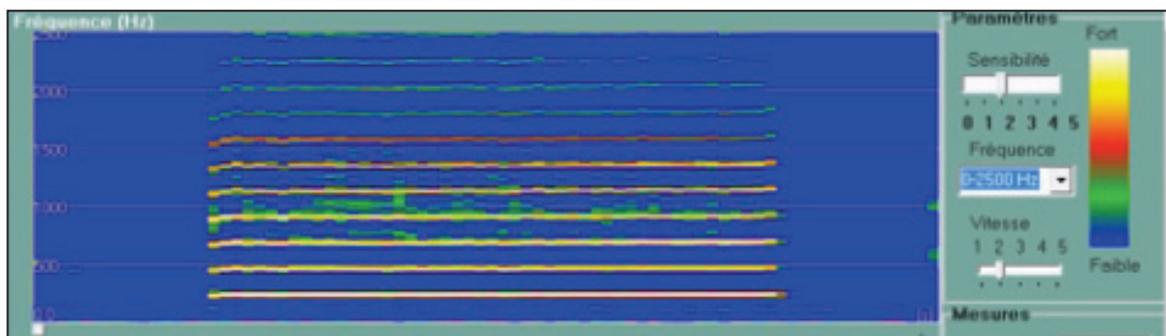


Figure 9 - Sonagramme d'une voyelle tenue - D'après www.vocalab.org

Ainsi quelque chose de l'ordre de l'auditif est transposé dans le domaine du visuel, ce qui présente plusieurs intérêts pour l'évaluation et la rééducation vocales. Lors du bilan, l'utilisation du spectre facilite l'analyse auditive car toutes les irrégularités audibles à l'oreille peuvent se vérifier en image : attaque dure, souffle dans la voix, instabilité... Les informations que l'orthophoniste tire de l'interprétation du spectrogramme permettent,

ajoutées aux observations perceptives, d'orienter précisément le projet thérapeutique. Florence Parmentier⁸ insiste sur l'intérêt de cet outil dans la prise de conscience de la voix par le patient, dans la motivation ainsi que dans l'autonomisation du patient. Des limites peuvent cependant être soulignées : la fiabilité de l'image, le risque d'une mauvaise interprétation et la nécessité de connaissances acoustiques spécifiques. C'est à l'orthophoniste d'interpréter la figure et d'expliquer les mécanismes au patient. L'utilisation du spectrogramme ne doit pas être trop prégnante dans la prise en charge, il est nécessaire que le patient se détache progressivement du feedback visuel et qu'il revienne aux sensations perçues dans le corps. Le geste vocal doit être compris et intégré par le patient, et pas seulement réalisé dans le but d'avoir une « belle » image qui s'affiche à l'écran.

2.1.3. Choix des paramètres principaux

Pour qu'une mesure instrumentale soit validée, elle doit répondre à trois conditions⁹ :

- la mesure doit refléter un certain comportement physiologique, c'est à dire avoir une signification physiopathologique.
- Elle doit être capable de différencier une voix saine d'une voix pathologique,
- Enfin elle doit être cohérente avec la sévérité de la dysphonie.

Le choix des paramètres étudiés doit être réfléchi, puisque ces derniers doivent refléter la fonction vocale ainsi que le comportement physiologique du larynx. De nombreuses études ont été réalisées dans le but de trouver les paramètres les plus pertinents et les plus utiles pour mettre en évidence la perturbation de l'onde acoustique. Mais à l'heure actuelle, aucune recherche n'a validé clairement les traits les plus convaincants pour les voix pathologiques.

Davis en 1979 souligne que dans la pathologie laryngée, « *les premiers paramètres acoustiques perturbés sont la fréquence fondamentale, l'intensité et la forme du signal* »

⁸ Parmentier, Florence, *Apprécier sa voix en rééducation vocale : apports du spectrogramme*. 2013

⁹ Giovanni, Antoine et coll, *Analyse objective des dysphonies avec l'appareillage Eva®. Etat des lieux*. Fr ORL-2006, 90, pp 190.

glottique »¹⁰. L'importance de ces mêmes paramètres est spécifiée par Kempster et coll en 1991¹¹. Lise Crevier-Buchman quant à elle précise qu'« *il est impossible de savoir avec précision quelles sont les dimensions caractéristiques de la voix et combien de paramètres sont nécessaires pour la caractériser [...] Il n'existe pas encore de paramètres acoustiques complètement fiables pour évaluer la dysphonie sévère* »¹².

Dans la littérature, cinq principaux attributs acoustiques sont définis comme étant les plus utilisés voire normalisés : fréquence fondamentale du signal, variations à court terme de cette fréquence (jitter et shimmer), variations de l'intensité, et le rapport harmonique sur bruit.

a. Le fondamental

Le fondamental est le principal responsable de la perception subjective de la hauteur d'une voix. D'un point de vue acoustique deux idées se défendent : certains auteurs appellent le fondamental « fréquence fondamentale » car ils considèrent qu'il s'agit du premier harmonique. D'autres lui assignent le rang 0, jugeant que le premier harmonique est celui dont la fréquence est égale au double de la fréquence du son fondamental.

Ainsi la fréquence fondamentale F0 correspond à la fréquence la plus basse que donne à voir le spectre de la voix. Pour détecter la hauteur il est nécessaire d'avoir à faire à un signal périodique : en effet on calcule la fréquence d'un signal (nombre de périodes en une seconde, c'est à dire le nombre de cycle vibratoire des cordes vocales en une seconde) à partir de sa période : $F = 1 / P$. Pour des voix très abîmées du fait de la pathologie, il sera difficile de mesurer la fréquence fondamentale. Par ricochet les autres mesures seront difficiles à réaliser, car elles dépendent de la détection de F0 (notamment le jitter et le shimmer). Il est donc nécessaire de contrôler visuellement le signal sur un spectrogramme, car des irrégularités comme le bruit seront visibles sur la représentation.

La valeur moyenne de la fréquence fondamentale dépend du sexe :

¹⁰ Crevier-Buchman, Brihaye, Tessier, Lise, Sylvie, Christophe, *La voix après chirurgie partielle du larynx*, p.95

¹¹ Saivignet, Alexandra, *Echelles perceptives et qualité de vie*, La voix dans tous ses maux, p.21.

¹² Op citée, p.104

Homme	Femme	Enfant
110-130 Hz	205-245 Hz	240-295 Hz
sol 1 - Ré 2	sol 2 - ré 3	si 2 - ré 2

Tableau 1 - Valeurs moyennes de la fréquence fondamentale

D'autres facteurs ont une influence, parmi lesquels l'anatomo-physiologie du larynx, l'âge, le type d'activité vocale (voix parlée, lecture, voix d'appel), l'état affectif du locuteur, l'environnement (tabagisme), et le matériau linguistique (certaines syllabes sont valorisées par un accent d'intonation).

Le fondamental usuel moyen est la fréquence moyenne la plus couramment utilisée pour un sujet donné, calculée à partir de plusieurs échantillons sonores. Le sujet est invité à lire un texte ; une mesure de F0 est enregistrée toutes les 20ms. La valeur du fondamental usuel moyen correspond à la moyenne de toutes ces mesures de F0.

b. L'instabilité de l'amplitude de la voix

L'intensité varie en permanence pendant la parole, certaines syllabes étant mises en valeur grâce à des accents d'intensité. Tout comme pour le fondamental, on peut définir une « intensité usuelle moyenne » qui correspond à l'intensité de la voix conversationnelle (autour de 30 dB). Ce paramètre est influencé par la pression sous glottique et la résistance glottique au flux d'air. Les conditions d'enregistrement influent elles aussi sur la mesure de l'intensité : si la distance micro-bouche (et l'orientation du micro par rapport à la bouche) n'est pas similaire d'un enregistrement à un autre, le chiffre sera biaisé. Une intensité excessive peut induire l'apparition de lésions cordales.

Le paramètre évaluant l'instabilité de l'amplitude de la voix est le Shimmer. Il s'agit d'une mesure de fluctuation à court terme. Il détermine les variations de l'amplitude du signal, c'est à dire de l'intensité si l'on se réfère au plan auditif. Sa limite pathologique est fixée à 1% par des logiciels tels que le MDVP, et 3,81% par PRAAT. Dans VOCALAB, l'indicateur correspondant est « instabilité en amplitude » (nous détaillerons les indicateurs de VOCALAB dans la partie pratique).

c. L'instabilité de la hauteur de la voix

Le Jitter est un paramètre important qui permet de quantifier les micros perturbations du signal acoustique. Il se rapporte à la variation de la fréquence fondamentale pendant un cycle glottique : on parle de fluctuation à court terme. Le Jitter doit sa définition et sa naissance à Lieberman (1963) qui appuya le fait que lors d'une voyelle tenue, les perturbations laryngées sont en rapport non pas avec les variations lentes de l'amplitude et de la fréquence, mais plutôt avec les variations rapides de celles-ci. Sur le plan auditif, le Jitter correspond à une variation de la hauteur de la voix. Il apparaît que le Jitter serait le paramètre le plus corrélé à la raucité et au souffle.

La mesure du Jitter demeure assez problématique. Les différents systèmes informatiques existants qui recueillent les données ont des algorithmes différents : par exemple sur un même échantillon de voix, la fréquence de vibration calculée peut différer de manière parfois significative selon les logiciels. Il est donc difficile de donner une valeur de référence. Néanmoins certains outils d'analyse de la voix ont fixé le seuil pathologique à environ 1%. Certaines voix rendront de surcroît la détection du Jitter difficile : si la dysphonie est trop sévère par exemple, le signal sera trop instable et les mesures seront limitées. Dans VOCALAB, le paramètre équivalent au Jitter est l'indicateur « instabilité en hauteur ».

d. HNR et NNE

Le HNR (Harmonic Noise Ratio) et le NNE (Normalized Noise Energy) sont les deux principales méthodes (proposées par Yumoto et al. et Kasuya et al.) pour évaluer le rapport entre l'énergie harmonique du signal et l'énergie d'un bruit superposé au signal. Deux causes possibles peuvent provoquer ce bruit : l'instabilité du vibrateur laryngien, et un souffle de la voix très prononcé causé par un mauvais accolement des cordes vocales. Le spectre d'une voix saine donne à voir des raies bien délimitées. A l'inverse, lorsqu'il y a beaucoup de souffle dans la voix, le spectre est massif, les harmoniques ont une amplitude et une intensité faible, et on remarque des traces erratiques entre eux. Une voix est d'autant plus rauque que le ratio signal/bruit est faible. Dans le logiciel VOCALAB, les indicateurs correspondants sont « bruit » et « pauvreté en harmoniques ».

e. Qualité des transitions

L'attaque et l'extinction d'une production sonore (voyelle tenue) contiennent des informations pertinentes. En effet pour un grand nombre de voix pathologiques le délai de voisement est supérieur à celui des sujets sains : la mise en vibration est plus longue et altérée (ex : coup de glotte). En 1999, J.Revis¹³ cherchait à montrer l'influence de l'attaque sur l'analyse perceptive des dysphonies. 80 personnes étaient évaluées par un jury de 7 auditeurs, sur 3 échantillons : texte lu, voyelle tenue complète, voyelle tenue sans attaque ni extinction. Les résultats montraient que la voyelle tenue sans attaque ni extinction, c'est à dire seulement la portion stable de la voyelle, était sous évaluée par rapport aux autres échantillons phonétiques. La sous évaluation était d'autant plus marquée que la dysphonie était sévère. A l'inverse, la voyelle tenue complète était jugée plus sévèrement que le texte lu, ce qui montrerait que les attaques d'une voyelle tenue et d'un texte lu contiennent des informations perceptives différentes. En 2002, J.Revis réalisait une étude pour caractériser la nature de l'influence perceptive l'attaque¹⁴. Le jury devait évaluer deux types d'échantillons : une voyelle tenue complète et une voyelle tenue sans attaque. Les résultats montrent que l'absence d'attaque n'a pas d'influence sur l'évaluation perceptive du jury pour les paramètres du GRBAS, mais qu'elle a une influence en fonction des différents niveaux de dysphonie : l'influence de l'attaque est importante pour les stades léger et moyens. Ces deux travaux montrent que l'attaque est pertinente pour évaluer une dysphonie de manière perceptive, par conséquent elle a également sa place dans l'évaluation instrumentale. Cependant, peu de marqueurs ont été validés pour ce paramètre, car cela pose un problème d'interprétation aux logiciels de mesure. Dans le logiciel VOCALAB, c'est l'indicateur « Attaque » qui évaluera la qualité de la transition initiale.

2.1.4. Phonétogramme

Le phonétogramme rend compte des possibilités dynamiques de la voix en hauteur et en intensité. C'est un diagramme qui indique pour chaque fréquence les intensités maximales et minimales de l'émission sonore. La figure ainsi obtenue peut s'analyser comme telle : les faces inférieures et supérieures représentent respectivement les intensités minimales et

¹³ Revis, Joana, *L'analyse perceptive des dysphonie : approche phonétique de l'évaluation vocale*, p.176

¹⁴ Ibid, p.186

maximales. Les extrémités horizontales de la figure sont les bornes de l'étendue vocale du sujet. Utile pour évaluer les capacités initiales du patient, il l'est également pour mesurer l'évolution de ce dernier au cours du temps.

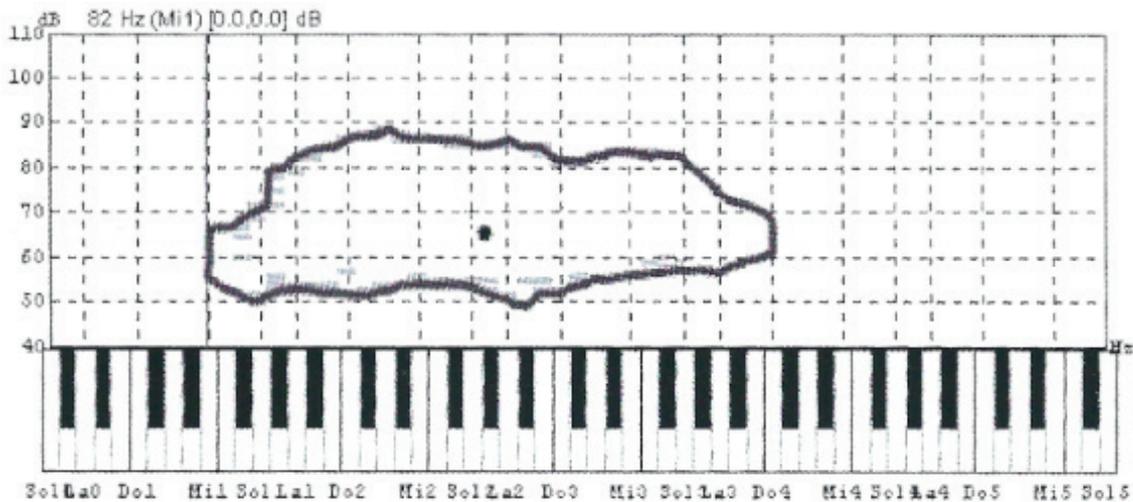


Figure 10 - Phonétogramme d'une personne normale - D'après Le bilan d'une dysphonie, A.GIOVANNI, p.114

2.1.5. Performances pneumo phonatoires : étendue vocale et temps maximum de phonation (TMP)

Le TMP est une mesure physiologique qui évalue les capacités phonatoires. On calcule le temps d'émission d'une voyelle tenue (« a ») à une hauteur et intensité confortables. La valeur normale est comprise entre 15 et 20 secondes. Sa valeur nous donne une indication sur le rendement laryngé : si le TMP est faible, soit le sujet a émis la voyelle avec une intensité trop élevée pour durer longtemps, soit il y a une déperdition d'air. On utilise surtout cette valeur pour calculer le quotient phonatoire, qui correspond au rapport entre la capacité vitale (capacité d'air pulmonaire à disposition) et le TMP. Un quotient phonatoire élevé révèle une importante fuite glottique. Le TMP peut également se mesurer sur une fricative sourde « s » et sonore « z ». La mise en rapport des deux mesures, le rapport s/z, permet de détecter la présence d'un trouble laryngé : pour une voix saine, le rapport devrait se situer aux alentours de 1. Une augmentation de celui-ci, provoqué par un temps d'émission du phonème sonore diminué, signerait la présence d'un dysfonctionnement laryngé.

L'étendue vocale est définie comme l'ensemble des notes qu'un individu est capable de produire, de la plus grave à la plus aigüe. On la mesure en demandant au patient de faire une sirène montante puis descendante. L'étendue vocale est soumise à une variabilité inter individuelle importante, certains individus ayant des possibilités vocales particulières voire exceptionnelles. Cependant, quel que soit le type de voix, l'étendue vocale est de 12 notes (la 1-mi 3) chez l'homme, et 15 notes (sol 2-sol 4) chez la femme¹⁵. Dans certaines pathologies l'étendue vocale peut être significativement réduite.

2.2. Mesures aérodynamiques

Les mesures aérodynamiques sont depuis quelques années le support de recherches multiples. Les conclusions sont unanimes : ces mesures sont d'une grande richesse et apportent un grand nombre d'informations sur les dysfonctionnements laryngés. Néanmoins elles sont moins utilisées que les mesures acoustiques car elles sont difficiles d'accès (coût élevé et matériel spécifique : seuls les logiciels hospitaliers permettent de réaliser ces mesures).

Les phénomènes aérodynamiques sont la conséquence des mouvements des organes de la parole. Autrement dit, ils reflètent les caractéristiques bio-mécaniques du système pneumo phonatoire. Ils sont au nombre de quatre : débit d'air oral, débit d'air nasal, pression sous glottique et pression intra orale. La pression sous glottique et le débit d'air oral étant les mesures les plus utilisées, nous ne décrivons que celles ci.

- Le **débit d'air oral** (en dm³/s) : On mesure à l'aide d'un spiromètre la quantité d'air expiré par la bouche par unité de temps. C'est une valeur très utile pour évaluer le rendement laryngien, surtout dans les pathologies qui présentent un défaut d'accolement des cordes vocales. Par exemple, un fort débit d'air oral moyen aura pour conséquence un signal très soufflé. A l'inverse, un faible débit d'air pour une intensité donnée signale un bon rendement laryngien, autrement dit une fuite glottique faible. Néanmoins, Giovanni montre dans un exemple qu'il est possible d'avoir un débit d'air très faible, donc un bon rendement laryngien,

¹⁵ Le Huche, Allali, François, André, *La voix*, Tome 2, p.16

malgré une voix inaudible¹⁶. Il est important d'avoir la connaissance de ce paramètre, car un bruit audible sur le signal peut avoir deux sources : un bruit de souffle (causé par un débit d'air moyen élevé) ou un bruit d'instabilité vibratoire (détectable grâce à une faible valeur du jitter). Il est donc nécessaire de connaître la véritable cause du bruit, pour pouvoir adapter la rééducation. Corrélée à l'intensité, cette mesure donne une indication sur la coordination pneumophonique : si l'une et l'autre de ces valeurs chutent très rapidement après le début de l'émission vocale, c'est le signe d'une mauvaise coordination pneumophonique. La valeur normale du débit d'air moyen est 0,2 dm³/s. La limite de pathologie se porte à 0,5 dm³/s. Plus la valeur augmente, plus le trouble est sévère.

- **Pression sous glottique** (en hPa) : Il s'agit de la pression qui arrive aux cordes vocales et qui provoque leur ouverture, permettant ainsi la production d'un son. Pendant l'inspiration, la pression est inférieure à la pression atmosphérique. Lors de l'expiration en revanche, elle est supérieure, et permet l'ouverture des cordes vocales. Il existe divers moyens de la mesurer, mais la méthode utilisant la pression intra orale a la faveur des cliniciens. Une pression sous glottique très élevée entraîne une phase de fermeture de cordes vocales extrêmement longue, donc des tensions. Elle est ainsi corrélée au forçage vocal (Giovanni et al, 2000), d'où l'importance de la connaissance de cette valeur. La frontière de normalité se situe à 7 hPa, alors que la limite supérieure pathologique est de 18 hPa. La pression sous glottique est utilisée pour définir la résistance glottique. Cette dernière est le rapport de la pression sous glottique divisée par le débit d'air. Elle est directement liée à la force de contact des cordes vocales, donc avec le forçage vocal qui peut causer des lésions sur les cordes vocales.

¹⁶ Op citée, p.136.

3. Approche multiparamétrique et concordance entre mesures instrumentales et mesures perceptives.

La méthodologie d'un bilan vocal a subi de nombreux remaniements depuis son apparition. L'évaluation perceptive, méthode la plus ancienne, est restée longtemps la méthode la plus utilisée en clinique. La concurrence menée par les méthodes d'évaluation instrumentale est rude, et la fiabilité de ces mesures est reconnue puisque leur influence dans la clinique quotidienne est de plus en plus grande. L'une et l'autre de ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients, d'où l'importance de réaliser une approche pluri-factorielle. En effet, une seule mesure ne peut pas rendre compte de plusieurs paramètres. Alain Ghio et coll souligne que « *La multiplication des angles d'observation s'avère nécessaire pour prendre en compte l'aspect multidimensionnel de la communication parlée, une méthode prise isolément se révélant souvent réductrice* »¹⁷.

3.1. Avantages et inconvénients de l'évaluation perceptive.

Si l'évaluation perceptive est la méthode la plus ancienne, c'est parce qu'elle est fondamentale : c'est parce que le patient perçoit à l'oreille des changements dans sa voix qu'il vient consulter. L'oreille à nouveau évaluera les résultats : c'est quand le patient sera satisfait de ce qu'il perçoit de sa voix qu'il pourra décider de stopper la prise en charge. Pour être fiable l'évaluation perceptive doit obéir à une méthodologie stricte et reproductible : enregistrer la voix avec du matériel de bonne qualité, déterminer quel échantillon phonétique utiliser (texte lu, parole, voyelle tenue) et choisir les termes utilisés pour qualifier l'impression auditive. Pour essayer de pallier le caractère subjectif de cette méthode, il est apparu judicieux de mettre en place un jury d'experts habitués à juger des voix, ce qui reste coûteux en temps et en personnes. Malgré cela des limites apparaissent et soulignent le manque d'objectivité : la variabilité inter auditeurs (chacun à ses propres critères, peu sont formés dans la même école clinique) ou intra auditeurs (le jugement d'une même personne peut être différent lors de deux moments différents, sur le même échantillon. Les capacités d'attention, de mémoire et de fatigue peuvent aussi

¹⁷ Ghio, Alain et coll, *Bilan et perspectives de quinze ans d'évaluation vocale par méthodes instrumentales et perceptives*, Laboratoire « parole et langage », p.1, l.35

entrer en jeu). A cela s'ajoute le fait que le référent interne de chaque auditeur (référent sur lequel l'auditeur s'appuie pour juger du caractère pathologique ou non d'une voix) varie selon l'expérience du professionnel, la langue, les facteurs socio culturels (une composante soufflée ou rauque peut être jugée comme satisfaisante dans certaines langues). La prolifération des échelles, le nombre élevé des paramètres à prendre en compte ainsi que celui des termes qui s'y rapportent pose problème. L'absence d'une terminologie précise reconnue au niveau international induit que certains résultats peuvent être biaisés. L'utilisation et la reconnaissance du GRBAS comme l'échelle perceptive la plus reconnue permet de pondérer ce fait. Pour évaluer une dysphonie intermédiaire, la mise en place d'échelle visuelle analogique en remplacement de l'attribution d'une note 0-1-2-3 pourrait améliorer la précision du jugement.

Mais une des questions essentielle, non résolue à ce jour, est celle concernant les limites de la pathologie : les caractéristiques d'une voix normale n'ont jamais été vraiment définies clairement, pour pouvoir à la simple écoute d'une voix décider de son appartenance au champ sain ou non. D'aucuns diront qu'une voix est normale si elle est belle, mais la beauté d'une voix est quelque chose que chaque personne définit selon ses propres critères, sa culture et ses convictions personnelles.

Une des possibilités d'amélioration de la fiabilité de ce type de méthode serait d'utiliser des méthodes telles que la « sentence verification task »¹⁸. On considère que l'échange joue un rôle important : la qualité vocale influence la compréhension d'un message et la vitesse de la réponse. Or, tous les auditeurs d'une langue partagent la compréhension d'un message. Cette méthode réduirait ainsi la part subjective.

3.2. Avantages et inconvénients de l'évaluation instrumentale.

C'est dans un souci d'objectivité que les mesures instrumentales se sont développées. Elles rendent compte précisément des caractéristiques audibles de la dysphonie (entre autre). Les mesures instrumentales comprennent des éléments acoustiques,

¹⁸ D.B.Pisoni, MJ Dedina, *Comprehension of Digitally Encoded Natural Speech Using a Sentence Verification Task (SVT) : A first Report*, in Research on Speech Perception. Progress Report No. 12, Indiana university 1986.

aérodynamiques ou électrophysiologiques, permettant de chiffrer les dysfonctionnements vocaux. Obéissant à une méthode facile et rapide, elles permettent entre autre de situer le patient temporellement par rapport à son trouble, de le comparer à d'autres patients au même stade de récupération vocale. Tous les professionnels de formations différentes (orthophonistes, médecins, phoniâtres) peuvent ainsi échanger des infos, se servant de ces chiffres comme repère.

Cependant, les résultats de ces mesures doivent être relativisés : il ne faut pas oublier qu'avant tout c'est à l'oreille que le patient jugera sa voix. Il peut arriver qu'une voix normale à l'oreille soit décrite comme pathologique selon les chiffres : les mesures seront jugées caduques. La vigilance du clinicien est d'une importance capitale : il est indispensable de toujours relier les chiffres à un phénomène physiopathologique sous jacent. Un chiffre tel quel ne veut rien dire, c'est son interprétation et le reflet des mécanismes phonatoires sous tendus qui importent. Là encore, les difficultés dans la détermination de la frontière entre des comportements physiologique et pathologiques rendent délicat la création des algorithmes et l'interprétation des mesures. Certains auteurs soulignent l'opacité de la méthode car certains appareils (notamment EVA®) permettent de classer le patient dans tel ou tel grade de dysphonie, sans jamais avoir décrit clairement les caractéristiques de chaque grade. Enfin, les approches statistiques utilisées dans la méthode objective font intervenir, selon les études, une population différente en quantité et en qualité. D'une étude à l'autre les résultats peuvent ainsi devenir incohérents.

3.3. L'évaluation multiparamétrique.

Nous avons vu que l'analyse perceptive était la méthode la plus ancienne, mais que l'analyse instrumentale commençait à avoir la faveur des cliniciens. Au début du développement des méthodes objectives, seuls les paramètres acoustiques étaient mesurés. En 1995, Wolf et all ont étudié la concordance entre quatre paramètres acoustiques (F0, jitter, Shimmer, rapport harmoniques/bruit) et l'analyse perceptive : l'indice de corrélation était de 0,56, ce qui est trop faible. En 2000 c'est au tour de Wuyts et all de se prêter à l'exercice : quatre mesures (F0, intensité la plus basse, temps maximum de phonation, jitter) furent corrélés à l'évaluation perceptive du grade global G de dysphonie (selon le GRBAS) pour 319 sujets pathologiques et 68 sujets sains. Wuyts

avait mis au point un DSI, Indice de Sévérité de la Dysphonie. Seulement, les 56% de concordance entre l'évaluation perceptive et les mesures acoustiques n'ont pas été suffisant pour assurer la fiabilité de cet index. Ces deux exemples montrent la défaillance de l'utilisation exclusive des paramètres acoustiques pour évaluer une voix. L'idée fut alors d'associer certains paramètres aérodynamiques aux paramètres acoustiques : réunir plusieurs mesures complémentaires pourrait permettre de déduire des indices plus discriminants que des paramètres isolés. Or, en pratique, il est difficile d'exploiter tous les paramètres acoustiques ainsi que tous les paramètres aérodynamiques qui existent, leur nombre est trop élevé et cela prendrait trop de temps. Des études furent alors réalisées dans le but de faire émerger certains paramètres plus pertinents que d'autres.

Piccirillo en 1998 a évalué 97 sujets dysphoniques et 35 sujets sains. Quatre paramètres jugés pertinents (pression sous glottique, débit d'air buccal, temps maximum de phonation et étendue vocale) sont étudiés, et l'indice de corrélation avec chaque paramètre du GRBAS fut jugé satisfaisant. L'intégration des mesures aérodynamiques dans les protocoles d'évaluation semble donc augmenter la fiabilité de l'évaluation objective. Depuis 1992 des études sont menées dans le service ORL du CHU la Timone à Marseille, toujours dans le but d'améliorer la concordance entre les évaluations objective et perceptive. Deux études sont particulièrement intéressantes :

En 2006, Giovanni et coll mirent au point une étude sur 63 patients dysphoniques et 21 sujets sains. Les sujets étaient d'abord soumis à une analyse perceptive réalisée par 4 experts de la voix. Chaque échantillon (lecture du premier paragraphe de « La chèvre de Monsieur Seguin ») était présenté trois fois à chaque auditeur, qui jugeait le grade de dysphonie sur une échelle visuelle analogique. Parallèlement, dix paramètres acoustiques et aérodynamiques furent mesurés grâce au logiciel EVA®, sur un /a/ tenu : F0, intensité, jitter factor, débit d'air buccal (DAB), rapport harmonique/bruit (HNR), rapport harmonique/bruit > 1kHz, coefficient de Lyapunov, pression sous glottique (PSG), TMP et étendue vocale. Un traitement statistique était ensuite réalisé : une analyse descriptive, pour évaluer l'influence de la dysphonie sur la voix par rapport au groupe témoin. A cela s'ajoutait une analyse comparative, pour vérifier si les mesures objectives étaient capables de différencier une voix pathologique d'une voix saine, et déterminer différentes intensités des dysphonies. Les résultats furent très encourageants : pour les femmes, la concordance entre l'analyse perceptive et l'analyse instrumentale s'élevait à 81% (et 7

paramètres ont vraiment une pertinence notable : étendue vocale, coefficient de Lyapunov, PSG, TMP, DAB, HNR, F0). On observait 84% de concordance pour la population masculine.

En 2007, Yu et coll ont analysé les voix de 449 personnes avec troubles vocaux (les plus rencontrés dans la pratique clinique) et 58 sujets sains. L'analyse perceptive était réalisée par quatre auditeurs, 3 sessions d'écoute étaient proposées pour chaque échantillon. Chaque membre du jury devait donner le grade global G de dysphonie. L'analyse instrumentale était, à l'instar de l'étude de Giovanni et all, réalisée avec l'appareillage EVA® : trois /a/ tenus permettaient d'extraire FO, l'intensité, le jitter factor, le Shimmer, le rapport signal/bruit, le DAB. Les mesures furent complétées par l'étendue vocale, le TMP et la PSG grâce à la mesure de la PIO (pression intra orale). A la suite de l'analyse, l'équipe conclut que sept paramètres étaient pertinents pour les femmes : étendue vocale, coefficient de Lyapunov, PSG, TMP, DAB, HNR>1kHz, F0. Pour les hommes il s'agit des mêmes paramètres sauf le DAB. Ces paramètres concordaient à 82% avec l'analyse perceptive du jury.

Publication	Patients	Nb param.	Paramètres	retenus	Concordance jury/mesures
Giovanni <i>et al.</i> , 1995, <i>Ann. Otolaryngol. Chir. Cervicofac.</i>	247 H/F/E divers	2	- jitter	- fuite glottique ⁷	63 %
Giovanni <i>et al.</i> , 1996, <i>Folia Phoniatr Logop.</i>	245 H/F/E divers	4	- jitter - fuite glottique	- émergence harmonique - durée de l'attaque	66 %
Giovanni <i>et al.</i> , 1996, <i>Ann. Otolaryngol. Chir.</i>	23 normaux 34 Tucker ⁸ H	6 x 2	- jitter + Log(jitter) - shimmer + Log - coeff. variation F0 + Log	- coeff. variation dB + Log - débit oral + Log(dab) - fuite glottique + Log	84,7 %
Yu <i>et al.</i> , 2001, <i>Journal of Voice</i>	84 H divers	10	- F0 - jitter - intensité - rapport signal/bruit - rapport signal/bruit f > 1kHz	- coef. de Lyapounov - débit d'air oral - pres. sous-glottique estim. - étendue vocale - temps max. phonation	86 %
Yu <i>et al.</i> , 2002, <i>Folia Phoniatr Logop.</i>	74 F divers	10	<i>idem</i>		64 % ⁹ 88 %
Yu <i>et al.</i> , 2007, <i>Folia Phoniatr Logop.</i>	449 H/F divers	6	- étendue vocale - coefficient de Lyapounov, - press. sous-glottique estim.	- temps max. phonation, - débit d'air oral - rapport signal/bruit	82 %

Figure 11 - Travaux effectués au CHU de la Timone sur la concordance entre mesures objectives et mesures perceptives - A.Ghio et coll, *Approches complémentaires pour l'évaluation des dysphonies : bilan méthodologique et perspectives*, p39

Dans ces diverses études, les auteurs partagent un même avis : celui qu'à l'heure d'aujourd'hui, des incertitudes demeurent quant à l'efficacité de certaines mesures acoustiques. L'étendue vocale et le TMP sont quant à elles considérées comme extrêmement fiables. Les mesures aérodynamiques, en particulier le débit d'air buccal et la pression sous glottique nous apportent elles aussi des informations précieuses.

On observe une stagnation du pourcentage de concordance entre mesures objectives et évaluation perceptives à un seuil de 80% : cela s'explique par des causes multiples :

La première cause est la variabilité de l'évaluation perceptive, ajoutée au fait que dans certaines pathologies, tous les phonèmes ne sont pas atteints de manière identique (ex : paralysie récurrentielle). L'attribution d'un grade global de dysphonie est alors délicate. De plus, il existe des cas où des perturbations du système phonatoire peuvent ne pas avoir de répercussions audibles.

Deuxièmement, l'évaluation instrumentale et l'évaluation perceptive n'évaluent pas la même chose. Il est alors difficile de faire des comparaisons. En effet, dans l'évaluation perceptive, on cherche à apprécier l'utilisation de l'instrument phonatoire, on est dans le domaine du fonctionnel. A l'inverse, l'évaluation instrumentale tend à déterminer les caractéristiques mécaniques du système phonatoire. Ces deux méthodes sont donc complémentaires puisque l'analyse instrumentale fixe la voix dans le temps et permet ainsi des comparaisons à mesure que le geste vocal fonctionnel évolue.

Enfin, il peut parfois arriver que les mesures chiffrées ne reflètent pas de trouble, alors que la pathologie est avérée. Par exemple, une voix très abimée rend difficile la détection de F0, et par ricochet la détection des paramètres de stabilité de F0. De plus, la gêne ressentie par le patient lors de sa phonation peut également être supérieure à ce que reflètent les données chiffrées.

En conclusion, ces deux types d'analyse de la voix doivent être utilisées conjointement et non pas s'opposer, car chacune apporte un éclairage complémentaire à l'autre.

3.4. Vers l'utilisation de nouvelles techniques...

Il est maintenant clair que les évaluations, perceptive et objective, présentent toutes deux des limites. L'heure est au progrès, à la recherche de nouvelles techniques dans le but d'affiner toujours plus la fiabilité des mesures, et d'arriver à évaluer une voix le plus précisément possible. Une évaluation fine permettra, associée à l'écoute de la plainte du patient d'ajuster précisément les objectifs de la prise en charge, et d'être plus efficace. De nouvelles méthodes sont donc en train de faire leur apparition, et pourront potentiellement être associées aux méthodes déjà utilisées si elles font leurs preuves.

Parmi elles se trouvent les mesures non linéaires. Une étude, réalisée à Shanghai¹⁹ en 2009 a montré que les évaluations acoustiques actuelles montraient des limites lors de l'analyse de signaux aperiodiques et que la combinaison des analyses classiques et des analyses non linéaires pouvait apporter plus de précision aux évaluations. Dans cette étude, trois groupes de patients ont été évalués : groupe contrôle sain (21 personnes), groupe de patients avec nodules (21 personnes) et groupe de patients avec polypes (39 personnes). L'analyse du jitter, du shimmer et du HNR était réalisée au moyen de deux logiciels, à partir d'une voyelle tenue (/a/). Les résultats du groupe de sujets avec nodules n'étaient pas significativement différents de ceux du groupe témoin pour le Shimmer. Il apparaît donc que pour des voix trop abîmées les analyses acoustiques reposant sur l'extraction de la fréquence fondamentale se trouvent en difficulté. Les chercheurs ont alors eu recours aux méthodes non linéaires : les mesures non linéaires peuvent être appliquées à des voix dont le signal est aperiodique. Un espace de phase a été construit pour les voix du groupe témoin et les voix du groupe de patients avec nodules (voir schémas ci dessous).

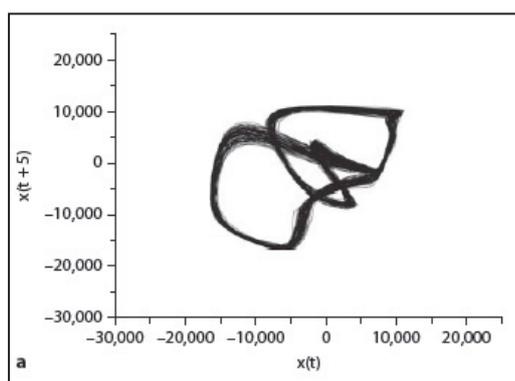


Figure 12 - espace de phase d'un signal vocal périodique (groupe sain)²⁰

¹⁹ Jiang, Zhan, McCallum, Jack, Yu, Julia, Objective acoustic analysis of pathological voices from patients with vocal nodules and polyps, Folia Phonia logop, p.342.

²⁰ Op citée, p.344

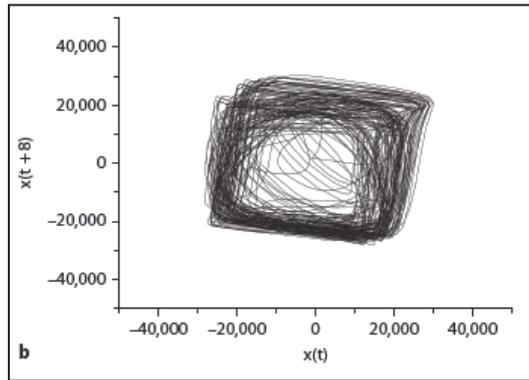


Figure 13 - espace de phase d'un signal vocal aperiodique (groupe de nodules)²¹

Les figures montrent clairement que les trajectoires sont différentes, selon que le signal est périodique ou non. Cela permet donc de faire la différence entre une voix saine et une voix pathologique. Pour quantifier l'irrégularité du signal visible sur l'espace de phase, on calcule alors une dimension de corrélation, qui ne doit pas dépasser 5%. C'est une mesure qui décrit la corrélation de deux points dans l'espace de phase. Cette mesure ne requiert pas la connaissance de la fréquence fondamentale et permet ainsi la différenciation entre une voix saine et une voix pathologique. Cette méthode a été testée pour le groupe des patients avec nodules. Alors que le shimmer ne se différenciait pas de celui du groupe témoin lors d'une analyse acoustique classique, classant la voix comme non pathologique, les résultats du calcul de la dimension de corrélation étaient très différents entre les deux groupes (groupe contrôle et groupe avec nodules). Les mesures non linéaires ne sont pas destinées à remplacer les mesures acoustiques classiques mais peuvent être un outil supplémentaire qui peut apporter une aide lorsque l'évaluation acoustique linéaire se trouve limitée.

L'analyse des signaux électroglottographiques est elle aussi une approche plutôt nouvelle dans l'évaluation des troubles de la voix. L'électroglottographie consiste à enregistrer le comportement du larynx pendant la parole. Des signaux correspondants à l'aire de contact entre les cordes vocales sont extraits. On peut alors calculer divers quotients, comme *l'Open quotient* qui permet de mettre en évidence d'hypothétiques phénomènes d'hyper

²¹ Op citée, p.344

adduction ou d'hypo adduction, en mesurant le rapport entre le temps de la phase d'ouverture des cordes vocales et le cycle complet.

Un troisième type d'évaluation innovante retient notre intérêt. Il s'agit de l'utilisation d'un système de Reconnaissance Automatique du Locuteur (RAL) pour l'évaluation des voix pathologiques, plus précisément les dysphonies. En 2005, Alain Ghio et son équipe a essayé d'adapter ce système à l'évaluation des voix dysphoniques afin d'en apprécier l'intérêt. 80 femmes de 17 à 50 ans furent évaluées par un jury composé de trois auditeurs (une seule session d'écoute) puis leurs voix furent soumises au système de RAL. Les deux objectifs principaux étaient d'abord de voir si le système était capable de différencier une voix pathologique d'une voix normale. Puis dans un second temps d'examiner les possibilités de différencier les 4 grades de dysphonies G0, G1, G2, G3. Deux protocoles, un pour chaque test, fut passé. Les résultats sont très encourageants : 85% de réussite pour la tâche 1. Les confusions proviennent des voix intermédiaires G1 et G2. Sur 20 voix normales et 60 dysphoniques, 19 et 49 voix furent respectivement reconnues comme étant normales et pathologiques. Les confusions concernent les voix intermédiaires (légèrement dysphoniques). Le système eut plus de difficultés lors de la tâche 2, avec 69% de réussite. Chaque grade de dysphonie couvrait 20 patients. 19 furent reconnus G0, 14 G1, 9 G2 et 13 G3. Dans la plupart des erreurs, les voix appartenant au G2 étaient classées dans le G1. Les résultats globaux demeurent tout de même encourageants, car les premières mesures objectives avec l'appareillage EVA® avaient obtenu 66% de concordance avec l'évaluation perceptive. Les chiffres de cette étude s'en approchent. Pour vérifier l'intérêt de cette méthode non invasive et rapide, il est nécessaire de réaliser une étude sur une population plus grande.

4. Logiciels d'évaluation vocale.

Depuis une vingtaine d'années l'essor de l'informatique fait apparaître de nouveaux outils dans tous les domaines, et notamment dans le domaine de l'évaluation vocale. Divers logiciels d'évaluation de la voix ont fleuri sur le marché. Les orthophonistes sont de plus en plus nombreux à avoir recours à ces logiciels pour compléter leur analyse et la rendre plus fine, ou alors pour les utiliser en tant que support dans la rééducation. Pour certains, la méconnaissance de l'outil informatique et le coût du produit sont parfois un frein à l'achat et l'utilisation de ces logiciels.

4.1. Station EVA®.

Né de la collaboration entre le laboratoire « Parole et Langage » d'Aix en Provence et l'équipe du service ORL du CHU La Timone à Marseille, l'appareillage EVA permet une analyse objective de la voix grâce à la mesure simultanée de paramètres acoustiques et aérodynamiques. L'appareillage EVA est difficile à utiliser en libéral, le matériel étant encombrant et composé de nombreux capteurs et autres outils. Il est par contre bien adapté à une utilisation en institution et permet de faire un bilan très précis.

Une version seulement acoustique est dérivée de cet appareillage : il s'agit de DIANA, Dispositif Informatisé d'ANalyse Acoustique. Plus maniable qu'EVA, il peut être utilisé en libéral. Douze paramètres sont mesurés, ce qui permet d'avoir une évaluation acoustique précise.

4.2. PRAAT

PRAAT (1996) est un logiciel librement téléchargeable par les orthophonistes, destiné à l'analyse et la manipulation de sons. Ce logiciel, assez complet, donne accès à une analyse fine de la parole (analyse spectrale, analyse des formants, analyse de l'intensité...), à des chiffres précis de mesures acoustiques (jitter, shimmer), à la création de graphiques et à des explorations statistiques. Une étude a été réalisée²² avec ce logiciel : il s'agissait de définir un modèle d'imitation se situant dans une zone de sécurité prosodique (zone à l'intérieur du triangle vocalique, qui diminue au maximum le risque de malmenage vocal). Les résultats montrent que la plupart des sujets dysphoniques sont capables d'imitation, et imitent d'autant mieux (c'est à dire qu'ils se situent dans la zone de sécurité prosodique) que si le modèle proposé est leur propre voix. Un repère vocal objectif peut ainsi être proposé au patient.

4.3. VOCALAB

²² Collioud, Anne Laure, *Voix et Imitation, utilisation du logiciel Praat dans la mise en évidence de la zone de sécurité prosodique*, Mémoire d'Orthophonie.

VOCALAB est un logiciel d'évaluation et de rééducation vocale. Développé par Anne-Menin Sicard et Etienne Sicard en partenariat avec l'INSA de Toulouse, la première version de cet outil de visualisation spectrale de la voix fut diffusée en 2001. La version 4 du logiciel, commercialisée en Septembre 2014, propose une amélioration des trois menus que sont les modules « Evaluation », « Rééducation » et « Médiathèque ». Le logiciel permet également à l'orthophoniste de rédiger une fiche patient, et met à sa disposition une base de données de voix pathologiques ainsi que des vidéos. Sa capacité à s'adapter à de nombreuses pathologies ainsi que sa facilité d'utilisation font de cet outil un support solide sur lequel les orthophonistes peuvent s'appuyer au quotidien. Parallèlement, il a l'avantage d'être pédagogique pour le patient qui peut voir directement les effets de ses productions et sentir les mécanismes mis en jeu. Le véritable atout de VOCALAB est la possibilité de faire une analyse en temps réel, qui apporte un vrai avantage dans la rééducation. Ce logiciel étant le support de notre mémoire, nous le décrivons en détail dans la partie pratique.

4.4. Autres logiciels.

	Edition du signal de parole	Fondamental	Intensité	Spectrogramme	Spectre	Jitter	Shimmer	Courbe mélodique	Rapport signal / bruit	Analyse EGG	Phonéto-gramme	Analyse spectrale	TMP	Sona-gramme	Formants	Etiquetage phonétique
BRUEL et KJAER	✓	✓	✓	✓								✓				
CECIL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓				✓
Dr SPEECH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
EVA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			
HP		✓	✓		✓							✓				
Csl - Mdv	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓
PCLX	✓	✓		✓					✓	✓	✓					
Phonedit		✓	✓		✓							✓		✓		
Phoneval		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓		✓	✓	
Phonos 1	✓	✓	✓		✓			✓				✓	✓			
Signalys	✓	✓		✓	✓							✓				✓
Soundscope	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓				
Spectra Plus					✓							✓		✓		
Unice	✓	✓	✓	✓	✓			✓				✓				✓
Winsnorri	✓	✓		✓	✓							✓			✓	✓

Figure 14 - Caractéristiques des différents logiciels - D'après Christine Nguyen Van Trieu, Logiciels d'exploration et de rééducation vocale, Lille 1999, pp.61

5. Profils vocaux existants.

5.1. Odéogramme de Perello

L'odéogramme de Perello (1974) est un outil d'évaluation fonctionnelle qui permet d'apprécier subjectivement la voix, par l'analyse de plusieurs paramètres : l'intensité (dB), la durée (secondes), l'étendue (nombre de notes), la survenue de la fatigue (heures), la nasalité (dm3). La raucité est évaluée à partir de l'étude d'un sonagramme : on attribue le grade de stade 1, 2, 3 ou 4 en fonction de l'importance du bruit perçu dans la voix. Le stade 1 correspond à la présence d'un léger bruit de souffle dans les aigus ; le stade 4 au remplacement de certains des premiers formants par du bruit. Les résultats sont transcrits dans un tableau : plus on se situe vers la droite, plus la voix est normale.

Intensité (dB)	30	40	60	80	100
Durée (secondes)	0	5	10	20	30
Etendue (tons)	0	6	12	18	24
Raucité (stades)	4	3	2	1	0
Fatigue (heures)	0	1	2	3	9
Nasalité	2	1,5	1	0,5	0

5.2. Profil vocal objectif de Dejonckere

En 1985, P.Dejonckere, sous la direction de Françoise Estienne met au point un profil vocal objectif, construit à partir de critiques des profils existants : profil vocal de Wilson, Buffalow voice profil, odéogramme de Perello. Estienne insiste sur l'intérêt d'avoir un tel dispositif « *issu de la nécessité clinique de posséder un outil précis, rapide et maniable, capable de mesurer les performances d'une voix* »²³.

²³ Estienne, Françoise, *Voix parlée, voix chantée, Examen et thérapie*, p.20.

Paramètre	Définition
Capacité vitale (3 essais)	Volume d'air expiré en une fois, après une profonde inspiration. Cette mesure est utilisée pour calculer le quotient phonatoire.
Temps Maximum de Phonation	Temps maximal d'émission d'un phonème en une seule expiration. Il renseigne sur le rendement énergétique du larynx, c'est à dire sa capacité à transformer le souffle expiratoire en énergie acoustique.
Intensité	Sont évaluées : l'intensité moyenne de la voix parlée, l'intensité minimale de la voix parlée, l'intensité moyenne de la voix projetée, l'intensité maximale de la voix (cri d'appel). L'évaluation de l'intensité minimale est révélatrice de la qualité de l'oscillateur.
Etendue	Ensemble des notes qu'un individu peut émettre, du grave à l'aigu. L'évaluation de l'étendue vocale permet de visualiser des mécanismes de passage et identification d'une éventuelle étendue étroite.
F0 et déviation par rapport au fondamental	Fréquence moyenne de la voix en conversation spontanée. L'estimation du fondamental usuel donne une indication sur les caractéristiques biomécaniques des cordes vocales dans leur interaction avec la pression sous glottique.

Calculs	Définition
Coefficient de nasalité	Différence entre la capacité vitale nez ouvert et la capacité vitale nez fermé. Il est révélateur de l'efficacité du sphincter vélopharyngé.
Dynamique d'intensité	Différence entre l'intensité du cri d'appel et l'intensité minimale. La dynamique d'intensité renseigne sur les limites de l'ajustement du système laryngé.
Rapport s/z	Indicateur d'une pathologie des cordes vocales qui limiterait la mise en vibration des cordes vocales.
Coefficient	Rapport de la capacité vitale nez ouvert sur le temps phonatoire

phonatoire	maximum du « e ». Il renseigne sur la qualité du couplage pneumophonique.
------------	---

Le profil vocal initial a ensuite subi divers remaniements, des modifications concernant les modalités de présentation, les épreuves et le protocole. Des adaptations selon l'âge et le sexe ont ensuite été effectuées car certaines épreuves présentaient une différence significative dans les mesures entre les hommes et les femmes. Ces modifications aboutirent à la réalisation de 5 profils vocaux :

- Femme : de 20 à 50 ans.
- Femme : de 60 à 80 ans.
- Homme : de 20 à 50 ans.
- Homme : de 60 à 80 ans.
- Enfant : garçon et fille, de 5 à 12 ans.

	-3	-2	-1	N	+1	+2	+3	résultat
1.Capacité vitale								
N.O.- dém. 1 ess.	1,6	2,3	3	3,7	4,4	5,1	5,8	L
N.F. - dém. 1 ess.	1,6	2,3	3	3,7	4,4	5,1	5,8	L
2. Int.(Cpt. 1 à 30,à 30 cm)								
- moy. (1 ess. - dém.)	48,7	51,9	55,1	58,3	61,5	64,7	67,9	dB
- min. (3 ess. - dém.)	52,5	48,7	45	41,3	37,6	33,9	30,1	dB
- voix proj. (1 ess. - dém.)	72,8	81,4	90	98,6	107,2	115,8	124,3	dB
- max. (3 ess. - dém.)	86,3	93,8	101,4	108,9	116,4	124	131,5	dB
3.T.M.P.								
/a/, 2 ess. +dém.	0,5	7,7	14,8	22	29,1	36,2	43,4	sec
/u/, 1 ess.	0	7,3	16,7	26,2	35,6	45	54,5	sec
/s/, 3 ess.+dém.	0	5,4	20,4	35,3	50,2	65,2	80,1	sec
/z/, 1 ess.	0	6,2	18,1	30	42	53,9	65,8	sec
comptage, 2 essais 1 chiffre /sec.	2,1	10	17,9	25,7	33,6	41,4	49,3	nombres de chiffres
4. Etendue sur le /u/, dém., 2 ess.	5	9	13	18	22	26	31	touches
5.Rech. fond.								
Toux sur /hé/, 2 ess.	sol 1	la 1	si 1	do 2	ré 2	mi 2	fa 2	note
6.Dév. /au fond.								
Comptage 1 ess.	sol 1	la 1	si 1	do 2	ré 2	mi 2	fa 2	nbr.nts

Calculs								
7. Nas. = dif. C.V. N.O. - N.F.	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,3	L
8. Ecart. entre int. max. et mini.	42,5	50,9	59,3	67,7	76	84,4	92,8	dB
9. Rapport /s/z/	2,22	1,87	1,52	1,17	0,82	0,47	0,12	
10. Quot. phon.								
/a/ nez ouvert	366,2	306	245,9	185,8	125,6	65,5	5,3	ml/sec
/a/ nez fermé	357,9	299,3	240,7	182,1	123,6	65	6,4	ml/sec
/u/ nez ouvert	324,1	268	211,9	155,8	99,6	43,5	0	ml/sec
intensité moyenne, 40-49 ans : 60,44 dB								
Placement du son :	Type d'imperfection :		monotonie	bitonalité				
Qualité :			grésillement	souffle				
Stabilité :			chevrotement	irrégularité				
			cassure	raucité				
			décrochages					

Figure 15 - Profil vocal objectif chez l'homme (20 à 50 ans), d'après Le profil vocal et son adaptation chez l'enfant, F. ESTIENNE, Rééducation Orthophonique N° 194, pp 65-77

5.3. Profil vocal de l'E.C.V.O

L'ECVO ou Evaluation Clinique de la Voix en Orthophonie est un outil du bilan orthophonique. Elaboré et publié par Arlette Osta en 2008, il permet l'évaluation clinique des dysphonies et des dysodies chez l'enfant, l'adolescent, l'adulte et les professionnels de la voix. Le résultat de ce bilan est la réalisation d'un profil vocal perceptif.

L'ECVO permet l'évaluation de plusieurs modalités vocales : voix conversationnelle, lecture, voix parlée projetée, voix d'appel et voix chantée. Au total 26 items sont cotés par l'orthophoniste qui attribue à chaque item une note de 0 à 2, selon le trouble observé et les plaintes du patient :

« - 0 : absence du trouble, aucune constatation de l'item concerné,

- 1 : degré faible ou moyen de sévérité, de gravité ou d'existence du trouble ou de l'item concerné,

- 2 : trouble important, présence nette du trouble, constatation évidente de l'item concerné ; plainte nette et affirmée. »²⁴

A la suite de la cotation, un pourcentage est à calculer. Il s'agit du pourcentage de sévérité pour chaque item.

Le profil vocal se présente sous la forme d'un Z-score. Plusieurs courbes peuvent se superposer ce qui permet de voir l'évolution du patient dans le temps. L'avantage d'une telle modélisation est la mise en évidence claire des domaines les plus altérés, où la marge de progression est la plus grande.

²⁴ Osta, Arlette, E.C.V.O, *Documentation pour l'utilisation du protocole*, p.2

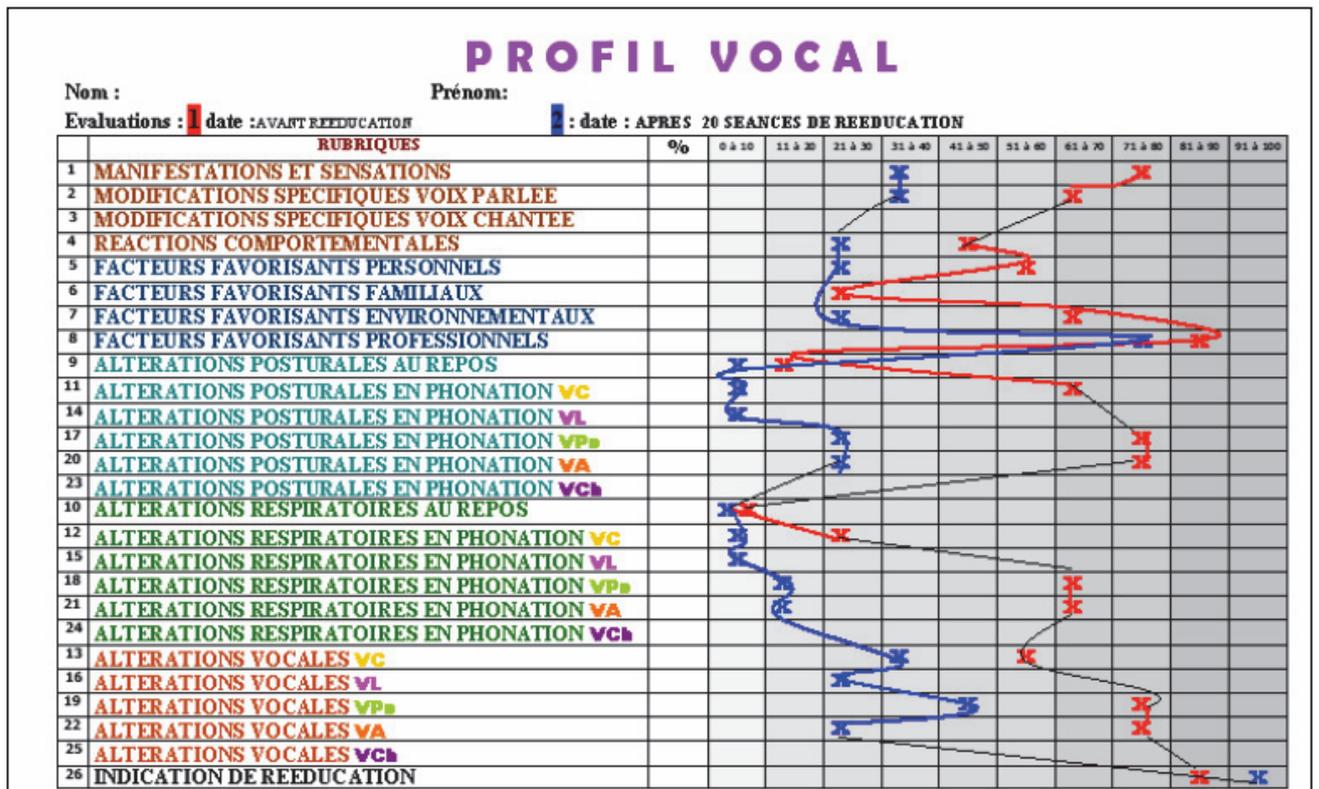


Figure 16 - Profil vocal, dysphonie dysfonctionnelle. D'après Arlette Osta, *ECVO, Documentation pour l'évaluation du protocole*, pp.6

Tout l'intérêt du profil vocal est d'avoir une concentration de données immédiatement visibles permettant de situer une voix par rapport aux normes et par rapport au temps : l'établissement d'un nouveau profil après quelques mois de rééducation permet de mettre en avant les progrès et les troubles résiduels. La visibilité des profils est d'une importance capitale, il faut pouvoir au premier coup d'œil comprendre où se situe la voix par rapport aux normes de chaque paramètre exploré.

5.4. Autre profils dans le domaine de la voix

5.4.1. Profil vocal chez la femme en période de ménopause

Basé sur le profil vocal élaboré par Nadine Hénin (inspiré du profil vocal objectif de DEJONCKERE) au CHU Timone, le profil vocal de la femme en période ménopausique

présenté dans un mémoire d'Orthophonie de 1990²⁵ étudie 8 paramètres : capacité vitale (litres), temps phonatoire maximum (secondes), coefficient phonatoire, rapport s/z, intensité (décibel), la hauteur (calcul du fondamental usuel sur la phrase « j'ai mis mon beau chapeau melon »), l'étendue vocale et le timbre. Ce dernier est évalué en faisant une analyse du sonagramme de la phrase « j'ai mis mon beau chapeau melon ». Une note de 0 à 4 est attribuée en fonction du nombre d'accidents et de la présence ou non d'harmoniques.

Le protocole a été présenté à 45 femmes âgées de 45 à 55 ans (moyenne d'âge : 51 ans). L'étude révèle une dégradation du couplage pneumophonique avec l'âge. La durée de phonation ainsi que la capacité vitale diminue. Le fondamental usuel diminue progressivement de la période pré-ménopausique à la période ménopausique.

Dans un second temps, le même protocole a été utilisé pour étudier la voix des enfants dysphoniques. Dix enfants âgés de 6,5 ans à 11,5 ans ont été soumis aux mesures. Les pathologies concernées étaient les kystes (2 cas), nodules (6 cas), dysphonie dysfonctionnelle (1 cas) et trachéotomie (1 cas). Les profils de chaque catégorie de pathologie ont été comparés au profil vocal d'enfants non dysphoniques. Chez tous les enfants dysphoniques, l'analyse des résultats a montré que l'intensité, la hauteur et l'étendue vocale étaient inférieures aux normes. Le fondamental était encore plus aggravé pour les kystes et la dysphonie dysfonctionnelle.

5.4.2. Profil vocal objectif chez l'adulte dysphonique et non dysphonique

L'étude²⁶ réalisée dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie (1988) se décompose en deux temps : tout d'abord un profil vocal objectif puis une évaluation subjective de la voix (en utilisant l'échelle bipolaire d'auto estimation vocale de DEJONCKERE). 96 sujets non dysphoniques (répartis en 4 tranches d'âge, de 25 à 65 ans) ainsi que 32 sujets dysphoniques (dysphonie dysfonctionnelle ou organique) ont été soumis au protocole. Au

²⁵ Mokhtari, Bouabdallah, Khira, Raja, *Profil vocal objectif chez la femme en période ménauposique et étude comparative entre l'enfant non dysphonique et l'enfant dysphonique*. Mémoire d'Orthophonie.

²⁶ LODI, Pascale et coll, *Profil vocal objectif et échelle bipolaire d'autoestimation vocale chez l'adulte dysphonique et non dysphonique*. Mémoire d'Orthophonie.

total, 57 hommes et 71 femmes ont été testées. Les paramètres étudiés sont ceux décrits par DEJONCKERE dans son profil vocal : intensité (moyenne, minimale, en voix projetée, en voix d'appel), capacité vitale (nez ouvert puis fermé), temps phonatoire maximum (sur « e », « s » et « z »), étendue vocale, rapport s/z, coefficient phonatoire, dynamique d'intensité, coefficient de nasalité, fondamental, quantification des harmoniques graves, aigus et totaux. Les mesures ont été accomplies après démonstration. Pour certains paramètres trois essais ont été réalisés, le meilleur résultat étant retenu.

Des comparaisons selon le sexe, l'âge, le sexe et l'âge, les sujets dysphoniques et non dysphoniques ont été réalisées. L'analyse révèle en conclusion que 6 paramètres sont susceptibles d'être transformés lorsqu'il y a une dysphonie :

- Intensité : on observe une hypophonie pour les intensités fortes, et une restriction de la dynamique d'intensité.
- Temps maximum de phonation : restreint pour les phonèmes « e » et « z ». La différence n'est pas significative pour le phonème « s ».
- Etendue vocale : limitée chez la femme, mais la différence n'est pas significative chez l'homme.
- Coefficient phonatoire : plus élevé.
- Fondamental : aggravé chez la femme, la modification n'est pas caractéristique chez l'homme qui possède de nature un fondamental assez grave.
- Harmoniques : la voix est pauvre en harmoniques.

Les paramètres non modifiés par la présence d'une dysphonie sont la capacité vitale nez ouvert et fermé, le temps phonatoire maximum du « s », le rapport s/z et le coefficient de nasalité.

5.4.3. Analyse acoustique objective de la voix de patients avec polypes

En 2011 une étude a été réalisée en Serbie ; elle consistait en l'analyse de la voix de patients avec polypes. Le test a été réalisé sur 46 femmes d'âge moyen 48,43 ans. Un groupe contrôle a été testé dans les mêmes conditions : 21 patients d'âge moyen 47,57 ans. Il a été demandé à tous les sujets de réaliser un /a/ tenu (minimum 3 secondes), le micro étant placé à 5 cm de la bouche. Trois essais ont été réalisés pour chaque individu,

l'essai retenu étant celui le plus proche de la valeur médiane de la série. Sept paramètres acoustiques ont été évalués : variation du fondamental, jitter, shimmer, HNR, PPQ (*Pitch period perturbation quotient* : moyenne de la différence entre la fréquence moyenne d'une période et la fréquence moyenne des 4 périodes suivantes), APQ (*amplitude perturbation quotient* : moyenne de la variation d'amplitude de 11 cycles consécutifs comparée à la variation de l'amplitude du signal donné) et VTI (*voice turbulence index*, qui est un indicateur du nombre d'harmoniques). Les résultats du groupe de patients avec polypes montrent que l'ensemble des paramètres évalués se situe dans la zone de pathologie par rapport à ceux du groupe témoin.

5.4.4. Analyse acoustique de la voix d'institutrices dysphoniques, avant et après effort vocal.

En 2007 des chercheurs Polonais publiaient une étude dans laquelle la voix de 51 institutrices (41 ans d'âge moyen) était évaluée. L'évaluation complète consistait en la passation du Voice Handicap Index (VHI), d'un examen laryngé ainsi qu'une évaluation acoustique, avant et après effort vocal (30 minutes de lecture à haute voix d'un texte avec nuisance sonore en arrière plan). Il était demandé aux patientes de tenir un /a/ pendant 5 secondes minimum. 17 paramètres furent évalués, dont les principaux sont F0, la déviation de F0, Jitter, PPQ, Shimmer, APQ, HNR ainsi que des paramètres concernant le nombre et la richesse d'harmoniques. L'évaluation acoustique montre qu'après l'effort vocal prolongé, tous les indicateurs concernant les harmoniques, ainsi que le HNR, l'APQ et le Shimmer avaient franchi la zone de pathologie. On observait également une augmentation du jitter, du PPQ et de la variation de F0 sans toutefois qu'ils soient pathologiques.

5.5. Autres profils développés en Orthophonie.

Nous avons voulu élargir nos recherches à l'existence de profils ciblant d'autres pathologies que la voix, et étudier l'intérêt d'une telle réalisation. De multiples domaines sont concernés :

- *La déficience auditive* : le profil de l'APCEI (adaptation, perception, compréhension, expression, intelligibilité) conçu par le Dr Noel-Petroff permet

aux professionnels de la surdité de visualiser rapidement les capacités audiophonatoires d'un enfant sourd implanté ou appareillé.

- *Le langage oral* : Le LARSP (Crystal et al., 1976) adapté à la langue Française en 2006 (F-LARSP, Maillart et Parisse, 2006) offre la possibilité de construire le profil linguistique du langage spontané d'enfants. Les compétences syntaxiques, grammaticales et morphologiques sont évaluées et comparées à ce qui est attendu selon l'âge de l'enfant.
- *Les troubles spécifiques du développement du langage* : Zourou et al. en 2009 ont déterminé les profils linguistiques et langagiers d'enfants diagnostiqués comme ayant des troubles spécifiques du développement du langage dans un centre de référence de troubles des apprentissages. Trois facteurs ont été pris en compte : le versant langagier déficitaire, la sévérité des symptômes langagiers présents à la première consultation et la présence ou non de troubles cognitifs associés.
- *Les atteintes neurologiques* : en 1996 Linscott et al. créent le PFIC, Profil of functional impairment in communication. Cette échelle fournit une description qualitative complète des difficultés de communication après lésion cérébrale traumatique.
- *Précocité intellectuelle* : Bessou et al. en 2005 ont réalisé le profil psychométrique d'enfants intellectuellement précoces en utilisant le WISC-III, dans le but de dégager certaines caractéristiques.
- *Syndromes* : En 2004, D.Marquet étudie le langage oral chez les enfants présentant un syndrome de Doose dans le but de réaliser un profil spécifique. J.P Walch (2011) a réalisé quant à lui l'étude d'un profil neuropsychologique relevant d'un syndrome de Gerstmann développemental.
- *Langage écrit* : de nombreuses études ont permis l'émergence de profils types et classes de dyslexies et dysorthographies en fonction des difficultés observés et des troubles sous jacents.

Ainsi cette liste non exhaustive montre que de nombreux domaines et troubles relevant de l'orthophonie ont fait l'objet d'études dans le but de réaliser des profils types. Les études initiales sont nécessairement conduites sur une population assez élevée pour voir si des tendances claires se dégagent pour un groupe de patients atteints du même trouble. Tout l'intérêt du profil est, pour une pathologie donnée, la récapitulation claire des paramètres

concernés et évalués, et de leur niveau d'atteinte. La réalisation de profils par pathologie est ainsi motivée par la nécessité d'améliorer la prise en charge orthophonique, car ils constituent un outil fiable (s'ils ont été validés) auquel l'orthophoniste pourra se référer. Bien que chaque patient soit différent et qu'il soit très rare d'avoir des tableaux purs, les profils permettent à l'orthophoniste de connaître pour chaque pathologie quelles sont les compétences les plus altérées. Une évaluation approfondie des capacités du patient permettra par la suite d'affiner l'analyse des difficultés. De nombreux bilans actuels offrent ainsi aux orthophonistes la possibilité de concentrer les résultats du patient en un profil synthétisant les faiblesses et les compétences (par exemple le profil linguistique de l'EVALO 2-6). Cela permet d'orienter très rapidement la prise en charge vers les difficultés les plus importantes, tout en se servant des caractéristiques acquises. La réalisation d'un nouveau profil quelques mois après permet la comparaison dans le temps des capacités du patient et de son évolution.

III. Caractéristiques vocales théoriquement attendues pour les pathologies choisies

Dans cette partie, nous reprendrons les principales altérations vocales théoriques induites par chaque pathologie choisie. Parmi le nombre élevé de pathologies vocales existantes, notre choix s'est porté sur les troubles les plus rencontrés dans la clinique. Nous avons ainsi sélectionné 13 pathologies vocales dont nous allons décrire les caractéristiques. Dans la partie pratique nous vérifierons alors si les résultats que nous obtenons grâce à l'analyse de nos échantillons correspondent aux données théoriques attendues.

a. Dysphonie dysfonctionnelle

Définie par F.LeHuche et A.Allali comme « *un trouble momentané ou durable de la fonction vocale ressenti comme tel par le sujet lui même ou par son entourage* »²⁷, la dysphonie dysfonctionnelle est la conséquence d'une perturbation du geste vocal. Le forçage ou le surmenage vocal sont les causes les plus fréquentes. Il n'y a pas de lésion visible au niveau du larynx, mais ce n'est pas systématique : des lésions organiques

²⁷ Op citée, p.51.

peuvent apparaître, provoquées par le forçage vocal. La population la plus touchée est la population féminine.

Caractéristiques acoustiques : Les trois paramètres acoustiques de la voix sont concernés : le timbre, l'intensité et la hauteur (par ordre de fréquence). La sévérité de l'altération de la voix est variable d'un individu à l'autre : discrète altération ou désordre très important. Le timbre est voilé, éraillé, rauque, serré ; la mélodie est pauvre. L'intensité est augmentée, le sujet force pour projeter sa voix. La fréquence fondamentale est élevée. L'étendue vocale est réduite, souvent diminuée dans les aigus.

b. Fuite glottique

La fuite glottique se caractérise comme une absence d'affrontement des cordes vocales en phonation. Les cordes vocales peuvent parfois prendre un aspect incurvé qui donne à la glotte une forme « ovalaire ».

Caractéristiques acoustiques : La fréquence fondamentale est élevée (du moins chez l'homme). Les graves sont limités. Le timbre est sourd et étouffé, la voix est soufflée.

c. Nodules

Les nodules sont des lésions constituées par un épaissement épithélial localisé de la muqueuse. Ils sont placés sur le bord libre de la corde vocale, à l'union du tiers antérieur et du tiers moyen du pli vocal. Ces masses bénignes (unilatérales ou bilatérales), causées par un forçage ou un malmenage vocal, altèrent le comportement des cordes vocales : la fermeture est incomplète, la glotte est en forme de sablier. Les nodules concernent essentiellement la population féminine. Chez les enfants ce sont les garçons qui sont les plus touchés.

Caractéristiques acoustiques : La fréquence fondamentale est abaissée, les aigus sont diminués voire inexistants. Des désonorisations en début et en fin de production sont fréquentes. L'intensité est instable. Le timbre est éraillé, rauque et soufflé.

d. Kystes

Il existe deux types de kystes : muqueux et épidermoïdes. Les plus fréquents sont les kystes épidermoïdes qui apparaissent, comme les nodules, chez les personnes sujets aux efforts vocaux. Ce sont des formations plus ou moins arrondies situées sous la muqueuse de la corde, et limitées par la paroi épithéliale épidermique. Ils sont souvent bilatéraux.

Caractéristiques acoustiques : On note une aggravation de la hauteur, avec des aigus réduits voire inexistantes. L'intensité est forte avec des désonorisations régulières. Le timbre est forcé, voilé, dur et éraillé.

e. Pseudomyxome

Il s'agit d'une accumulation de matériel gélatineux dans l'espace de Reinke, sur une partie voire la totalité du pli vocal. L'intoxication tabagique est la cause principale. La population la plus touchée est la population féminine de 40 à 60 ans. La fermeture glottique est incomplète, l'œdème sur les plis vocaux est de taille variable, mais souvent bilatéral et volumineux.

Caractéristiques acoustiques : La fréquence fondamentale est diminuée, les aigus sont réduits. La voix chantée est impossible, le registre aigu est perdu. Le timbre est rauque, voilé et éraillé.

f. Presbyphonie

Il s'agit du vieillissement de la voix. Les cordes vocales sont plus fines, moins souples, et arquées : aspect de glotte ovalaire en phonation.

Caractéristiques acoustiques : La hauteur est diminuée chez les femmes et augmentée chez les hommes. L'intensité est plus faible de 10 à 15 dB. La voix est soufflée, enrouée, instable, chevrotante. L'étendue vocale est réduite. Une diminution du ratio signal/bruit est possible.

g. Dysphonie infantile

C'est une dysphonie dysfonctionnelle de type hypertonique, appelée aussi « raucité vocale infantile » qui concerne essentiellement les garçons. Le larynx est normal mais la

présence de nodules est possible. Le contrôle respiratoire est défectueux, et la paroi abdominale se révèle hypotonique.

Caractéristiques acoustiques : La fréquence fondamentale est anormalement basse. L'étendue vocale est réduite. L'intensité est soit forte (la voix parlée sera rauque), soit faible (la voix parlée sera éraillée et soufflée). Le timbre est rauque et éraillé.

h. Paralyse récurrentielle unilatérale

Les facultés du nerf récurrent sont affaiblies unilatéralement, provoquant une immobilité d'un héli larynx. La corde vocale peut être paralysée en position latérale (provoquant une fermeture incomplète en phonation), intermédiaire, ou médiane (une dyspnée peut alors apparaître à l'effort).

Caractéristiques acoustiques : Variation de la fréquence fondamentale : diminuée chez la femme et augmentée chez l'homme. La tessiture est diminuée, la voix est bitonale, inexistante lors des cris. L'intensité est réduite. Le caractère soufflé du timbre est le plus marquant. La voix est éteinte et détimbrée.

i. Paralyse du nerf laryngé supérieur

La branche externe du nerf laryngé supérieur est paralysée, le plus souvent suite à une lésion lors d'une chirurgie thyroïdienne. Cela se traduit par un défaut de tension du pli vocal, avec une amplitude vibratoire plus marquée du côté atteint.

Caractéristiques acoustiques : La fréquence fondamentale est abaissée, la voix de tête est impossible. L'intensité est limitée, évoquant une dysphonie dysfonctionnelle. Le timbre est voilé, éteint, pauvre, assourdi. Le sujet met en place un comportement hyperkinétique compensatoire.

j. Dysphonie spasmodique

C'est une atteinte dystonique des muscles du larynx qui se manifeste le plus souvent au moment de la phonation. Autant de femmes que d'hommes sont touchés, le plus souvent entre 50 et 60 ans. Les spasmes respiratoires et vocaux permettent de faire le diagnostic à la simple écoute de la voix. Il existe deux types de dysphonie spasmodique : en adduction

(fermeture excessive de la glotte en phonation) et abduction (prédominance des spasmes respiratoires, ouverture excessive de la glotte en phonation).

Caractéristiques acoustiques : Dans la dysphonie spasmodique en adduction, la voix est forcée, hachée, éraillée, ponctuée d'arrêts vocaux. Dans les formes les plus sévères, le sujet est presque aphone. Dans la dysphonie spasmodique en abduction (forme rare), la voix est chuchotée, à peine audible, avec des perturbations de la dynamique respiratoire.

k. Dysphonie post thyroïdectomie

La thyroïdectomie est une opération qui consiste en l'ablation totale ou partielle de la glande thyroïde. Nous n'aborderons pas la lésion du nerf laryngé supérieur ou du nerf récurrent ; nous avons isolé ces deux pathologies. Ici, le patient est dans un état d'asthénie globale. Le bouleversement hormonal ainsi que la cicatrice peuvent avoir une influence sur la voix et provoquer une dysphonie.

Caractéristiques acoustiques : Diminution de la fréquence fondamentale. Manque de puissance vocale avec perte de modulation. Timbre pauvre et réduction des aigus.

l. Cordectomie

Il s'agit de l'exérèse de la muqueuse cordale, le ligament vocal étant respecté. Il existe 5 types de cordectomie, selon l'importance de l'exérèse. Une reconstruction avec lambeau d'abaissement du pli vestibulaire peut être réalisée. Si non, une « néo corde » se forme en quelques mois à partir des fibres cicatricielles.

Caractéristiques acoustiques : Les conséquences sont proportionnelles à la taille de l'exérèse. Les premières semaines après l'intervention, la voix est soufflée, de faible intensité, avec un timbre sourd et éraillé.

m. Maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson est une maladie dégénérative dans laquelle les cellules nerveuses du Locus Niger (substance noire) sont atteintes. On décrit principalement la triade parkinsonienne : tremblement de repos, akinésie, rigidité. La voix et la parole sont également atteintes (dysarthrie parkinsonienne).

Caractéristiques acoustiques : la perte d'intensité (hypophonie) et la perte de modulation de la voix (parole monotone) apparaissent dès le début des troubles. Variation de la fréquence fondamentale (élévation ou abaissement), timbre soufflé, voilé, éraillé, parfois rauque ou tremblé.

Nous avons synthétisé l'ensemble des résultats attendus dans le tableau suivant :

Type de trouble	Pathologie	Dégradation vocale attendue
Troubles structurels	Dysphonie dysfonctionnelle	La fréquence fondamentale est élevée. L'intensité est augmentée. Le timbre voilé, éraillé, rauque, serré ; la mélodie est pauvre. L'étendue vocale est réduite, souvent diminuée dans les aigus.
	Fuite glottique	La fréquence fondamentale est élevée (du moins chez l'homme). Les graves sont limités. Le timbre est sourd et étouffé, la voix est soufflée.
	Nodules	La fréquence fondamentale est abaissée, les aigus sont diminués voire inexistants. Des désonorisations en début et en fin de production sont fréquentes. L'intensité est instable. Le timbre est éraillé, rauque et soufflé.
	Kystes	Aggravation de la hauteur, avec des aigus réduits voire inexistants. L'intensité est forte avec des désonorisations régulières. Le timbre est forcé, voilé, dur et éraillé.
	Pseudomyxome	La fréquence fondamentale est diminuée, les aigus sont réduits. Le timbre est rauque ; voilé et éraillé. Perte du registre aigu avec impossibilité de chanter.

Type de trouble	Pathologie	Dégradation vocale attendue
Troubles structurels	Presbyphonie	La hauteur est diminuée chez les femmes et augmentée chez les hommes. L'intensité est plus faible de 10 à 15 dB. La voix est soufflée, enrrouée, instable, chevrotante. L'étendue vocale est réduite. Une diminution du ratio signal/bruit est possible.
	Dysphonie infantile	La fréquence fondamentale est anormalement basse. L'intensité est forte (la voix parlée sera rauque) ou faible (la voix parlée sera éraillée et soufflée). Le timbre est rauque et éraillé. L'étendue vocale est réduite.
Troubles neurologiques	Paralysie récurrentielle	Fréquence fondamentale diminuée chez la femme et augmentée chez l'homme. Intensité réduite avec perte de la puissance vocale. Altération du timbre : voix soufflée, éteinte, détimbrée, bitonale. L'étendue vocale est réduite.
	Paralysie du nerf laryngé supérieur	La fréquence fondamentale est abaissée, la voix de tête est impossible. L'intensité est limitée. Timbre voilé, éteint, pauvre, assourdi. Compensation hyperkinétique.
	Dysphonie parkinsonienne	Variation de la fréquence fondamentale (élévation ou abaissement). Perte d'intensité (hypophonie). Timbre soufflé, voilé, éraillé, parfois rauque ou tremblé.

Type de trouble	Pathologie	Dégradation vocales attendue
Conditions systémiques influençant la voix	Dysphonie post thyroïdectomie	Diminution de la fréquence fondamentale. Manque de puissance vocale avec perte de modulation. Le timbre est pauvre, les aigus sont réduits.

Chapitre II
DONNEES PRATIQUES

I. Objectifs

L'objectif principal de ce mémoire est la réalisation de profils vocaux. Pour un certain nombre de pathologies, nous allons analyser des échantillons de voix avec le logiciel VOCALAB et plus précisément au moyen des nouveaux indicateurs de pathologie. Nous cherchons à voir si des altérations acoustiques spécifiques sont mises en évidence par les indicateurs et se dégagent pour un ensemble de sujets atteint du même trouble. Ces analyses nous permettront parallèlement d'enrichir une base de données de voix (décrite ci après) par les cas les plus pertinents que nous rencontrerons. Dans un second temps, nous confronteront nos résultats avec les éléments de la littérature et nous verrons si les altérations acoustiques attendues se vérifient dans nos données. Enfin nous étudierons la variabilité des marqueurs au cours du temps sur une seule voix, avec l'analyse d'une même voix enregistrée de façon hebdomadaire pendant 1 an. Un objectif futur serait de fixer des axes thérapeutiques définis par les profils vocaux.

II. Méthodologie

1. Pathologies vocales sélectionnées

Parmi le nombre élevé de pathologies vocales existant, notre choix s'est porté sur les troubles les plus rencontrés dans la clinique quotidienne. Notre étude nécessitant dix patients différents par pathologie vocale, nous ne pouvions retenir des troubles vocaux plus rares par risque de ne pas avoir assez de patients dans chaque groupe. Treize pathologies vocales ont été initialement choisies mais nous en avons supprimé deux, faute d'un nombre suffisant de patients (cordectomie et dysphonie spasmodique).

Troubles structurels	Dysphonie dysfonctionnelle
	Fuite glottique
	Nodules
	Kystes
	Pseudomyxome
	Presbyphonie
	Dysphonie infantile
Troubles neurologiques	Paralysie récurrentielle

	Paralysie du nerf laryngé supérieur
	Dysphonie parkinsonienne
Conditions systémiques influençant la voix	Dysphonie post thyroïdectomie

2. Population

2.1. Critères d'inclusion

- Nombre de patients : Pour que notre étude soit fiable, nous avons décidé d'analyser dix patients différents pour chaque pathologie.
- Sexe : 5 femmes et 5 hommes par pathologie.
- Age : Nous souhaitons avoir une répartition en âges la plus harmonieuse possible, pour que chaque tranche d'âge soit représentée.
- Pathologie vocale avérée faisant partie de nos choix.

2.2. Recrutement de la population

Les enregistrements de patients ont été réalisés dans des cabinets d'orthophonistes libéraux de diverses villes, ainsi qu'à l'Institut Universitaire de la Face et du Cou (IUFC) de Nice.

2.3. Présentation de la population

Au total : 96 patients ont été enregistrés, de 6 ans à 90 ans. Nous comptabilisons 33 hommes et 63 femmes. La moyenne d'âge est de 42,26 ans.

3. Le protocole

3.1. Les « examinateurs »

Les patients sont enregistrés quand ils se présentent à l'hôpital ou en cabinet libéral lors de la première consultation. Les enregistrements dont nous disposons nous ont été fournis depuis février 2014 par Stéphanie Perrière, Orthophoniste à Nice. Pour compléter et

respecter nos quotas de patients, nous nous sommes également servis d'enregistrements antérieurs, réalisés par Stéphanie Perrière et Anne Sicard et disponibles dans la base de données en ligne de VOCALAB. Enfin nous nous sommes adressés à diverses orthophonistes travaillant en cabinet libéral, qui nous ont transmis leurs fichiers sons. Les enregistrements ont tous été réalisés selon le même protocole.

3.2. Méthode de passation

3.2.1. Codage des fichiers

C'est au cours d'un bilan vocal classique que les enregistrements ont été réalisés. Pour chaque enregistrement, on code les informations du patient selon le même procédé : initiales de l'orthophoniste et numéro du patient (001 pour le premier patient). Le nom du fichier se présente alors comme cela : xx001, xx002, etc... L'âge, le sexe et la pathologie du patient sont également renseignés. Nous utilisons la nomenclature de K.VERDOLINI décrite dans son ouvrage « Classification Manual for Voice Disorders » pour classer les pathologies de chaque patient. A chaque trouble correspond un nombre. K.VERDOLINI décrit ainsi 9 grandes classes :

- Voix normales : 0000,
- Maladies du larynx structurel : 1000,
- Inflammation du larynx : 2000,
- Traumatisme, blessure ou opération du larynx : 3000,
- Conditions systémiques influençant la voix : 4000,
- Troubles aérodigestifs affectant la voix : 5000,
- Troubles psychiatriques et psychologiques affectant la voix : 6000,
- Troubles neurologiques affectant la voix : 7000,
- Autre troubles affectant la voix : 8000,
- Autres troubles vocaux : 9000.

Chaque grande classe se décompose en sous classes. Au total, plus de 150 pathologies sont répertoriées, ce qui permet de classer précisément chaque pathologie vocale rencontrée.

3.2.2. Matériel utilisé et conditions de passation

Le patient et l'orthophoniste doivent se trouver dans une pièce calme, pour limiter au maximum les bruits parasites. Le patient est équipé d'un micro casque. Les laboratoires préconisent une distance bouche-micro de 4 cm, le micro devant être placé à 45° latéralement par rapport à la bouche. Si le micro casque est remplacé par un micro standard, celui ci doit se trouver à une distance de 20 à 30 cm de la bouche, surtout si la voix est très soufflée. Le système est relié à l'ordinateur et donc au logiciel VOCALAB. Chaque enregistrement est ensuite stocké dans l'ordinateur.

3.2.3. Consignes de passation

Deux épreuves sont proposées au patient : l'émission d'un /a/ tenu et l'émission d'une sirène. Toutes les mesures seront effectuées à partir de ces deux échantillons : l'enregistrement de la parole spontanée (texte lu) n'est pas utilisé dans notre travail, pour préserver l'identité du patient.

- */a/ tenu* : le patient doit réaliser un /a/ impliqué à hauteur et intensité confortables. La consigne est donnée comme telle pour chaque individu : « pouvez vous faire un /a/ tenu bien sonore, assez long, et le plus joli possible ». Aucune démonstration n'est préalablement donnée au patient, pour ne pas influencer la hauteur. Le son doit durer au minimum une seconde, avec une courte période de silence avant et après.
- *Sirène sur /a/* : la sirène permet de déterminer les performances en hauteur du patient, et les passages des mécanismes (passage de la voix de poitrine à la voix de tête, puis de la voix de tête à la voix de poitrine). L'orthophoniste fait entendre une sirène pré enregistrée au patient, et lui donne cette consigne : « toujours sur un /a/, partez du son le plus grave jusqu'au plus aigu, et redescendez » (accompagner la consigne d'un geste de la main).

3.3. Analyse des échantillons

Chaque enregistrement (voyelle tenue et sirène) est analysé avec le logiciel VOCALAB. Une fois le son chargé dans le module « évaluation » on a accès à diverses informations.

Notre analyse se concentre sur les indicateurs de pathologie, nouveauté implantée dans la version 4 du logiciel. Il s'agit de marqueurs évaluant le taux de pathologie pour chaque critère. La limite de normalité est à 1, au delà, le paramètre est considéré comme pathologique. Les 5 marqueurs sont :

- *Altération de l'attaque* : trois critères sont pris en compte pour évaluer l'attaque : l'instabilité en hauteur, l'instabilité en amplitude et le bruit par rapport aux harmoniques de la voix.
- *Instabilité en hauteur* : calcul de la variation de F0 au cours du temps, qui révèle l'instabilité vibratoire des organes phonateurs.
- *Instabilité en amplitude* : calcul de la variation d'amplitude du signal au cours du temps.
- *Rapport bruit/signal* : calcul du rapport entre l'amplitude des harmoniques et l'amplitude du bruit.
- *Pauvreté en harmonique* : ce marqueur est dérivé du calcul du nombre d'harmoniques correspondant aux fréquences de 75 à 2500 Hz, dont l'amplitude dépasse un certain seuil.

A ces cinq paramètres nous ajoutons la mesure de l'étendue vocale ainsi que celle de la fréquence fondamentale F0. Ces deux dernières mesures sont calculées respectivement sur une sirène et sur un /a/. Ces supports sont moins représentatifs que les mesures réalisées sur un texte lu ou de la voix conversationnelle, mais le choix d'utiliser le /a/ et la sirène a été fait pour protéger l'identité du patient. Leur connaissance est nécessaire puisque certaines pathologies provoquent un changement de F0, ou bien diminuent significativement l'étendue vocale. Ces deux mesures peuvent être données dans l'onglet « spectre en temps réel » mais aussi dans « F0 et étendue vocale », toujours dans le module Evaluation.

3.4. Création de profils par pathologies

3.4.1. Calculs utilisés

Pour chaque pathologie, nous calculons la moyenne et l'écart type :

- de chaque indicateur, de la fréquence fondamentale et de l'étendue pour la population féminine,
- de chaque indicateur, de la fréquence fondamentale et de l'étendue pour la population masculine,
- de chaque indicateur, de la fréquence fondamentale et de l'étendue pour la population totale.

3.4.2. Traitement statistique : justification des choix opérés.

Nous avons choisi pour notre étude d'utiliser la moyenne géométrique et non arithmétique. En effet, la moyenne arithmétique étant sensible aux valeurs extrêmes, la tendance de l'ensemble des données pourrait être fortement influencée par une seule valeur largement supérieure aux autres. La moyenne géométrique donnant moins d'importance aux valeurs extrêmes, il paraissait plus cohérent d'utiliser celle-ci pour construire nos graphiques. Par ricochet, nous avons calculé l'écart type géométrique, et non arithmétique.

Pour illustrer ce propos, nous avons calculé la moyenne arithmétique et la moyenne géométrique d'un ensemble d'enregistrements de patients atteints de la maladie de Wilson, pour l'indicateur « bruit ». Les fichiers sons des sujets atteints de la maladie de Wilson nous ont été fournis par Michaela Pernon, orthophoniste, ainsi que par le Dr France Woimant, coordinatrice du Centre de Référence National Wilson. Le protocole d'enregistrement est le même que celui de tous les autres enregistrements analysés dans ce mémoire.

Valeurs	2,78	4,42	2	2,46	16,16	0,9	0,55
Moyenne arithmétique	4,18						
Moyenne géométrique	2,42						

Une seule valeur est très supérieure aux autres (16,16) et cela se ressent dans la mesure de la moyenne arithmétique. La moyenne géométrique elle donne un résultat plus cohérent avec l'ensemble des mesures, en donnant moins d'importance à cette valeur extrême.

3.4.3. Création du profil vocal

Nous avons choisi de rassembler sur un seul et même profil vocal les résultats des hommes et des femmes. En effet, F. ESTIENNE dans l'élaboration de son profil vocal a mis en évidence qu'il existait « *une différence significative entre l'homme et la femme pour les capacités vitales, les intensités maximales et de voix projetée, pour les temps maximaux de phonation, les fréquence fondamentales, la nasalité, l'écart entre les intensité, les quotients phonatoires calculés à partir du TMP/a* »²⁸. Ces mesures ne concernent pas nos paramètres inclus dans les profils, ce qui justifie notre décision de faire un unique profil par pathologie pour les indicateurs. La valeur de la fréquence fondamentale de référence étant significativement différente pour les hommes et pour les femmes, nous ferons pour ce paramètre un graphique par sexe.

Pour chaque pathologie, nous avons donc créé un profil vocal :

- un diagramme polaire qui synthétise les moyennes des cinq indicateurs de pathologie. Le diagramme polaire représente une courbe, tracée sur une forme circulaire, qui permet de représenter les données de plusieurs variables (ici les indicateurs de pathologie), chaque variable correspondant à une ligne unique. La valeur normative apparaît, ce qui permet une comparaison immédiate avec les résultats des patients.
- Deux autres graphiques : les valeurs normatives de l'étendue vocale et de la fréquence fondamentale ne pouvant être rapportées à 1 comme celles des indicateurs de pathologie, il s'est avéré nécessaire de créer deux autres graphiques, qui sont des graphiques combinés.

²⁸ Estienne, Françoise, *Le profil vocal objectif : son histoire, ses adaptations, son intérêt*, p.114

III. Présentation et utilisation du logiciel VOCALAB

1. Le logiciel : sa création, ses fonctionnalités.

Conçu par Anne Menin-Sicard et Etienne Sicard et publié dans sa première version en 2001, VOCALAB est un logiciel de visualisation de la voix et de la parole de sujets de tous âges. Utilisé pour l'évaluation et la rééducation vocale, il permet d'objectiver tous les paramètres de la voix et de la parole : timbre, hauteur, intensité, souffle, articulation. VOCALAB se compose de plusieurs modules que nous allons décrire brièvement.

a. Module « évaluation »

Quatre outils sont disponibles :

- *Spectre en temps réel* : cet outil permet de visualiser le sonagramme de la production sonore du patient en temps réel, ou bien celui d'une production déjà enregistrée. C'est dans ce module « spectre en temps réel » que l'orthophoniste aura accès aux indicateurs de pathologie de la voix qui évaluent les caractéristiques de la voix. Le chargement de deux spectres pré enregistrés est possible, ce qui permet la comparaison avant-après rééducation ou la mesure des progrès au cours de la prise en charge.
- *Phonétogramme* : Le phonétogramme donne la possibilité de connaître l'aire dynamique vocale du patient, c'est à dire la répartition de ses possibilités en terme d'intensités et de fréquences.
- *Temps phonatoire* : Destiné à la mesure du temps phonatoire maximum du patient, cet outil offre la possibilité de calculer cette donnée sur les sons [a], [s], [z], la moyenne après 3 essais consécutifs, ainsi que les rapports des durées sur les sons [a]/[z] et [s]/[z].
- *F0 + étendue vocale* : Cet outil permet à l'orthophoniste de mesurer le fondamental usuel moyen du patient et son étendue vocale.

b. Module « rééducation »

Il permet au patient de travailler 4 composantes de sa voix et de sa parole : le souffle, le timbre, l'articulation et la hauteur tonale. Le principe repose sur l'imitation d'un modèle avec comparaison en temps réel de la production par rapport au modèle. Cela permet au patient d'avoir un feedback direct sur ce qui est demandé et sur sa production. Le feedback permet au patient d'augmenter sa prise de conscience des paramètres de la voix, et d'augmenter l'auto contrôle de ces paramètres. Ce qu'on lui demande de faire devient concret car il voit, à chaque modification produite dans le corps, le changement qui s'inscrit sur l'écran. Le feedback visuel en temps réel permet également au patient de prendre du recul par rapport à son problème de voix, car il travaille sur des difficultés qui sont alors visibles.

c. Module « médiathèque »

La médiathèque est un recueil de cas de voix de tous âges, sexes et pathologies ainsi que des fichiers sons de bruits de la vie courante. Elle regroupe également des vidéos de cordes vocales (larynx de sujets normaux ou pathologiques). Enfin, les cas de voix recensés dans la base de données en ligne sont directement accessibles par ce menu. L'orthophoniste a donc à sa disposition un grand nombre de ressources lui permettant de revenir aux connaissances fondamentales.

d. Fiche patient

Le logiciel permet de créer une fiche patient et de l'actualiser au fur et à mesure de la prise en charge, ce qui permet de voir l'évolution des résultats dans le temps. Dans ce fichier on trouve toutes les informations concernant l'identité, l'anamnèse, l'auto évaluation et les données chiffrées réalisées dans le module « évaluation ». Une fiche bilan peut également être produite à partir de toutes les mesures.

2. Présentation des cinq indicateurs de pathologie de VOCALAB

2.1.1. Implémentation des indicateurs dans VOCALAB ; base de données de voix.

La validation et l'implémentation des marqueurs de pathologie dans le logiciel fait l'objet d'une étude réalisée par l'équipe ERU 15 du laboratoire LURCO. Après une étude bibliographique²⁹ qui a permis de mettre en évidence les marqueurs les plus pertinents pour l'analyse objective de la voix, une version prototype des indicateurs a été implantée dans VOCALAB. Une base de données de voix a également été construite, et est disponible en ligne. Elle regroupe environ 200 cas de voix (dont 150 voix pathologiques) classés selon une nomenclature internationale reconnue par l'ASHA (american speech language hearing association). Les échantillons se composent d'un /a/ tenu et d'une sirène, avant et après rééducation orthophonique. Cette base de données a pour but de valider la pertinence des marqueurs de pathologies proposés dans VOCALAB. Elle permet de vérifier les calculs sur un grand nombre de cas de voix, en variant les conditions d'enregistrement. Elle met à disposition des orthophonistes les échantillons sonores ainsi qu'une fiche analytique. Cette fiche explique les résultats des indicateurs, et donne une interprétation du spectre ce qui permet de justifier les résultats des indicateurs. Actuellement, une analyse comparative des marqueurs sur une sélection de voix, ainsi que l'étude des limites des marqueurs sur les cas extrêmes est en cours. Par la suite une corrélation entre les marqueurs objectifs et l'auto évaluation sera réalisée.

2.1.2. Définition des indicateurs

L'étude bibliographique précédemment citée a permis de mettre en évidence le fait que malgré la grande diversité de calculs possibles pour évaluer une voix, les marqueurs présents dans les logiciels existants pouvaient se classer par familles : instabilité en hauteur (jitter et dérivés), en amplitude (shimmer et dérivés), instabilité du bruit (HNR et dérivés) et l'évaluation de phénomènes transitoires parasites.

Ainsi, 5 indicateurs ont été développés et intégrés dans VOCALAB pour évaluer les caractéristiques spécifiques de la voix.

a. Altération de l'attaque

²⁹ E.Sicard, A.Menin-sicard, *Etude bibliographique sur les indicateurs de pathologie de la voix*, Ressources HAL, Juin 2013.

L'évaluation de l'attaque est importante puisqu'elle révèle le mode de fonctionnement laryngé. Cependant il n'y a pas de marqueurs validés dans les autres logiciels qui évaluent la qualité des transitions. L'indicateur « attaque » de VOCALAB évalue 3 caractéristiques dans les 300 ms qui suivent le début du son : l'instabilité de la hauteur, l'instabilité de l'amplitude par rapport à une rampe idéale, et le taux de bruit par rapport aux harmoniques de la voix.

b. L'instabilité en hauteur, associée au portrait de phase :

L'indicateur traduit la variation de F0 dans le temps. Le marqueur se base sur le moyen-long terme et non le court terme comme le jitter qu'on trouve dans d'autres logiciels. Ce choix s'explique par le fait qu'une mesure de l'instabilité à court terme s'approche moins du jugement perceptif auditif, et est moins corrélée avec le degré de sévérité de la dysphonie. L'indicateur de VOCALAB est par contre fortement corrélé au Jitter moyen terme. L'indicateur est à associer au portrait de phase qui mesure l'écart de F0 au cours du temps par rapport au F0 moyen. Un signal stable sera représenté par un amas de points verts au centre. Plus l'instabilité est grande, plus le portrait de phase est décentré.

c. L'instabilité en amplitude

L'indicateur traduit la variation de l'amplitude par rapport au temps. Une instabilité en amplitude peut se vérifier sur le sonagramme, lorsqu'on voit un changement de couleurs important sur les harmoniques.

L'indicateur de VOCALAB mesure la variation de l'amplitude sur du moyen (100 ms) ou long (1000 ms) terme, à la différence du shimmer qui se base sur du court terme. Cela évite la dépendance avec le bruit (le shimmer est très sensible aux bruits externes ou internes) dans les cas d'enregistrements perturbés par des bruits basse fréquence ou des bruits divers.

d. Le rapport bruit/signal

L'indicateur analyse le rapport entre l'amplitude des harmoniques et l'amplitude du bruit entre 500 et 5000 Hz. Il permet de détecter la présence de sous harmoniques en repérant les éraillures. Cet indicateur est proche du HNR utilisé dans le logiciel MDVP.

e. L'indicateur de pauvreté harmonique

Il s'agit du calcul du nombre d'harmoniques correspondant aux fréquences de 75 à 2500 Hz.

On considère que la voix est altérée lorsque l'indicateur dépasse le seuil de 1.

3. Présentation de l'outil statistique et de son utilisation

Un outil statistique a été développé et implanté dans le module « médiathèque - sons » de VOCALAB. A partir du chargement d'un ou plusieurs fichiers sons, il est possible d'accéder à diverses informations :

- *tableau synthétique des données* : le tableau reprend le nom codé du fichier, le sexe, l'âge et la pathologie du patient, le nombre d'indicateurs pathologiques ainsi que le chiffre donné pour chaque indicateur.
- *Répartition du fondamental* : l'onglet « fondamental » permet de visualiser la répartition des F0 en fonction de l'âge, pour chaque membre de la population. La limite homme/femme est marquée d'un trait vertical.
- *Corrélations* : cet outil a été utilisé antérieurement (notamment dans l'étude bibliographique²⁰), pour réaliser des corrélations entre les différents indicateurs de pathologies, afin de vérifier s'ils évaluaient bien chacun une caractéristique précise de la voix. De la même manière, des corrélations ont été réalisées pour déterminer s'il était plus pertinent d'analyser le son entier, ou le son une seconde après l'attaque. Il s'est avéré qu'il est plus judicieux de garder le son entier.
- *Représentation statistique des indicateurs* : Pour un certain nombre d'échantillons vocaux, on peut choisir d'étudier la variation d'un indicateur précis pour un groupe de patients différents, au moyen d'un graphique de type histogramme. La moyenne, l'écart type, la valeur maximum et la valeur minimum sont calculés. Les variations de couleurs sont associées au niveau de pathologie :

²¹ E.Sicard, A.Menin-sicard, *Etude bibliographique sur les indicateurs de pathologie de la voix*, Ressources HAL, Juin 2013.

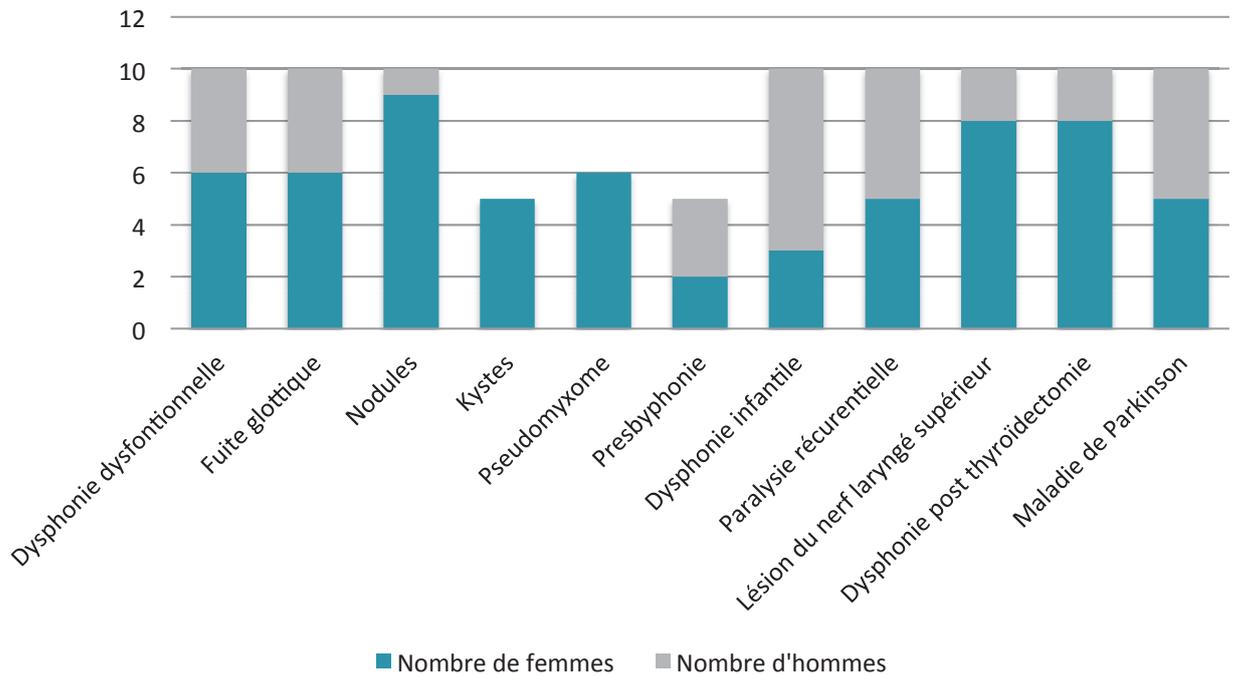
vert pour un indicateur sain, jaune orangé pour un indicateur à la limite de la pathologie, et rouge pour un indicateur franchement pathologique. Il est également possible de voir les résultats de l'ensemble des indicateurs pour la population choisie : le graphique obtenu est alors une mosaïque, et la moyenne de chaque indicateur pour l'ensemble des échantillons est alors calculée. Il est possible de faire porter l'analyse sur le son entier ou bien choisir de travailler sur le son une seconde après l'attaque.

IV. Résultats et interprétation

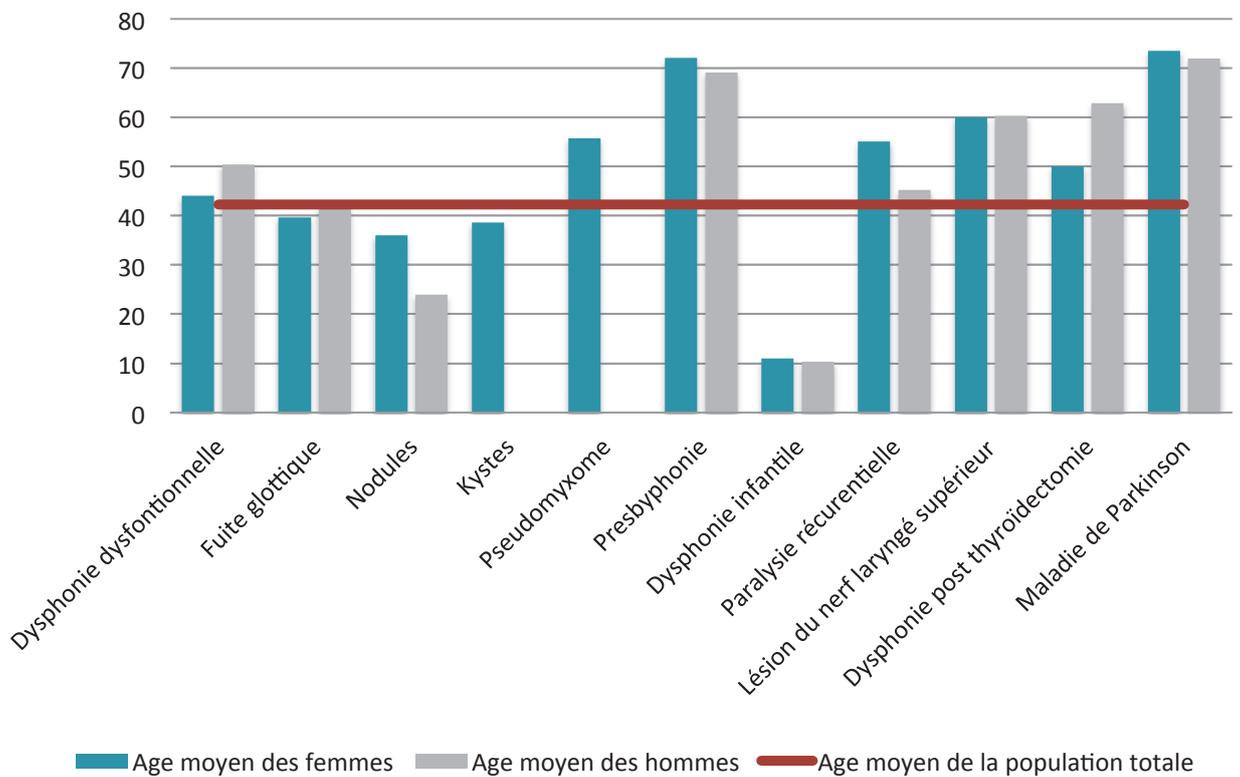
1. Population

Nous avons initialement fixé à 10 le nombre de patients à enregistrer pour chacune des 13 pathologies initialement choisies. Cependant, ce quota n'a été atteint que pour 7 types de trouble vocal. Pour garantir une certaine fiabilité à notre démarche, nous avons alors décidé de retirer de notre étude les pathologies où nous avons moins de 5 enregistrements (cordectomie et dysphonie spasmodique). Au total les enregistrements de 96 patients ont été analysés : 65% sont des femmes (63 sujets) et 35% sont des hommes (33 sujets). Les répartitions du sexe, de l'âge et du nombre de patients en fonction des pathologies ont été traduites sous forme d'histogrammes :

Répartition du nombre de patients enregistrés



Répartition de l'âge des patients en fonctions des pathologies



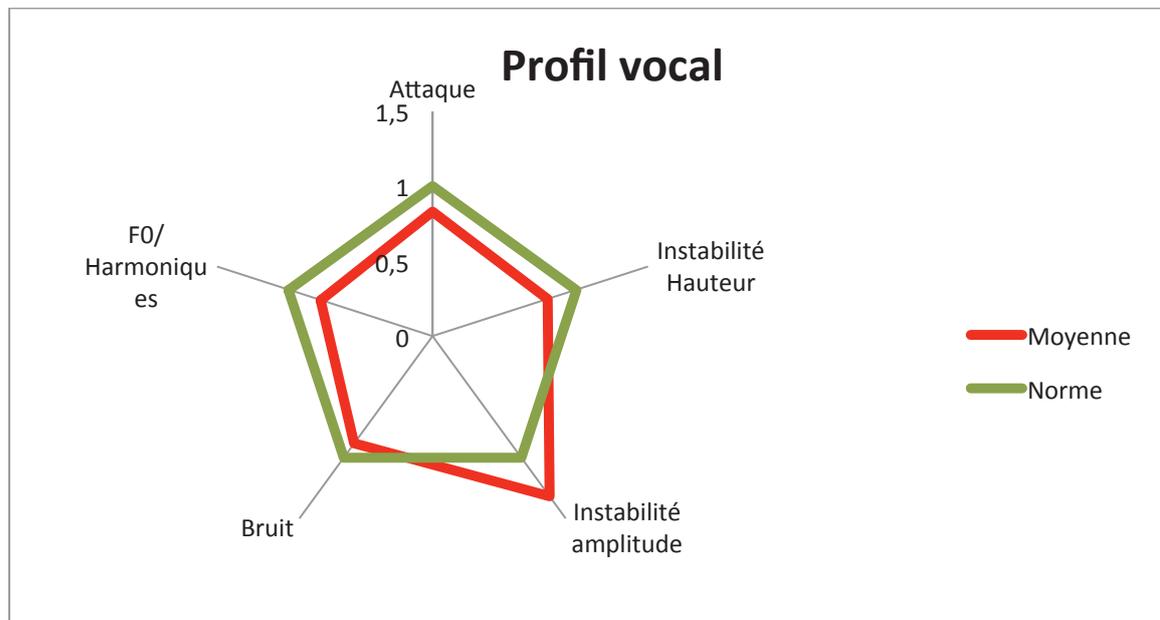
2. Profils vocaux

Pour la création de nos profils vocaux ainsi que pour nos graphiques concernant la fréquence fondamentale et l'étendue vocale, nous avons choisi d'utiliser la couleur rouge pour la moyenne des résultats obtenus et la couleur verte pour la norme.

2.1. Dysphonie dysfonctionnelle

« Parler me fatigue », « je n'ai plus d'aigus », « ma voix s'en va au fur et à mesure de la journée », « la clarté de ma voix est imprévisible »...

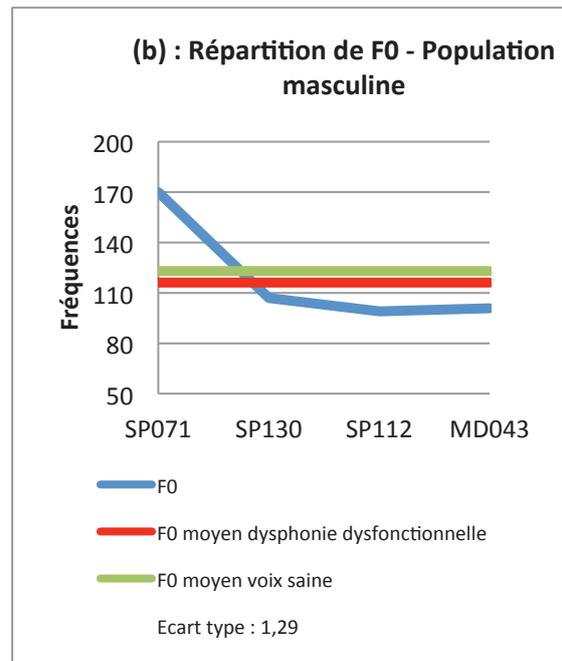
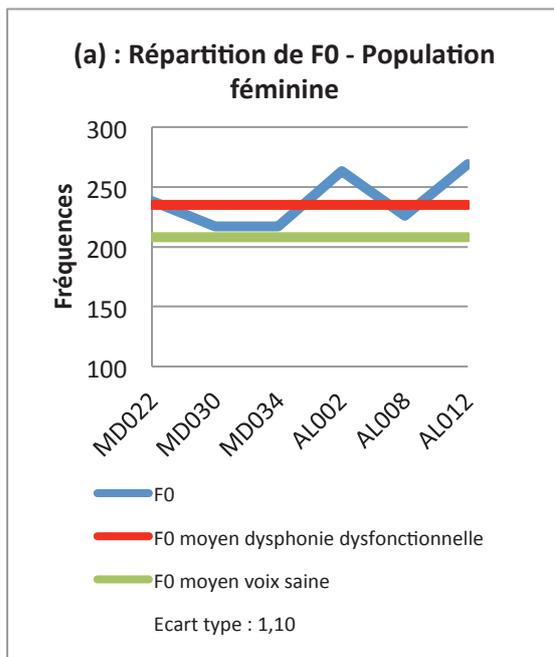
2.1.1. Profil vocal



6 femmes (44 ans en moyenne) et 4 hommes (50,37 ans en moyenne) ont été testés, tous atteints d'une dysphonie dysfonctionnelle. L'indicateur le plus pathologique est l'instabilité en amplitude (1,32). Le moins altéré est l'indicateur de pauvreté en harmoniques (0,78).

2.1.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

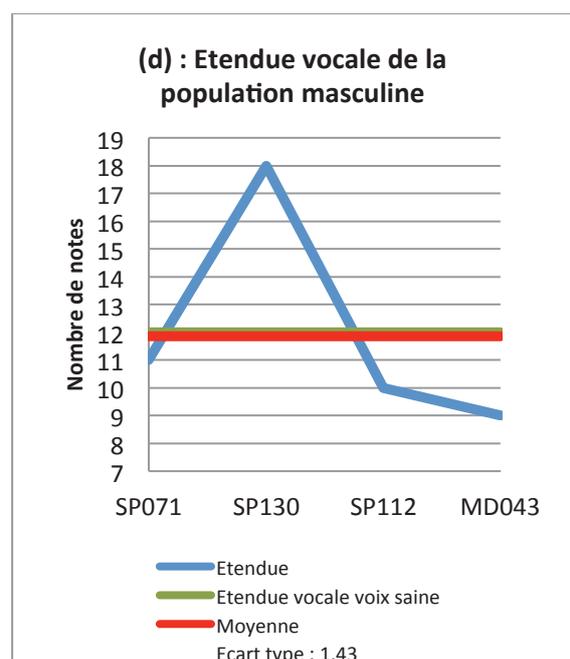
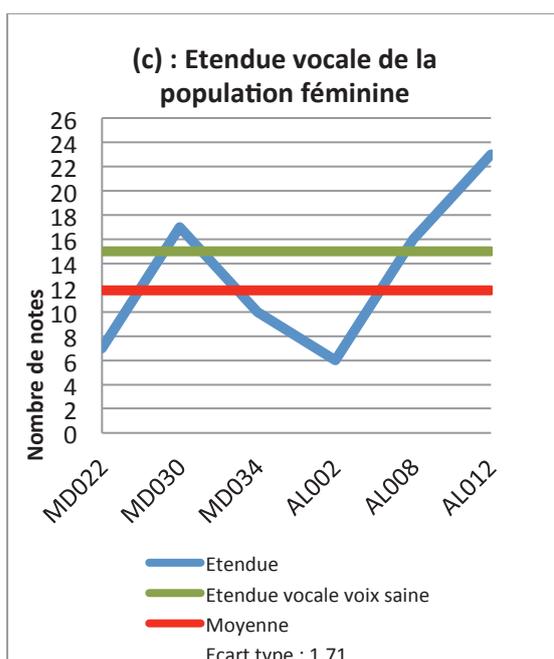
a. Fréquence fondamentale



(a) : Six femmes ont été enregistrées. Les fréquences fondamentales extrêmes sont respectivement 217 Hz et 269 Hz. La moyenne est de 235 Hz.

(b) : Ce graphique montre les mesures de la fréquence fondamentale pour 4 hommes. La fréquence fondamentale la plus basse est de 99 Hz. La plus haute s'élève à 170 Hz. La moyenne globale est de 116,13 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : L'étendue vocale a été mesurée chez 6 femmes. Les valeurs sont comprises entre 6 notes et 23 notes. La moyenne est de 11,75 notes.

(d) : Chez les 4 hommes de l'échantillon masculin, l'étendue vocale est comprise entre 9 et 18 notes. La moyenne s'élève à 11,86 notes.

2.1.3. Interprétation

Le profil vocal des patients atteints de dysphonie dysfonctionnelle montre qu'un seul indicateur est dans la zone de pathologie : l'instabilité en amplitude. Sur 10 patients testés, seuls 4 ne sont pas dans la zone de pathologie pour cet indicateur, dont 3 qui sont proches de la limite de pathologie. Le résultat est cohérent avec la clinique de la dysphonie dysfonctionnelle : le patient est en situation d'effort, trop d'énergie est investie. Le rendement vocal n'est pas bon puisque le sujet cherche à pousser sa voix vers l'extérieur. La pression sous glottique est excessive à cause d'une hypercontraction laryngée, ce qui augmente l'intensité et les forces de collisions laryngées. L'indicateur d'instabilité en amplitude est donc pathologique puisqu'il traduit une mauvaise gestion de la pression sous glottique. Les indicateurs « attaque », « instabilité en hauteur » et « bruit » sont proches de la limite de pathologie. L'augmentation de la pression sous glottique provoque une augmentation de la force d'adduction cordale en pré-phonation, qui va céder brusquement lors de la mise en vibration, donnant lieu à une attaque dure. La qualité vibratoire est altérée et l'ondulation devient instable, ce qui explique que l'instabilité en hauteur soit proche de la limite de pathologie. Le bruit quant à lui peut provenir de l'instabilité du vibrateur laryngé ou d'une fuite glottique provoquée par la situation de forçage. Ce comportement hyperkinétique global s'accompagne d'une posture contractée, d'un débit rapide et d'une articulation serrée.

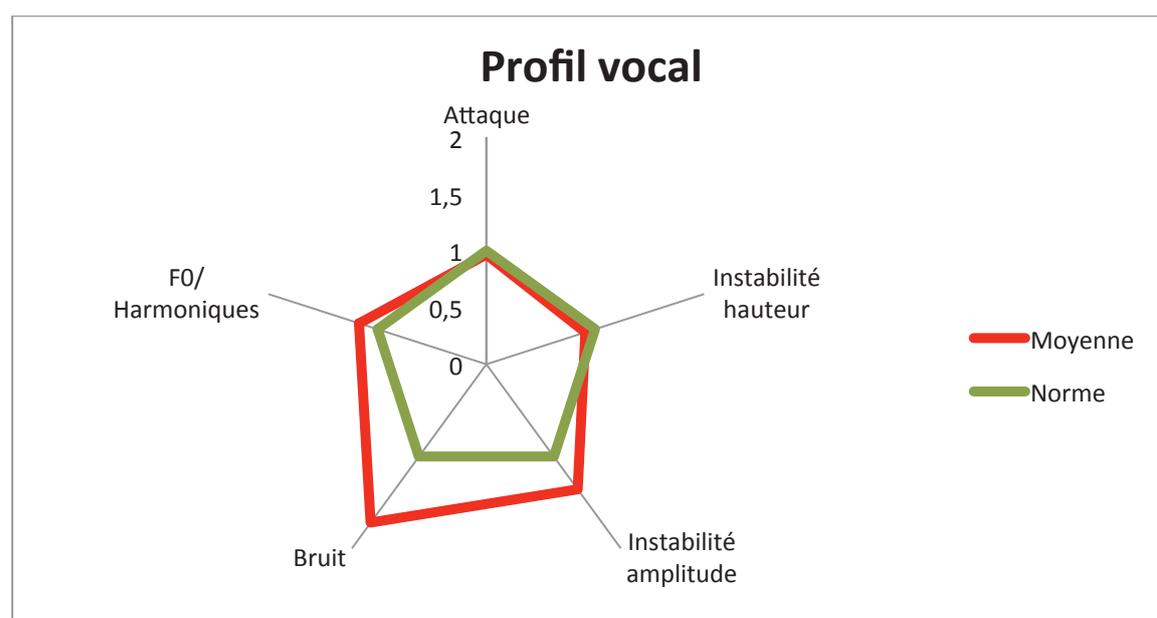
Chez toutes les femmes testées, la fréquence fondamentale est augmentée. La moyenne d'augmentation pour l'ensemble de la population féminine est de 27 Hz. Cette augmentation est cohérente avec les données de la littérature, puisque dans cette pathologie, le sujet a tendance à forcer sur sa voix et à parler plus fort. Or plus on parle fort, plus la fréquence augmente. A l'inverse, la fréquence fondamentale des hommes est très légèrement abaissée (6,87 Hz de moins en moyenne). Seul un homme sur 4 a une fréquence fondamentale au dessus de la norme.

L'étendue vocale de la population féminine est diminuée de 3 notes. Cependant, sur les 6 patientes enregistrées, 3 ont une étendue vocale supérieure à la norme (17,16 et 23 notes) ce qui renforce le fait que ce paramètre est soumis à une variabilité inter individuelle. L'étendue vocale moyenne de la population masculine quant à elle est normale, bien que 3 hommes sur les 4 testés ont une réduction de leur étendue vocale (respectivement 1, 2 et 3 notes de moins que la normale).

2.2. Fuite glottique

« Ma voix ne porte pas », « je force pour parler », « je ne peux pas parler longtemps car ça me fatigue »...

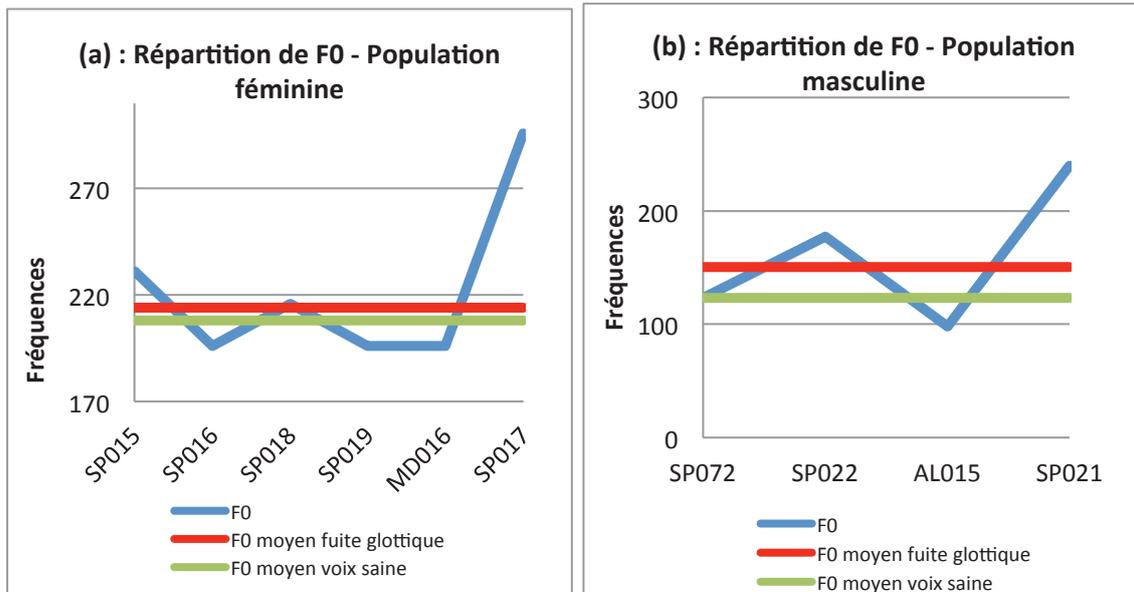
2.2.1. Profil vocal



10 patients ont été testés : 6 femmes âgées en moyenne de 39,67 ans ; et 4 hommes âgés en moyenne de 41,83 ans. Le profil vocal qui a découlé des analyses montre une tendance pathologique nette pour l'indicateur « bruit », le plus atteint, qu'on mesure à 1,72. L'indicateur le moins atteint est l'instabilité en hauteur (0,71).

2.2.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

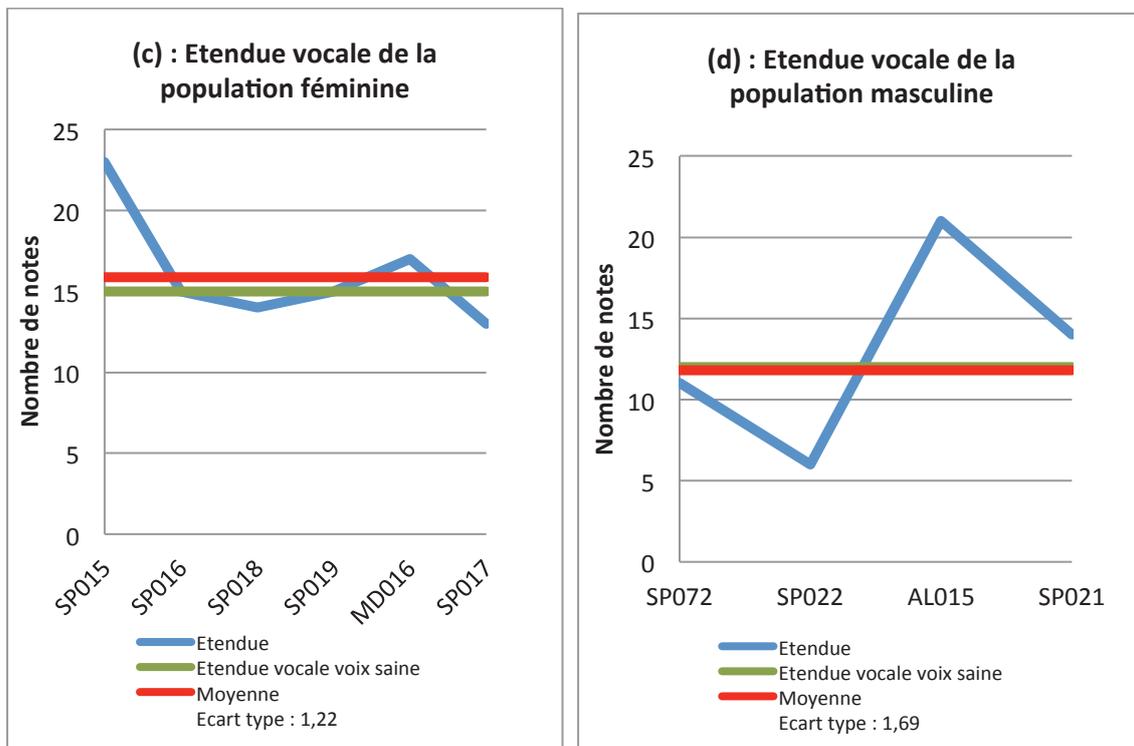
a. Fréquence fondamentale



(a) : Pour les 6 femmes, la fréquence fondamentale a une latitude de 127 Hz puisque le minimum est de 169 Hz et le maximum 296 Hz. On mesure une moyenne de 213,94 Hz.

(b) : La fréquence fondamentale des hommes est comprise entre 98 Hz et 240 Hz, pour une moyenne de 150,43 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : L'étendue vocale féminine est d'en moyenne 15,88 notes (avec un minimum de 13 notes et un maximum de 23 notes).

(d) : L'étendue vocale de la population masculine s'étale de 6 à 21 notes, pour une moyenne de 11,80 notes.

2.2.3. Interprétation

Trois indicateurs sont au dessus de la limite de normalité : l'instabilité en amplitude, le bruit et la pauvreté en harmoniques. La moyenne pathologique des indicateurs « bruit » et « pauvreté en harmoniques » est révélatrice de l'importante composante de souffle qui est caractéristique de cette pathologie. A l'oreille le timbre sera voilé, soufflé, pauvre. Le patient est en situation de forçage à cause d'un geste vocal inadapté (de par la respiration, la posture, le niveau de tension). Le défaut d'affrontement des plis vocaux est un phénomène réactionnel à ce forçage. Le patient va alors essayer de compenser la perte d'air par une augmentation de la pression sous glottique : il va parler plus fort, mais ne sera pas capable de maintenir le même niveau d'intensité tout au long de la phonation. C'est ce qui est mesuré par l'indicateur « instabilité en amplitude » qui est ici pathologique. Les deux derniers indicateurs, l'attaque et l'instabilité en hauteur, ne sont pas pathologiques bien que proches de la limite de normalité. L'instabilité en hauteur provient de l'instabilité du vibrateur laryngé et du niveau d'accolement. L'attaque quant à elle est soit soufflée (à cause de la fuite d'air), soit dure : pour répondre à l'augmentation de la pression sous glottique compensatoire, les cordes vocales s'accrochent de façon puissante et lâchent brusquement.

Chez les hommes comme chez les femmes nous pouvons remarquer une augmentation de la fréquence fondamentale, plus légère chez la population féminine (augmentation de 5 Hz) que chez la population masculine (augmentation de 27 Hz). L'augmentation de la hauteur provient de la faible surface d'accolement et de portion vibratoire des cordes vocales. Cependant, sur les 6 femmes évaluées, la moitié a une fréquence fondamentale abaissée par rapport à la norme (196 Hz au lieu de 208 Hz).

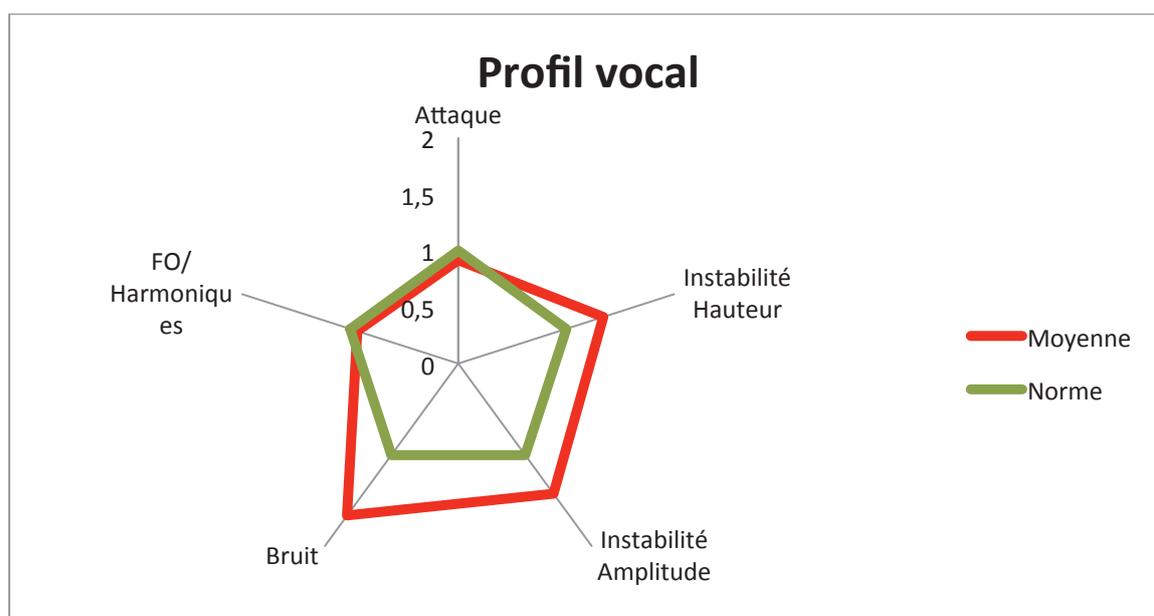
L'étendue vocale de la population féminine est très légèrement supérieure à la norme (15,88 notes). Ce résultat diffère d'avec les informations trouvées dans la littérature qui relatent une réduction de l'étendue vocale. Ceci peut s'expliquer par les capacités vocales

propres à chacun. Les 3 femmes qui ont une diminution de la fréquence fondamentale conservent une étendue vocale normale voire supérieure à la norme. Chez les hommes, la moitié des sujets testés ont une réduction de l'étendue vocale, alors que l'autre moitié à une étendue vocale supérieure à la normale. La moyenne est de 11,8 notes ce qui est très proche de la normalité (12 notes).

2.3. Nodules

« Je suis obligé de forcer pour produire du son », « je ne peux plus appeler ni chanter », « ma voix est rauque et grave », « je ne peux pas parler longtemps », « je n'ai plus de voix le soir »...

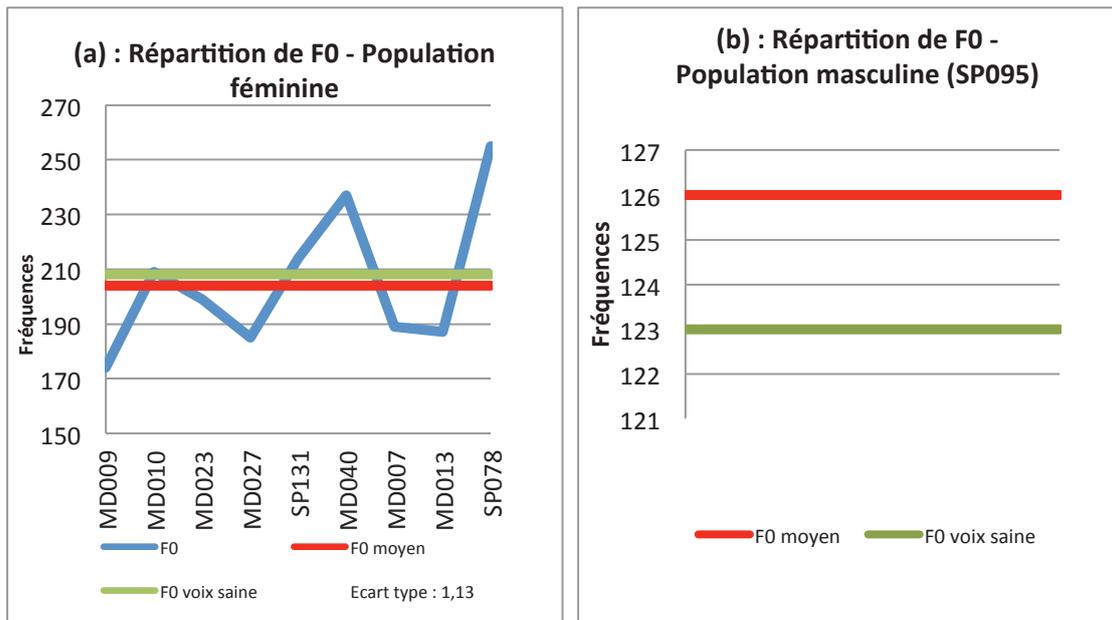
2.3.1. Profil vocal



9 femmes (âge moyen de 36 ans) et 1 homme (24 ans) ayant des nodules ont été enregistrés. Le profil vocal montre que l'indicateur le plus altéré est celui du bruit (1,66). Le moins atteint est l'indicateur « attaque » (1,92).

2.3.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

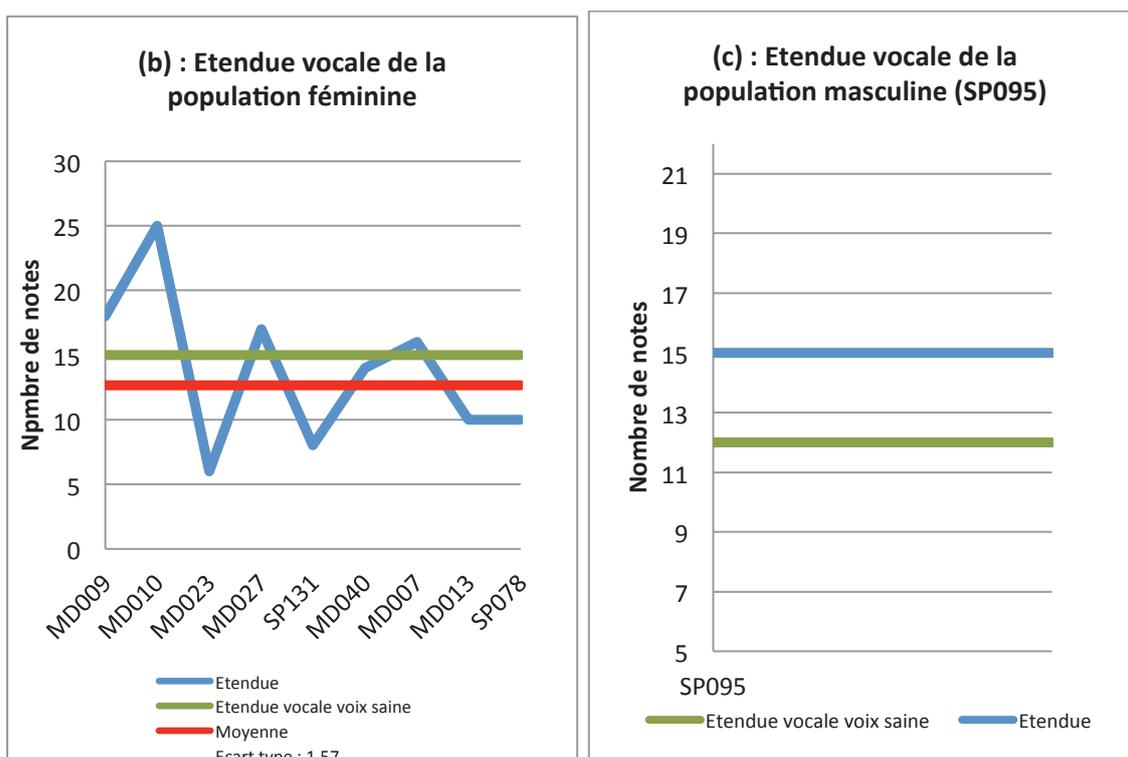
a. Fréquence fondamentale



(a) : Les 9 femmes ont une fréquence fondamentale comprise entre 174 Hz et 255 Hz. On mesure la fréquence moyenne à 204 Hz.

(b) : Un seul homme avec nodules a été enregistré. On a mesuré sa fréquence fondamentale à 126 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : Les mesures de l'étendue vocale des femmes sont comprises entre 6 et 25 notes, pour une moyenne de 12,54 notes.

(d) : L'étendue vocale de l'unique homme s'élève à 15 notes.

2.3.3. Interprétation

Le profil vocal des patients ayant des nodules révèle que 3 paramètres sont dans la zone de pathologie (instabilité en hauteur, instabilité en amplitude et bruit) et que les deux autres indicateurs sont proches de la limite de normalité. Rappelons que les nodules font partie des dysphonies dysfonctionnelles avec lésion. Ils apparaissent à cause de micro traumatismes répétés, en cas de forçage ou de malmenage vocal. Le sujet est contracté, des tensions sont visibles sur les muscles du cou. Les nodules gênent la fermeture de la glotte (on parle alors de glotte « en sablier »), provoquant ainsi une fuite d'air, rendue visible sur le profil vocal par l'indicateur « bruit » qui se situe au delà de la limite de normalité. La fuite d'air implique des reprises d'air fréquentes et audibles, ce qui donne à la parole un rythme haletant. En ce qui concerne l'instabilité en amplitude, les chiffres peuvent s'expliquer par le fait que le patient, au début de phonation, doit donner une forte impulsion au vibrateur pour démarrer la sonorisation. L'intensité sur l'attaque est ainsi élevée (attaque dure et bruitée), mais retombe très rapidement, le patient n'étant pas capable de la maintenir. Cela s'accompagne d'une articulation dure et d'un débit précipité. Enfin, la présence des nodules provoque une lésion du bord libre de la corde, ce qui induit une vibration aléatoire, d'où le caractère pathologique de l'indicateur « instabilité en hauteur ».

La littérature rapporte que les nodules altèrent la souplesse de vibration des cordes vocales, provoquant une diminution de la fréquence fondamentale qui se situe alors aux alentours de 180-200 Hz³⁰. Pour les femmes, nos mesures montrent effectivement une légère diminution de F0, de l'ordre de 4 Hz par rapport à la fréquence normale. Cependant les résultats individuels sont très disparates puisque les chiffres s'étalent de 209 Hz à 255 Hz. Sur 9 femmes évaluées, cinq ont une diminution de la fréquence

³⁰ Heuillet-Martin.G, Garson-Bavard.H, Legré.A, *Une voix pour tous, tome 2, la voix pathologique*, pp.26

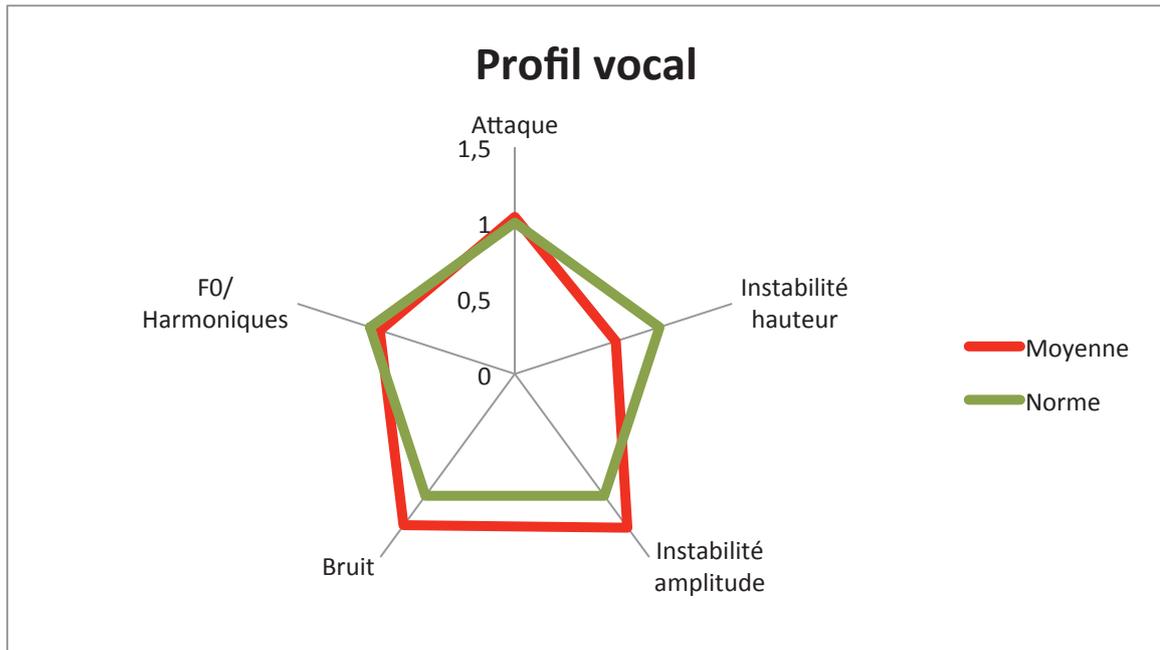
fondamentale de plus de 10 Hz. Deux femmes ont une augmentation de la fréquence fondamentale de plus de 10 Hz. Enfin deux femmes sont proches de la normalité avec des variations de 1 Hz et 6 Hz par rapport à la normale. Chez la population masculine on observe à l'inverse une très légère augmentation de la fréquence fondamentale, de l'ordre de 3 Hz. Cependant, les analyses sur la population masculine ne sont pas significatives puisqu'un seul homme a été enregistré. Les nodules étant une pathologie à prédominance féminine et infantine, il n'a pas été possible de trouver plus d'hommes.

L'étendue vocale du groupe de femmes est réduite en moyenne de 2,5 notes. Là encore, les résultats individuels sont très fluctuants, puisque 5 femmes ont une étendue vocale réduite et 4 femmes voient leur étendue vocale supérieure à la normale. Ces résultats sont étonnants puisque la littérature rapporte une réduction voire une disparition des aigus ainsi qu'une altération des graves. Cependant le niveau d'éducation vocal des patients testés est à prendre en compte puisque l'on peut supposer que des patients qui maîtrisent leur voix (ou des professionnels de la voix) ont une plus grande étendue vocale initiale. Pour les hommes, l'analyse révèle une augmentation de 3 notes de l'étendue vocale. Cependant ce résultat n'est pas à généraliser puisque l'échantillon se porte à un seul individu.

2.4. Kystes

« Je dois forcer pour produire du son », « ma voix s'éraïlle », « je n'arrive plus à chanter »...

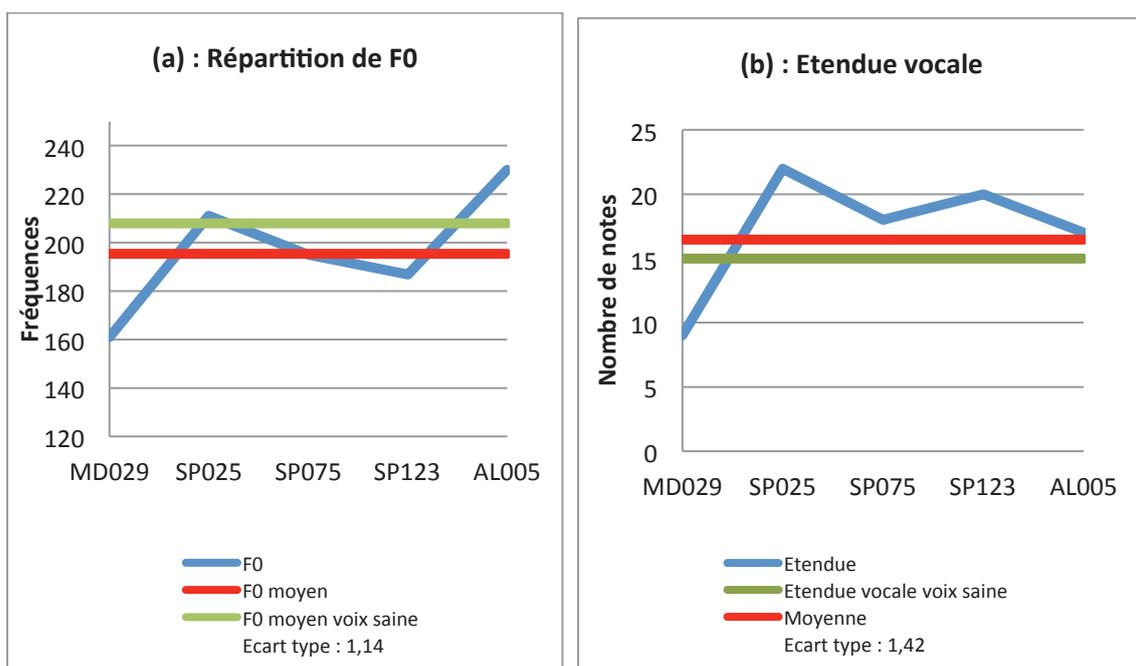
2.4.1. Profil vocal



Pour les kystes, la population soumise à l'évaluation se compose de 5 femmes âgées en moyenne de 38,63 ans. L'indicateur le plus pathologique est l'instabilité en amplitude (1,26) mais l'indicateur « bruit » est très proche (1,24). L'instabilité en hauteur est l'indicateur le moins altéré (0,70).

2.4.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

a. Fréquence fondamentale et étendue vocale



(a) : La population a une fréquence fondamentale moyenne de 195,41 Hz, comprise entre 161 Hz et 230 Hz.

(b) : L'étendue vocale varie de 9 à 22 notes, pour une moyenne de 16,47 notes.

2.4.3. Interprétation

Le profil vocal des patients ayant des kystes montre que l'instabilité en amplitude et le bruit sont pathologiques. L'attaque est très proche de la zone de normalité (versant pathologique), de même que la pauvreté en harmoniques (versant sain). Enfin un paramètre ne semble pas être atteint : l'instabilité en hauteur. A cause des kystes la fermeture glottique est incomplète : une fuite d'air demeure à la phonation, donnant ainsi lieu à des attaques soufflées et un timbre voilé. Le sujet compense avec une dynamique corporelle et respiratoire pour soutenir la phonation. L'intensité est forte, avec des désonorisations régulières dues à une possible rupture de l'ondulation de la muqueuse. Le caractère pathologique de l'indicateur « bruit » peut être expliqué par la composante de souffle et l'instabilité du vibrateur. Enfin, il est étonnant que l'indicateur « instabilité en hauteur » soit dans la zone de normalité puisque les kystes modifient la souplesse des plis vocaux, entraînant une rigidité cordale et parasitant ainsi la vibration. Il est donc assez fréquent de retrouver un phénomène de bitonalité, qu'on ne relève pas ici.

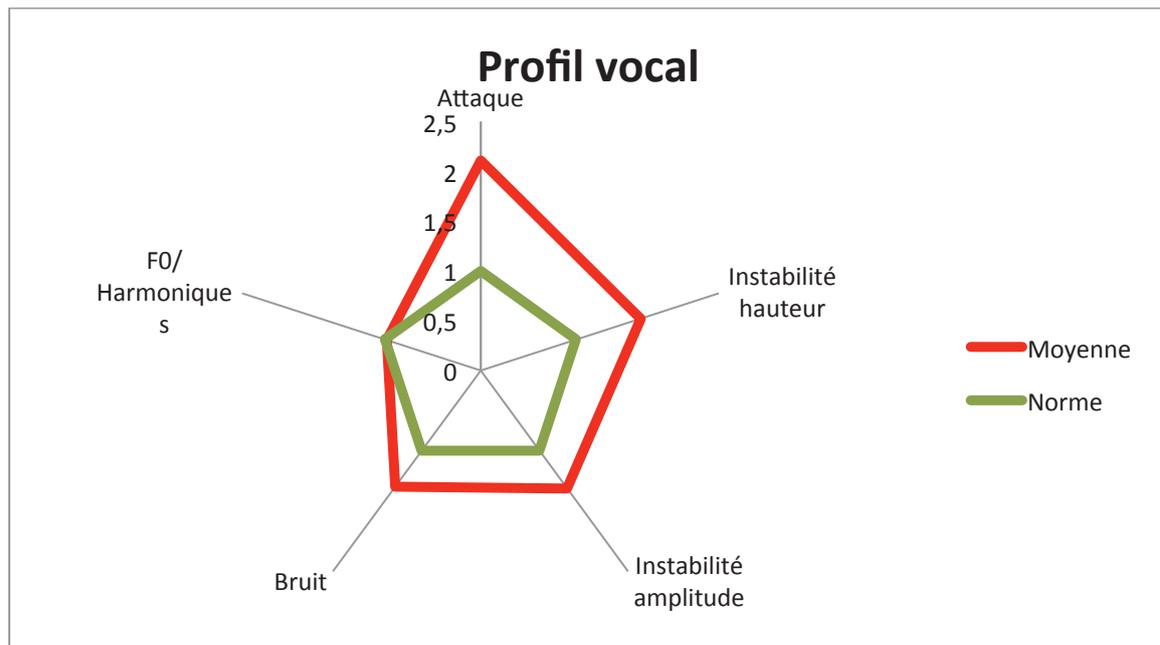
La masse des cordes vocales étant augmentée par le kyste, nous nous attendions à mesurer une diminution de la fréquence fondamentale. C'est effectivement ce que nos résultats révèlent : la fréquence fondamentale moyenne est 13 Hz au dessous de la fréquence normale. Chez les 5 femmes testées, 1 se situe au niveau de la normale (211 Hz) et 1 est au dessus (230 Hz).

Nos analyses montrent également une très légère augmentation de l'étendue vocale des patientes testées, de l'ordre d'1,46 notes. 4 femmes se situent au delà de l'étendue vocale attendue pour une voix saine, alors qu'une seule patiente a une amputation de 6 notes par rapport à la normale. Ce résultat est étonnant : dans cette pathologie, les aigus étant difficile à atteindre (voire impossibles), l'étendue vocale moyenne devrait être en deçà de la normale. Cela peut s'expliquer par un déplacement des possibilités vocales : selon le siège du kyste, certaines notes sont plus faciles à atteindre.

2.5. Pseudomyxome ou Œdème de Reinke

« Ma voix est rauque », « je perds ma voix en fin de journée », « on m'appelle Monsieur au téléphone », « je n'ai plus d'aigus »...

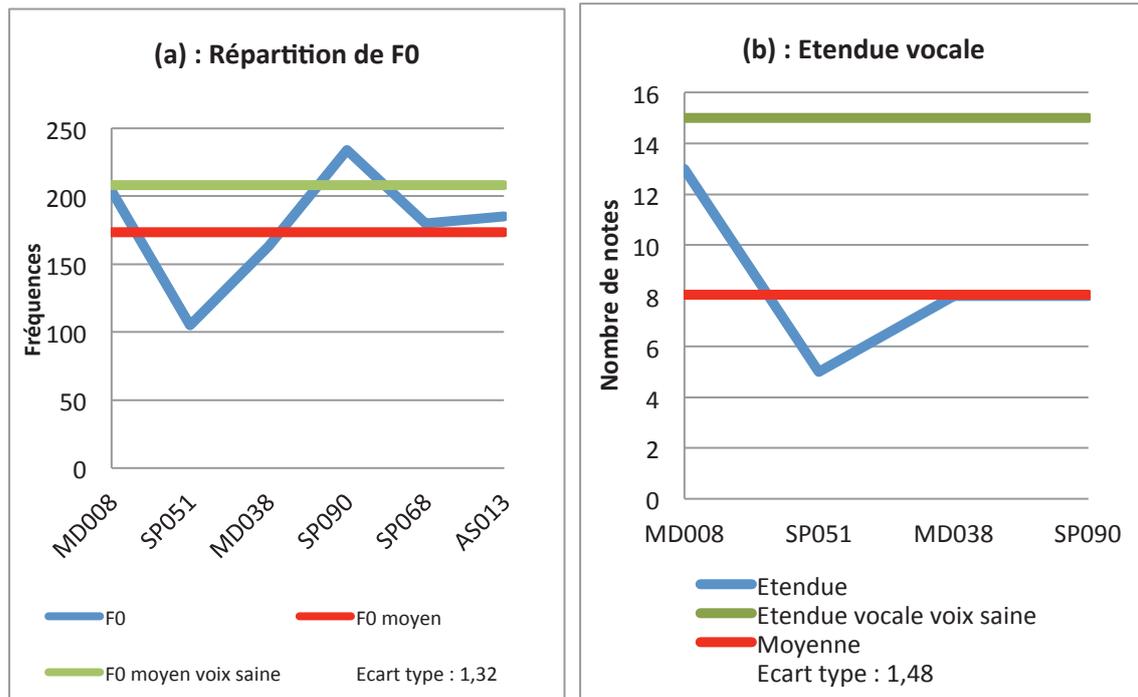
2.5.1. Profil vocal



Le profil vocal construit grâce à l'analyse des échantillons sonores de 6 femmes (âge moyen de 53,60 ans) indique que l'indicateur le plus pathologique est l'attaque (2,11). C'est la pauvreté en harmoniques qui est la moins altérée (0,98).

2.5.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

a. Fréquence fondamentale et étendue vocale



(a) : On mesure une fréquence fondamentale moyenne de 173,42 Hz, avec un minimum de 105 Hz et un maximum de 234 Hz.

(b) : On mesure 5 notes pour l'étendue vocale minimale, 13 notes pour l'étendue vocale maximale. Quatre femmes ont été enregistrées, et l'étendue vocale moyenne est de 8 notes.

2.5.3. Interprétation

Le profil vocal met en avant le caractère pathologique de 4 indicateurs : attaque, instabilité en hauteur, instabilité en amplitude et bruit. L'indicateur de pauvreté en harmoniques est également proche de la limite de normalité. A l'examen laryngoscopique on détecte une masse d'aspect gélatineux et blanchâtre siégeant dans l'espace de Reinke. L'œdème flotte dans l'espace glottique, intégrant la région sous glottique lors de l'inspiration. La présence de ce matériel empêche la fermeture complète des cordes vocales, d'où la déperdition d'air mesurée dans le profil vocal par l'indicateur « bruit » et la modification du timbre qui devient voilé. Le comportement vibratoire des cordes vocales est altéré à cause de la masse : l'ondulation est asymétrique et irrégulière, avec un décalage de phase d'un côté par rapport à l'autre, ce qui explique que l'indicateur « instabilité en hauteur » soit dans la zone de pathologie. Cette modification des mécanismes ondulatoires rend le timbre de la voix très éraillé, bitonal, mais également

rauque et sourd car le sujet a parfois tendance à pousser sur sa voix pour compenser. L'instabilité en amplitude peut être expliquée par la mise en place d'un comportement hyperkinétique réactionnel à la fuite d'air. L'attaque est souvent soufflée, et parfois dure à cause de la pression sous glottique excessive qui provoque une adduction exagérée des cordes vocales en pré phonation. Le patient est très fatigable car il dépense une grande quantité d'énergie pour compenser la fuite d'air. La posture est modifiée, le patient est dans une dynamique corporelle hyperkinétique.

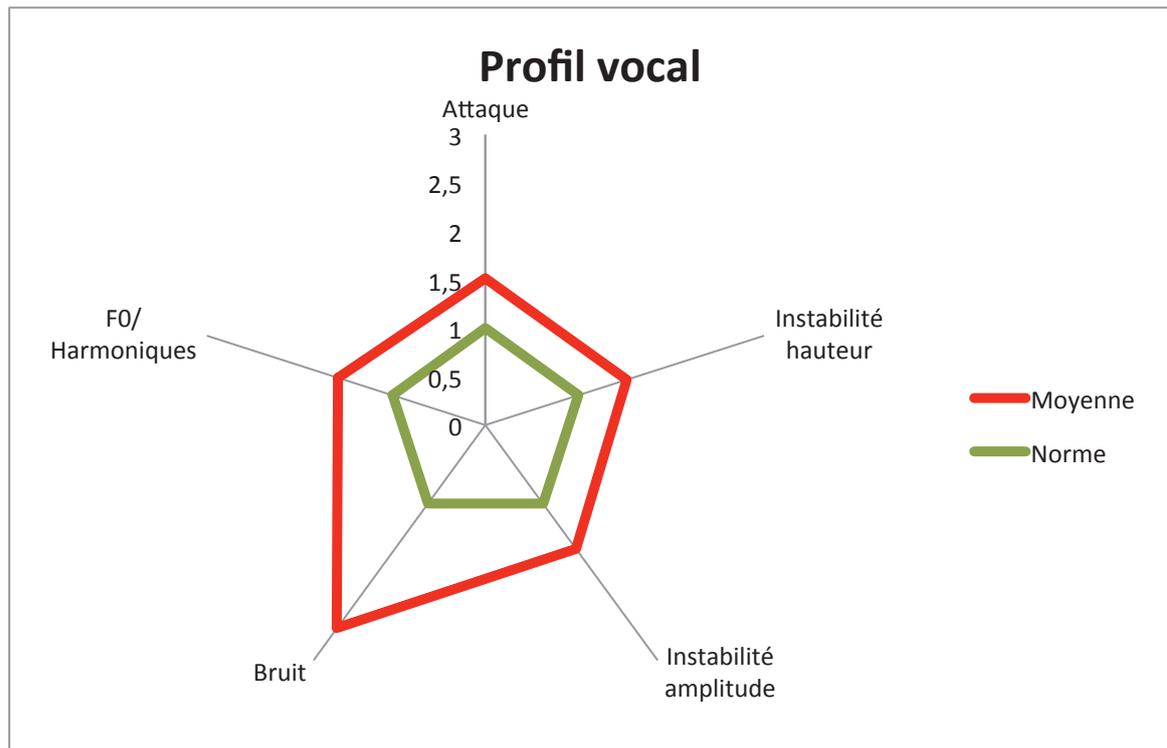
La littérature rapporte un abaissement quasi constant de la tonalité de la voix dans cette pathologie. Cette diminution de la fréquence fondamentale provient de l'augmentation de la masse des cordes vocales à cause de l'œdème. Dans notre étude, nous avons effectivement mesuré une diminution de F0 de l'ordre de 39 Hz en moyenne. Cependant, sur les 6 sujets testés, une personne a une fréquence fondamentale plus élevée que la normale (236 Hz au lieu de 208 Hz). Ce résultat est étonnant puisque la perte du registre aigu est caractéristique dans cette pathologie et que l'aggravation de la tonalité est la plainte principale des patients, surtout les femmes qui peuvent être confondues avec des hommes au téléphone. L'utilisation du /a/ comme matériel phonétique pour la mesure de F0 montre ici ses limites : la patiente a peut être émis un son d'une hauteur élevée, mais n'a pas su maîtriser la qualité du son par la suite.

L'étendue vocale des sujets testés est diminuée en moyenne de 7 notes, ce qui est cohérent avec les données de la littérature qui rapportent une perte systématique des aigus. Les 4 patientes testées ont toutes une restriction de leur étendue vocale.

2.6. Presbyphonie

« Ma voix chevrote », « je suis enroué », « je m'essouffle quand je parle », « ma voix ne porte plus »...

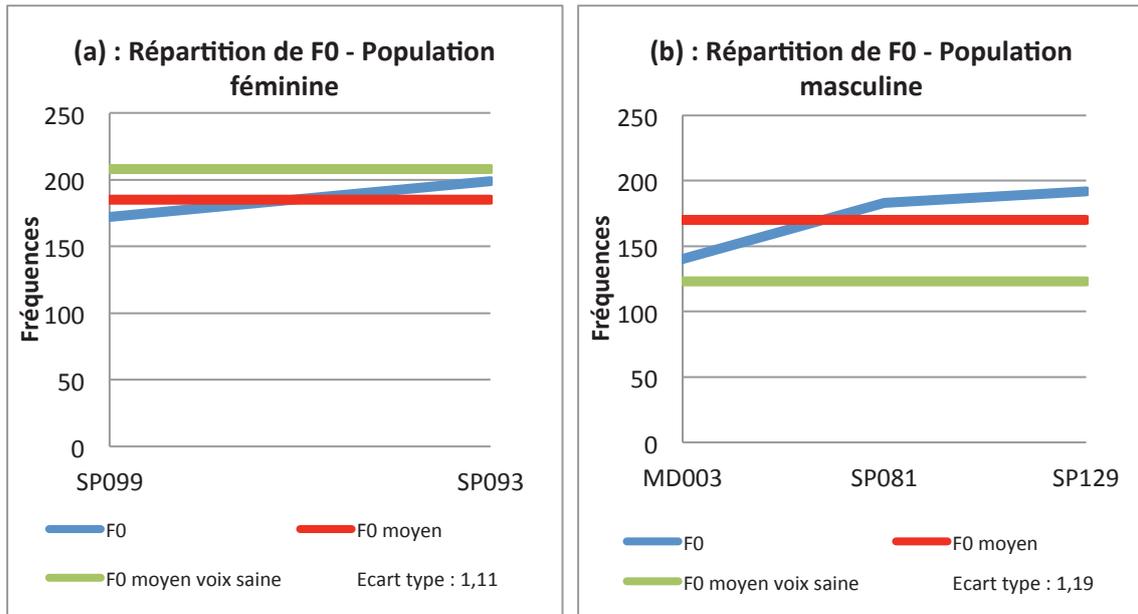
2.6.1. Profil vocal



Les enregistrements de 2 hommes (69,69 ans en moyenne) et 5 femmes (72 ans en moyenne) ont été analysés et le profil vocal ci dessus a été construit. Le bruit s'avère être l'indicateur le plus altéré (2,59). L'attaque et l'instabilité en hauteur sont les indicateurs les moins altérés, bien que pathologiques (1,52).

2.6.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

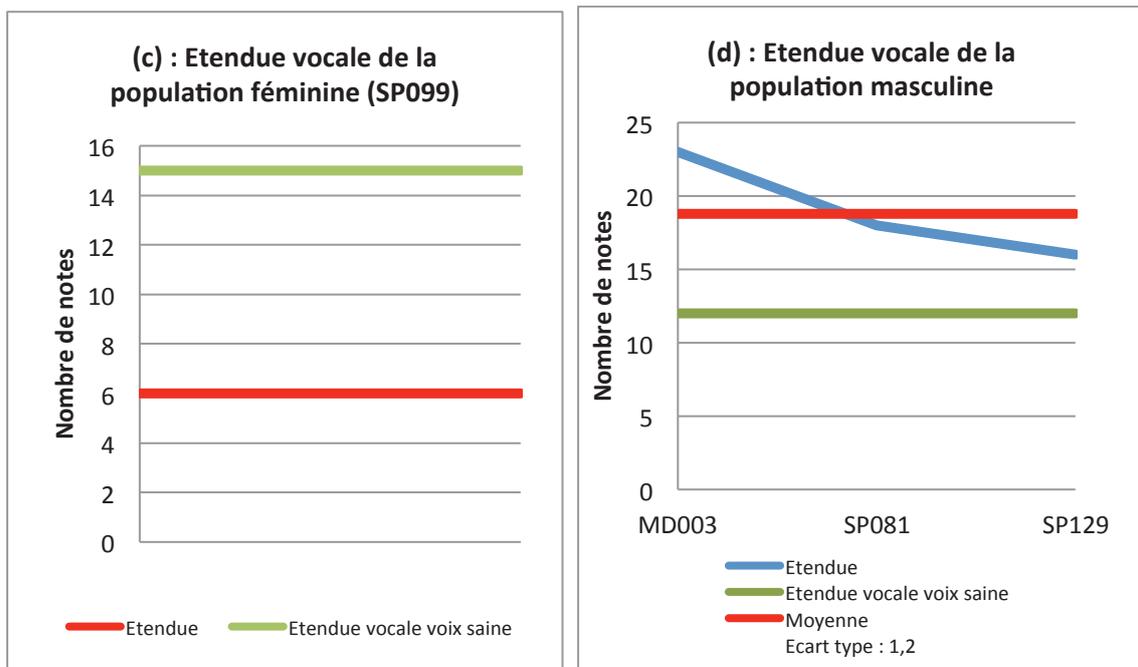
a. Fréquence fondamentale



(a) : La fréquence fondamentale féminine moyenne est de 185 Hz (172 Hz pour la valeur la plus basse, 199 Hz pour la valeur la plus haute).

(b) : Les 3 hommes ont une fréquence fondamentale moyenne de 170,07 Hz. Les extrêmes vont de 140 Hz à 192 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : Une seule femme a fourni une sirène, qui permet de mesurer une étendue vocale de 6 notes.

(d) : L'étendue vocale moyenne est de 18,78 notes ; le minimum et le maximum étant respectivement 16 et 23 notes.

2.6.3. Interprétation

Le profil vocal présenté ci dessus montre que dans la presbyphonie, tous les indicateurs de pathologie de la voix sont au dessus de la limite de normalité. La voix, comme le corps, vieillit : à la sénescence, les cartilages du larynx se solidifient, la souplesse articulaire diminue, les muscles s'atrophient. Le tonus postural et musculaire corporel diminue. Les mouvements laryngés deviennent alors moins souples. Le bord libre des cordes vocales devient concave, formant une béance glottique en phonation. Cela provoque une fuite d'air ainsi qu'un appauvrissement du timbre à cause du défaut d'affrontement des cordes vocales dans la zone médiane. Le timbre devient sans couleur, voilé, soufflé. C'est ce que l'indicateur « pauvreté en harmonique » mesure, en étant au delà de la limite de normalité. L'attaque est également soufflée à cause de la fuite glottique. Les indicateurs d'instabilité en hauteur et en intensité sont tous deux dans la zone de pathologie. Plusieurs phénomènes sont mis en cause : tout d'abord le vieillissement provoque une altération des phénomènes respiratoires, qui entraîne une modification de la pression sous glottique et donc une diminution de l'intensité, de la durée et de la stabilité de la réalisation vocale. De plus, la dégénérescence nerveuse atteint le nerf laryngé : le contrôle neuromusculaire est amoindri, ce qui donne lieu à des mouvements spasmodiques et incontrôlés du larynx : la hauteur et l'intensité deviennent instables et un tremblement apparaît. A un niveau plus sévère, on parle de chevrottement. Les variations d'intensité sont également limitées. L'atrophie des cordes vocales rentre également en jeu dans le phénomène d'instabilité de la hauteur. Enfin, l'indicateur « bruit » qui est le plus pathologique rend compte de l'instabilité du vibrateur laryngé ainsi que de la composante de souffle, présente à cause du défaut d'accolement des cordes vocales, atrophiées.

Le changement hormonal dû à l'âge provoque une modification de la fréquence fondamentale de la voix : chez les femmes on observe une diminution de celle ci, alors que les hommes subissent une augmentation de leur tonalité. Nos analyses vont dans ce

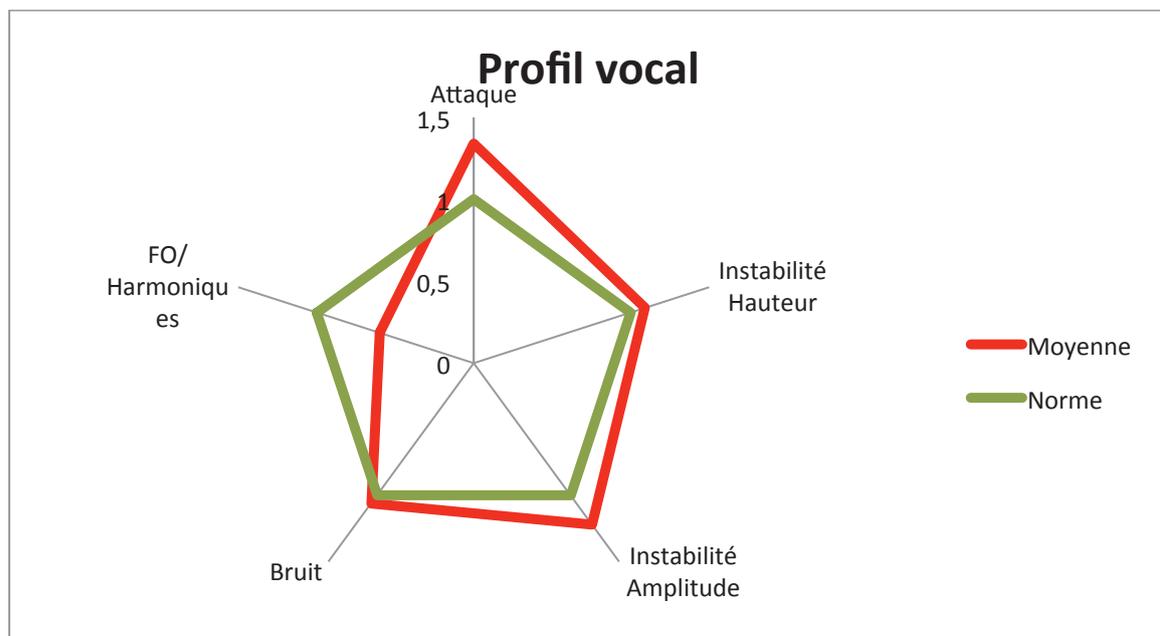
sens, bien que notre échantillon soit très restreint : les deux femmes testées ont toutes les deux une fréquence fondamentale inférieure à la norme (diminution de 23 Hz en moyenne). La fréquence fondamentale des hommes, quant à elle, est augmentée pour tous les sujets testés (augmentation de 47 Hz en moyenne).

La littérature rapporte un pincement de l'étendue vocale chez les hommes comme chez les femmes, avec une perte des fréquences aiguës. Effectivement nous avons mesuré pour les femmes une étendue vocale de 6 notes, soit 9 notes de moins que la norme. Cependant la population féminine pour cette pathologie se cantonnant à une unique personne, ce résultat n'est pas à généraliser bien qu'il aille dans le sens de la littérature. Chez les hommes (3 hommes testés) au contraire on observe une augmentation de l'étendue vocale (augmentation moyenne de 7 notes).

2.7. Dysphonie infantile ou raucité vocale infantile

« Mon enfant crie quand il parle », « il n'a plus de voix en sortant de l'école », « il a mal à la gorge », « en classe, il n'arrive pas à se faire entendre »...

2.7.1. Profil vocal

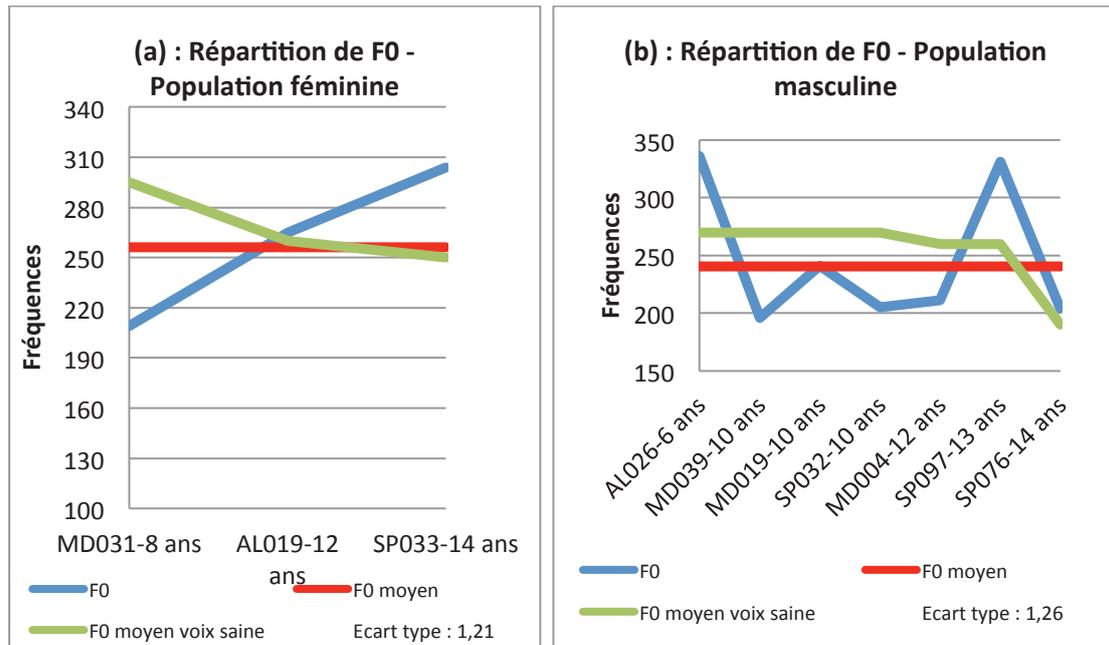


Pour la dysphonie infantile, 7 garçons (10,39 ans en moyenne) et 3 filles (11 ans en moyenne) ont contribué à la réalisation du profil vocal présenté ci dessus. L'attaque est le

paramètre le plus pathologique (1,34). L'indicateur le moins altéré est la pauvreté en harmonique (0,60)

2.7.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

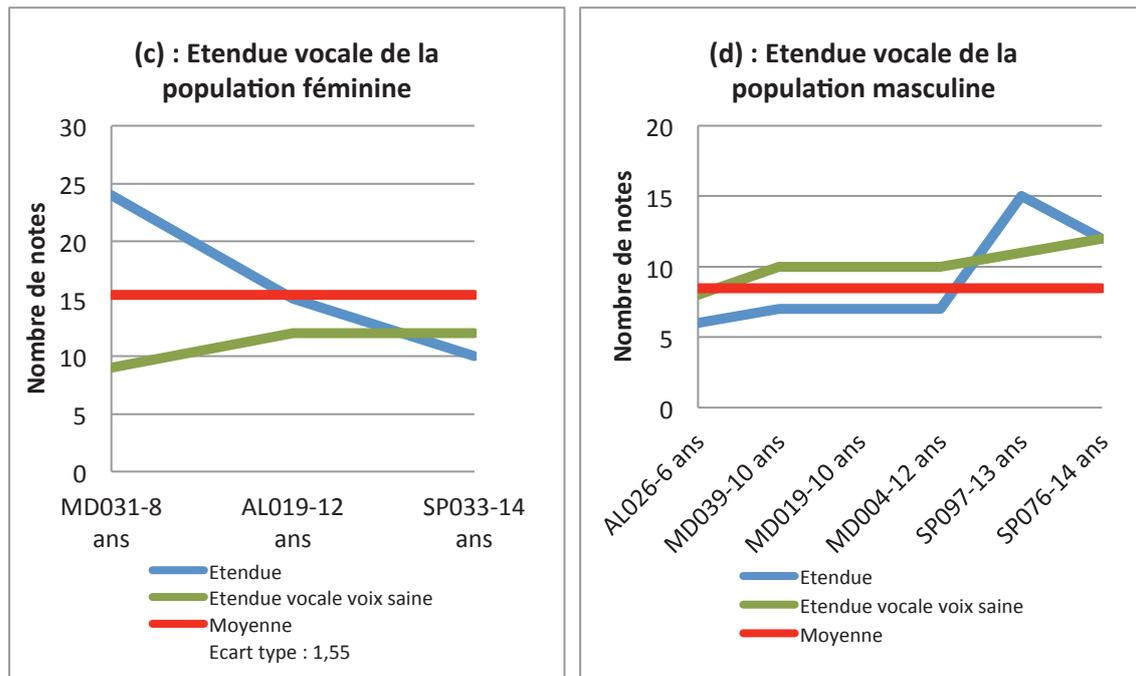
a. Fréquence fondamentale



(a) : Les 3 filles testées ont des âges différents. Or lors de l'enfance et jusqu'à l'adolescence la valeur de la fréquence fondamentale varie. Nous avons donc pour chaque tranche d'âge reporté la valeur de référence de la fréquence fondamentale saine pour l'âge en question : 295 Hz pour 8 ans, 260 Hz pour 12 ans et 250 Hz pour 14 ans. La moyenne de la fréquence fondamentale des sujets testés est de 256 Hz.

(b) : Comme les filles, les garçons ont une fréquence fondamentale fluctuante de l'enfance à l'adolescence. L'âge de notre population variant de 6 à 14 ans, nous avons là aussi fait correspondre la norme tonale avec l'âge : 270 Hz pour des sujets allant de 6 à 10 ans, 260 Hz pour 12 et 13 ans, et 190 Hz pour les garçons de 14 ans. La fréquence fondamentale moyenne pour l'ensemble de la population est de 240,37 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : Comme la fréquence fondamentale, l'étendue vocale subit une évolution durant la croissance. De 9 notes à 8 ans, elle passe à 12 notes à partir de 12 ans, et perdure à ce niveau jusqu'à 14 ans. L'étendue vocale moyenne pour les 3 sujets est de 15,33 notes.

(d) : Chez les garçons, l'étendue vocale normale évolue comme cela : 8 notes à 6 ans, 10 notes entre 10 et 12 ans, 12 notes à 14 ans. Les 6 sujets testés ont une étendue vocale moyenne de 8,47 notes.

2.7.3. Interprétation

La raucité vocale infantile est une dysphonie dysfonctionnelle de type hyperkinétique. L'effort vocal peut favoriser l'apparition de kissing nodules. Le profil vocal nous indique que 4 paramètres sont pathologiques : l'attaque, l'instabilité en hauteur, en amplitude, et le bruit (l'indicateur donne un chiffre de 1,06, c'est à dire à la limite de la norme). La pauvreté en harmoniques quant à elle est dans la zone de normalité, ce qui est étonnant car dans cette pathologie l'enfant a un timbre rauque et éraillé. L'enfant est en situation d'effort : un mauvais contrôle respiratoire ainsi qu'une pression sous glottique excessive ont pour conséquence une attaque dure et des coups de glottes. La respiration thoracique haute, l'hypotonie abdominale et l'hyper extension du cou qu'on observe généralement dans cette pathologie va dans le sens de cette impression de forçage qui se dégage des résultats. L'intensité est anormalement élevée et démesurée. La hauteur est elle aussi

instable du fait de désonorisations ponctuelles et d'un phénomène de bitonalité : le comportement vibratoire des cordes vocales est modifié. Enfin, l'adduction cordale n'est plus possible totalement, notamment lorsqu'il y a des kissing nodules (assez fréquent) : de l'air s'échappe, ce qui explique que l'indicateur « bruit » soit légèrement pathologique. Au niveau de la parole, une prise d'air buccale, un débit accéléré et une articulation floue sont fréquemment observés.

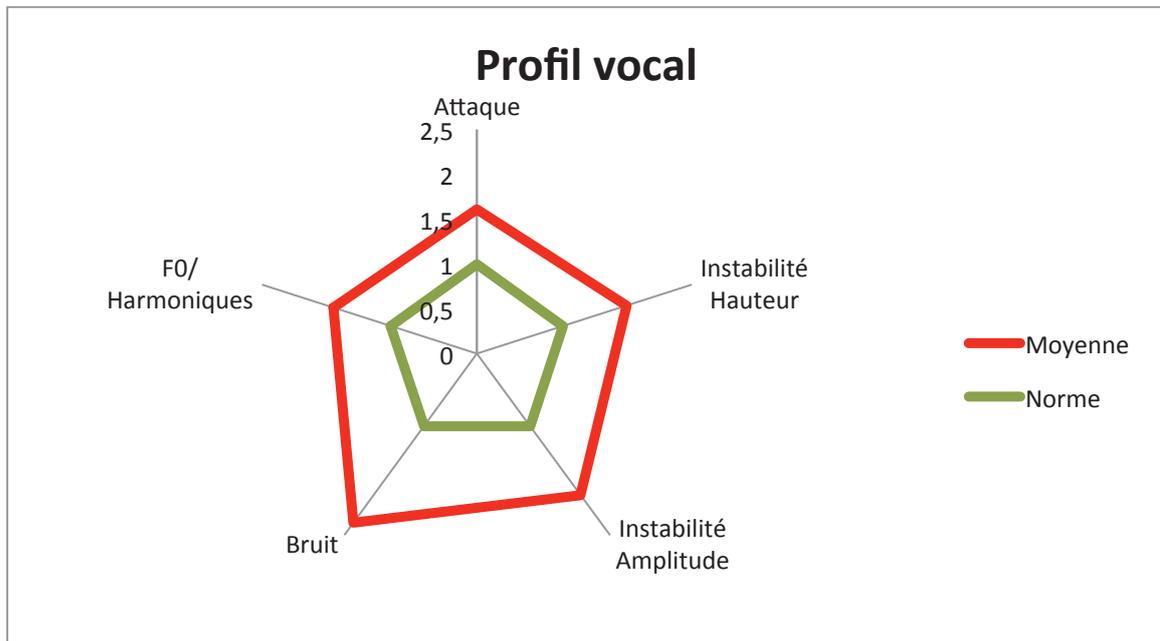
Concernant la hauteur, la littérature note un abaissement de la fréquence fondamentale souvent en dessous de Do3 (261 Hz). En effet dans nos analyses la fréquence fondamentale moyenne des filles testées est de 256 Hz, et celle des garçons est de 240 Hz. Cependant, dans la population féminine les résultats ne sont pas homogènes : sur 3 patientes testées, une a une fréquence fondamentale de 44 Hz supérieure à la norme de son âge, la deuxième est dans la normale par rapport à son âge, et la troisième présente une diminution de 86 Hz par rapport à la norme de son âge. Chez les garçons, les résultats sont également disparates : 4 sujets ont une fréquence fondamentale inférieure à la norme de leur âge tandis que 3 se trouvent au dessus de la fréquence attendue pour leur âge.

L'étendue vocale est de 15 notes en moyenne chez les filles. Comme pour la fréquence fondamentale, une patiente a une étendue vocale supérieure de 15 notes par rapport à ce qui est attendu pour son âge. La deuxième est dans la normale, tandis que la troisième a une restriction de son étendue de l'ordre de 2 notes. Chez les garçons, l'étendue moyenne est de 8,57 notes. Quatre garçons ont une perte de 2 à 3 notes par rapport à la norme, un a une étendue vocale de 15 notes au lieu de 12, et le dernier a une étendue vocale normale. Les résultats ne sont pas homogènes dans l'échantillon. Les auteurs décrivent une diminution de l'étendue vocale moyenne, ce qu'on retrouve chez les garçons, mais pas chez les filles. Néanmoins, il paraît plus judicieux de regarder l'étendue vocale au cas par cas et non avec la moyenne, car les normes d'étendue vocale pour une voix saine sont différentes selon les âges, aussi bien pour les filles que pour les garçons.

2.8. Paralysie récurrentielle

« Ma voix manque de puissance », « il m'arrive d'avaler de travers », « je suis essoufflé quand je parle »...

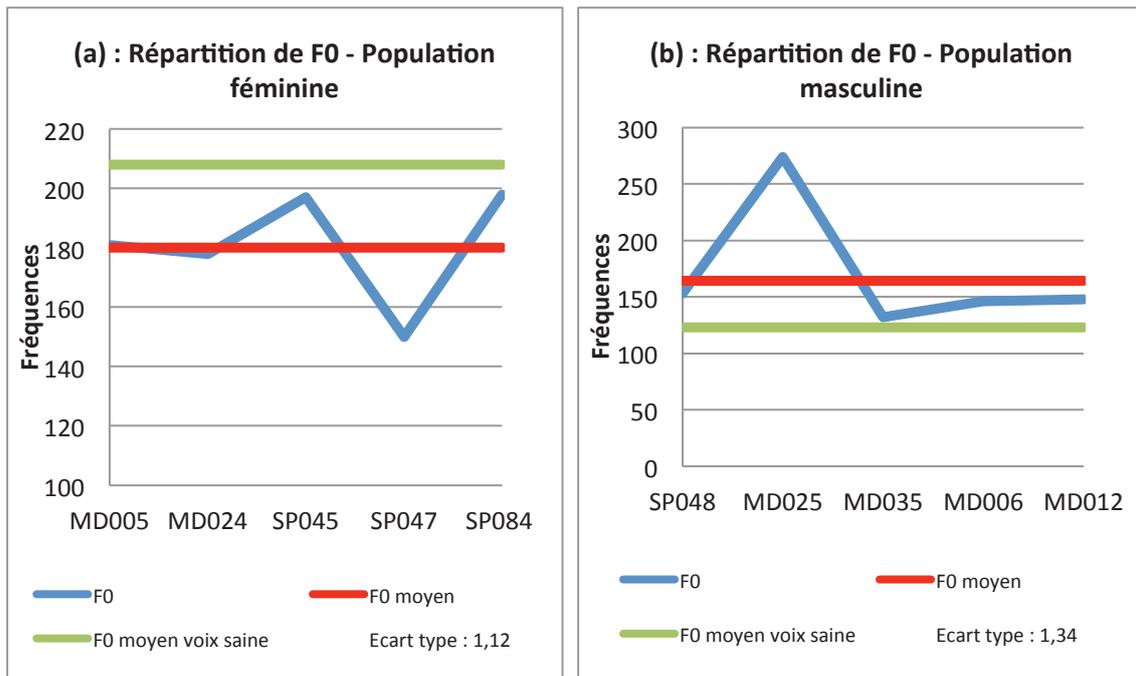
2.8.1. Profil vocal



Pour la paralysie récurrentielle nous avons pu obtenir 5 échantillons sonores masculins (45,24 ans en moyenne) et 5 échantillons sonores féminins (55 ans en moyenne). Le profil vocal construit montre que, bien que tous les indicateurs soient pathologiques, le plus altéré reste le bruit (2,33). C'est la pauvreté en harmoniques et l'attaque qui sont les indicateurs les moins touchés (1,61).

2.8.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

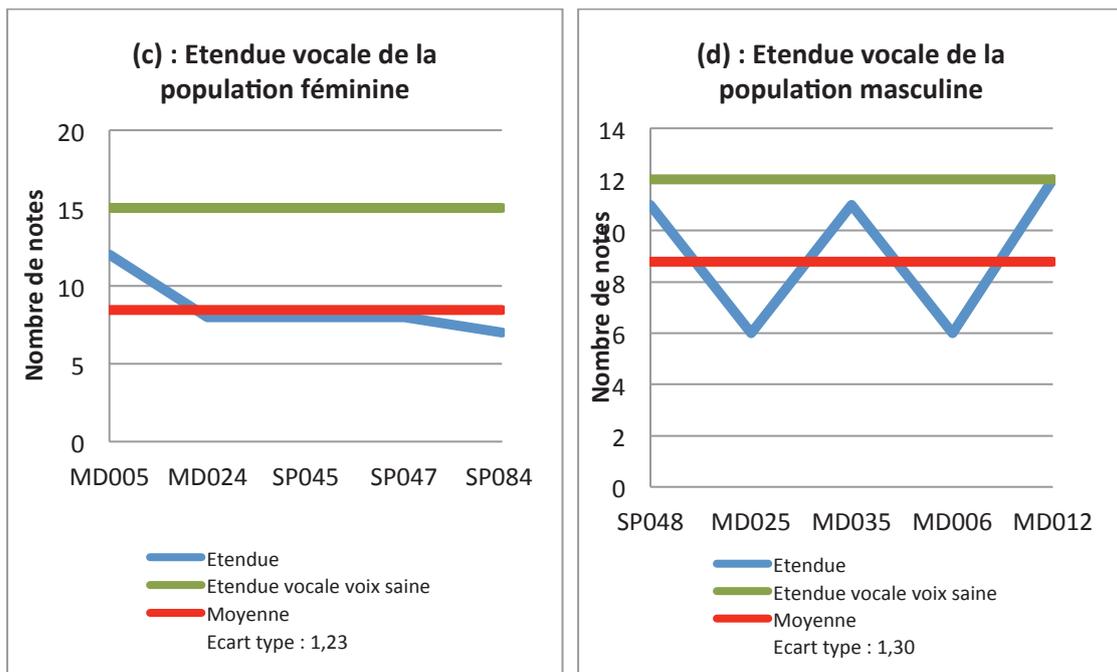
a. Fréquence fondamentale



(a) : La fréquence fondamentale féminine moyenne est 180 Hz. On mesure 150 Hz pour la valeur minimum et 198 Hz pour la valeur maximum.

(b) : La population masculine a une fréquence fondamentale moyenne de 164,26 Hz. La fréquence la plus basse est de 132 Hz tandis que la plus élevée est 274 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : L'étendue vocale de la population féminine est comprise entre 7 et 12 notes, pour une moyenne de 8,45 notes.

(d) : Les hommes ont une étendue vocale moyenne de 8,78 notes. L'étendue vocale minimum est de 6 notes alors que l'étendue vocale maximum s'élève à 12 notes.

2.8.3. Interprétation

Dans la paralysie récurrentielle, les cinq indicateurs sont dans la zone de pathologie. L'atteinte du nerf récurrent provoque l'immobilité totale ou partielle d'une corde vocale, le plus souvent en position d'abduction. De ce fait une béance glottique est présente au repos comme en phonation, laissant échapper de l'air en permanence : la voix est très soufflée, et cela est mesurée par l'indicateur « bruit » qui est le plus atteint. Par conséquent, le temps maximal de phonation est largement diminué. Le timbre est voilé, pauvre, et des accidents vibratoires donnent une impression auditive de bitonalité. Voilà qui explique pourquoi les indicateurs « pauvreté en harmoniques » et « instabilité de la hauteur » sont au delà de la limite de pathologie. L'instabilité en amplitude se justifie par le défaut d'accolement des cordes vocales. Le patient se trouve en difficulté pour projeter sa voix. S'il fait des efforts et pousse sur sa voix, cela n'aura pour conséquence qu'une augmentation de la déperdition de souffle et l'apparition de la bitonalité. Enfin, l'attaque est également altérée, en étant soufflée à cause de la fuite glottique, ou bitonale.

La fréquence fondamentale est sujette à des modifications : d'après la littérature, les femmes verraient leur hauteur tonale diminuée, tandis que celle des hommes serait supérieure à la moyenne. Nos analyses vont en ce sens puisque nous constatons chez les femmes une diminution moyenne de 28 Hz (l'ensemble des sujets testés se trouvent en dessous de la norme) alors que la fréquence fondamentale des hommes est augmentée en moyenne de 41 Hz (les 5 hommes testés se situent tous au dessus de la norme).

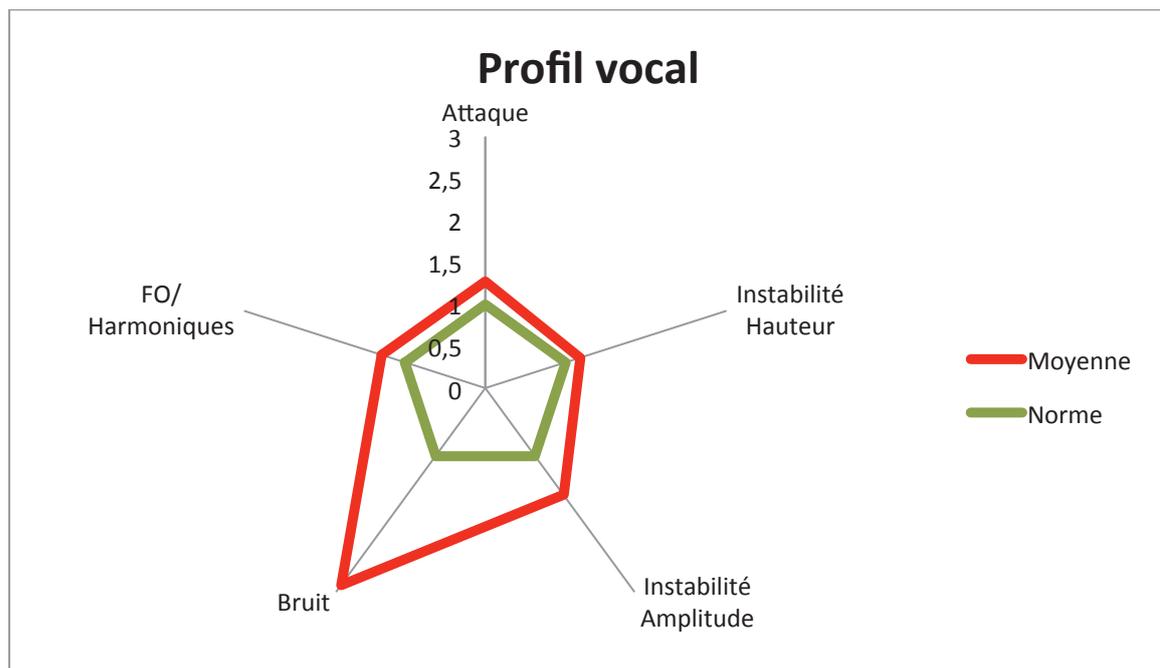
En ce qui concerne l'étendue vocale, elle est diminuée chez les hommes comme chez les femmes. La population féminine a une étendue vocale moyenne de 8,45 notes au lieu de 15. Les 5 participantes ont toutes une diminution de leur étendue d'au moins 3 notes. Les résultats sont plus disparates chez les hommes, bien qu'on observe une perte moyenne de 3,22 notes. Deux hommes ont une étendue vocale de 6 notes (au lieu de 12) alors que les

3 autres se rapprochent de l'étendue vocale d'une voix saine (respectivement 11, 11 et 12 notes).

2.9. Lésion du nerf laryngé supérieur

« Mon timbre est éteint », « ma voix est grave », « je ne peux pas parler fort »...

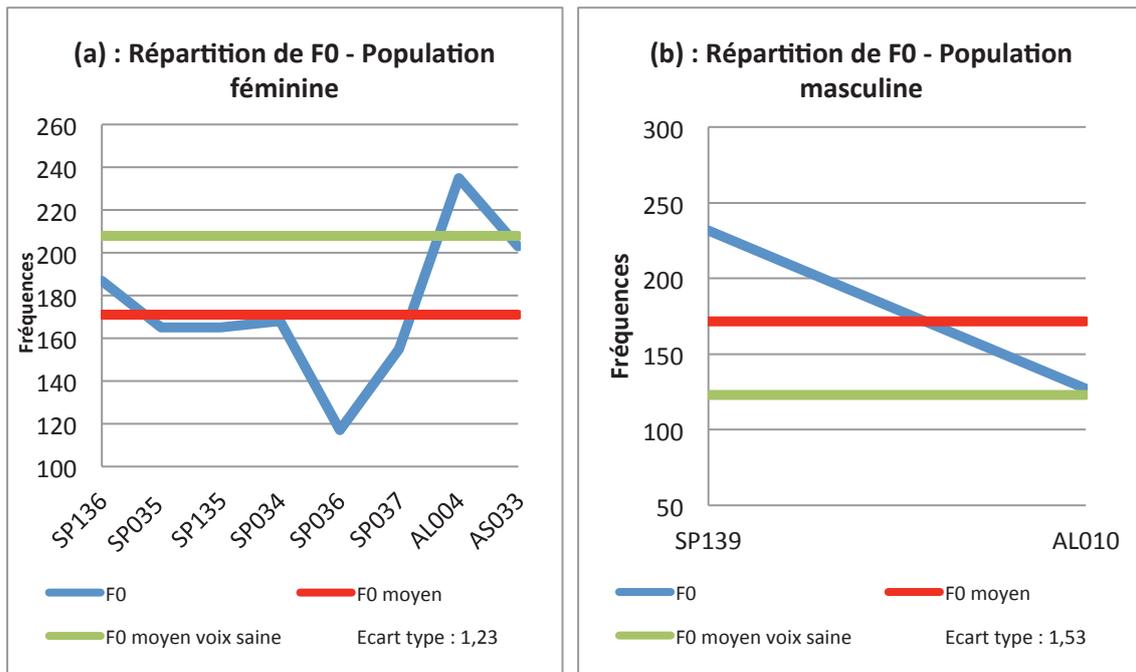
2.9.1. Profil vocal



La lésion du nerf laryngé supérieur est une pathologie qui dans notre étude intéresse 2 hommes (âge moyen : 60,25 ans) et 8 femmes (âge moyen : 60 ans). Le profil vocal synthétisant les résultats montre que le paramètre le plus atteint est le bruit (2,90). L'indicateur le moins altéré est l'instabilité en hauteur (1,18) bien qu'il soit au delà de la limite de pathologie.

2.9.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

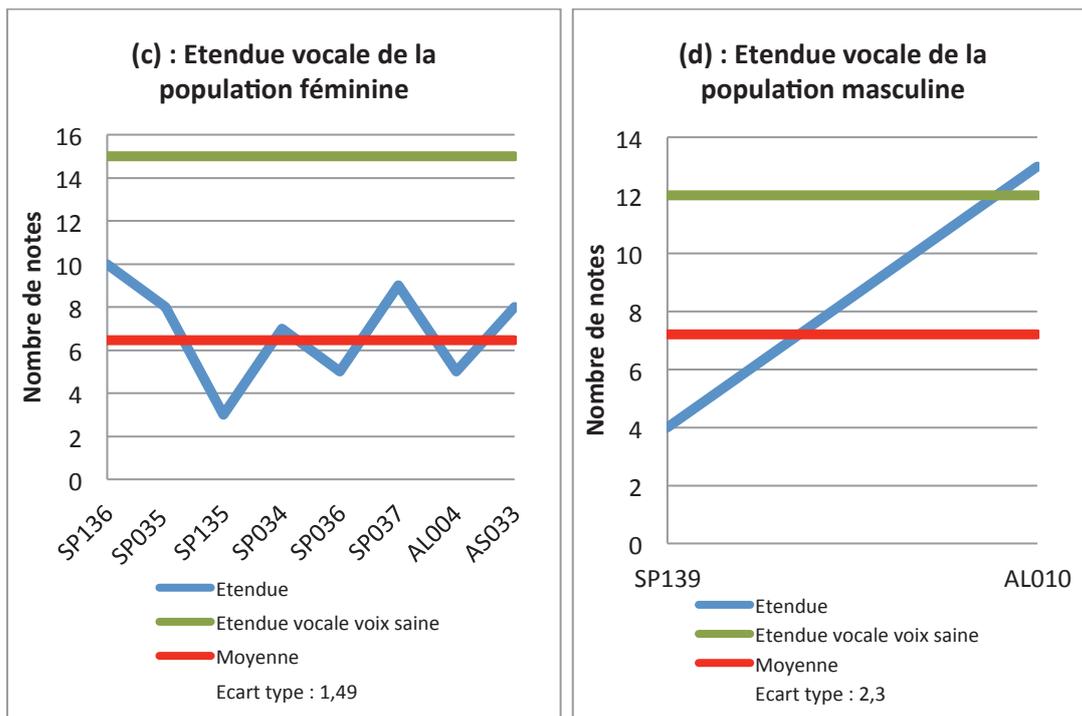
a. Fréquence fondamentale



(a) : La fréquence fondamentale moyenne pour les 8 femmes est de 171 Hz. Les mesures varient de 117 Hz à 235 Hz.

(b) : Chez les hommes la fréquence fondamentale moyenne est de 171,65 Hz. Les deux seules mesures constituent le maximum (232 Hz) et le minimum (127 Hz).

b. Etendue vocale



(c) : L'étendue vocale de la population féminine est comprise entre 3 et 10 notes, pour une moyenne de 6,46 notes.

(d) : On mesure chez les hommes une étendue vocale moyenne de 7,21 notes, grâce aux deux valeurs obtenues (4 et 13 notes).

2.9.3. Interprétation

La lésion du nerf laryngé supérieur provoque une altération de tous les paramètres de la voix : les 5 indicateurs sont dans la zone de pathologie, et le plus atteint est l'indicateur « bruit ». Dans cette pathologie, le pli vocal atteint a une vibration irrégulière et retardée en phonation, et la tension des deux cordes vocales est différente, d'où le chiffre pathologique donné par l'indicateur « instabilité en hauteur ». Cela entraîne des difficultés dans le contrôle de la hauteur. L'indicateur « bruit » rend compte d'une instabilité due au niveau de tension cordale qu'entretient le muscle crico thyroïdien. Le timbre est voilé, enroué, sans couleur, pauvre et éteint (l'indicateur de pauvreté en harmonique s'élève en effet à 1,29). La mélodie de la voix tend à disparaître. L'intensité est altérée dans le sens où la puissance vocale est perdue, et le patient éprouve une grande fatigabilité vocale. Le patient développe une compensation par serrage supra glottique qui vient renforcer le caractère étouffé du timbre. Enfin, l'attaque est elle aussi altérée : instable dans certains cas, ou dure si un mécanisme hyperkinétique de compensation a été établi.

Le nerf laryngé supérieur ayant un rôle moteur dans l'allongement des plis vocaux, et donc dans la réalisation des aigus, la fréquence fondamentale de la voix devrait être aggravée. C'est le cas chez les femmes de notre étude : on mesure une aggravation moyenne de 37 Hz. Six femmes (sur les huit testées) ont une aggravation du fondamental, une voit sa hauteur augmentée de 27 Hz ; la dernière quant à elle se situe dans la normale. Chez les hommes, les résultats obtenus ne sont pas cohérents avec ce qui est attendu puisqu'on note une augmentation moyenne de 48 Hz. Cependant seuls deux hommes ont été testés, ce qui nous amène à ne pas considérer comme fiable le résultat pour cette partie de la population.

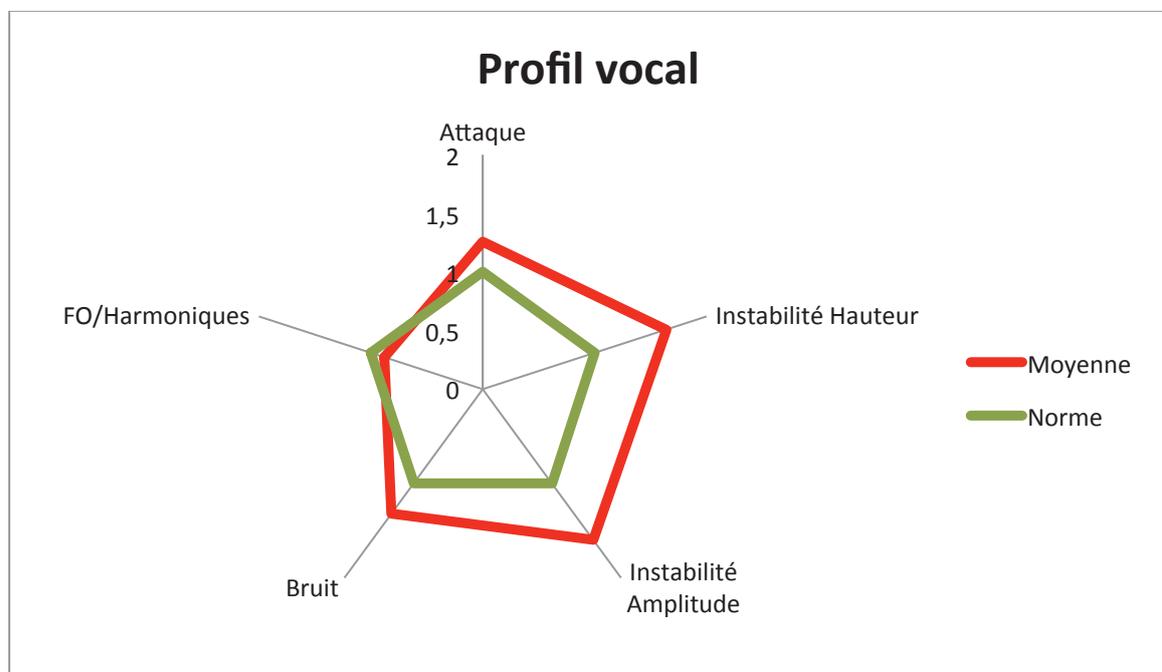
La lésion du nerf laryngé supérieur provoquant une perte des aigus et donc du mécanisme II, l'étendue vocale est amenée à être restreinte. Nous constatons ce phénomène sur 9 des

10 personnes testées. Toutes les femmes voient leur étendue plafonnée en moyenne à 6 notes (diminution moyenne de 8,54 notes). La diminution est moindre chez les hommes : perte de 5 notes en moyenne. Un des hommes testés conserve une étendue vocale normale, et même au delà de la normale puisqu'elle est de 13 notes.

2.10. Dysphonie post thyroïdectomie

« Ma voix est cassée », « je dois forcer pour produire du son », « ma voix ne porte pas », « j'ai l'impression d'avoir un corps étranger dans la gorge »...

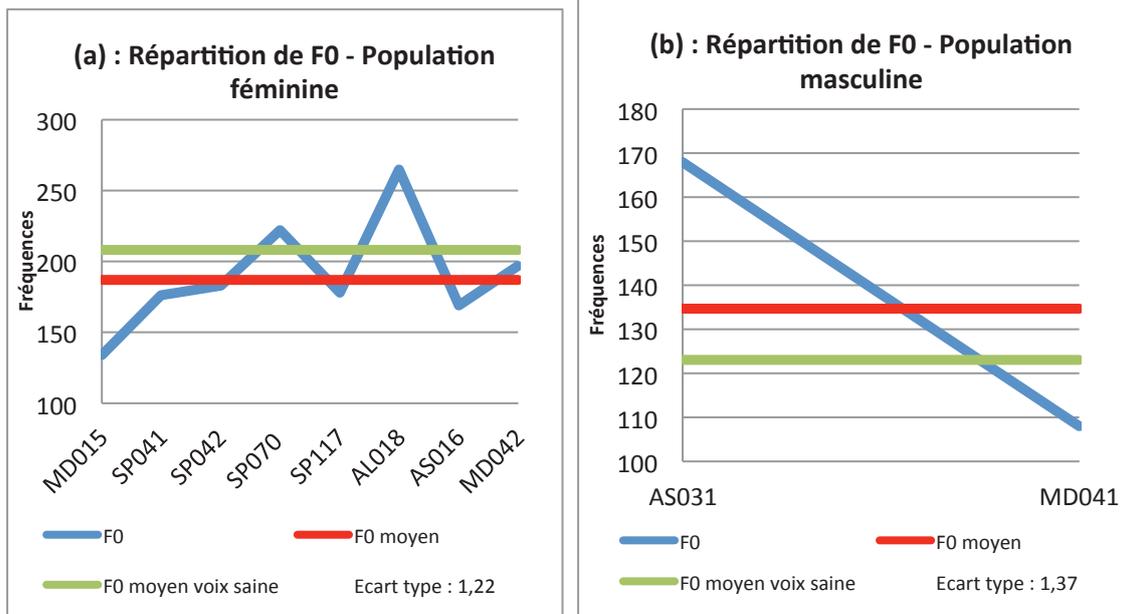
2.10.1. Profil vocal



Pour cette pathologie notre échantillon se compose de 2 hommes (62,79 ans d'âge moyen) et 8 femmes (50 ans d'âge moyen). Le profil vocal met en évidence que l'indicateur le plus pathologique est l'instabilité en hauteur (1,64), et que la pauvreté en harmoniques est l'indicateur le moins atteint (0,88).

2.10.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

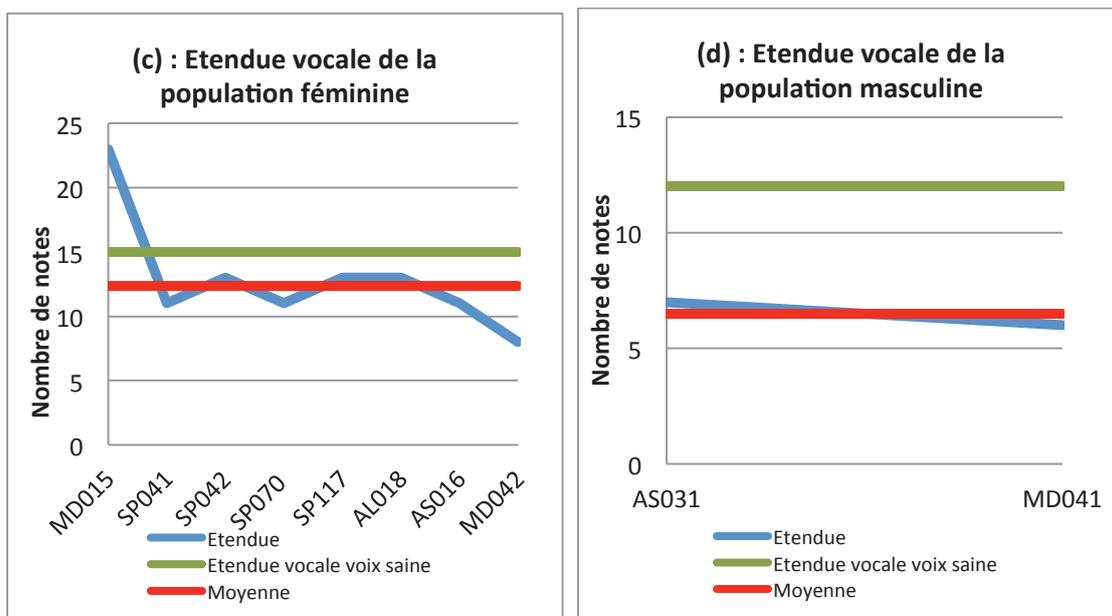
a. Fréquence fondamentale



(a) : On mesure une fréquence fondamentale moyenne de 187 Hz chez les femmes. Les valeurs se répartissent entre 134 Hz et 265 Hz.

(b) : Chez la population masculine la fréquence fondamentale moyenne est de 134,7 Hz, pour des mesures comprises entre 168 Hz et 108 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : On mesure une étendue vocale féminine allant de 8 à 23 notes, pour une moyenne de 12,34 notes.

(d) : Les deux hommes qui constituent notre échantillon masculin ont une étendue vocale moyenne de 6,46 notes (pour chaque sujet on note respectivement 6 et 7 notes).

2.10.3. Interprétation

Après une thyroïdectomie il arrive que des troubles vocaux apparaissent. Nous ne parlerons pas d'une éventuelle lésion du nerf récurrent ou du nerf laryngé supérieur, que nous avons traitées précédemment. Ici, le profil vocal montre que 4 des 5 indicateurs ont franchi la limite de pathologie : l'attaque, l'instabilité en hauteur, en amplitude, et le bruit. Le patient est souvent en situation d'asthénie globale (corporelle, vocale) ce qui entrave la puissance vocale et appauvrit le timbre (perte des modulations). Les changements hormonaux induits par l'ablation de la glande thyroïde ont également un effet sur la voix, de même que les adhérences cicatricielles. Tous ces aspects expliquent que les indicateurs instabilité en hauteur et en amplitude soient élevés. L'indicateur « bruit » est la limite de pathologie car il mesure l'instabilité du vibrateur qui est ici présente. L'attaque elle aussi est altérée du fait de l'instabilité du vibrateur.

La littérature rapporte que la dysphonie post thyroïdectomie prédomine sur les sons aigus. Effectivement, la fréquence fondamentale de la population féminine est inférieure de 21 Hz en moyenne par rapport à la normale. Sur les 8 femmes enregistrées, 2 ont une fréquence fondamentale supérieure à la norme (respectivement 222 Hz et 265 Hz). Chez les hommes en revanche on observe une augmentation moyenne de 11,7 Hz de la fréquence fondamentale. Cependant la population masculine se l'élevant qu'à 2 personnes, ce résultat n'est pas à généraliser. Sur les deux sujets testés, l'un obtient une fréquence fondamentale de 168 Hz soit une hausse de 45 Hz par rapport à la fréquence fondamentale d'un sujet sain. Pour le second homme, on mesure une baisse de 15 Hz par rapport à la normale. La diminution attendue de la fréquence fondamentale peut être mise en lien avec la présence d'adhérences au niveau de la cicatrice, qui gênent l'ascension du larynx.

L'étendue vocale est réduite, chez les hommes comme chez les femmes, ce qui est cohérent avec ce que rapporte les auteurs. En moyenne, les femmes ont une restriction de leur étendue vocale de l'ordre de 3 notes. Pour un cas seulement on mesure une étendue vocale supérieure à la normale (8 notes de plus). Les hommes quant à eux ont une

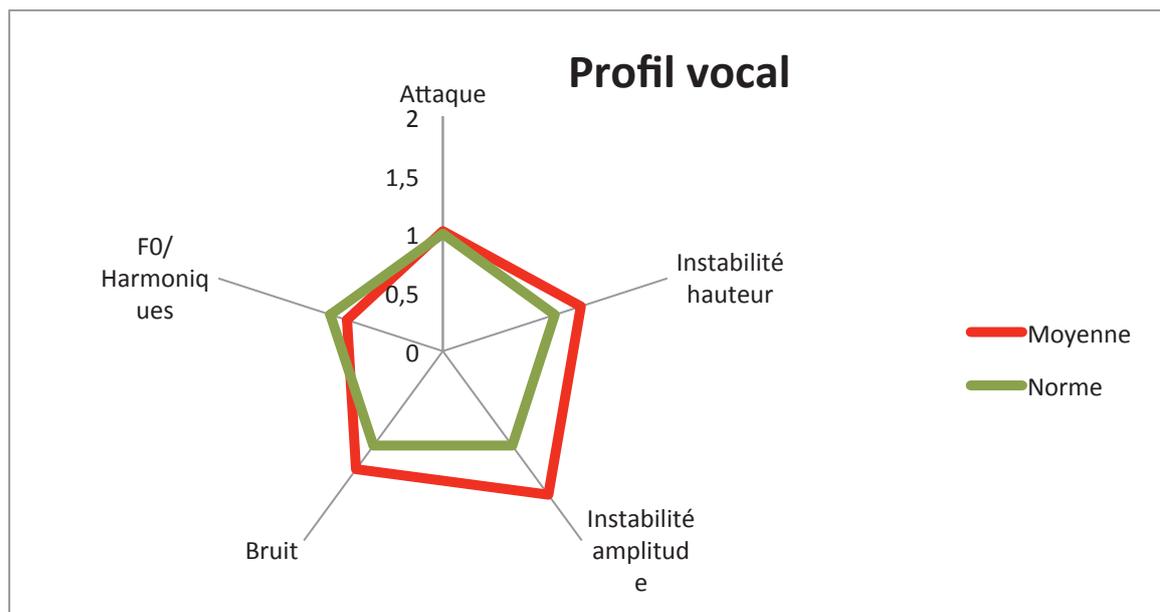
étendue vocale réduite en moyenne de 5,6 notes (les deux sujets ont un pincement de leur étendue : respectivement 6 et 7 notes).

2.11. Maladie de Parkinson

« On ne m'entend pas », « ma voix est monotone », « ma voix est voilée », « je m'essouffle quand je parle »...

La difficulté de réaliser un profil vocal objectif dans les maladies neuro dégénératives s'illustre dans l'évolution des symptômes et des signes cliniques selon le stade de la maladie : variation de la fréquence fondamentale, de l'étendue vocale, caractère tremblé de la voix qui augmente l'instabilité en amplitude et en hauteur. Ici les patients qui ont été enregistrés ont des stades d'évolution de la maladie différents ; de la même manière la date de début de la maladie n'est pas la même. Néanmoins, nous avons choisi de construire un unique profil, car les troubles vocaux apparaissent tôt dans la maladie de Parkinson. La différenciation par stade de la maladie ne nous a pas paru pertinente car il existe une dissociation entre les troubles moteurs et les troubles vocaux. Le profil réalisé rend ainsi compte des troubles vocaux généraux qu'on retrouve dans la maladie de Parkinson. Selon l'évolution du patient, ils seront alors plus ou moins marqués.

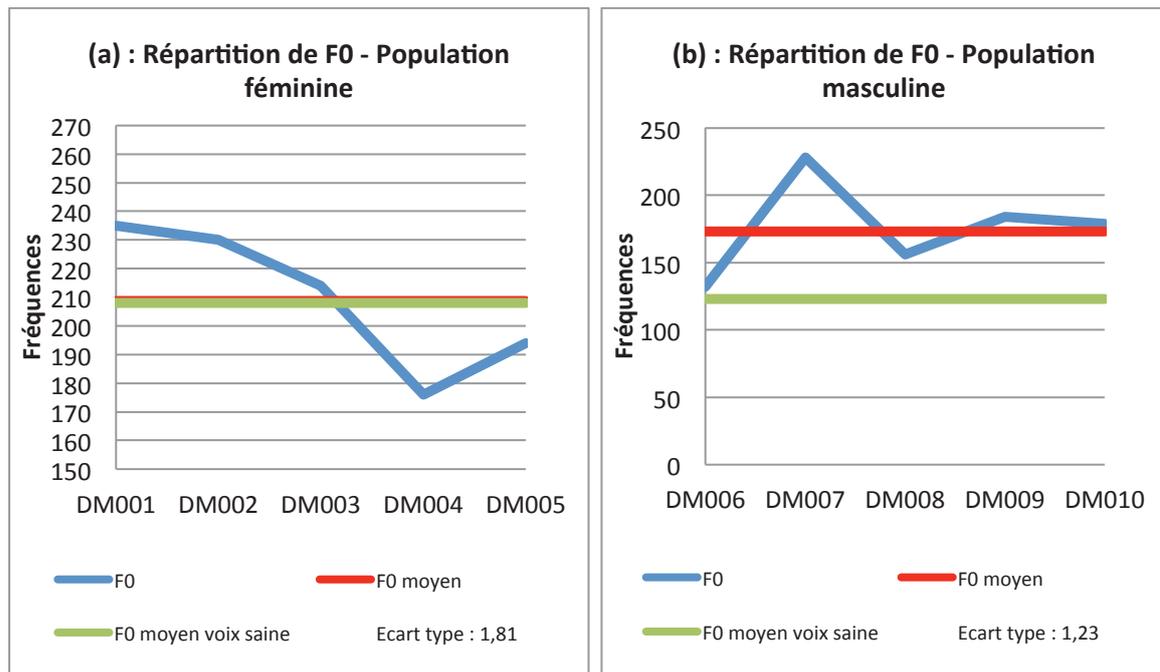
2.11.1. Profil vocal



10 patients atteints de la maladie de Parkinson ont été enregistrés pour participer à notre étude : 5 femmes (73,53 ans d'âge moyen) et 5 hommes (71,90 ans d'âge moyen). L'indicateur le plus pathologique est l'instabilité en amplitude (1,52). Le seul indicateur sain est la pauvreté en harmoniques (0,85).

2.11.2. Fréquence fondamentale et étendue vocale

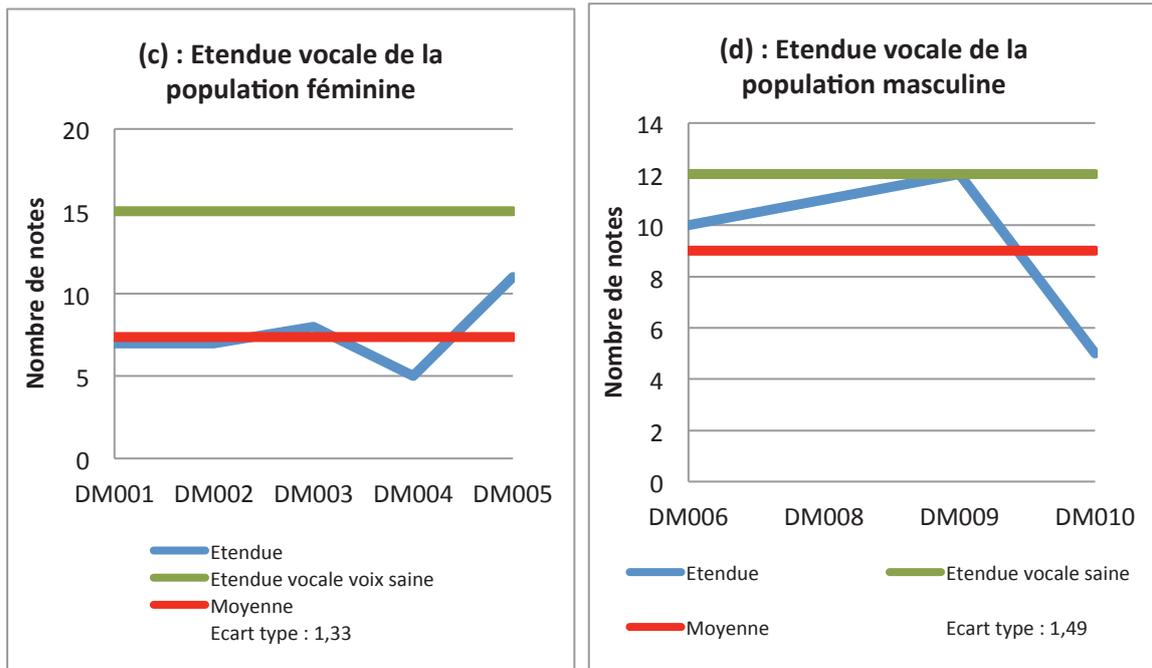
a. Fréquence fondamentale



(a) : La fréquence fondamentale de 5 femmes a été mesurée, pour une moyenne de 208,6 Hz. Les fréquences extrêmes sont de l'ordre de 235 Hz et 176 Hz.

(b) : La fréquence fondamentale moyenne des hommes est de 172,93 Hz, le maximum étant de 228 Hz.

b. Etendue vocale



(c) : Les femmes ont une étendue vocale de 7,36 notes en moyenne. Les mesures sont comprises entre 5 et 11 notes.

(d) : 4 hommes ont émis une sirène : l'étendue vocale moyenne est de 9,01 notes. La plus grande étendue vocale s'élève à 12 notes ; la plus faible, à 5 notes.

2.11.3. Interprétation

Le profil vocal des patients parkinsoniens montre qu'un seul paramètre (pauvreté en harmoniques) ne se situe pas dans la zone de pathologie. L'indicateur le plus altéré est l'instabilité en amplitude. Dans la maladie de Parkinson, la pression sous glottique est faible, à cause du défaut d'accolement des cordes vocales et de la diminution des volumes d'air expirés. Ceci explique l'hypophonie, qui est une plainte fréquente des patients, surtout dans les stades débutant et avancé de la maladie. L'intensité est faible, mais elle est aussi instable : la vibration est irrégulière, en amplitude comme en fréquence. Ceci est lié à l'irrégularité de la contraction du muscle vocal, ou au serrage compensatoire des bandes ventriculaires mis en place pour pallier le défaut d'accolement des cordes vocales. Du fait de la vibration irrégulière, il est normal de retrouver un indicateur « instabilité en hauteur » altéré (1,23). Le défaut d'accolement des cordes vocales, ajouté à l'instabilité du vibreur laryngé, donne une sensation auditive de « bruit » à la voix, que l'indicateur « bruit » mesure ici à 1,25. L'attaque quant à elle est soit dure à cause de l'hypertonie

compensatoire, soit accompagnée d'une composante de souffle. Le timbre de la voix, compte tenu des phénomènes physiopathologiques présents, devrait être voilé, éraillé, soufflé. Un tremblement vocal, voire un chevrottement apparaît au stade avancé de la maladie. Il est étonnant que l'indicateur de pauvreté en harmoniques se situe dans la zone de normalité. La dysphonie s'accompagne d'une dysarthrie, avec une réduction de l'amplitude articulatoire, des crispations, des imprécisions articulatoires, une tachyphémie (accélération du débit). La respiration n'est pas adaptée : la coordination pneumo phonique est mauvaise, avec des pauses anarchiques ou inexistantes.

L'analyse de la fréquence fondamentale chez le patient parkinsonien a donné lieu à de nombreuses études. Les conclusions mettent en évidence que la variation de la fréquence fondamentale est différente selon le sexe. On observerait une augmentation de celle ci chez les hommes, mais aucun résultat probant n'a été mis en avant chez les femmes. L'augmentation de la fréquence fondamentale serait d'autant plus élevée que le stade de la maladie serait avancé. L'augmentation de la fréquence fondamentale des hommes peut être expliqué par un phénomène physique sous jacent : pour compenser l'hypophonie, les cordes vocales s'étirent davantage que nécessaire, ce qui augmente l'accolement cordal et par conséquent la pression sous glottique. Cela permet une production sonore à intensité satisfaisante, mais la hauteur s'en trouve augmentée. Les conclusions de nos analyses retrouvent celles de la littérature : la fréquence fondamentale des femmes est dans la moyenne. Sur les 5 femmes testées, 2 ont une fréquence fondamentale inférieure à la norme, alors que 3 se situent au dessus de la norme. Chez les hommes on observe une augmentation moyenne de 49 Hz. La fréquence fondamentale de tous les hommes est au dessus de la moyenne normale. Il est néanmoins nécessaire de tempérer les résultats, en sachant que l'augmentation de la fréquence fondamentale peut également être liée à l'âge, à la durée d'évolution de la maladie ou aux stratégies compensatoires mises en place.

La littérature rapporte une diminution de l'étendue vocale, chez les femmes (perte des aigus) comme chez les hommes (perte des graves). La cause résiderait dans l'augmentation de la rigidité du muscle crico thyroïdien (qui étire la corde vocale), ou la co contraction du muscle vocal (qui raccourcit et arrondit la corde vocale) et du muscle crico thyroïdien. Dans nos analyses, nous mesurons une étendue vocale féminine moyenne de 7,36 notes, soit 7,64 notes de moins que la normale. Les résultats individuels sont homogènes puisque toutes les femmes voient leur étendue vocale réduite. Il en est de

même chez la population masculine, où l'étendue vocale est diminuée de 3 notes en moyenne. Sur les 4 hommes enregistrés, seul 1 homme a une étendue vocale normale.

3. Synthèse des résultats

Ici nous présentons un résumé des résultats obtenus pour chaque pathologie. Les incohérences des résultats obtenus par rapport aux résultats attendus seront présentées en *italique*. Nous expliquerons les causes éventuelles de ces incohérences.

a. Dysphonie dysfonctionnelle

La fréquence fondamentale est augmentée chez les femmes et diminuée chez les hommes. L'intensité est instable, et l'attaque est dure. Le timbre est altéré à cause de l'instabilité du vibrateur. L'étendue vocale est diminuée chez les femmes, *normale chez les hommes*.

Explication : La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale peut expliquer le fait que l'étendue vocale des hommes soit normale.

b. Fuite glottique

On relève une augmentation de la fréquence fondamentale. L'intensité est instable. Le timbre est soufflé. *L'étendue vocale est normale pour les femmes, et supérieure à la norme pour les hommes*.

Explication : La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale peut expliquer les résultats obtenus. Notons que bien que la moyenne soit normale ou supérieure à la norme, les résultats ne sont pas homogènes à l'intérieur des groupes.

c. Nodules

La fréquence fondamentale est réduite chez les femmes et *augmentée chez les hommes*. L'intensité est instable. On note une altération du timbre de la voix : timbre rauque, sensation de bruit, bitonalité. L'étendue vocale est réduite pour les femmes mais *augmentée chez les hommes*.

Explication : La population est trop restreinte dans le groupe des hommes pour pouvoir tirer des résultats significatifs (ex : F0 et étendue). Les résultats de l'étendue vocale peuvent s'expliquer par la variabilité inter individuelle, par l'éducation vocale initiale et par le matériel phonétique choisi : le /a/ est moins significatif que la voix conversationnelle ou le texte lu.

d. Kystes

La fréquence fondamentale est diminuée. L'intensité est altérée (augmentation avec désonorisations) ; tout comme le timbre (bruit provenant de la fuite et de l'instabilité du vibreur). On note une *légère augmentation de l'étendue vocale*.

Explication : Le résultat de l'étendue vocale peut s'expliquer par un déplacement des possibilités vocales, et les possibilités vocales propres à chacun.

e. Pseudomyxome

La fréquence fondamentale est diminuée. L'intensité est instable. Le timbre est altéré (voilé, éraillé, bitonal, rauque). On observe une restriction de l'étendue vocale.

f. Presbyphonie

On observe une variation de la fréquence fondamentale : diminuée chez les femmes, augmentée chez les hommes. Le timbre est appauvri (voilé, soufflé, sans couleur, tremblé, rauque). L'étendue vocale est réduite chez les femmes et *augmentée chez les hommes*.

Explication : La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale et l'éducation vocale initiale des patients peuvent expliquer les résultats obtenus.

g. Dysphonie infantile

La fréquence fondamentale est *globalement* abaissée (les résultats diffèrent car les âges étant différents, les normes de fréquence fondamentale sont également différentes). L'intensité est altérée (élevée et instable). Les indicateurs ne reflètent *pas d'appauvrissement du timbre* mais la présence d'un caractère rauque, à mettre en relation

avec l'instabilité en hauteur. L'étendue vocale est *augmentée chez les filles* et diminuée chez les garçons.

Explication : Les résultats sont hétérogènes dans les populations pour F0 et l'étendue vocale : capacités vocales particulières propres à chacun et choix du matériel phonétique peuvent être en cause. De plus, on peut réfléchir à un possible déraillement de l'indicateur « pauvreté en harmoniques » qui sous évalue les échantillons et ne mesure pas d'appauvrissement du timbre.

h. Paralyse récurrentielle

La fréquence fondamentale est diminuée chez les femmes et augmentée chez les hommes. On note une altération de l'intensité qui est instable. Le timbre est soufflé, pauvre, bitonal, rauque. L'étendue vocale est réduite pour l'ensemble de la population.

i. Paralyse du nerf laryngé supérieur

La fréquence fondamentale est diminuée chez les femmes mais *augmentée chez les hommes*. On note une altération de l'intensité. Le timbre est soufflé, enroué, pauvre. L'étendue vocale est réduite. Un comportement hyperkinétique semble être mis en place et se visualise par l'altération de l'attaque.

Explication : La population masculine est trop restreinte (2 cas) pour avoir des résultats significatifs. De plus le choix du matériel phonétique pour la mesure de F0 montre ses limites : le /a/ est moins représentatif que le texte lu ou la voix conversationnelle.

j. Dysphonie parkinsonienne

La fréquence fondamentale est normale chez les femmes mais augmentée chez les hommes. L'intensité est faible et instable. Le timbre est voilé et éraillé. L'étendue vocale est diminuée.

k. Dysphonie post thyroïdectomie.

La fréquence fondamentale est diminuée chez les femmes mais *augmentée chez les hommes*. L'intensité est altérée et instable. Le timbre est pauvre. L'étendue vocale est réduite.

Explication : La population masculine est trop restreinte (2 cas) pour conclure à des résultats significatifs. Le choix du matériel phonétique (/a/) pour la mesure de F0 est également à remettre en cause.

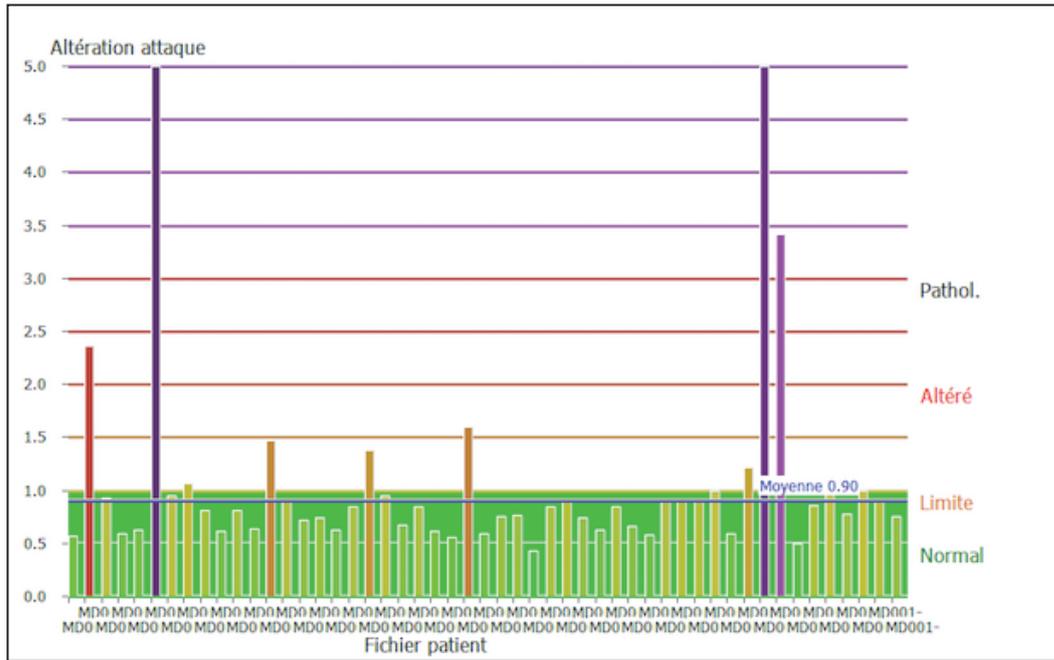
V. Etude de la variabilité des indicateurs

Nous avons souhaité étudier la variabilité des indicateurs de pathologie sur une seule voix (saine) au cours du temps afin de mettre en avant des hypothétiques limites quant à la fiabilité des chiffres. Nous avons donc enregistré notre propre voix chaque semaine, au même moment, pendant un an. Nous avons également enregistré, selon le même protocole, une voix saine masculine. Nous avons ensuite analysé ces enregistrements avec les 5 indicateurs de pathologie du logiciel VOCALAB.

	Voix féminine	Voix masculine
Age	20	22
Pathologie : codage selon la nomenclature de Verdolini	0000 : voix normale	0000 : voix normale
Matériel phonétique utilisé	/a/ tenu	/a/ tenu
Nombre d'enregistrements exploitables	51	18

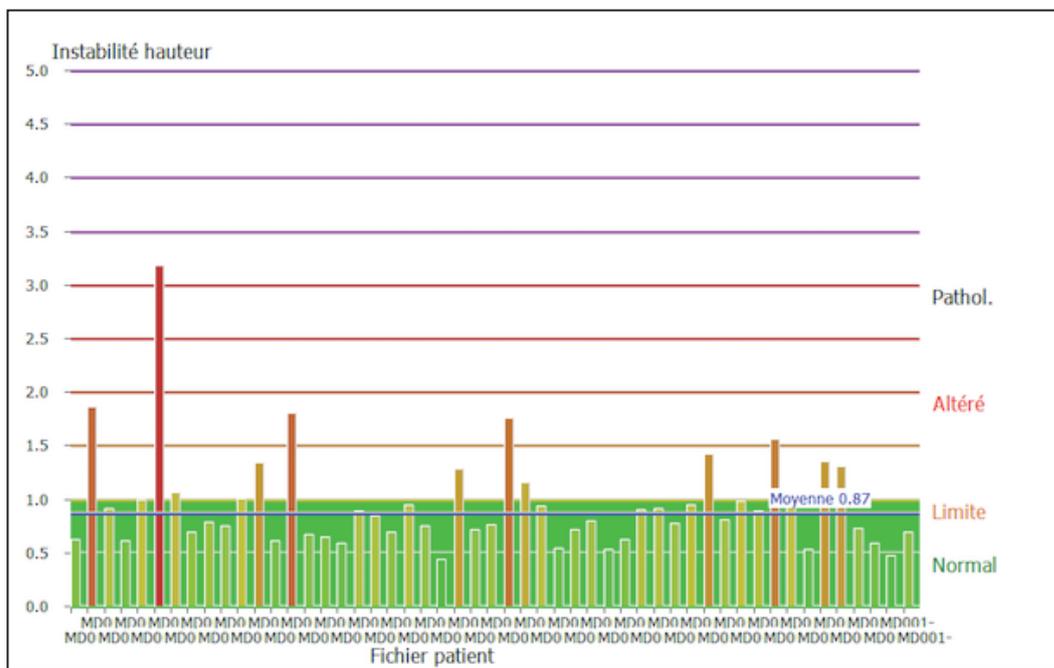
1. Variabilité des indicateurs : voix féminine

1.1. Attaque



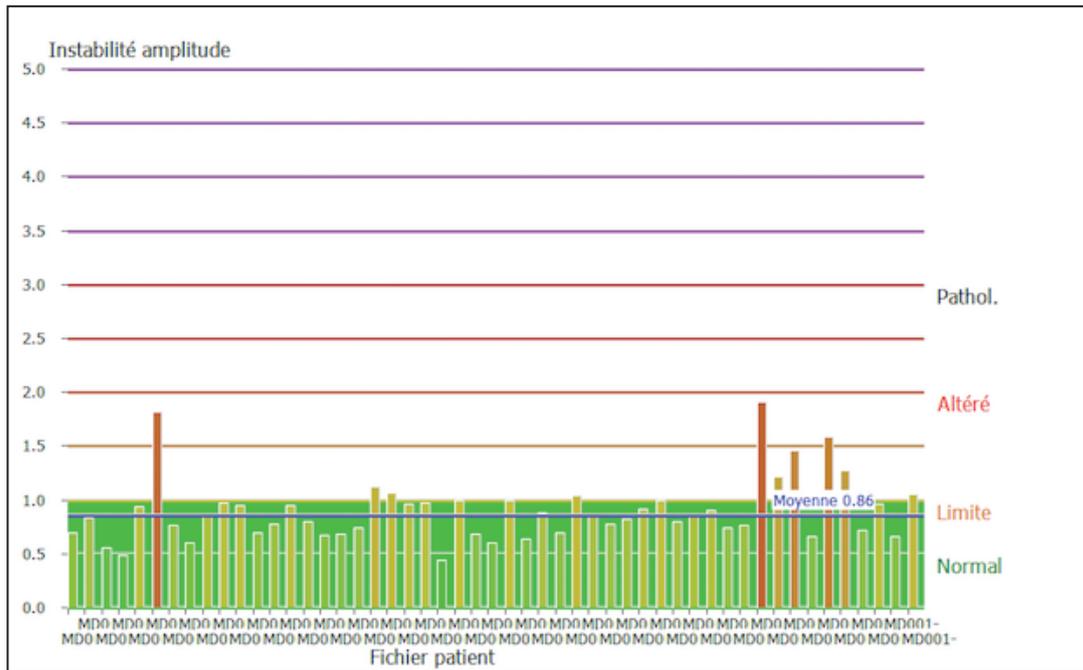
La moyenne géométrique de l'indicateur « attaque » est de 0,90. L'écart type lui est de 0,14.

1.2. Instabilité en hauteur



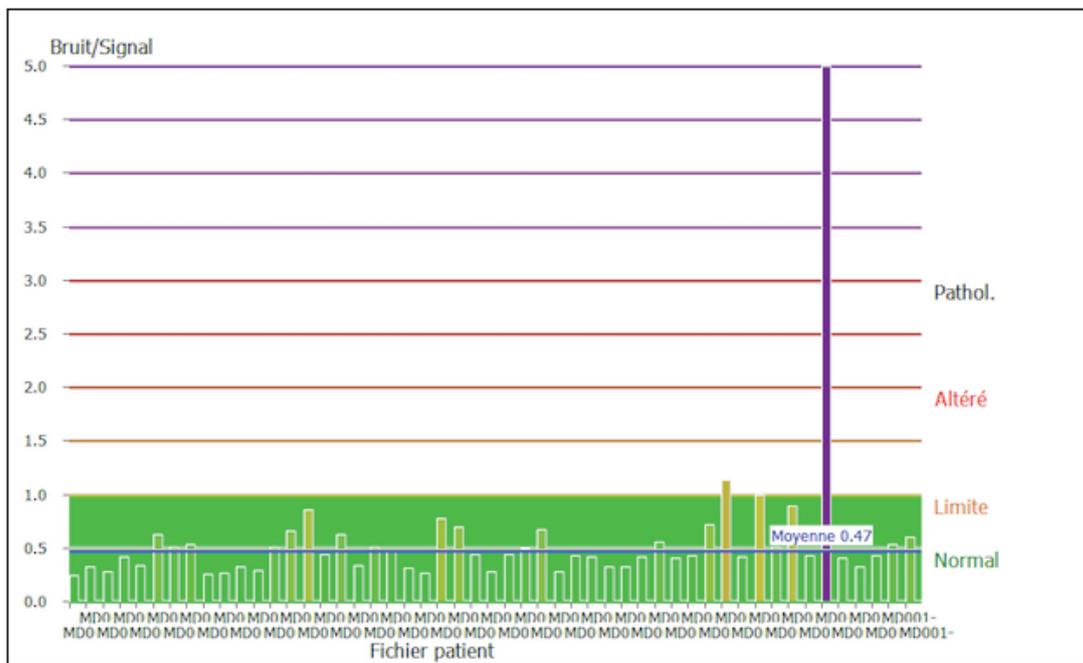
On mesure une moyenne de 0,87 et un écart type de 0,18 pour cet indicateur.

1.3. Instabilité en amplitude



Pour l'instabilité en amplitude, la moyenne est de 0,86 et l'écart type de 0,12.

1.4. Bruit



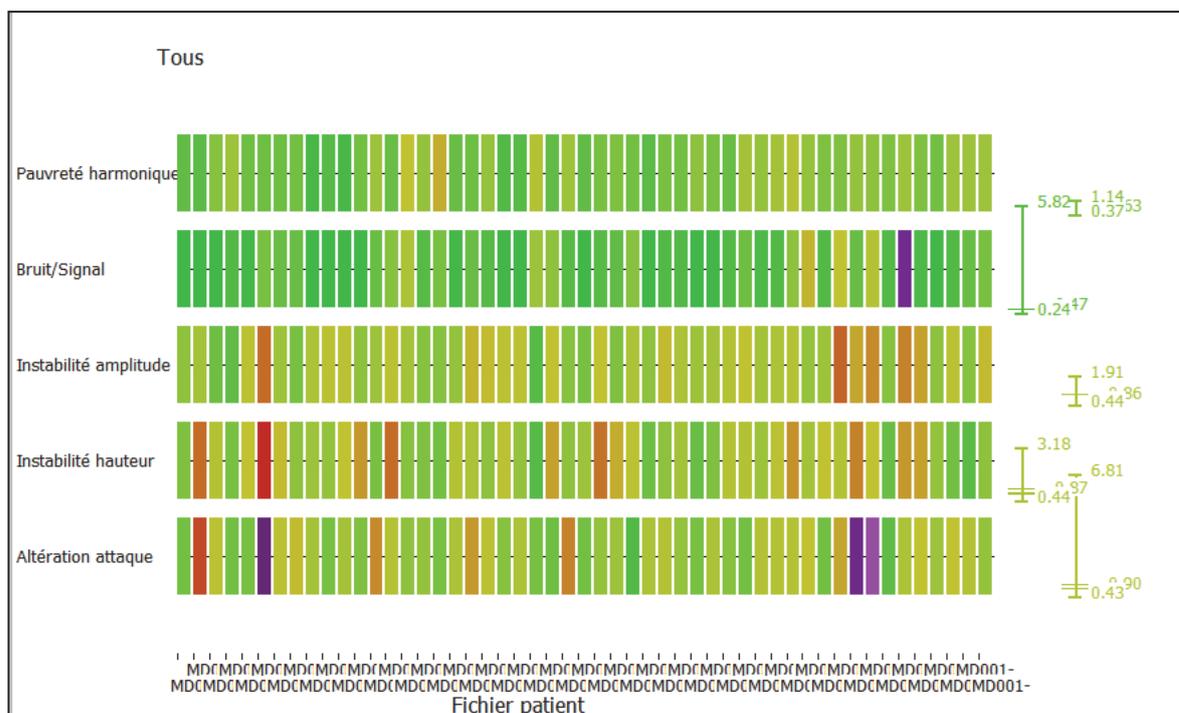
La moyenne géométrique de l'indicateur « bruit » pour les enregistrements est de 0,47. L'écart type s'élève à 0,11.

1.5. Pauvreté en harmoniques



Pour la pauvreté en harmoniques, on mesure une moyenne de 0,63 et un écart type de 0,08.

1.6. Mosaique finale



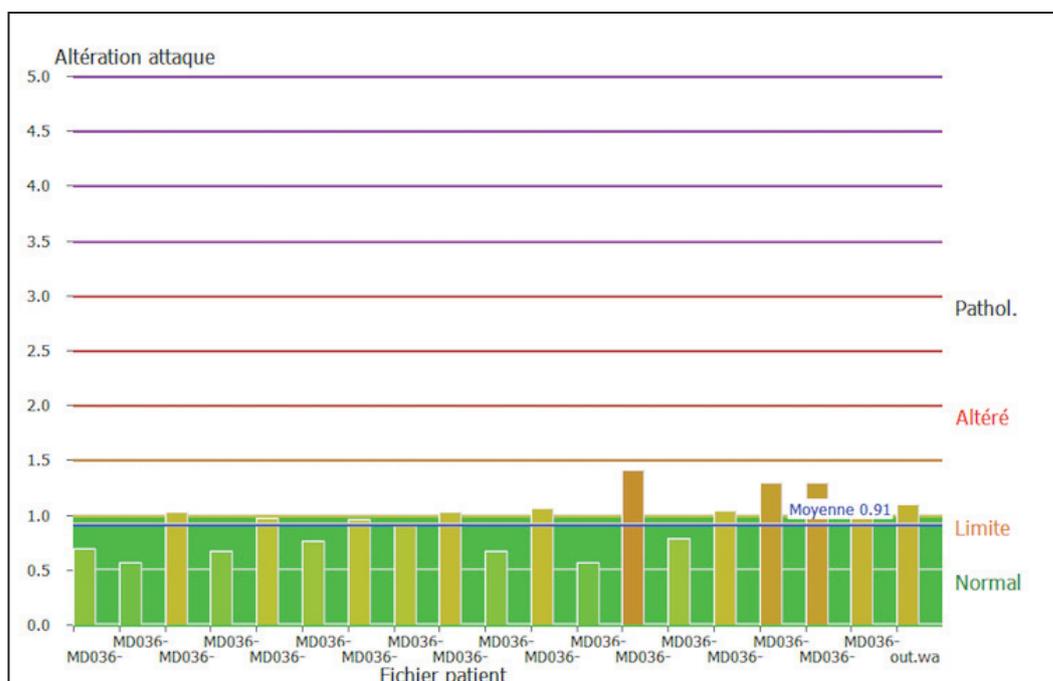
La mosaïque donne un aperçu global des analyses. Plus l'indicateur est dans la zone de normalité, plus il est vert. Au contraire, plus il se rapproche de la pathologie, plus il jaunit, devient orangé, rouge, et violet pour les cas les plus extrêmes.

1.7. Conclusion

Pour l'indicateur « attaque », 3 fichiers sont clairement pathologiques (supérieures à 3), et 4 autres sont au delà de la limite de normalité. L'indicateur a donc une variabilité importante. Il en est de même pour l'indicateur « instabilité en hauteur » : 11 fichiers ont une instabilité en hauteur supérieur à ce qui est attendu. La variabilité de l'indicateur « instabilité en amplitude » est peu importante, seuls 6 fichiers donnent une instabilité en amplitude comprise entre 0 et 1. Enfin les indicateurs « bruit » et « pauvreté en harmoniques » ont une faible variabilité, ce sont donc les indicateurs les plus stables. La variabilité des indicateurs est néanmoins à tempérer, car l'étude s'est déroulée sur un an et les paramètres de la voix peuvent être modifiés par l'état physique ou affectif du sujet.

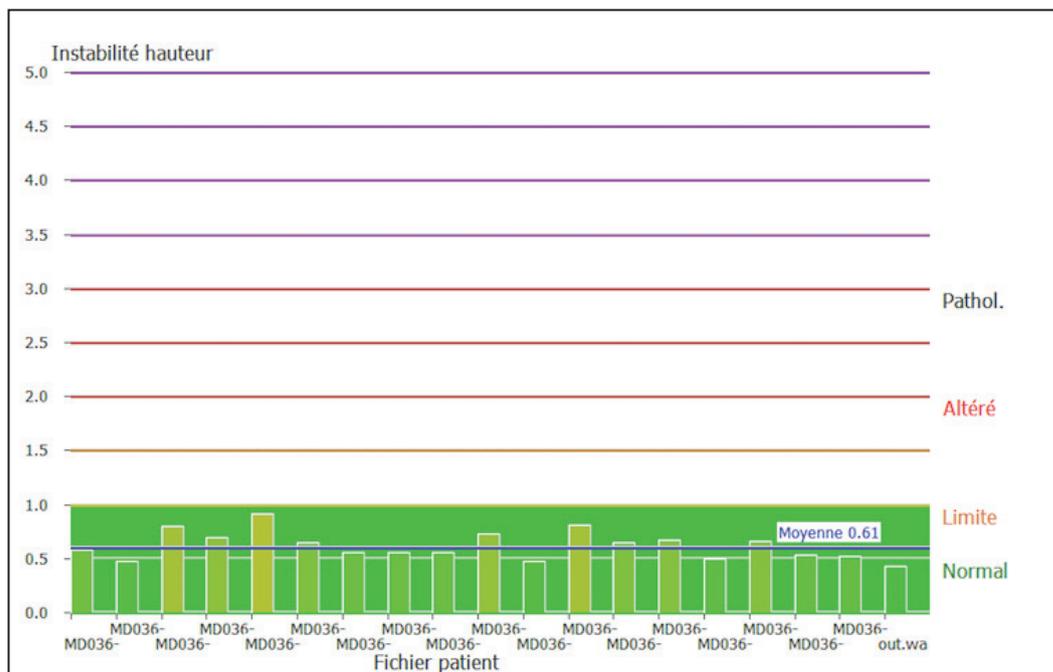
2. Variabilité des indicateurs : voix masculine

2.1. Attaque



La moyenne de l'indicateur « attaque » pour les 18 échantillons est de 0,91, l'écart type de 0,16. Quelques fichiers sont au delà du seuil de normalité, mais aucun ne dépasse 1,5. Cet indicateur est un peu variable.

2.2. Instabilité en hauteur



Pour l'instabilité en hauteur, la moyenne s'élève à 0,61 et l'écart type à 0,09. Cet indicateur est très stable pour ce cas de voix.

2.3. Instabilité en amplitude

La mosaïque reprend les résultats de chaque indicateur pour les 18 échantillons sonores et permet de donner une vue d'ensemble.

2.7. Conclusion

L'analyse de la voix du cas MD036 montre que l'indicateur le moins variable est l'instabilité en hauteur. La pauvreté en harmoniques au contraire est l'indicateur le plus variable. Les 3 autres indicateurs sont moyennement variables. Pour confirmer ces tendances il aurait été plus souhaitable d'avoir un nombre plus important d'échantillons à analyser, à l'instar du cas MD001 précédent.

En conclusion, après l'analyse des deux cas MD001 et MD036 nous avons pu nous rendre compte des indicateurs les plus variables et les moins variables. Pour la voix féminine, les indicateurs « pauvreté en harmoniques » et « bruit » sont les plus stables. Pour la voix masculine il s'agit de l'indicateur « instabilité en hauteur ». Les indicateurs les plus variables sont l'attaque et l'instabilité en hauteur pour la voix féminine, et la pauvreté en harmoniques pour la voix masculine. Cette variabilité des indicateurs, qui tend à renforcer la prise de recul vis à vis des chiffres, pourrait s'expliquer par des déraillements du logiciel lors des mesures, des affections ORL présentes chez la personne lors de l'enregistrement de la voix, ou encore la variation intra individuelle de la voix. En effet, l'état affectif du patient, la fatigue, le moment de la journée où a lieu l'enregistrement sont autant de facteurs ayant une influence sur la voix. Chez la femme, on peut rajouter le bouleversement hormonal qui produit un « syndrome prémenstruel » : fatigue vocale, aigus diminués, voix métallique.

Chapitre III
DISCUSSION

Atteinte des objectifs

L'objectif premier de notre mémoire était de construire des profils vocaux objectifs à l'aide des 5 indicateurs de VOCALAB, pour chacune des 11 pathologies sélectionnées. Notre but était d'une part de voir si des atteintes claires se dégagent pour chaque pathologie et d'autre part de confronter nos résultats avec les résultats attendus décrits dans la littérature ; afin d'objectiver la pertinence des indicateurs de mesure.

Suite à la construction et l'analyse des profils vocaux, nous pouvons dire que les résultats obtenus correspondent globalement à nos attentes. Dans la majorité des cas, les troubles mis en avant par les profils vocaux sont cohérents d'une part avec les troubles attendus décrits dans la littérature, et d'autre part avec les phénomènes anatomo-physiologiques sous jacents à chaque pathologie.

Néanmoins, dans certains cas, nos résultats ne sont pas en adéquation avec ce que nous attendions. Par exemple, nous ne pouvons pas généraliser les résultats obtenus pour la mesure de la fréquence fondamentale et l'étendue vocale masculines dans les pathologies « nodules », « paralysie du nerf laryngé supérieur », « dysphonie post thyroïdectomie ». Ces incohérences peuvent avoir plusieurs facteurs d'explication. Tout d'abord, la taille de l'échantillon de la population testée est à prendre en compte : si l'échantillon est trop restreint (1 ou 2 personnes) les résultats ne seront pas significatifs. D'autre part, les possibilités vocales particulières des individus (rappelons que l'étendue vocale est soumise à une variabilité inter individuelle) ainsi que le niveau d'éducation vocale initiale ont également une influence sur les mesures. En effet, si une personne a une bonne maîtrise de sa voix et des capacités vocales supérieures à la moyenne, il peut arriver que des résultats se situent dans la zone « normale », ne rendant compte d'aucun trouble ; or la personne avait auparavant des possibilités vocales bien plus étendues, donc le trouble est avéré. Il est donc pertinent de s'informer auprès du patient quant aux possibilités vocales et à l'utilisation antérieures de sa voix. Ensuite, ces résultats peuvent également s'expliquer par le fait que nous avons utilisé le /a/ tenu pour les mesures de la fréquence fondamentale et de l'étendue vocale, matériel phonétique qui est moins représentatif que la voix conversationnelle ou le texte lu pour la mesure de ces paramètres. Par ailleurs, les incohérences peuvent également provenir d'une défaillance de mesure par les indicateurs : par exemple l'indicateur « pauvreté en harmoniques » ne mesure aucune

altération pour la population de la dysphonie infantile (9 cas sur 10 sont jugés sains), alors que le timbre est altéré dans la grande majorité des cas et que le spectrogramme des voix des patients allait dans le sens d'un timbre pauvre (peu d'harmoniques). Cet indicateur paraît trop indulgent dans certains cas de voix. Enfin, il est nécessaire de souligner le fait que le geste vocal n'apparaît pas dans l'analyse objective, or il peut également expliquer ces résultats parfois inattendus : les stratégies de compensation éventuelles qu'un patient aura mis en place spontanément ne seront pas détectées par l'outil informatique. Les indicateurs mesureront donc la voix telle qu'elle est actuellement, avec les adaptations que le patient a fait, et cela peut biaiser certains résultats.

Pendant toute la durée de nos analyses nous avons rencontré divers problèmes liés aux échantillons sonores eux mêmes ou aux mesures, ce qui a donné lieu à des modifications et des adaptations du logiciel par E.SICARD afin de parfaire la fiabilité des indicateurs. Les difficultés rencontrées ont été les suivants :

- *échantillons inexploitable*s : Une voix trop abîmée ou un échantillon avec un signal insuffisamment clair donnent lieu à une mauvaise détection du fondamental de la voix et rendent ainsi impossible la mesure correcte des indicateurs par le logiciel. En effet, le calcul des indicateurs repose sur une détection correcte de F0. Dans certain cas il est possible grâce à des fonctionnalités du logiciel d'amplifier le signal pour obtenir une détection juste de la fréquence fondamentale. Pour les voix trop abîmées où nos moyens de modification du fichier sont limités, il est indispensable d'avoir recours à une évaluation uniquement qualitative. Même dans le cas où la voix est globalement très altérée mais comporte une petite portion stable, il ne sera pas pertinent de calculer les indicateurs sur cette portion stable. En effet, à l'oreille, nous percevons le son entier et non une portion stable isolée, et les indicateurs donneraient des chiffres qui ne reflètent pas l'état général très altéré de la voix.
- *mesure de l'étendue vocale* : Dans certains cas nous avons été confrontée à une contradiction entre l'étendue vocale mesurée par le logiciel et l'étendue vocale que nous évaluions subjectivement (le logiciel pouvait donner une étendue de 17 notes alors qu'à l'oreille nous n'entendions qu'une variation de 2 ou 3 notes). Cela concerne également les voix très abimées, où F0 fausse l'étendue vocale. Dans ces cas là mieux vaut avoir recours au spectrogramme de la sirène pour

calculer l'étendue vocale : prendre les valeurs fréquentielles du point le plus haut et le plus bas sur la ligne du fondamental et reporter ces valeurs sur un clavier pour obtenir le nombre de notes réelles.

- *Bruit basse fréquence* : Si un enregistrement est de mauvaise qualité, le bruit basse fréquence de l'enregistrement peut être aussi puissant que la fréquence fondamentale et fausser les indicateurs « bruit » et « instabilité en hauteur ». Une fonctionnalité supplémentaire, un outil de suppression du bruit basse fréquence, a ainsi été implantée dans le logiciel au cours de l'année.
- *Voix masculines très graves* : Pour les voix graves, il est apparu que l'indicateur « bruit » donnait des chiffres trop élevés, ce qui a donné lieu à un ajustement du logiciel pour limiter le problème.

Les retours que nous avons effectués auprès du créateur du logiciel, sur certaines difficultés à effectuer les mesures ou sur notre doute quant à l'exactitude des chiffres dans certains cas ont permis d'ajuster le logiciel. Les problèmes ont été réduits et par conséquent nous avons pu construire nos profils vocaux avec des mesures fiables. Nous pouvons donc dire que les indicateurs de VOCALAB permettent de donner des résultats pertinents, mais qu'il est nécessaire d'être vigilant quant à l'exactitude des chiffres qui peuvent être biaisés à cause des conditions d'enregistrement ou de la qualité de la voix. Cette étude confirme donc l'extrême utilité de l'évaluation subjective de la voix. C'est lors de l'appréciation subjective de la voix des patients enregistrés, et de la visualisation du spectre, que nous avons pu détecter des valeurs qui nous semblaient erronées de la part des indicateurs. C'est pourquoi, bien que les mesures objectives nous semblent être un atout essentiel dans l'évaluation vocale d'aujourd'hui, ils ne peuvent être utilisés qu'en complément d'un jugement subjectif de la voix du patient. Il est nécessaire de conserver en toute situation d'évaluation un esprit critique sur les chiffres donnés par un quelconque appareil et analyser finement la voix du patient à l'oreille. Ce recul quant aux chiffres n'est permis que par la compétence et l'expérience de l'évaluateur : c'est grâce à ses connaissances, et à une oreille et des yeux entraînés que l'orthophoniste pourra confronter son opinion sur une voix avec les résultats donnés par un outil informatique. Une voix peut être analysée comme non pathologique par un logiciel mais nous apparaître comme non fonctionnelle. A l'inverse, une voix qui nous paraît saine peut être évaluée trop sévèrement par un appareil qui l'estimera pathologique. La plainte du patient a également du poids dans l'évaluation vocale et le projet thérapeutique qui en découle. Le patient

peut avoir une plainte réelle et être gêné par sa voix qu'il juge modifiée ou moins efficace, sans que les mesures objectives ne lui donnent raison.

Notre étude s'inscrivait dans la démarche réalisée par l'équipe de recherche ERU15 du laboratoire Lurco qui construit une base de données de voix à l'usage des orthophonistes. Les analyses que nous avons réalisées ont mis en évidence certains cas de voix pertinents (par exemple, le cas d'une médialisation par thyroplastie, avec fichiers sons et vidéos). Ces cas ont été ajoutés à la base de données avec une description du spectre vocal permettant d'illustrer les résultats calculés par les indicateurs.

Enfin, notre mémoire avait également pour objectif d'analyser statistiquement les résultats des indicateurs grâce à une analyse d'une même voix (masculine et féminine), enregistrée dans les mêmes conditions chaque semaine pendant 1 an. Le but était d'étudier la variabilité des indicateurs sur une même voix. L'analyse a mis en avant que certains indicateurs étaient assez variables (par exemple l'attaque dans le cas MD001). Cela nous conforte d'autant plus dans la prudence à mettre en place lors de l'acceptation des chiffres bruts lors de l'évaluation vocale.

Limites de l'étude et perspectives éventuelles

Ainsi nous pouvons penser que notre étude a rempli ses objectifs généraux, bien que les indicateurs de pathologie de VOCALAB se trouvent en difficulté dans certains cas de voix. L'hypothèse de travail selon laquelle les indicateurs de pathologie de VOCALAB permettaient de créer des profils vocaux objectifs pertinents se trouve ainsi validée. Cependant, des biais peuvent être énoncées. Nous ne parlerons pas ici des problèmes rencontrés dans la mesure des indicateurs décrits plus haut : ils ont été résolus au fur et à mesure de l'année grâce aux ajustements du logiciel. La principale limite de notre étude concerne l'échantillon de la population. En effet nous voulions, grâce à la construction des profils, obtenir des résultats objectifs fiables décrivant les altérations acoustiques observables pour chaque pathologie, de manière à avoir un point de référence dans la pratique clinique future. Si les résultats nous semblent pertinents pour certaines pathologies, il n'en est pas le cas pour toutes : les échantillons trop restreints (inférieurs à 10 cas) pour certaines pathologies vocales ne nous permettent pas de généraliser les résultats obtenus. Notre difficulté à rassembler 10 cas pour chaque pathologie nous a contraints à réviser nos critères d'inclusion de départ. Nous souhaitions obtenir 10 cas, 5

hommes et 5 femmes, pour chaque pathologie. Nous avons du supprimer la contrainte concernant le sexe car certaines pathologies sont à prédominance féminine. D'autre part, nous avons du abaisser le nombre minimum de patients à 5 cas par pathologies, et supprimer de notre étude les troubles vocaux où nous avions moins de 5 enregistrements (cordectomie et dysphonie spasmodique).

Selon nous, cette difficulté à trouver des enregistrements de voix chez les orthophonistes peut être relative à deux phénomènes. Tout d'abord il apparaît que l'enregistrement systématique de la voix du patient n'est pas encore répandu chez tous les orthophonistes. De plus, l'absence d'un consensus général chez les orthophonistes sur l'enregistrement de la voix d'un patient peut être mis en avant. Pour chaque patient, notre protocole exigeait l'enregistrement d'un /a/ tenu et d'une sirène. Plusieurs des orthophonistes contactées ayant des enregistrements avaient des échantillons qui ne rentraient pas dans nos critères : certaines n'avaient que de la voix conversationnelle, d'autre avaient des enregistrements de /a/ tenu mais sans sirène, ou vice versa. Il serait peut être pertinent, du fait de la diffusion et de l'utilisation grandissante des logiciels vocaux, de faire un état des lieux actuel de l'évaluation vocale chez un grand nombre d'orthophonistes : matériel phonétique utilisé, type d'évaluation objective et subjective.

Le nombre trop restreint de patients faisant partie de notre échantillon nous amène à penser qu'il serait judicieux de réaliser à nouveau cette étude à plus grande échelle afin d'affirmer ou infirmer les tendances pathologiques que nous avons pu dégager pour chaque trouble vocal. En effet, les données statistiques ont d'autant plus de poids que l'échantillon est grand. Ce mémoire pourrait en outre être poursuivi par l'établissement des axes thérapeutiques principaux découlant des perturbations mises en évidence par les profils vocaux, et leur diffusion à partir de la base de données de voix ; en vue d'un partage inter professionnels des pratiques cliniques.

Apports personnels du travail

La réalisation de ce mémoire et l'étude réalisée a été enrichissante par divers aspects. Le point essentiel que nous retenons et qui nous semble indispensable pour notre pratique future est que la réalisation de cette étude nous a permis de développer un esprit critique vis à vis des chiffres donnés par les outils objectifs d'évaluation de la voix. Il nous a été nécessaire de réaliser une analyse perceptive fine de ce que nous entendions, une

interprétation du spectrogramme associé à la voix, et de coupler ces deux observations avec les chiffres donnés par les indicateurs. Nous avons ainsi pu développer « l'oreille » de l'orthophoniste, même si cela n'a pas développé « l'œil », d'un point de vue du geste vocal ... Ce recul vis à vis des chiffres nous sera utile dans bien des domaines de notre pratique. Nous avons pu également nous familiariser avec le logiciel VOCALAB et en explorer les fonctionnalités. Enfin ce travail a renforcé notre intérêt pour le domaine orthophonique passionnant qu'est la voix...

CONCLUSION

Dans ce mémoire nous nous sommes questionnés sur la pertinence clinique de la réalisation de profils vocaux objectifs via les indicateurs de pathologie de VOCALAB. Nous avons choisi de présenter dans un premier temps les différents types d'évaluation de la voix : les évaluations perceptive, instrumentale, aérodynamique ainsi que les nouvelles méthodes présentent toutes un intérêt. Nous avons ensuite présenté les caractéristiques vocales attendues pour les pathologies que nous avons choisies pour notre étude.

La réalisation des profils vocaux et leur analyse ont permis de mettre en évidence que les cinq indicateurs de VOCALAB (altération de l'attaque, instabilité en hauteur, en amplitude, bruit, pauvreté en harmoniques) sont pertinents et permettent de dégager des tendances pathologiques cohérentes avec celles trouvées dans la littérature. La réalisation d'un profil vocal objectif trouve selon nous son intérêt dans l'évaluation vocale, puisqu'il présente, pour une pathologie, les altérations des différents paramètres sur une seule figure. Cela donne une vision rapide des tendances générales des troubles. Cependant nous avons relevé certaines discordances entre les chiffres donnés par les indicateurs et notre évaluation perceptive des voix que nous analysions. De la même manière nous avons mis en évidence, à partir de l'étude d'une seule voix pendant un an, que certains indicateurs étaient variables.

Si l'évaluation instrumentale des voix est de plus en plus répandue de par sa facilité de réalisation (rapide, non invasive) et ses avantages notables (chiffres objectifs mis en relation avec une norme pathologique), il est indispensable qu'elle soit corrélée dans le bilan vocal avec l'évaluation perceptive. L'orthophoniste doit prendre du recul vis à vis des mesures brutes et faire le lien entre ce que les chiffres lui montrent, ce qu'il perçoit à l'oreille et ce qu'il observe du geste vocal du patient.

Ainsi, de nombreux outils sont utilisables par l'orthophoniste pour évaluer la voix du patient et VOCALAB a toute sa place dans l'évaluation instrumentale de la voix. Nous insistons encore sur le fait que si l'évaluation vocale se doit d'être très précise et multiparamétrique, c'est pour que l'orthophoniste puisse ajuster par la suite le geste vocal du patient et lui donner les moyens adaptés pour rendre sa phonation confortable et efficace.

BIBLIOGRAPHIE

Documents électroniques :

LEUCHTER,I. Evaluation des troubles de la voix – une approche multiparamétrique. *Rev Med Suisse* [en ligne]. 2010. Disponible sur internet : http://rms.medhyg.ch/article_p.php?ID_ARTICLE=RMS_265_1863 [consulté le 28 juillet 2014].

GIOVANNI, A. Bilan clinique de la voix. Examen instrumental. *Oto-rhino-laryngologie n°51097* [en ligne]. 2013. Disponible sur internet : <http://www.em-premium.com.proxy.unice.fr/article/818531/resultatrecherche/1> <http://www.em-premium.com.proxy.unice.fr/article/818531/resultatrecherche/1> [consulté le 29 juillet 2014].

POUCHOULIN.G, FREDOUILLE.C, BONASTRE.J-F, GHIO.A, AZZARELLO.M, GIOVANNI.A. Modélisation statistique et informations pertinentes pour la caractérisation des voix pathologiques (dysphonies). *Actes des XXVIes journées d'études sur la parole* [en ligne]. Juin 2006. [consulté le 2 août 2014]. Disponible sur internet : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/13/67/42/PDF/2729.pdf>

TESTON, B. L'évaluation objective des dysfonctionnements de la voix et de la parole ; deuxième partie : les dysphonies. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)* [en ligne], 2001, vol 20, p 169-232. Disponible sur Internet : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00173552>. [consulté le 9 Aout 2014].

GIOVANNI.A, YU.P, REVIS J, GUARELLA M.D, TESTON.B, OUAKNINE.M, Analyse objective des dysphonies avec l'appareillage EVA®. Etat des lieux. *Laboratoire d'Audiophonologie expérimentale et Clinique de l'Université de la Méditerranée* [en ligne], 2006, pp183-192. Disponible sur internet : <http://www.rforl.com/PDF/Fr0609002.pdf> [consulté le 9 Août 2014].

DEJONCKERE.P, BRADLEY.P, CLEMENTE.P, CORNUT.G, CREVIER-BUCHMANN.L, FRIEDRICH.G, VAN DE HEYNING P, REMACLE.M, WOISARD.V, A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* [en ligne], 2001, N° 258, pp 77-82. Disponible sur internet : <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.seorl.es%2Fcursos%2Fcursovoz%2Fimagenes%2FEnlace15.protocol-asesment-Dejonckere2001.pdf&ei=cGboU-uJ0sqo0QXwt4C4CQ&usg=AFQjCNEpsAolxTlgPWnLq8TIhvhUKZW2VA&bvm=bv.72676100,d.d2k> [consulté le 11 août 2014].

GHIO.A, TESTON.B, VIALLET.F, JANKOWSKI.L, PURSON.A, DUEZ.D, LOCCO.J, NGUYEN.N, LEGOU.T, PINTO.S, MARCHAL.E, GIOVANNI.A, ROBERT.D, REVIS.J, FREDOUILLE.C, BONASTRE.J-F, POUCHOULIN.G. Corpus de « parole pathologique ». Etat d'avancement et enjeux méthodologiques. *Travaux interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, [en ligne], 2006, vol.25, p.109-126.

Disponible sur internet : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00354505/document> [consulté le 12 Août 2014]

YU.P, NICOLLAS.R, GARREL.R OUAKNINE.M, GIOVANNI.A, Résumé d'un travail présenté pour publication dans *Laryngoscope* sous le titre *Objective voice analysis in dysphonic patients. New data including non linear measurements. Folia Phoniatr Logop.* [en ligne], 2007. Disponible sur internet : <http://lapc.free.fr/tutorials/analyse%20multiparam%E9tique.pdf> [Consulté le 12 Août 2014].

PILLOT-LOISEAU.C. Pression sous glottique et débit oral d'air expiré comme aides à la pose du diagnostic de dysodie ; implications pour la rééducation vocale. *Entretiens d'Orthophonie 2011* [en ligne]. Disponible sur Internet : http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/60/90/92/PDF/Pilot_Loiseau_entretiens_Bichat_2011.pdf [consulté le 4 Octobre 2014].

GHIO.A, TESTON.B, LEGOU.T, MARCHAL.E, GIOVANNI.A, ROBERT.D, REVIS.J, FREDOUILLE.C, BONASTRE.J-F, POUCHOULIN.G, SPEZZA.C, YU.P, GUARELLA.M-D, OUAKNINE.M. Approches complémentaires pour l'évaluation des dysphonies : bilan méthodologique et perspective. *Travaux interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, [en ligne], 2007, vol.26, p.33-74. Disponible sur internet : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00292402/> [consulté le 28 Août 2014].

ORPHANET, R.WOIMANT. La maladie de Wilson. *Encyclopédie Orphanet Grand Public*, 2008. Disponible sur internet : <http://www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/Wilson-FRfrPub134v01.pdf> [consulté le 21 Novembre 2014].

OSTA,A. ECVO : Documentation pour l'utilisation du protocole. [en ligne]. Disponible sur internet : www.fno.fr/salle-de-presse/les.../le-bonus-de-lorthophoniste-2/. [consulté le 13 septembre 2014]

PERRIERE.S, GIACCHERO.P, *Apprendre à écouter, décrire et analyser les caractéristiques d'une voix pathologique*, 17èmes assises d'ORL, Nice, 2015.

Mémoires et thèses

VIENNOT M. *Tentative de corrélation entre troubles musculo-squelettiques et dysphonie dysfonctionnelle simple*. Mémoire d'Orthophonie. Nancy ; UHP Nancy, année universitaire 2009-2010. 132p.

MRAD, S. (2013). *Analyse non linéaire de la parole pour la détection des voies pathologiques* [en ligne]. Mémoire de Master 2 pour l'obtention du diplôme national d'ingénieur en télécommunications. Ecole nationale d'ingénieurs de Tunis, 2013, 92p. Disponible sur Internet : <http://hal.inria.fr/hal-00908389>

COUDIERE,C. *De l'utilité des logiciels pour la voix en rééducation de dysphonies dysfonctionnelles*. Mémoire d'Orthophonie. Toulouse : université de toulouse, année universitaire 2002-2003. 165p.

WALLET.L. *Etudes multiparamétriques de la voix et de la parole après cordectomie laser par voie endoscopique de type II-III*. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Paris III. Université Paris III, Sorbonne nouvelle, 2012, 330p.

MORSOMME.D. *Contribution à la détermination de paramètres subjectifs et objectifs pour l'étude de la voix*. Thèse. Université catholique de Louvain, faculté de psychologie et de sciences de l'éducation, 2001, 341p.

LUCAS.C, PETTENATI.V. *Etude de l'échelle d'évaluation S-TRAV, positions assise et debout, dans les dysphonies dysfonctionnelles*. Mémoire d'Orthophonie. Paris : université de Paris, année universitaire 2011-2012, 92p.

MAGRANVILLE.C. *Tentative d'adaptation du « voice handicap index » à la voix de la personne transsexuelle*. Mémoire d'Orthophonie. Montpellier : université de Montpellier, année universitaire 2007-2008, 93p.

REGIS.J. *L'analyse perceptive des dysphonies : approche phonétique de l'évaluation vocale*. Thèse de l'université de la Méditerranée. Marseille : Université de la méditerranée, année universitaire 2003-2004, 279p.

NGUYEN VAN TRIEU.C. *Logiciels d'exploration et de rééducation vocale*. Mémoire d'Orthophonie. Lille : université de Lille, année universitaire 1998-1999, 154p.

CASTELAIN.V, GERVAIS.A. *Analyse perceptive et acoustique de voix pathologiques adultes en ORL : essai d'élaboration d'un panel de référence*. Mémoire d'Orthophonie. Lille : université de Lille, année universitaire 1998-1999, 235p.

PLEIGNEUR.C. *Analyse spectrale de la dysphonie : un outil pour l'évaluation plus objective de la voix*. Mémoire d'Orthophonie. Nancy : Université de Nancy, année universitaire 1998-1999, 148p.

MOKHTARI.K, BOUABDALAH.R, *Profil vocal objectif chez la femme en période ménopausique et étude comparative entre l'enfant non dysphonique et l'enfant dysphonique*. Mémoire d'Orthophonie. Marseille : Université de Marseille, année universitaire 1989-1990, 89p.

LODI.P, TARTAMELLA.I, TOUSSAINT.S. *Profil vocal objectif et échelle bipolaire d'autoestimation vocale chez l'adulte dysphonique et non dysphonique*. Mémoire d'orthophonie. Marseille : université de Marseille, année universitaire 1987-1988, 149p.

MACHTOU.A. *Presbyphonie et orthophonie*. Mémoire d'orthophonie. Nice : Université de Nice Sophia Antipolis, année universitaire 2010-2011, 242p.

COLLIOUD Anne-Laure, *Voix et imitation : Utilisation du logiciel praat dans la mise en évidence de la zone de sécurité prosodique*. Mémoire d'orthophonie. Nice : université de Nice Sophia Antipolis, année universitaire 2009-2010, 235p.

Ouvrages

VERDOLINI.K, ROSEN.C-A, BRANSKI.R-C. *Classification manual for voice disorders-I*. Psychology Press, Laurence Erlbaum Associates Publishers, New York, 2006, 297 pages

LE HUCHE.F, ALLALI.A. *La voix, tome 1, 3^{ème} édition*. Paris Cedex 06 : Masson, 2001, 272p.

LE HUCHE.F, ALLALI.A. *La voix, tome 2*,.Paris Cedex 06 : Masson, 1990, 204p.

GIOVANNI.A, *Le bilan d'une dysphonie, état actuel et perspectives*, Marseille : Solal, 2004. ISBN2-914513-62-3.

CREVIER-BUCHMAN.L, BRIHAYE.S, TESSIER.C. Analyse acoustique. In : *La voix après chirurgie partielle du larynx*, Marseille : Solal, 2003. pp 91-112.

CORNUT,G, *La voix, huitième édition*. Puf, 2009. ISBN 2130576745, pp128.

BRIN-HENRI.F, COURRIER.C, LEDERLE.E, MASY.V, *Dictionnaire d'Orthophonie*, Isbergues : Ortho Edition, 2004, pp303. ISBN 2914121229.

ARONSON.A.E, *Les troubles cliniques de la voix*, Paris Cedex : MASSON, 1983, pp.259. ISBN 2-225-78298-9.

ESTIENNE.F. Les évaluations objectives ou la voix vue de dehors. In : *Voix parlée, voix chantée, examen et thérapie*, Issy les Moulineaux, MASSON 2006. pp. 20-40.

SOCIETE FRANCAISE D'OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE ET DE PATHOLOGIE CERVICO FACIALE. Physiologie du larynx de l'enfant. In : *Le larynx de l'enfant*, Librairie Arnette, Paris, 1979, pp 38-49 ISBN 2-7184-0209-1.

CANAN.O, AUZOU.P. La dysphonie parkinsonienne. In : *Les troubles de la parole et de la déglutition dans la maladie de Parkinson*. SOLAL, Marseille, 2005, pp.131-143. ISBN : 2-914513-76-3.

SICARD.E, MENIN-SICARD.A, *Vocalab, de la théorie à la pratique*, Isbergues : Ortho Edition, 2005, 181p, ISBN : 2-914121-43-1.

DUPONT.S, BOISTIER.C, Tête et cou : compartiments cervicaux. In : *Manuel d'anatomie*. Ellipses Edition, décembre 2012, pp 77-93. ISBN : 978-2-7298-76586.

MCFARLAND.D-H. Le système phonatoire. In : *L'anatomie en orthophonie, 2^{ème} édition*. Masson, Issy-les-moulineaux, novembre 2009, pp 73-96.

DRAKE.R-L, WAYNE VOGL.A, MITCHELL A-W, Tête et cou. In : Gray's, fiches d'anatomie. Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, septembre 2010, pp. 233-317. ISBN : 978-2-8101-0177-1.

Articles

- MENIN-SICARD,A. Approche métacognitive dans le cadre de l'évaluation et la réévaluation de la voix. *Rééducation Orthophonique*, Juin 2013, N°254, pp 121-134.
- DEJONG-ESTIENNE,F, Le profil vocal objectif : son histoire, ses adaptations, son intérêt. *Entretiens d'orthophonie* 1997.
- LIEBERMAN,P. Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathologic larynges. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1963, N°35, pp344-353.
- YUMOTO.E, GOULD.W-J. Harmonics to noise ratio as an index of the degree of hoartheness. *JASA*, 1982, vol 71-6, pp1544-1550.
- KASUYA.H, OGAWA.S, MASHIMA.K, EBIHARA.S. Normalised noise energy as an acoustic measure to evaluate pathologic voice. *JASA*, 1986, vol 80, pp 1329-1334.
- SAUVIGNET,A, Echelles perceptives et qualité de vie. *La voix dans tous ses maux*, 2009, pp 7-25.
- GIOVANNI.A, HEIM.C, DEMOLIN.D, TRIGLIA.J-M. Estimated subglottic pressure in normal and dysphonic subjects. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol*, 2000, vol 109, pp500-504.
- WOLFE.V, FITCH.J, CORNELL.R. Acoustic prediction of severity in commonly occurring voice problems. *J Speech Hear Res*, 1995, 38 :273-9
- WUYTS.F-L, DE BODT. M-S, MOLENBERGHS.G. The dysphonia severity index : an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *J Speech Lang Hear Res*, 2000, vol 43, pp 796-809.
- PICCIRILLO .J-F, PAINTER.C, FULLER.D, et al. Assessment of two objective voice function indices. *Ann Otol Thinol Laryngol*, 1998, 107 (5 pt 1), pp 396-400.
- YU.P, GARELL.R, NICOLLAS.R, et al. Objective voice analysis in dysphonic patients. New data including non linear measurements. *Folia Phoniatr. Logop*, 2007, vol 59, pp 20-30.
- GIOVANNI.A, YU.P, REVIS.J, et al. Analyse objective des dysphonies avec l'appareillage EVA®. Etat des lieux. *Fr-ORL*, 2006, 80, pp 183-192.
- CAILLAUD.B, LERICHE.M. Analyse sonographique et aspects de la phonétique appliquée. *La revue de l'Epi* n°93, 1999, pp 57-72.
- GIOVANNI.A, MOLINES.V, NGUYEN.N, et al. Une méthode multiparamétrique d'évaluation vocale objective assistée par ordinateur. *Ann Oto-laryngo (Paris)*, 1992, 109, pp 200-206.
- MAILLART.C, PARISSÉ.C, TOMMERDHAL.J. F-LARSP 1.0 : an adaptation of the LARSP language profile for french. *HAL-Archives ouvertes*, 25 Dec 2011, pp.18.

ZOUROU.F, MAGNAN.A, ECALLE.J, et al, Caractérisation de profils langagiers et cognitifs d'enfants avec troubles spécifiques du langage (TSL), *A.N.A.E*, 2009 ; 103 ; pp 282-290.

OATES.J, Auditory perceptual evaluation of disordered voice quality. *Folia phoniatica and Logopedia*, 2009, 61, 49-56.

BESSOU.A, MONTLAHUC.C, LOUIS.J, et al. Profil psychométrique de 245 enfants intellectuellement précoces au WISC-III. *A.N.A.E*, 2005 ; 81, pp 23-28

GHIO.A, GIOVANNI.A, TESTON.B et al. Bilan et perspectives de quinze ans d'évaluation vocale par méthodes instrumentales et perceptives. *Journées d'études sur la parole*, 2008, LIA, p.309-312.

JIANG.JJ, ZHANG.Y, MCCALLUM.J, et al. Abjective acoustic analysis of pathological voices from patients with vocal nodules and polyps, *Folia Phoniatica et Logopédia*, 2009, 61 : p342-349.

NIEBUDEK-BOGUSZ.E, KOTYLO.P et SLIWINSKA-KOWALSKA.M, Evaluation of voice acoustic parameters related to the vocal-loading test in professionally active teachers with dysphonia, *International journal of occupational medicine and environmental health*, 2007, 20 : p25-30.

PETROVIK-LAZIC.M, BABA.S, VUKOVIK.M et al, Acoustic voice analysis of patients with vocal fold polyp, *Journal of Voice*, 2011, 25 : p. 94-97.

Sites internet

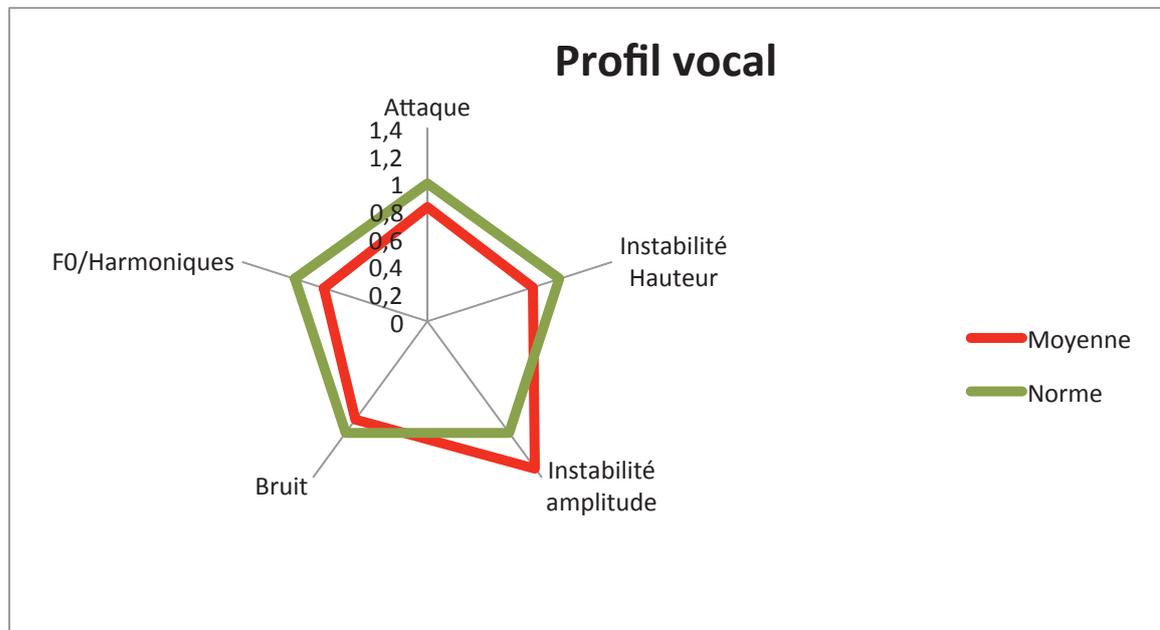
VOCALAB. Disponible sur : www.vocalab.org. (consulté le 24/02/14).

PRAAT. Disponible sur : www.praat.org. (consulté le 05/05/14).

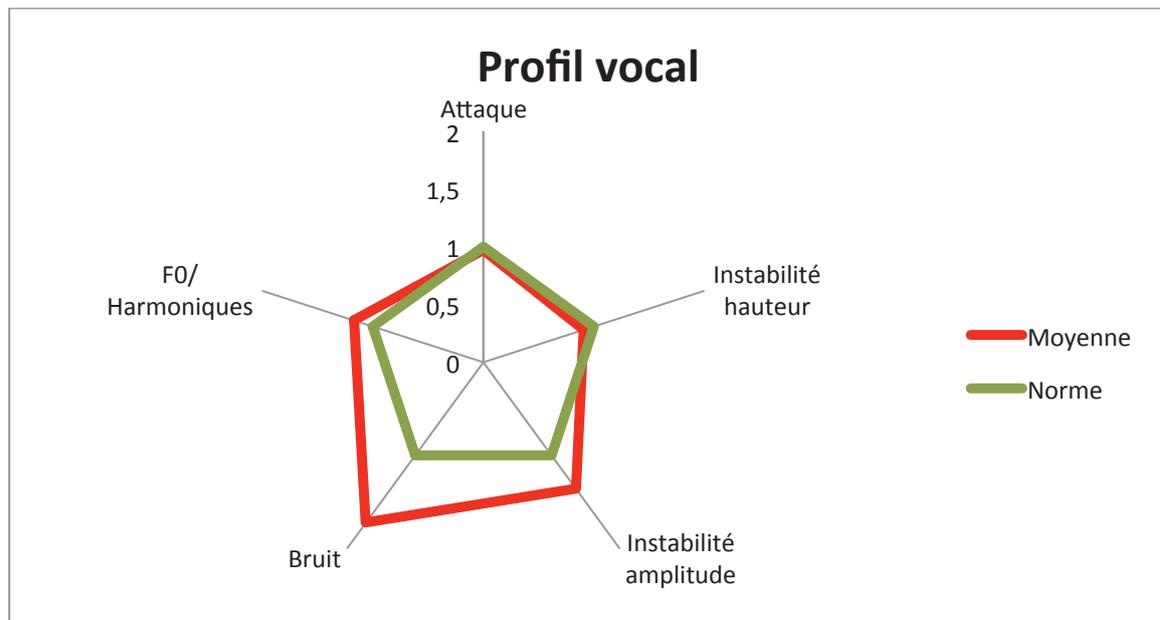
ANNEXES

Annexe I : Rappel des profils par pathologies

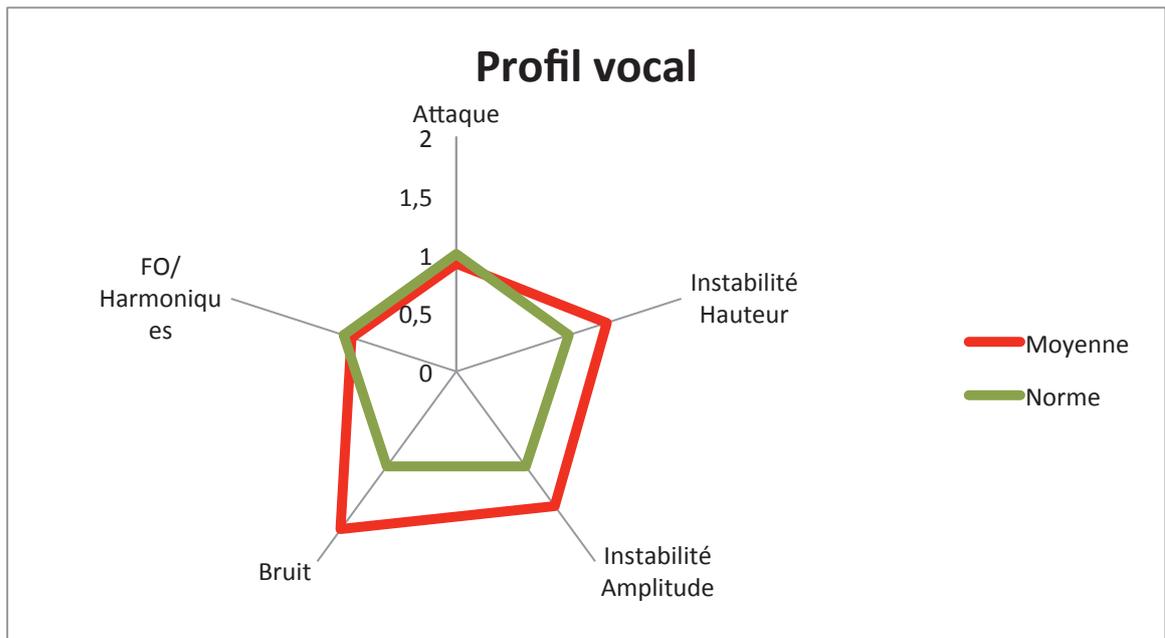
1. Dysphonie dysfonctionnelle



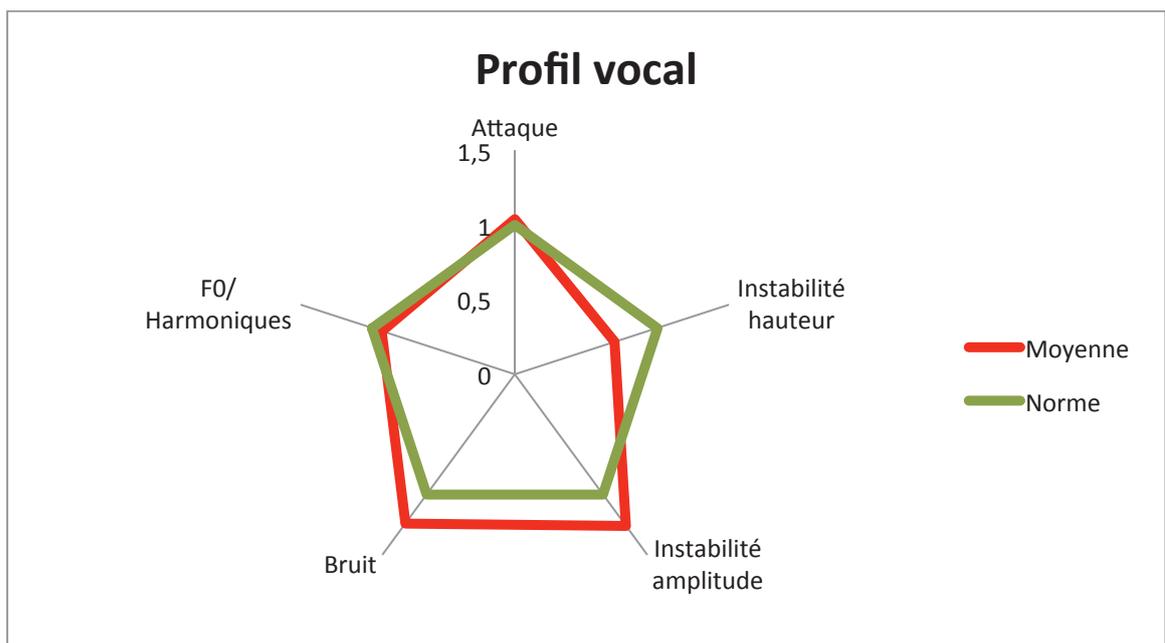
2. Fuite glottique



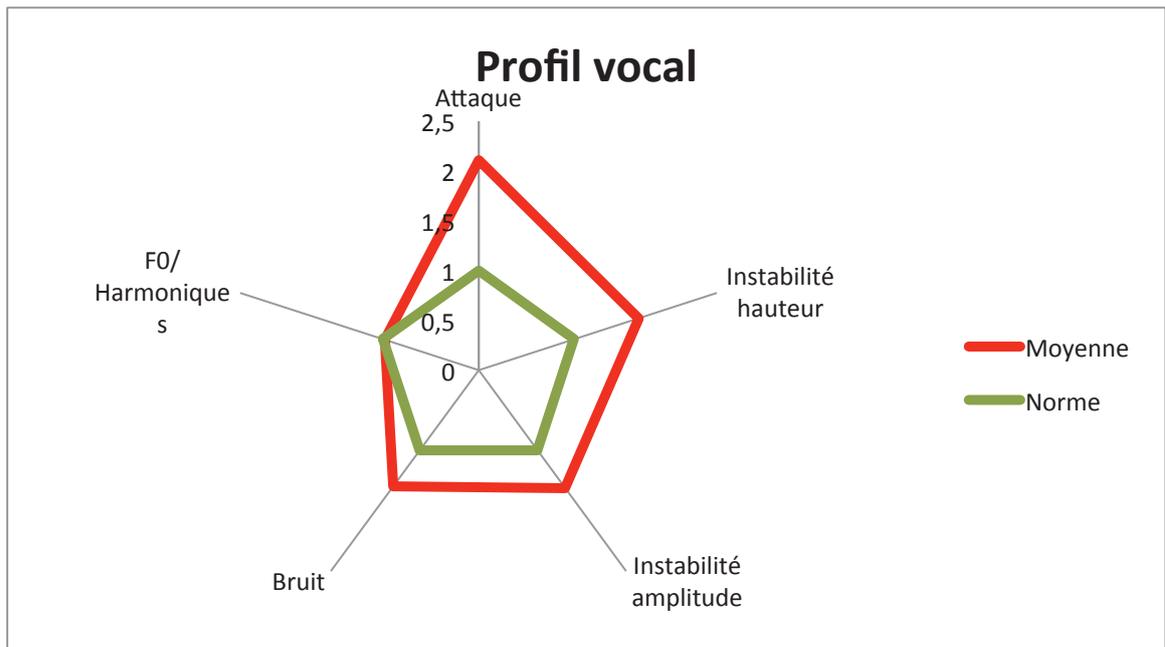
3. Nodules



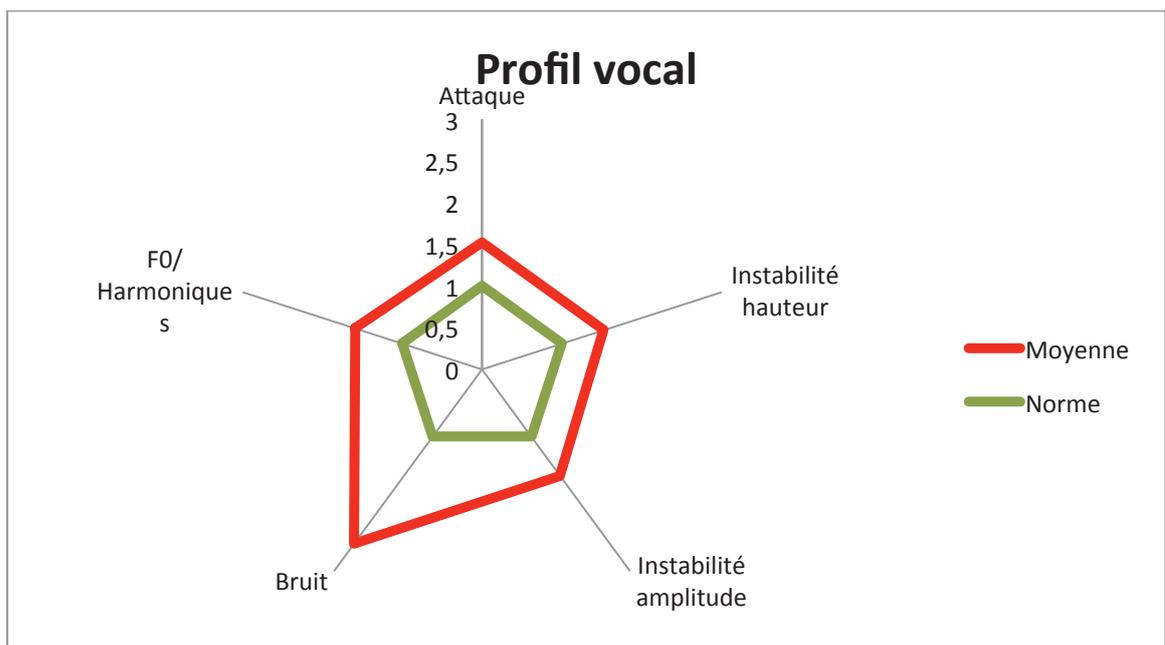
4. Kystes



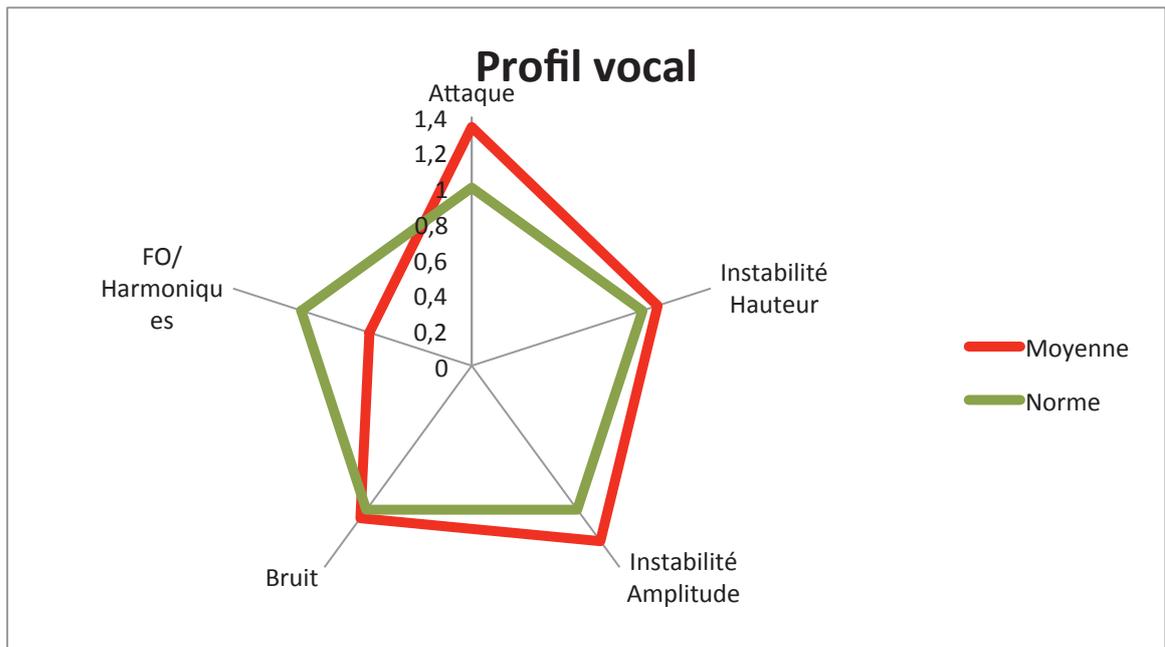
5. Pseudomyxome



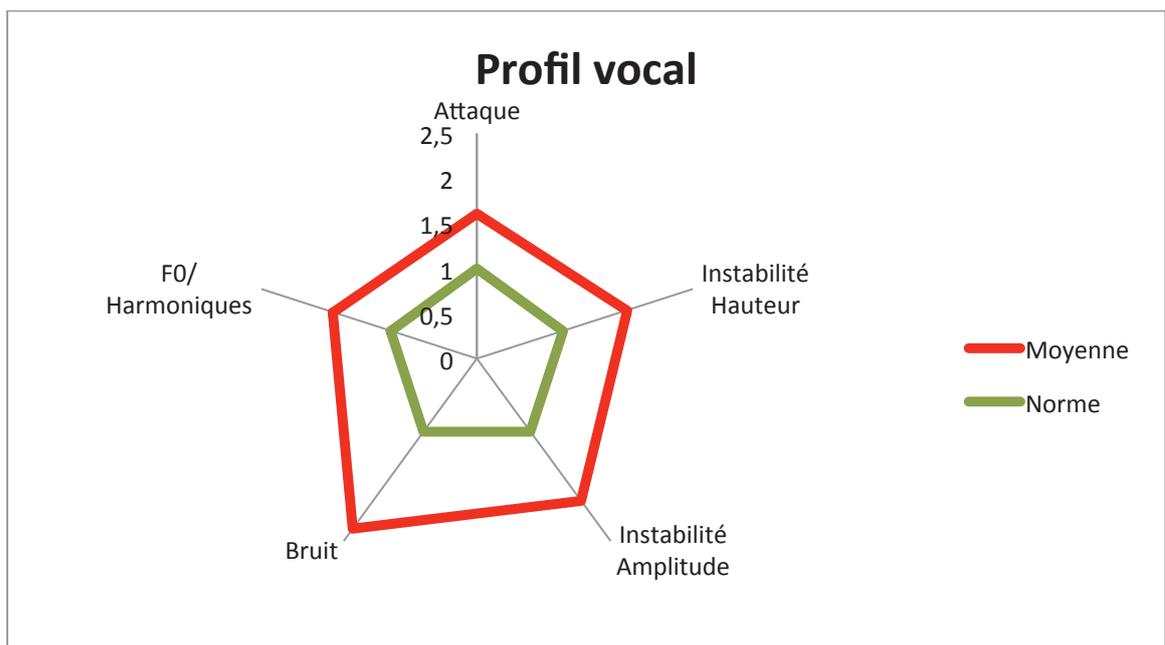
6. Presbyphonie



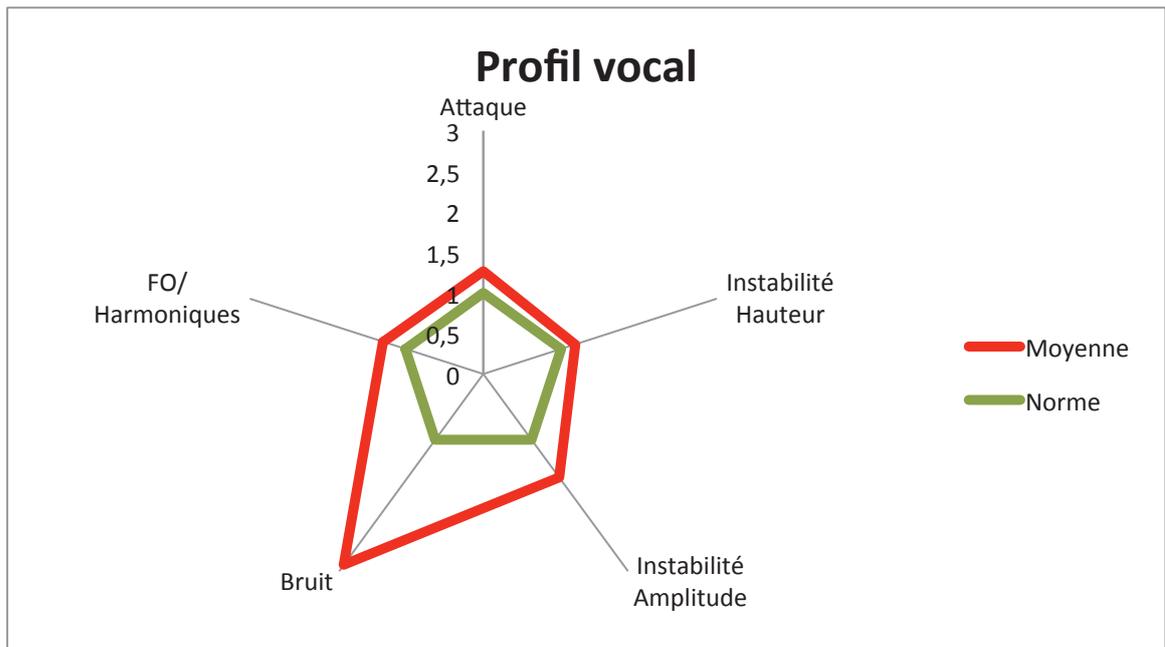
7. Dysphonie infantile



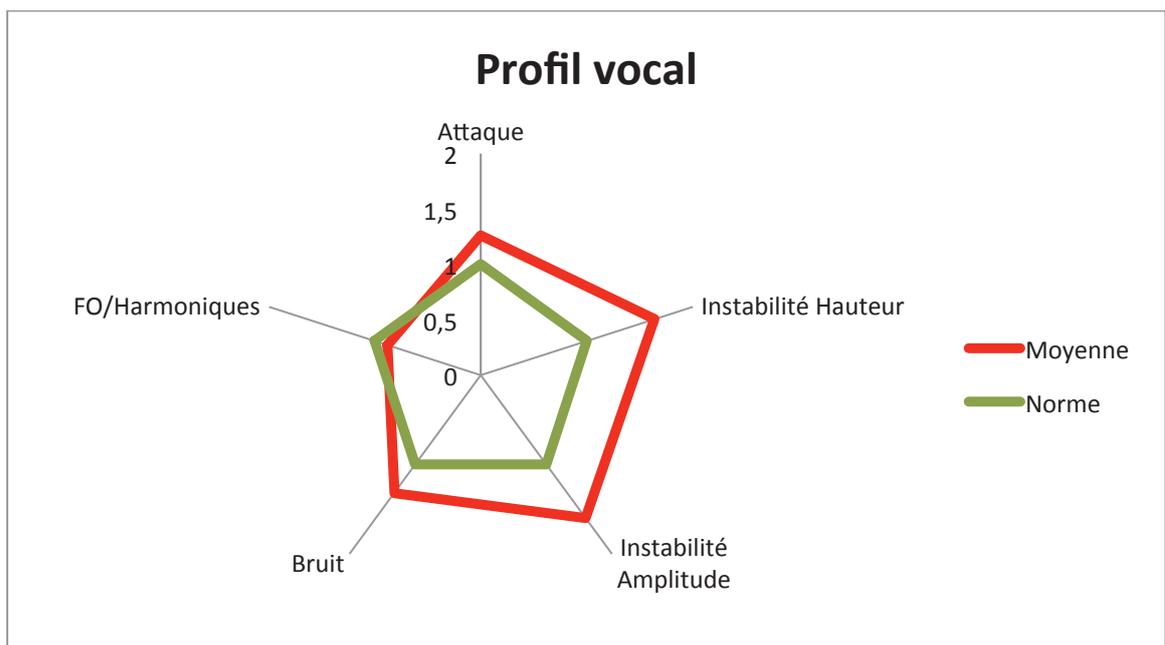
8. Paralyse récurrentielle



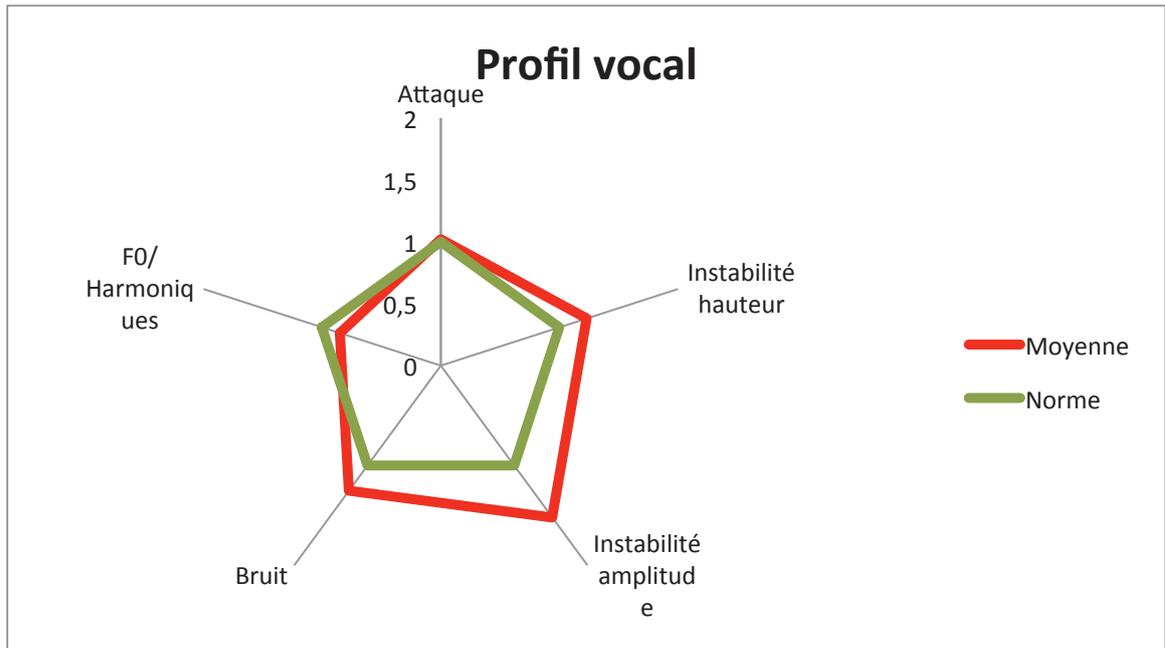
9. Paralyse du nerf laryngé supérieur



10. Dysphonie post thyroïdectomie



11. Dysphonie parkinsonienne



Annexe II : Synthèse des résultats chiffrés obtenus avec les indicateurs, par pathologies : moyennes et écart types

1. Dysphonie dysfonctionnelle

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	0,83	1,42
Instabilité en hauteur	0,80	1,38
Instabilité en amplitude	1,32	1,73
Bruit	0,88	4,8
Pauvreté en harmoniques	0,78	2,2
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	1,9	2

2. Fuite glottique

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	0,97	2,26
Instabilité en hauteur	0,91	2,14
Instabilité en amplitude	1,36	1,68
Bruit	1,72	2,34
Pauvreté en harmoniques	1,17	2,40
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,37	1,9

3. Nodules

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	0,92	2,67
Instabilité en hauteur	1,34	2,35
Instabilité en amplitude	1,42	1,55
Bruit	1,66	1,52
Pauvreté en harmoniques	0,93	1,40
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,62	1,81

4. Kystes

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,04	1,96
Instabilité en hauteur	0,70	1,61
Instabilité en amplitude	1,26	1,55
Bruit	1,24	2,87
Pauvreté en harmoniques	0,93	1,91
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,0	2,0

5. Pseudomyxome

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	2,11	2,08
Instabilité en hauteur	1,68	1,59
Instabilité en amplitude	1,47	1,57
Bruit	1,45	2,55

Pauvreté en harmoniques	0,98	3,01
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	3,42	1,53

6. Dysphonie infantile

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,34	1,51
Instabilité en hauteur	1,09	1,72
Instabilité en amplitude	1,22	1,60
Bruit	1,06	1,78
Pauvreté en harmoniques	0,60	1,92
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,60	1,53

7. Paralysie récurrentielle

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,61	2,47
Instabilité en hauteur	1,74	3,51
Instabilité en amplitude	1,95	1,78
Bruit	2,33	2,31
Pauvreté en harmoniques	1,67	2,13
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	3,20	1,94

8. Paralysie du nerf laryngé supérieur

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,27	1,54
Instabilité en hauteur	1,18	3,01
Instabilité en amplitude	1,57	1,72
Bruit	2,90	3,17
Pauvreté en harmoniques	1,29	2,32
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,94	1,72

9. Dysphonie post thyroïdectomie

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,26	1,32
Instabilité en hauteur	1,64	2,09
Instabilité en amplitude	1,60	1,48
Bruit	1,32	1,64
Pauvreté en harmoniques	0,88	2,08
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	3,08	1,68

10. Dysphonie parkinsonienne

Critère	Moyenne	Ecart type
Attaque	1,02	1,40
Instabilité en hauteur	1,23	1,70
Instabilité en amplitude	1,52	1,59
Bruit	1,25	2,00

Pauvreté en harmoniques	0,85	1,91
Nombre d'indicateurs pathologiques par personne	2,86	1,70

Annexe III : Synthèse des résultats obtenus, mise en relation avec les résultats attendus et explication des éventuelles incohérences.

Ces résultats sont présentés sous forme de tableau.

Pathologie	Résultats obtenus	Dégradation vocale attendue	Explication des éventuelles incohérences
Dysphonie dysfonctionnelle	Fréquence fondamentale augmentée chez les femmes et diminuée chez les hommes. Intensité instable. Altération de l'attaque (dure). Altération du timbre à cause de l'instabilité du vibrateur. Etendue vocale diminuée chez les femmes, normale chez les hommes.	La fréquence fondamentale est élevée. L'intensité est augmentée. Le timbre voilé, éraillé, rauque, serré ; la mélodie est pauvre. L'étendue vocale est réduite, souvent diminuée dans les aigus.	La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale peut expliquer le fait que l'étendue vocale des hommes soit normale.

Pathologies	Résultats obtenus	Dégradation vocale attendue	Explications des éventuelles incohérences
Fuite glottique	Augmentation de la fréquence fondamentale. Intensité instable. Timbre soufflé. Étendue vocale normale pour les femmes, et supérieure à la norme pour les hommes.	La fréquence fondamentale est élevée (du moins chez l'homme). Les graves sont limités. Le timbre est sourd et étouffé, la voix est soufflée.	La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale peut expliquer les résultats obtenus. Notons que bien que la moyenne soit normale ou supérieure à la norme, les résultats ne sont pas homogènes à l'intérieur des groupes.
Nodules	Fréquence fondamentale réduite chez les femmes et augmentée chez les hommes. Intensité instable. Altération du timbre de la voix : rauque, sensation de bruit, bitonalité. L'étendue vocale est réduite pour les femmes mais augmentée chez les hommes.	La fréquence fondamentale est abaissée, les aigus sont diminués voire inexistantes. Des désonorisations en début et en fin de production sont fréquentes. L'intensité est instable. Le timbre est éraillé, rauque et soufflé.	Population trop restreinte dans le groupe des hommes pour pouvoir tirer des résultats significatifs (ex : FO et étendue). Les résultats de l'étendue vocale peuvent s'expliquer par la variabilité inter
Kystes	Diminution de la fréquence fondamentale. Altération de l'intensité (augmentation avec désonorisations). Altération du timbre (bruit provenant de la fuite et de l'instabilité du vibrateur). Légère augmentation de l'étendue vocale.	Aggravation de la hauteur, avec des aigus réduits voire inexistantes. L'intensité est forte avec des désonorisations régulières. Le timbre est forcé, voilé, dur et éraillé.	Le résultat de l'étendue vocale peut s'expliquer par un déplacement des possibilités vocales et les possibilités vocales propres à chacun.
Pseudomyxome	Diminution de la fréquence fondamentale. Instabilité de l'intensité. Altération du timbre (voilé, éraillé, bitonal, rauque). Restriction de l'étendue vocale.	La fréquence fondamentale est diminuée, les aigus sont réduits. Le timbre est rauque ; voilé et éraillé. Perte du registre aigu avec impossibilité de chanter.	
Presbyphonie	Variation de la fréquence fondamentale : diminuée chez les femmes, augmentée chez les hommes. Appauvrissement du timbre (voilé, soufflé, sans couleur, tremblé, rauque). Étendue vocale réduite chez les femmes et augmentée chez les hommes.	La hauteur est diminuée chez les femmes et augmentée chez les hommes. L'intensité est plus faible de 10 à 15 dB. La voix est soufflée, enrrouée, instable, chevrotante. L'étendue vocale est réduite. Une diminution du ratio signal/bruit est possible.	La variabilité inter individuelle de l'étendue vocale et d'éducation vocale peuvent expliquer les résultats obtenus.

Pathologie	Résultats obtenus	Dégradation vocale attendue	Explication des éventuelle incohérences
Dysphonie infantile	Diminution de la fréquence fondamentale. Altération de l'intensité (élevée et instable). Pas d'appauvrissement du timbre mais présence un caractère rauque à mettre en relation avec l'instabilité en hauteur. Étendue vocale augmentée chez les filles et diminuée chez les garçons.	La fréquence fondamentale est anormalement basse. L'intensité est forte (la voix parlée sera rauque) ou faible (la voix parlée sera éraillée et soufflée). Le timbre est rauque et éraillé. L'étendue vocale est réduite.	Résultats hétérogènes dans les populations pour F0 et étendue vocale : capacités vocales particulières propres à chacun et choix du matériel phonétique. Possible déraillement de l'indicateur « pauvreté en harmoniques » qui ne mesure pas d'appauvrissement du timbre.
Paralysie récurrentielle	Fréquence fondamentale diminuée chez les femmes et augmentée chez les hommes. Instabilité de l'intensité. Timbre soufflé, pauvre, bitonal, rauque. Étendue vocale réduite pour l'ensemble de la population.	Fréquence fondamentale diminuée chez la femme et augmentée chez l'homme. Intensité réduite avec perte de la puissance vocale. Altération du timbre : voix soufflée, éteinte, détimbrée, bitonale. L'étendue vocale est réduite.	
Paralysie du nerf laryngé supérieur	Fréquence fondamentale diminuée chez les femmes mais augmentée chez les hommes. Altération de l'intensité. Timbre soufflé, enrroué, pauvre. Diminution de l'étendue vocale. Comportement hyperkinétique mis en place : altération de l'attaque.	La fréquence fondamentale est abaissée, la voix de tête est impossible. L'intensité est limitée. Timbre voilé, éteint, pauvre, assourdi. Compensation hyperkinétique.	Population masculine trop restreinte (2 cas) pour avoir des résultats significatifs. Choix du matériel phonétique pour la mesure de F0 : le /a/ est moins représentatif que le texte lu
Dysphonie parkinsonienne	Fréquence fondamentale normale chez les femmes mais augmentée chez les hommes. Intensité faible et instable. Timbre voilé, éraillé. Diminution de l'étendue vocale.	Variation de la fréquence fondamentale (élévation ou abaissement). Perte d'intensité (hypophonie). Timbre soufflé, voilé, éraillé, parfois rauque ou tremblé.	
Dysphonie post thyroïdectomie	F0 diminuée chez les femmes mais augmentée chez les hommes. Altération de l'intensité. Timbre pauvre. Diminution de l'étendue vocale.	Diminution de la fréquence fondamentale. Manque de puissance vocale avec perte de modulation. Le timbre est pauvre, les aigus sont réduits.	Population masculine trop restreinte (2 cas) pour conclure à des résultats significatifs, et choix du matériel phonétique (/a/) pour la mesure de F0.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
INTRODUCTION	5
DONNEES THEORIQUES	7
I. RAPPEL : LA FONCTION PHONATOIRE.....	8
1. <i>Définition</i>	8
2. <i>Anatomie et physiologie</i>	9
2.1. La soufflerie.....	9
2.2. Le vibreur : le larynx.....	10
2.3. Les résonateurs	14
3. <i>Les paramètres acoustiques de la voix.....</i>	15
3.1. La hauteur	15
3.2. L'intensité.....	16
3.3. Le timbre.....	16
II. METHODES D'EVALUATION DE LA VOIX.....	17
1. <i>Evaluation perceptive.....</i>	18
1.1. Echelles perceptuelles.....	19
1.2. Echelles d'autoévaluation	21
2. <i>Evaluation instrumentale.....</i>	25
2.1. Mesures acoustiques	25
2.2. Mesures aérodynamiques.....	39
3. <i>Approche multiparamétrique et concordance entre mesures instrumentales et mesures perceptives.....</i>	41
3.1. Avantages et inconvénients de l'évaluation perceptive.....	41
3.2. Avantages et inconvénients de l'évaluation instrumentale.....	42
3.3. L'évaluation multiparamétrique.....	43
3.4. Vers l'utilisation de nouvelles techniques.....	47
4. <i>Logiciels d'évaluation vocale.....</i>	50
4.1. Station EVA®.....	51
4.2. PRAAT.....	51
4.3. VOCALAB.....	51
4.4. Autres logiciels.....	52
5. <i>Profils vocaux existants.....</i>	52
5.1. Odéogramme de Perello	52
5.2. Profil vocal objectif de Dejonckere	53
5.3. Profil vocal de l'E.C.V.O	57
5.4. Autre profils dans le domaine de la voix.....	58
5.5. Autres profils développés en Orthophonie.....	61
III. CARACTERISTIQUES VOCALES THEORIQUEMENT ATTENDUES POUR LES PATHOLOGIES CHOISIES.....	63
DONNEES PRATIQUES.....	72
I. OBJECTIFS	73
II. METHODOLOGIE	73
1. <i>Pathologies vocales sélectionnées</i>	73
2. <i>Population.....</i>	74
2.1. Critères d'inclusion	74
2.2. Recrutement de la population	74
2.3. Présentation de la population.....	74
3. <i>Le protocole</i>	74
3.1. Les « examinateurs »	74
3.2. Méthode de passation	75
3.3. Analyse des échantillons.....	76

3.4. Création de profils par pathologies.....	77
III. PRESENTATION ET UTILISATION DU LOGICIEL VOCALAB	80
1. <i>Le logiciel : sa création, ses fonctionnalités.</i>	80
2. <i>Présentation des cinq indicateurs de pathologie de VOCALAB</i>	81
3. <i>Présentation de l'outil statistique et de son utilisation</i>	84
IV. RESULTATS ET INTERPRETATION	85
1. <i>Population</i>	85
2. <i>Profils vocaux</i>	87
2.1. Dysphonie dysfonctionnelle.....	87
2.2. Fuite glottique.....	90
2.3. Nodules	93
2.4. Kystes	96
2.5. Pseudomyxome ou Œdème de Reinke	99
2.6. Presbyphonie	101
2.7. Dysphonie infantile ou raucité vocale infantile.....	105
2.8. Paralyse récurrentielle.....	108
2.9. Lésion du nerf laryngé supérieur	112
2.10. Dysphonie post thyroïdectomie.....	115
2.11. Maladie de Parkinson	118
3. <i>Synthèse des résultats</i>	122
V. ETUDE DE LA VARIABILITE DES INDICATEURS.....	125
1. <i>Variabilité des indicateurs : voix féminine</i>	125
1.1. Attaque	125
1.2. Instabilité en hauteur.....	126
1.3. Instabilité en amplitude	127
1.4. Bruit	127
1.5. Pauvreté en harmoniques.....	128
1.6. Mosaïque finale.....	128
1.7. Conclusion.....	129
2. <i>Variabilité des indicateurs : voix masculine</i>	129
2.1. Attaque	129
2.2. Instabilité en hauteur.....	130
2.3. Instabilité en amplitude	130
2.4. Bruit	131
2.5. Pauvreté en harmoniques.....	132
2.6. Mosaïque	132
2.7. Conclusion.....	133
DISCUSSION.....	134
CONCLUSION	141
BIBLIOGRAPHIE	142
ANNEXES	148
ANNEXE I : RAPPEL DES PROFILS PAR PATHOLOGIES.....	149
ANNEXE II : SYNTHESE DES RESULTATS CHIFFRES OBTENUS AVEC LES INDICATEURS, PAR PATHOLOGIES : MOYENNES ET ECART TYPES.....	155
ANNEXE III : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS, MISE EN RELATION AVEC LES RESULTATS ATTENDUS ET EXPLICATION DES EVENTUELLES INCOHERENCES.	159
TABLE DES MATIERES	162

Marie Daumet

**ELABORATION DE PROFILS TYPES EN FONCTION DE PATHOLOGIES
VOCALLES A PARTIR DE CRITERES D'ANALYSE OBJECTIFS, PAR LE
LOGICIEL VOCALAB.**

141 pages, 67 références bibliographiques.

Mémoire d'orthophonie – UNS / Faculté de Médecine - Nice 2015.

RESUME

Le but de ce travail était de construire des profils vocaux objectifs pour 11 pathologies vocales et d'étudier leur pertinence clinique. Les profils ont été construits grâce à 5 indicateurs de pathologie (altération de l'attaque, instabilité en hauteur, instabilité en amplitude, bruit, pauvreté en harmoniques) du logiciel d'évaluation et de rééducation vocales, VOCALAB.

La construction et l'analyse des profils nous ont permis de constater que les indicateurs de VOCALAB permettaient d'obtenir des résultats pertinents et cohérents avec les troubles attendus décrits dans la littérature. Néanmoins certaines incohérences de mesure et une étude sur la variabilité des indicateurs nous ont conforté dans l'idée que même si l'évaluation instrumentale est un atout majeur dans l'évaluation vocale d'aujourd'hui elle ne saurait se passer de l'appréciation subjective de la voix du patient.

The goal of our project was to build objectives voice profiles, covering 11 vocal pathologies, and to explore their clinical relevance. The profiles have been built thanks to 5 measurement indicators (voice attack, pitch instability, intensity instability, noise and harmonics poverty) implemented in the voice evaluation software tool VOCALAB. The generation and analyse of these voice profiles show that the measurement indicators are relevant and consistent with the assessments describes in literature. Nevertheless some measures inconsistencies and evidence of indicators variability lead us to state that even if the instrumental evaluation is an advantage to voice assessment, we should take into account the patient's voice perceptual evaluation, wich is crucial.

MOTS-CLES - KEYWORDS

Adulte – Evaluation – ORL – Profil vocal – Recherche - Voix

Adult – Assessment – ORL – Voice profile – Research - Voice

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Stéphanie Perrière.

CO-DIRECTEUR DE MEMOIRE : Etienne Sicard.