

UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE  
FES



Année 2015

Thèse N° 016/015

# APPLICATIONS DU LASER CO2 DANS LA PATHOLOGIE BENIGNE DES CORDES VOCALES

( A propos de 18 cas)

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 16/01/2015

PAR

Mlle. HAJAR EL ATIQ

Née le 21/07/1988 à Rabat

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES :

Cordes Vocales – Phonochirurgie – LASER CO2 –

JURY

- |  |            |         |
|--|------------|---------|
| M. EL ALAMI EL AMINE NOUR-DINE .....       | PRESIDENT  |         |
| Professeur d'Oto-Rhino-Laryngologie        |            |         |
| M. BENMANSOUR NAJIB .....                  | RAPPORTEUR |         |
| Professeur agrégé d'Oto-Rhino-Laryngologie |            |         |
| M. RAMMOUZ ISMAIL .....                    | } JUGES    |         |
| Professeur de agrégé Psychiatrie           |            |         |
| M. RIDAL MOHAMMED .....                    |            | } JUGES |
| Professeur agrégé d'Oto-Rhino-Laryngologie |            |         |
| Mme. EL FATEMI HINDE .....                 |            |         |
| Professeur agrégé d'Anatomie Pathologie    |            |         |

# Plan

<b>Plan</b>	-----	1
<b>INTRODUCTION</b>	-----	17
<b>Historique</b>	-----	20
1. Développement de la laryngologie	-----	21
2. Développement des connaissances sur la voix	-----	23
3. Développement du laser	-----	24
<b>Rappel</b>	-----	26
<b>Embryologie</b>	-----	27
<b>ANATOMIE</b>	-----	30
1. Anatomie topographique :	-----	30
1.1. Configuration externe :	-----	31
1.1.1. Les cartilages :	-----	31
1.1.2. Les articulations, membranes et ligaments :	-----	33
1.1.3. Les muscles :	-----	36
a. Intrinsèques:	-----	36
b. Extrinsèques:	-----	36
1.2. Configuration interne :	-----	38
1.3. Innervation des cordes vocales :	-----	39
a. Nerf laryngé supérieur :	-----	40
b. Nerf laryngé inférieur :	-----	41
c. Innervation périphérique :	-----	41
d. Innervation centrale :	-----	42
2. Anatomie histologique :	-----	43

2.1. Epithélium de surface :	43
2.2. La membrane basale :	44
2.3. La lamina propria :	44
2.4. La maculae flavae :	45
2.5. Le muscle vocale :	46
3. Anatomie microscopique et endoscopique :	48
3.1. La corde vocale :	48
3.2. La commissure antérieure :	50
3.3. La commissure postérieure :	51
<b>PHYSIOLOGIE</b>	<b>52</b>
1. Soufflerie pulmonaire :	53
1.1. La mécanique thoracique :	53
1.2. La dynamique respiratoire :	54
1.3. La physiologie du souffle phonatoire :	54
1.3.1. La phonation et les deux temps de la respiration :	54
1.3.2. Modalités du souffle phonatoire :	55
2. Vibration vocale :	56
2.1. Modèle à une masse :	59
3. Réglage de la hauteur :	61
3.1. Modification de la fréquence en fonction de la raideur et de la	61
masse vibrante :	61
3.2. Modification de la fréquence en fonction de la pression sous-	67
Glottique :	67

4. Réglage de l'intensité :-----	68
5. Transformation du son voyelles:-----	71
6. Modélisation source filtre et interactions entre source et filtre : -----	76
7. Ajustement des résonances dans la parole : -----	77
8. Plis vestibulaires et leur impact sur la vibration glottique :-----	78
<b>Physiopathologie des dysphonies organiques</b> -----	<b>80</b>
<b>Les facteurs favorisant des dysphonies</b> -----	<b>81</b>
1. Facteurs physiologiques et génétiques : -----	81
1.1. Influence du sexe :-----	81
1.2. Influence de l'âge :-----	82
1.3. Influence de la personnalité et du psychisme : -----	82
2. Facteurs anatomiques : -----	83
2.1. Insuffisance vélopharyngée :-----	83
2.2. Troubles auditifs : -----	83
3. Facteurs d'environnement :-----	84
3.1. Conditions acoustiques :-----	84
3.2. Hydratation :-----	84
4. Les facteurs comportementaux :-----	84
5. Facteurs professionnels :-----	85
5.1. Forçage vocal et ses conséquences : -----	85
5.2. Autres facteurs associés : -----	89
6. Les pathologies infectieuses et inflammatoires :-----	89
7. Le reflux gastro-oesophagien :-----	90

8. Pathologies respiratoires :	-----	90
Etude clinique de la voix	-----	91
1. Interrogatoire :	-----	91
1.1. Analyse de la demande du patient :	-----	91
1.2. Conséquence dans la vie relationnelle et psychique :	-----	92
1.3. Pourquoi venez-vous maintenant :	-----	92
2. Quel est le contexte médical (antécédents) :	-----	93
3. L'examen clinique :	-----	94
3.1. L'examen oto-rhino-laryngologique :	-----	94
3.2. La statique corporelle :	-----	95
3.3. Le souffle :	-----	95
3.4. Les cavités de résonance :	-----	95
<b>Les moyens d'explorations laryngés</b>	-----	96
1. La nasofibroscopie :	-----	96
1.1. Principe :	-----	96
1.2. Indications :	-----	96
2. La stroboscopie :	-----	98
2.1. Principe :	-----	98
2.2. Les champs d'application de l'examen :	-----	98
2.3. Les limites de l'examen stroboscopiques :	-----	99
2.4. Le matériel :	-----	99
2.5. Les résultats :	-----	100
3. L'électromyographie laryngée :	-----	105

4. La glottographie : -----	107
5. La cinématographie ultrarapide et la kymographie : -----	108
<b>Analyse de la voix</b> -----	<b>110</b>
1. Analyse subjective de la voix :-----	112
1.1. Auto-évaluation par le patient : -----	112
1.2. Analyse perceptive de la voix : -----	113
a. Choix de l'échantillon vocal et enregistrement -----	114
b. Caractéristiques de la dysphonie -----	114
2. Analyse objective de la voix : -----	117
2.1. Analyse acoustique : -----	117
a. Fréquence :-----	117
b. Intensité : -----	117
c. Timbre : -----	118
2.2. Mesures aérodynamiques : -----	119
a. Exploration fonctionnelle : -----	119
b. Débit d'air en phonation : -----	120
c. Quotient phonatoire : -----	120
d. Pression sous glottique : -----	120
e. Résistance glottique : -----	120
2.3. Capacité vocales :-----	121
a. Phonétogramme : profil vocal ou courbes vocales -----	121
b. Test d'endurance : -----	122
c. Dysphonia severity index : -----	122

<b>La classification des pathologies bénignes des cordes vocales</b>	-----	123
1. Les lésions dysfonctionnelles :	-----	124
2. Les lésions kystiques :	-----	124
3. Les lésions cicatricielles :	-----	125
<b>Etiologies des dysphonies organiques</b>	-----	126
1. Les nodules	-----	126
2. Les polypes	-----	129
3. Les œdèmes de Reinke	-----	131
4. Les kystes muqueux	-----	134
5. Les kystes épidermoïdes	-----	135
6. Les sulcus glottidis	-----	137
7. Les vergetures	-----	139
8. Les ponts muqueux	-----	140
9. Les granulomes	-----	141
10. Les ulcères	-----	141
<b>Traitement</b>	-----	143
I. Traitement chirurgical :	-----	144
A. La phonochirurgie au laser CO2 :	-----	144
1. Définition :	-----	144
2. Principes physiques :	-----	145
2.1. Les caractéristiques du laser :	-----	145
2.2. Les autres types du laser	-----	146
2.2.1. Laser à solides :	-----	146

2.2.2. Laser à gaz :	147
2.2.3. Laser à liquides :	148
3. mise en jeu	148
3.1. Anesthésie :	148
a. Règles générales :	148
b. Notre protocole :	150
3.2. Préparation du geste chirurgicale :	151
a. Installation du malade :	151
b. Notre protocole :	155
3.3. Technique opératoires :	156
a. Inspection :	156
b. Palpation :	157
i. Nodule et polype	157
a. Principe :	157
b. Technique :	160
c. Suites postopératoires :	161
ii. Œdème de Reinke :	161
a. Principe :	161
b. Technique :	162
c. Suites postopératoires :	163
iii. Kyste épidermique	164
a. Principe :	164
b. Technique :	164

c.	Suites postopératoires :-----	166
iv.	Vergeture :-----	167
a.	Principe :-----	167
b.	Technique :-----	167
c.	Suites postopératoires :-----	168
v.	Granulome -----	170
a.	Principe :-----	170
b.	Technique :-----	170
c.	Suites postopératoires :-----	170
4.	Danger du laser en phonochirurgie : -----	172
4.1.	Egarement du rayon :-----	172
4.2.	Grande puissance :-----	173
4.3.	Inflammation : -----	174
B.	Le choix entre laser CO2 ou micro-instruments ?-----	175
II.	Le traitement médical :-----	176
1.	La corticothérapie :-----	176
2.	Antibiothérapie :-----	176
3.	Traitement anti-reflux :-----	177
4.	L'aérosolthérapie : -----	178
III.	Le repos vocal :-----	179
IV.	Rééducation orthophonique ; -----	179
1.	Définition : -----	179
2.	Le but : -----	179

3. Prescription :	-----	180
4. Les grandes étapes de la rééducation	-----	180
5. Les indications :	-----	181
a. En préopératoire :	-----	181
b. En postopératoire :	-----	182
V. La prise en charge psychiatrique	-----	183
<b>Partie pratique</b>	-----	187
<b>Objectifs</b>	-----	188
<b>Objectif principal :</b>	-----	188
<b>Objectifs secondaires :</b>	-----	188
<b>Matériels et méthodes</b>	-----	189
1. Type d'étude	-----	189
2. Population étudiée	-----	189
3. Suivis des patients et recueil des données :	-----	190
3.1. Evaluation avant la phonochirurgie au laser CO2 :	-----	190
3.2. Réévaluation à la fin de la phonochirurgie au laser CO2:	-----	194
4. Plan d'analyse :	-----	195
<b>Résultats</b>	-----	197
1. Description de l'échantillon	-----	197
1.1. Données sociodémographiques	-----	197
a. Sexe	-----	197
b. Age	-----	198
c. Situation familiale	-----	199

d. Profession : -----	200
e. Niveau socioéconomique -----	201
1.2. Facteurs de risques -----	203
1.3. Données cliniques -----	205
1.4. Résultats de la nasofibroskopie -----	206
1.5. Etiologies -----	207
a. En fonction des facteurs de risques-----	207
b. En fonction de l'âge -----	208
1.6. Bilan préopératoire-----	209
1.7. Traitement -----	210
2. Evaluation de la qualité de vie des patients dysphoniques -----	211
2.1. Résultats du score d'évaluation de la qualité de vie liée à la voix : score VHI. -----	211
2.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et la qualité de vie liée a la voix -----	212
a. Association entre l'âge et la qualité de vie liée à la voix : score VHI. -----	213
b. Association entre l'étiologie et la qualité de vie liée a la voix : score VHI. -----	214
Tableau 5 : le score VHI en fonction des étiologies. -----	214
3. Evaluation perspective de la qualité de la voix -----	215
3.1. Résultats du score GRBAS-I -----	215
3.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et le GRBAS-I -----	215
4. Les mesures aérodynamiques -----	217
4.1. Résultat du temps maximum phonatoire : TMP-----	217

4.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et le TMP -----	218
a. Association entre l'âge et le TMP :-----	218
b. Association entre le sexe et le TMP :-----	218
c. Association entre l'étiologie et le TMP -----	219
5. Résultats de la phonochirurgie au laser CO2 dans la prise en charge des patients dysphoniques -----	220
5.1. Résultat du bilan morphologique : nasofibroscopie -----	220
5.2. Résultat de l'analyse perspective de la qualité de la voix par le score GRBAS-I -----	220
5.3. Résultat de l'analyse de la qualité de vie lié à la voix : score VHI -----	222
5.4. Résultat des mesures aérodynamiques -----	224
<b>Discussion -----</b>	<b>225</b>
1. Introduction : -----	225
2. Points forts et limites de l'étude :-----	225
3. Evaluation de la qualité de vie liée à la voix :-----	227
4. Quels sont les résultats de la phonochirurgie au laser CO2 ?-----	232
<b>Conclusion et recommandation -----</b>	<b>239</b>
<b>Résumé-----</b>	<b>242</b>
<b>Annexes -----</b>	<b>248</b>
<b>Références -----</b>	<b>261</b>

# ABREVIATION

AH	: acide hyaluronique
CV	: capacité vitale
EMG	: électromyographie
ELS	: société européenne de laryngologie
FO	: fréquence fondamentale
IPP	: inhibiteur pompe à proton
ORL	: oto-rhino-laryngologie
RGO	: reflux gastro oesophagien
TA	: tenseur des aryténoïdes
TMP	: temps maximum phonatoire
VHI	: Voice handicap index
VHI E	: Voice handicap index émotionnel
VHI P	: Voice handicap index physique
VHI F	: Voice handicap index fonctionnel
VHI T	: Voice handicap index total
VEMS	: volume d'expiration maximum seconde

# Liste des figures

- Figure 1 : les étapes du développement embryologique du larynx
- Figure 2 : coupe transversale des cordes vocales
- Figure 3 : coupe sagittale du larynx: les cartilages et ligaments laryngés
- Figure 4 : vue postérieure des cartilages et ligaments laryngés
- Figure 5 : Ligaments et cartilages du larynx (coupe sagittale)
- Figure 6 : Schéma montrant l'articulation crico-aryténoïdienne
- Figure 7 : schéma montrant l'action du muscle crico-thyroïdien
- Figure 8 : Schéma montrant les muscles crico-aryténoïdiens.[13]
- Figure 9 : Schéma montrant l'action des muscles intrinsèques du larynx
- Figure 10 : Configuration interne du larynx.
- Figure 11 : Innervation motrice du larynx.
- Figure 12 : Schéma montrant l'innervation laryngée
- Figure 13 : étage glottique
- Figure 14 : Structure feuilletée de la corde vocale (A, B).
- Figure 15 : aspect schématique à l'aide d'un optique à 30
- Figure 16 : Mécanique respiratoire
- Figure 17 : Position et vibration des cordes vocales.
- Figure 19 : Modèle à une masse.
- Figure 19 : Contrôle différentiel de la fréquence des oscillations
- Figure 20 : Types de comportements laryngés selon Koufman .
- Figure 21 : Principe de la stroboscopie. L'image fixe
- Figure 22 : Principe de la stroboscopie. L'impression de ralenti.
- Figure 23 : Position de l'aiguille dans le muscle thyroaryténoïdien
- Figure 24 : Position de l'aiguille dans le muscle cricoaryténoïdien postérieur

Figure 25 : Kymographie.

Figure 26 : Phonétogramme normal :

Figure 27 : Phonétogramme pathologique

Figure 28 : classification des lésions dysfonctionnelles selon Remacle

Figure 29 : Mise en place du laryngoscope

Figure 30 : Principe de l'exérèse du polype.

Figure 31 : Technique de Ford (d'après Ford).

Figure 32 : Répartition de la population selon le sexe

Figure 33 : Répartition de la population en fonction des classes d'âge

Figure 34: Répartition de l'effectif en fonction de la situation familiale

Figure 35 : répartition de la population en fonction de la situation Professionnelle

Figure 36 : répartition des facteurs de risques en fonction des étiologies

Figure 37 : Répartition des étiologies en fonction des classes d'âge

Figure 38: influence du sexe sur la qualité de vie appréciée par le VHI

Figure 39: influence de l'âge sur la qualité de vie appréciée par le VHI.

Figure 40: Influence du sexe sur les mesures aérodynamiques : TMP.

Figure 41: Amélioration du GRBAS-I après la phonochirurgie au laser CO2.

Figure 42 : Evaluation du VHI total, après la phonochirurgie au laser CO2

Figure 43 : Evaluation des TMP après la phonochirurgie au laser CO2

# Liste des images

Image 1 : image endoscopique des cordes vocales

Image 2 : vue endoscopique montrant la commissure antérieure

Image 3 : nodule de la corde vocale droite

Image4 : nodule de la corde vocale gauche

Image 5 : polype angiomateux de la corde vocale

Image6 : polype de la corde vocale droite

Image7 : œdème de Reinke stade II

Image8 : œdème de Reinke stade III

Image 9 : kyste muqueux de la corde vocale droite.

Image 10 : kyste épidermoïdes.

Image 11 : sulcus de la corde vocale droite

Image 12 : vergeture

Image 13 : pont muqueux

Image 14 : granulome de la commissure antérieure post-intubation.

Image 15 : granulome postérieur de la corde vocale gauche

Image16 : Installation du laser CO2 sur le micromanipulateur.

Image17 : les instruments

Image18: mesures de protection

Image 19a : Exérèses au laser CO2 du polype de la corde vocale droite.

Image 19b : étapes d'exérèse au laser CO2 d'un nodule de la corde vocale droite.

Image20 : œdème de Reinke stade II avant et 1 mois après traitement

# INTRODUCTION

La dysphonie chronique se définit comme toute altération d'une ou plusieurs des qualités acoustiques de la voix, elle résulte de l'altération d'un des trois sous systèmes de la production vocale à savoir la soufflerie pulmonaire, le vibrateur laryngé ou les résonateurs.

La grande complexité des phénomènes physio-acoustiques et des phénomènes psycho-acoustiques de la production vocale rendent impossible l'élaboration d'une méthode unique de mesure et de quantification de la voix, ainsi, l'analyse des dysphonies est multiparamétrique (incluant des critères perceptifs, acoustiques, biomécaniques et aérodynamiques), chaque mesure apporte des informations différentes sur les aspects de la production sonore.

Aucune mesure ne suffit à elle seule à caractériser la voix pathologique.

La voix est un instrument de communication et d'expression, toute altération de sa qualité aura des conséquences sur la vie sociale et professionnelle du patient constituant alors un véritable handicap dans la vie quotidienne.

De ces considérations, la notion de qualité de vie liée à la voix, émanant du concept plus général de la qualité de vie liée à la santé (health-related quality of life (HRQOL) par les anglo-saxons), a été largement étudiée ces dernières décennies.

A côté du retentissement psychosocial des troubles de la voix, le retentissement économique est important notamment dans les pays développés, à titre d'exemple, les dépenses liées aux troubles vocaux chez les enseignants aux Etats unis ont été estimés à 2,5 billion de dollars en 2001.

La phonochirurgie est la chirurgie des cordes vocales effectuée dans le but d'améliorer la voix en rendant à la corde vocale opérée l'anatomie la plus proche possible de l'anatomie normale pour que les conditions physiologiques d'une vibration normale soient remplies.

Avec le développement croissant de la médecine fondée sur les preuves (Evidence Based-Medecine), l'évaluation de ses résultats et de son efficacité dans l'amélioration de la voix pathologique a connu un intérêt croissant.

Ce travail est une étude rétrospective à propos de 18 patients dont l'objectif est d'étudier les résultats de la La phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de la voix mais aussi de la qualité de vie des patients dysphoniques.

Nous ne nous intéresserons au cours de ce travail qu'aux altérations du vibreur laryngé organiques en excluant les causes tumorales, pré-néoplasiques ainsi que les troubles du langage d'origine neurologique.

# Historique

# 1. Développement de la laryngologie

La laryngologie apparaît vraiment en tant que spécialité dans la deuxième partie du XIXème siècle avec le développement des moyens d'observation du larynx in vivo.

La compréhension de sa physiologie et de sa physiopathologie progresse tout au long du XXème siècle parallèlement avec les innovations technologiques. [1]

Les premières découvertes en matière d'exploration laryngée remontent au XIXème siècle : Bozzini conçoit, en 1806, un spéculum avec un miroir inséré pour l'examen des diverses cavités du corps. [1]

L'éclairage se fait par l'intermédiaire d'une bougie, rendant l'appareil inefficace.

Babington décrit, en 1829, un instrument à trois lames avec un miroir en acier inoxydable et un rétracteur de langue qu'il appelle glottiscope.

Benatti, en 1832 de Paris, [1] utilise un spéculum fait de deux tubes : un tube conduit la lumière jusqu'à la glotte tandis que l'autre conduit l'image de la glotte réfléchiée par un miroir placé au bout du spéculum.

En 1844, Warden, d'Edinburgh, conçoit l'idée d'utiliser un prisme de verre pour visualiser le larynx. [1]

Un autre nom, celui de Desormeaux, considéré comme « le père de l'endoscopie », adapte, en 1853, une lumière à gaz sur l'appareil de Bozzini mais ne rencontre pas de succès.

Manuel García observa pour la première fois ses propres cordes vocales à l'aide d'un miroir de dentiste placé dans sa gorge, éclairant le larynx à partir de la lumière du soleil réfléchi par un miroir à main. Il a inventé l'auto-examen du larynx qui va lancer véritablement la laryngologie en 1854. [1]

La visualisation directe du larynx est rapportée pour la première fois par Green en 1852. [2]

Killian crée la laryngoscopie en suspension à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et Kirstein y adapte la lumière électrique en 1897.

Brunings, en Europe, et Jackson, aux États-Unis, vont populariser la laryngoscopie directe au début du XX<sup>ème</sup> siècle [3].

Kleinsasser développe la microlaryngoscopie directe interventionnelle dans les années 1960. [4]

L'examen de la vibration des cordes vocales devient possible avec la laryngostroboscopie créée par Oertel en 1878.

Les stroboscopes électroniques vont apparaître en 1950 et Schonharl va décrire la correspondance stroboscopique des principales lésions laryngées en 1960. [1]

Le développement des fibroscopes flexibles, des optiques rigides, des caméras, de la vidéo, du matériel microchirurgical, des sources lumineuses continues ou pulsées à partir des années 1970 va décupler l'intérêt pour la laryngologie et pour la voix humaine.

## **2. Développement des connaissances sur la voix**

Une réflexion approfondie sur le langage remonte aux philosophes grecs.

On leur doit, en particulier, les premières définitions de la voix et de la parole, ainsi, Aristote (384–322 av. J.-C.) distingue bien la voix produite dans la région de la trachée et qui est « le signe des passions de l'âme ».

Galien, (130–200), philosophe médecin apporte bien plus tard des précisions anatomiques et physiologiques supplémentaires en associant la voix au fonctionnement des « organes vocaux» et la parole aux organes tels que « la langue, le nez, les lèvres et les dents ». [5]

Les Grecs, et tout particulièrement Socrate et Platon, ont développé une théorie reposant sur deux grandes techniques, la dialectique et surtout la rhétorique, art du discours public.

Au choix des mots et des arguments s'ajoutent le ton de la voix, le débit de la parole mais aussi les gestes, les mimiques, la posture.

On y voit les prémices de ce qui est appelé maintenant le « geste phonatoire » et dont toute modification peut être source de dysphonie dysfonctionnelle.

Au XVII<sup>ème</sup> siècle, Hieronimus Fabricius Acquapendente associe certains troubles vocaux à l'usage intensif de la parole des prédicateurs.

En 1931, Parrel [6] fait le rapprochement entre le malmenage et le surmenage vocal d'une part, et l'apparition de lésions laryngées d'autre part.

Le mécanisme de dysfonction vocale a été décrit par Tarneaud en 1958[7], et résulterait d'un « désaccord pneumophonique ».

Il a montré que cette dysfonction était capable d'altérer l'organe vocal pour y produire des lésions telles que nodules ou polypes.

D'autres auteurs, par la suite ont repris les termes de dysphonie et de laryngopathie non organiques pour les associer à un comportement phonatoire traumatisant pour le larynx. [8]

### **3. Développement du laser**

En 1917 Albert EINSTEIN a publié « la théorie quantique de radiation » : il a discuté l'interaction des atomes, ions et molécules avec la radiation électromagnétique.

Il a également discuté l'absorption et l'émission spontanée de l'énergie et a proposé un troisième processus d'interaction : l'émission stimulée.

Beaucoup de tentatives ont été faites dans les années suivantes, mais ce n'est qu'en 1954 que Gordon et son équipe ont rapporté leur expérience sur l'émission stimulée dans les domaines des micro-ondes : il s'agit du premier maser « microwave amplification by stimulated emission of radiation ».

En 1958 Arthur SCHAWLOW et Charles TOWNES des physiciens américains ont publié un article intitulé « infrared and optical masers » (masers infrarouge et optique) dont ils ont exposé leur théorie sur le principe de fonctionnement d'un laser.

Finalement c'est leur compatriote Théodore MAIMAN qui construit le premier laser en 1960, il a obtenu un rayonnement laser en excitant des cristaux de rubis synthétiques.

Ce laser a produit un rayon à une longueur d'onde de 0.69  $\mu\text{m}$ , bien que l'énergie laser produit par ce laser à rubis de MAIMAN n'a duré que moins de 1 ms, il a pavé le chemin à un développement explosif de cette technologie.

En 1966, YAHR et STRULLY découvrirent que le laser CO<sub>2</sub> pouvait couper les tissus et être utile en médecine.

La première utilisation clinique fut réalisée en 1971 chez le chien par JAKO et STRONG, elle fut rapidement suivie par une utilisation en laryngologie grâce à l'emploi du microscope. [9]

# Rappel

## Embryologie

Nous n'aborderont au cours de ce rappel que l'embryologie du larynx, organe essentiel de la production de la voix.

Le sillon laryngo-trachéal, apparaît à la face antérieure du tube digestif primitif dès la troisième semaine après la fécondation, celui-ci se creuse rapidement pour former une gouttière qui est la première ébauche respiratoire.

A la cinquième semaine, on observe déjà l'ébauche de l'orifice laryngé.

A la sixième semaine, les cartilages et les muscles commencent à se différencier.

Vers le troisième mois, les cavités sus et sous-glottiques se réunissent au niveau glottique, donnant déjà au larynx un aspect relativement achevé.

Durant cette évolution, l'ébauche laryngée modifie sa situation qui est au début de localisation crânienne, elle se déplace progressivement dans le sens caudal, cette évolution caudale va se poursuivre d'ailleurs après la naissance pendant les premières années de la vie.

Chez le nourrisson, en effet, la position du larynx est telle que l'épiglotte atteint le rinopharynx en se plaçant derrière la face supérieure du voile du palais, cela permet au nourrisson de déglutir tout en respirant.

A la naissance, les plis vocaux ont une longueur de 5 mm environ.

On note l'importance relative des cartilages par rapport aux muscles et aux ligaments et l'épiglotte en particulier est volumineuse.

Dans l'enfance, le larynx s'agrandit progressivement en même temps que sa situation s'abaisse.

Les plis vocaux mesurent 6 mm à 1 an, 8mm à 6 ans.

Le ligament vocal apparait entre 1 et 4 ans.

A la puberté :

- ❖ Chez le garçon, les plis vocaux s'allongent rapidement pour atteindre en quelques mois leur dimension adulte (16 à 23 mm), parallèlement l'angle antérieur du cartilage thyroïde se ferme jusqu'à 90°.
- ❖ Chez la fille, la croissance des plis vocaux ne se fait que progressivement pour atteindre en quelques mois leur dimension adulte vers 17 ou 18 ans (12 à 17 mm), chez elle l'angle du cartilage thyroïde reste obtus (environ 120°).

Chez l'adulte, la partie cartilagineuse du pli vocal se trouve relativement réduite, la portion ligamenteuse et musculaire s'étendant aux deux tiers antérieurs de la glotte.

A partir de 20 ans environ, commence un processus d'ossification des cartilages laryngés à l'exception de l'épiglotte. Ce processus est achevé vers 50/60 ans chez l'homme.

Il reste moins complet chez la femme. [10]

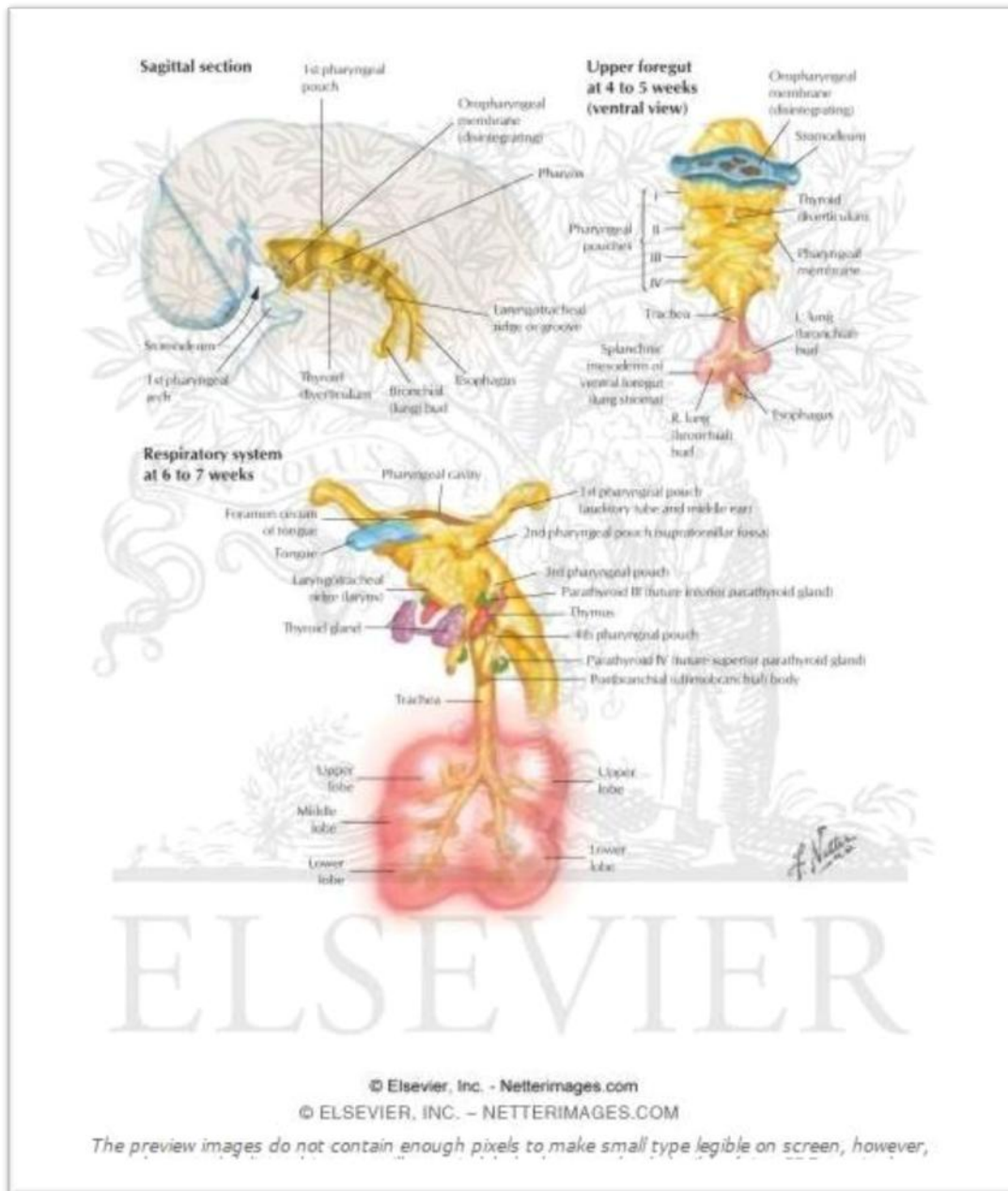


Figure 1 : les étapes du développement embryologique du larynx [11]

# **ANATOMIE**

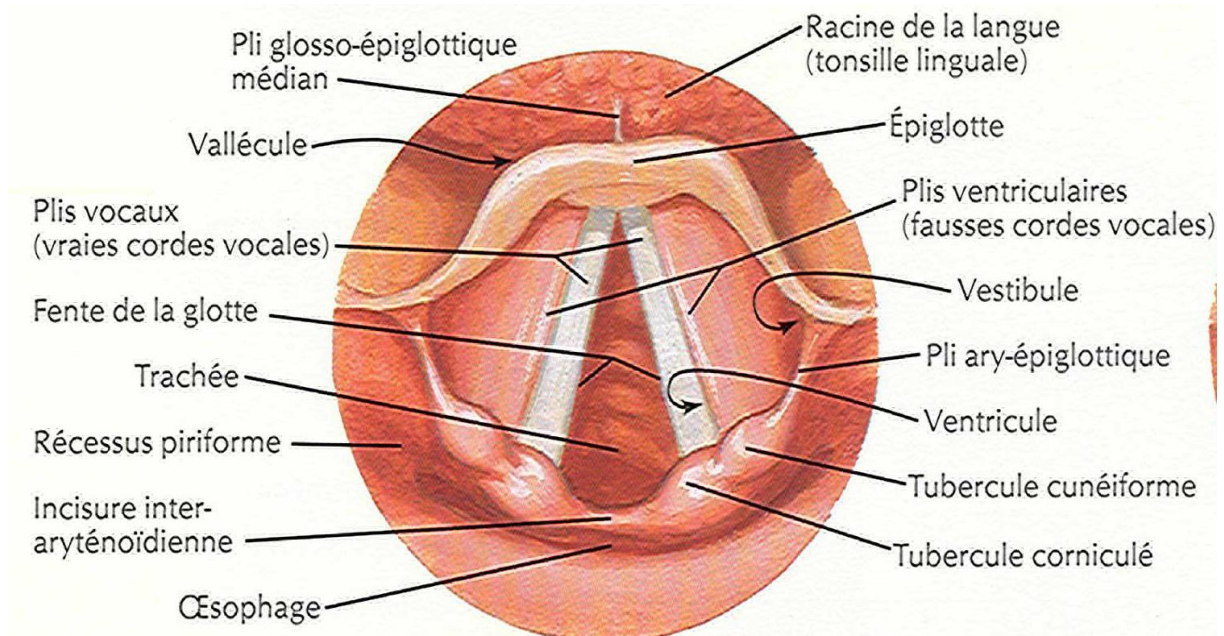
Les cordes vocales sont au nombre de deux et elles constituent l'élément essentiel du larynx, en effet, les fonctions sphinctériennes laryngées (respiratoires et phonatoires) dépendent de l'aspect et de l'état de ces deux éléments.

## **1. Anatomie topographique :**

Les cordes vocales s'étendent d'avant en arrière de l'angle rentrant du cartilage thyroïde ou commissure antérieure, située en avant de l'organe laryngé jusqu'à la base du cartilage aryténoïdien en arrière ou apophyse vocale, elles se situent à 8 mm du bord inférieur du cartilage thyroïde.

Leur dimension est variable surtout en fonction du sexe puisqu'elle est estimée à 22 mm chez l'homme et 18 à 20 mm chez la femme. (figure2)

Les cordes vocales contiennent différents éléments anatomiques (muqueuse, muscles, cartilage) et font partie du larynx qui est un organe impair et médian, situé à la partie moyenne de la gaine viscérale du cou et qui occupe la partie supérieure de la région sous hyoïdienne.



**Figure 2 :** coupe transversale des cordes vocales [12]

Il est formé par un squelette cartilagineux suspendu à l'os hyoïde, ses différents cartilages sont unis par des articulations et des membranes et l'ensemble est doublé d'un appareil musculaire et recouvert par une muqueuse de type respiratoire.

## 1.1. Configuration externe :

### 1.1.1. Les cartilages :

Le larynx est constitué par l'assemblage de 11 cartilages (Figure :3,4,5) :

- trois cartilages impairs et médians : le cartilage thyroïde, le cartilage cricoïde et l'épiglotte.
- quatre cartilages pairs : les cartilages aryténoïdes, les cartilages corniculés, de Santorini et les cartilages cunéiformes de Wrisberg.

❖ Cartilage thyroïde :

Le plus volumineux, il a la forme d'un bouclier et il est formé de deux lames latérales verticales et obliques, formant un angle dièdre ouvert en arrière et responsable en avant du relief de la proéminence laryngée ou pomme d'Adam.

❖ Cartilage cricoïde :

Il a classiquement la forme d'une bague chevalière à chaton postérieur et à anneau antérieur.

Le cartilage cricoïde est surmonté par les cartilages aryténoïdes en arrière, par le cartilage thyroïde latéralement et en avant, où il s'articule au niveau de ses cornes inférieures.

❖ Cartilage épiglottique :

Il a la forme d'une raquette à manche inférieur incurvé dont l'extrémité forme le pied d'épiglotte qui s'insère dans l'angle rentrant du cartilage thyroïde.

❖ Cartilage aryténoïde :

Il a la forme d'une pyramide triangulaire dont la base s'articule avec le cricoïde, il présente un apex supérieur, une face médiale, une face antérolatérale, une face dorsale, un angle postéro-latéral : le processus musculaire et un angle antéro-médial : le processus vocal.

### 1.1.2. Les articulations, membranes et ligaments :

➤ Articulation cricoaryténoïdienne (Figure 6) :

Les articulations cricoaryténoïdiennes permettent des mouvements de translation frontale, écartant ou rapprochant les cartilages aryténoïdes, de rotation latérale ou médiale autour d'un axe vertical, écartant ou rapprochant les processus vocaux et donc les cordes vocales.

➤ Articulations crico-thyroïdiennes :

Elles permettent la bascule vers l'avant ou vers l'arrière du cartilage thyroïde, avec un effet sur la tension des cordes vocales.

Les différentes pièces cartilagineuses du larynx sont unies par des membranes renforcées éventuellement par des ligaments (Figures 3, 4, 5).

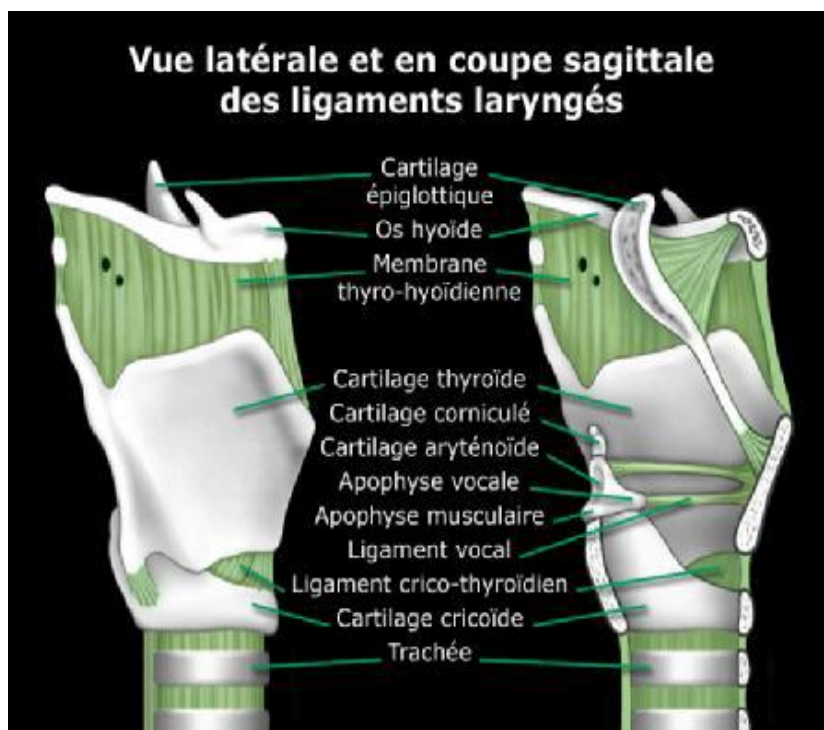


Figure 3 : coupe sagittale du larynx: les cartilages et ligaments laryngés [13]

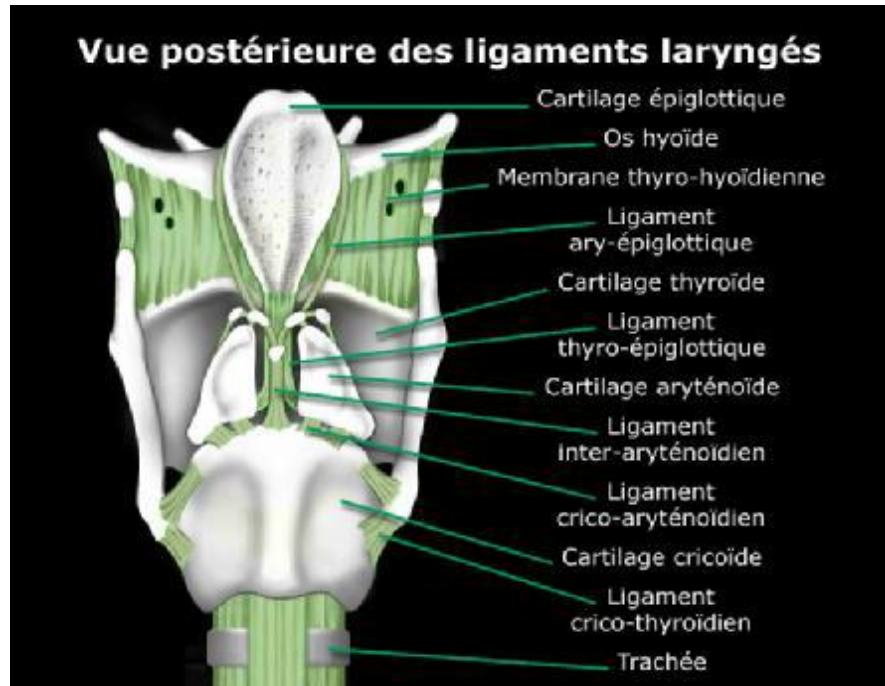


Figure 4 : vue postérieure des cartilages et ligaments laryngés [13]

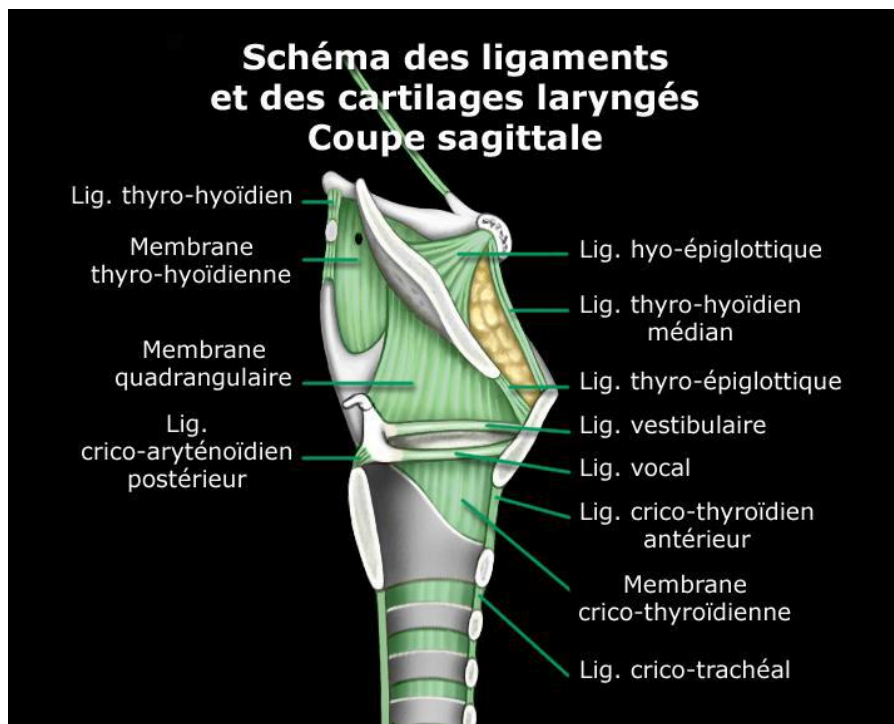


Figure 5 : Ligaments et cartilages du larynx (coupe sagittale) [13]

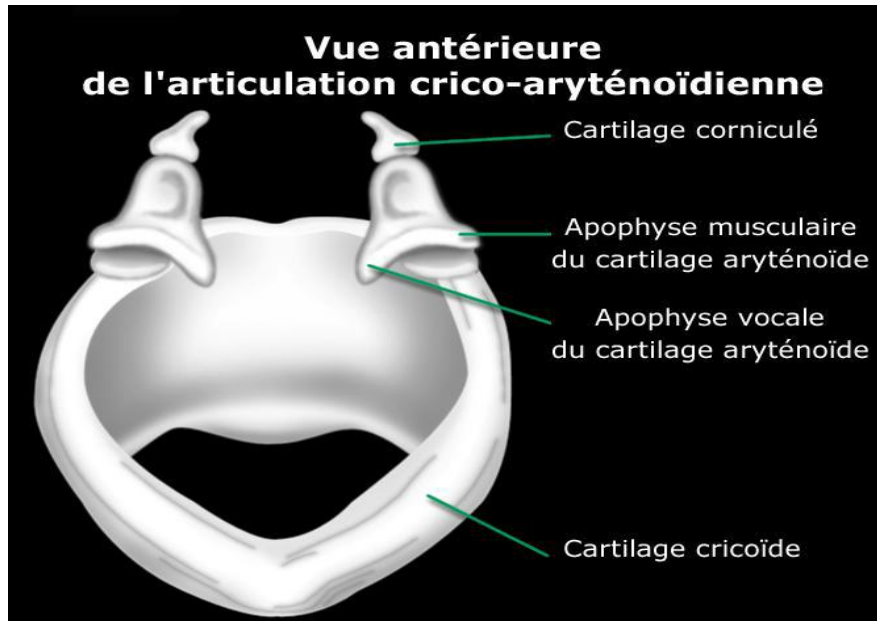


Figure 6 : Schéma montrant l'articulation crico-aryténoïdienne [13]

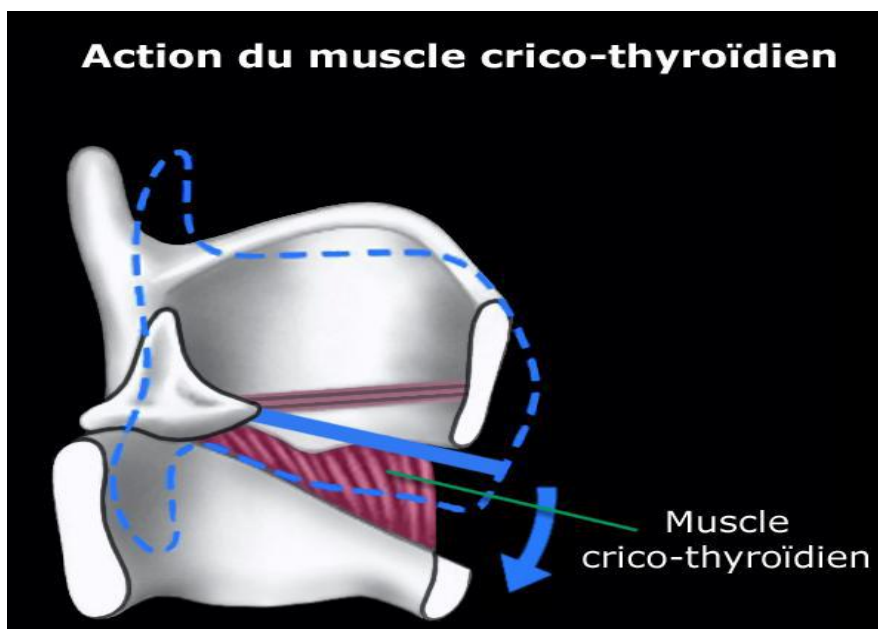


Figure 7 : schéma montrant l'action du muscle crico-thyroïdien [13]

### 1.1.3. Les muscles :

#### a. Intrinsèques:

On distingue trois groupes musculaires :

- Les muscles tenseurs des plis vocaux qui sont les deux crico–thyroïdiens (Les seuls innervés par le nerf laryngé supérieur) (Figure 9).
- Les muscles dilatateurs de la glotte qui sont, les deux crico–aryténoïdiens postérieurs.
- Les sept muscles constricteurs de la glotte qui sont :
  - Les deux crico–aryténoïdiens latéraux (Figure 8).
  - L'inter– aryténoïdien.
  - Les deux thyro–aryténoïdiens supérieurs.
  - Les deux thyro–aryténoïdiens inférieurs dont la couche interne entre dans la constitution des plis vocaux (Figure9,10).

#### b. Extrinsèques:

Elles constituent l'appareil suspenseur du larynx, lui conférant par ailleurs une grande mobilité, trois groupes musculaires assurent cette fonction et constituent les « bretelles de suspension du larynx » :

- Les bretelles antérieures relient le larynx à la mandibule : les muscles sus–hyoïdiens.
- Les bretelles inférieures relient le larynx à l'orifice supérieur du thorax : les muscles sous–hyoïdiens.
- Les bretelles supérieures le relient à la base du crâne : muscles stylo–hyoïdien et digastrique.

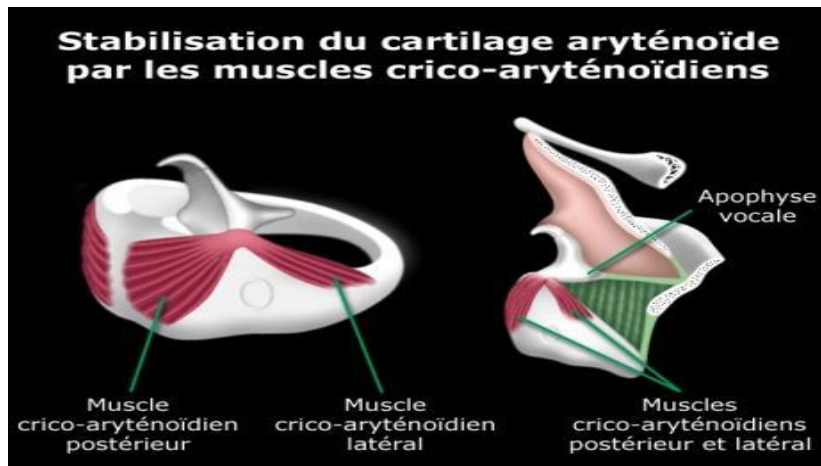


Figure8 : Schéma montrant les muscles crico-aryténoïdiens.[13]

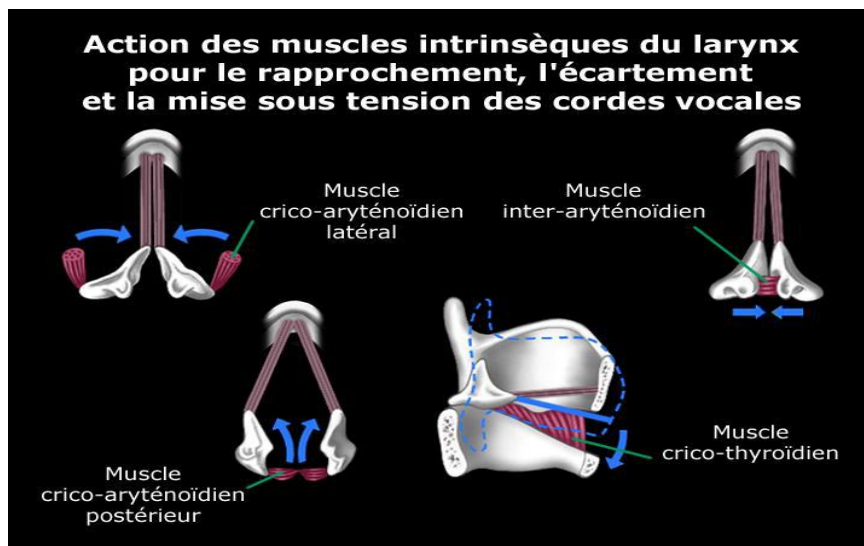


Figure 9 : Schéma montrant l'action des muscles intrinsèques du larynx [13]

## 1.2. Configuration interne :

Le larynx est un tube de 5 cm de haut, 3,5 cm plus large à sa partie haute ; Il est tapissé par une muqueuse en continuité avec la muqueuse pharyngée et trachéale.

Cette muqueuse est doublée par une membrane fibroélastique tendue du ligament aryépiglottique en haut à l'arc cricoïdien en bas (Figure 10).

Cette membrane présente deux épaisissements :

- le ligament vestibulaire ou thyro-aryténoïdien supérieur,
- le ligament vocal ou thyro-aryténoïdien inférieur.

La cavité laryngée est divisée en trois étages par ces deux replis :

- l'étage supérieur ou vestibule laryngé.
- l'étage moyen, limité en haut par les cordes vocales supérieures et en bas par les cordes vocales inférieures.
- l'étage inférieur ou infra glottique, en continuité en bas avec la trachée.

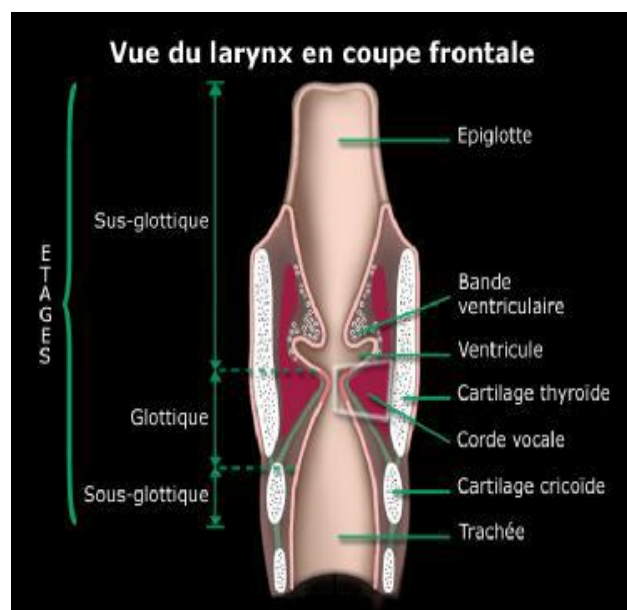
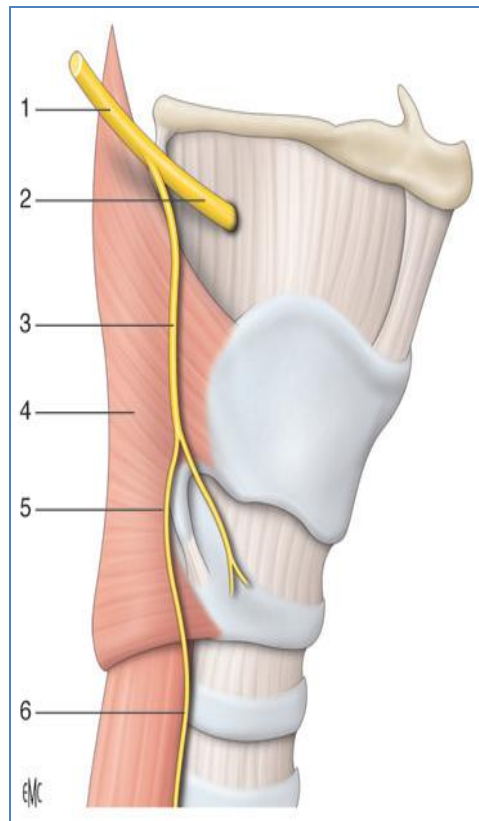


Figure 10: Configuration interne du larynx. [13]

### 1.3. Innervation des cordes vocales :

L'innervation laryngée est double : centrale et périphérique.

Elle est assurée par les nerfs laryngés supérieur et inférieur, branches du nerf vague ou pneumogastrique, dixième paire crânienne (Figure 11).



**Figure 11 : Innervation motrice du larynx. [14]**

1. Nerf laryngé supérieur ; 2. branche interne ; 3. branche externe ;
4. muscle constricteur inférieur ; 5. anse de galien ; 6. nerf récurrent laryngé.

a. Nerf laryngé supérieur :

C'est un nerf mixte, essentiellement sensitif, qui naît du nerf vague, au pôle inférieur du ganglion plexiforme (Figure 12).

Il descend contre la paroi pharyngée pour se diviser en arrière de la corne de l'os hyoïde en deux branches :

- une branche médiale ou supérieure qui perfore la membrane thyro-hyoïdienne ; Elle donne l'innervation sensitive de la muqueuse supérieure du larynx, de la partie adjacente du pharynx et de la base de langue.
- une branche latérale ou inférieure qui innerve le muscle crico-thyroïdien, puis perfore la membrane crico-thyroïdienne et donne l'innervation sensitive des étages moyen et inférieur du larynx et assure le tonus des muscles du larynx.

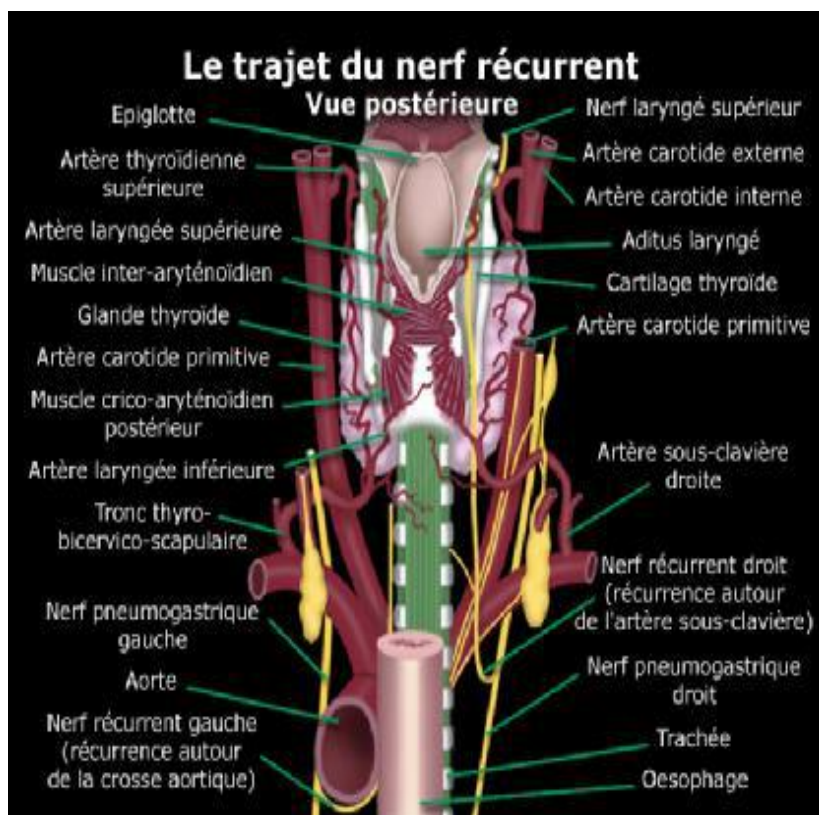


Figure 12 : Schéma montrant l'innervation laryngée [13]

**b. Nerf laryngé inférieur :**

C'est la branche terminale du nerf laryngé inférieur (récurrent) (figure12) qui naît du nerf vague,, à droite au-dessous de l'artère sous-clavière, à gauche au-dessous de l'arc aortique, monte vers le larynx dans l'angle oeso-trachéal.

Il donne des rameaux trachéaux, oesophagiens, cardiaques, et devient le nerf laryngé inférieur quand il passe sous le constricteur inférieur du pharynx.

Il donne alors trois rameaux :

- un rameau anastomosé avec le nerf laryngé supérieur constituant l'anse de Galien.
- un rameau postérieur.
- un rameau antérieur.

Le nerf laryngé inférieur innerve la muqueuse postérieure et tous les muscles du larynx, sauf le crico-thyroïdien.

**c. Innervation périphérique :**

Elle est de trois ordres : sympathique, sensitive, motrice.

- L'innervation sympathique : Elle suit la vascularisation artérielle issue du plexus laryngé de Haller.
- L'innervation sensitive : Elle est assurée par le nerf laryngé supérieur ; Il faut noter que les récepteurs sensitifs sont très nombreux et surtout responsables d'une grande sensibilité de la muqueuse laryngée.

- L'innervation motrice : Elle dépend du nerf récurrent pour le muscle vocal et du nerf laryngé externe, branche du nerf laryngé supérieur, pour le muscle crico-thyroïdien.

d. **Innervation centrale :**

- Bulbaire :

Elle est constituée par les centres laryngés bulbaires qui sont au nombre de deux :

- le centre bulbo-respiratoire qui va permettre l'ouverture glottique donc l'inspiration, parallèlement ce centre permet l'expansion de la cage thoracique.
- le centre bulbo-phonatoire : Il envoie des fibres centrifuges responsables de l'innervation des muscles nécessaires à la phonation.

- Corticale :

Il existe également deux centres :

- le centre cortico-phonatoire : Le centre cortico-phonatoire semble exister au niveau de l'opercule rolandique, ceci serait confirmé par l'existence de pathogénie des laryngoplégies d'origines corticales.
- le centre cortico-respiratoire.

## **2. Anatomie histologique :**

La corde vocale, également appelée pli vocal selon la nomenclature internationale, correspond au muscle thyro-aryténoïdien, à son tissu fibreux de recouvrement et à la muqueuse en regard [15,16]; elle est caractérisée par l'absence de glandes muqueuses sur le bord libre des plis vocaux ce qui permet d'éviter toute perturbation de la vibration ainsi son humidification est assurée par le mucus sécrété par les régions adjacentes.

Il existerait des microcrêtes à la surface de l'épithélium qui auraient pour rôle de faciliter la distribution du mucus et la conservation de la lubrification, de même, les vaisseaux sont pour la plupart parallèles au bord libre de la corde et orientés d'avant en arrière et même les fibres d'élastine et de collagène sont approximativement orientées parallèlement au bord libre de la corde.

Ce dernier présente une structure particulière dite « feuilletée » qui n'existe en réalité qu'à la partie dite « ligamentaire » de la corde, c'est-à-dire ses deux tiers antérieurs (Figure 14,15). [17]

### **2.1. Epithélium de surface :**

L'épithélium qui recouvre le bord libre des cordes vocales est de type pavimenteux stratifié non kératinisé, Il encapsule la sous-muqueuse et mesure de 0,05 à 0,1 mm d'épaisseur.

La surface des cellules épithéliales présente d'ailleurs des microsillons qui pourraient contribuer à l'adhérence du mucus ou encore à l'adhérence à la corde controlatérale à l'image des sillons d'un pneu.

L'épithélium est lui-même recouvert d'une couche de mucus dont la couche de mucine, la plus superficielle, a pour fonction de prévenir la déshydratation de la couche séreuse plus profonde ainsi que des cils et des cellules sous-jacentes. [16,17]

## **2.2. La membrane basale :**

La membrane basale est fixée à la lamina propria, située en profondeur, par des fibres reliées en boucle dont la densité semble dépendre de facteurs génétiques. Ce qui pourrait expliquer une certaine susceptibilité au développement de lésions nodulaires par exemple. [16]

## **2.3. La lamina propria :**

La lamina propria est divisée en trois couches déterminées par leur composition histologique en élastine et en fibres collagènes (couche superficielle qui correspond à l'espace de Reinke de la description classique, couche moyenne et profonde qui correspondent au ligament vocal).

Le collagène donne la résistance et la structure aux tissus et permet au tissu de supporter les stress physiques et les déformations, à l'inverse, l'élastine donne au tissu l'élasticité, c'est-à-dire la capacité de se déformer puis de retourner à la forme initiale.

Les protéines interstitielles règlent la viscosité de la corde qui est une caractéristique physique essentielle sur le plan vibratoire, elles contribuent également à l'absorption des chocs mécaniques liés à la vibration, notamment l'acide hyaluronique, qui contribue à la viscosité et à la capacité d'absorption des chocs.

La répartition des protéines fibreuses et interstitielles est sous le contrôle des phénomènes mécaniques supportés par les cordes vocales qui joueraient un rôle sur leur expression génétique [16].

Parmi les cellules importantes de la lamina propria, on distingue notamment les fibroblastes et les myofibroblastes :

- Les fibroblastes permettent le maintien de la lamina propria par le remplacement des vieilles protéines en fabriquant de nouvelles.
- Les myofibroblastes sont présents seulement quand un traumatisme ou un dommage nécessite une reconstruction ou une réparation au niveau de la matrice extra-cellulaire [18].

#### **2.4. La maculae flavae :**

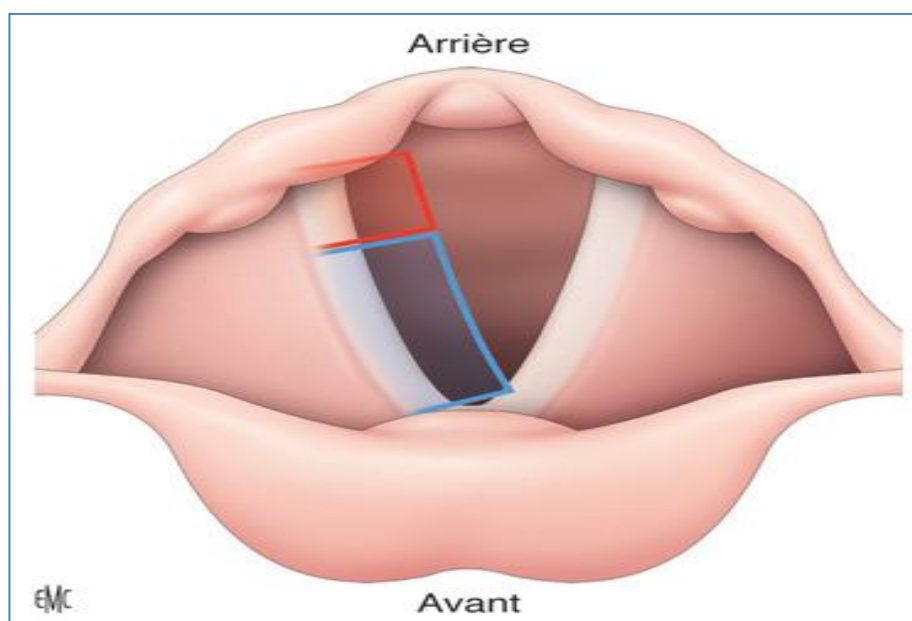
Il s'agit de renforcements du ligament vocal composé d'un stroma, de fibroblastes et de fibres élastiques responsables d'épaississements localisés aux niveaux antérieur et postérieur des plis vocaux, là où les contraintes mécaniques sont les plus importantes, elles assurent la plus grande partie de la synthèse et du renouvellement protéique et cellulaire du ligament vocal, et jouent un rôle d'amortisseur protégeant les cordes vocales des effets mécaniques ou vibratoires résultant de l'interaction entre la vibration des cordes et les structures rigides non vibrantes du larynx. [19,20]

## 2.5. Le muscle vocale :

Dénotmé le muscle thyro-aryténoïdien interne situé dans l'épaisseur de la corde vocale, c'est un muscle strié innervé par le nerf laryngé inférieur, sa limite avec le ligament vocal est peu visible en raison de nombreux échanges de fibres entre les deux structures, et son degré de contraction détermine les propriétés biomécaniques de la corde vocale.

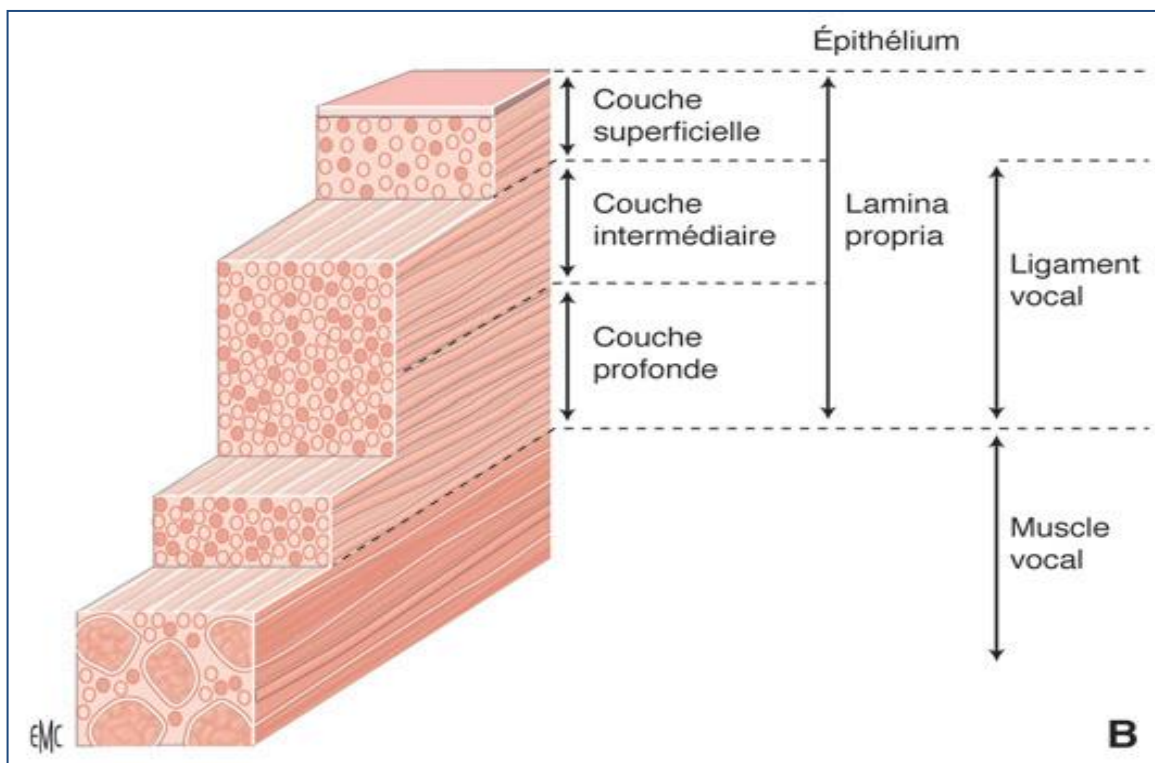
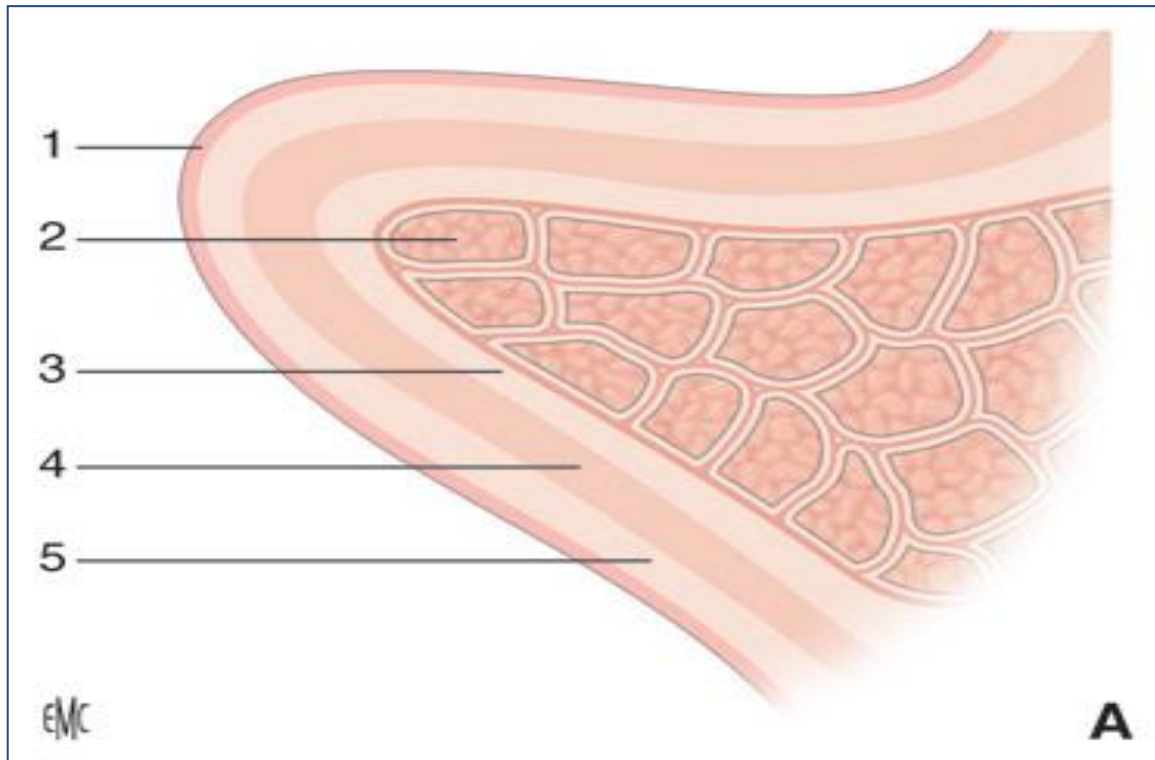
Les muscles laryngés en général semblent avoir une répartition des fibres qui permet à la fois une contraction rapide et une bonne résistance à la fatigue mais le muscle thyro-aryténoïdien et le crico-thyroïdien semblent particulièrement spécialisés dans la contraction rapide.

Il existe donc des moyens extrêmement sophistiqués d'adaptation de la contraction de tout ou partie des fibres musculaires en fonction du besoin vocal [21].



**Figure 13 : étage glottique :**

Partie vibrante (en bleu) et respiratoire (en rouge) [14]



**Figure 14 :** Structure feuilletée de la corde vocale (A, B). [14]

- 1. Épithélium ; 2. muscle thyroaryténoïdien ; 3. couche profonde ;
- 4. Couche intermédiaire ; 5. couche superficielle.

### **3. Anatomie microscopique et endoscopique :**

#### **3.1. La corde vocale :**

À l'état normal, elles prennent la forme de deux cordons blancs tendus en avant entre l'angle rentrant du cartilage thyroïde et en arrière au niveau de l'apophyse vocale à la base du cartilage aryénoïde. (Image 1)

Leur face supérieure est bien visible en laryngoscopie indirecte, alors que les régions plus difficiles d'accès sont la commissure antérieure et la face inférieure de chaque corde vocale.

Au cours de l'examen endoscopique sous anesthésie générale, l'utilisation du microscope et des optiques permet de bien visualiser le bord libre de la corde vocale, ainsi que sa muqueuse de recouvrement qui apparaît transparente, souple, et qui constitue la partie vibrante grâce à l'espace sous-muqueux décollable de Reinke.

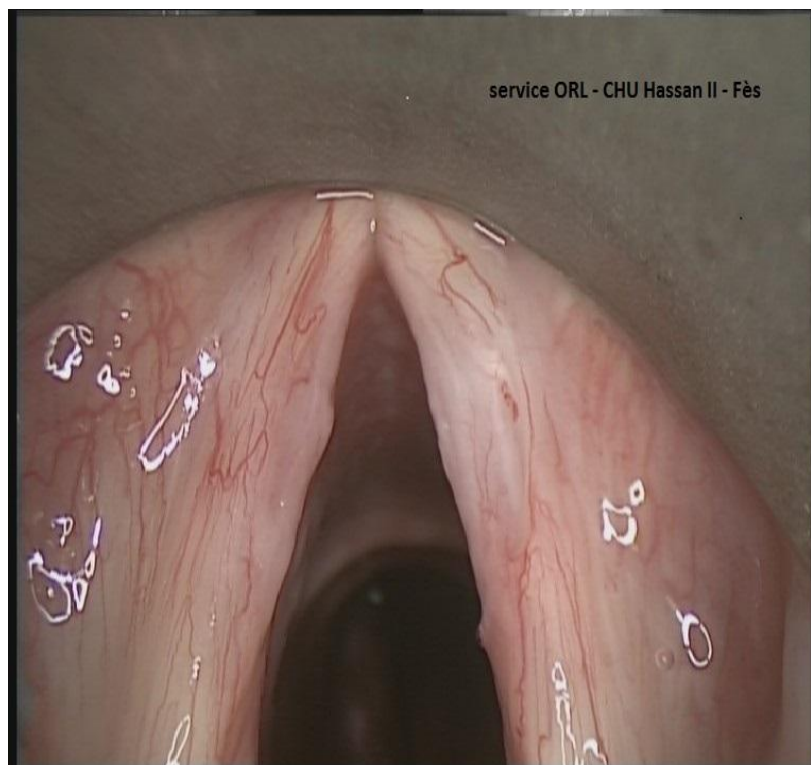
- L'utilisation des optiques à 30° permet de visualiser toute la face supérieure de la corde vocale vers le plancher du ventricule de Morgagni et en dehors.
- L'utilisation des optiques à 70° est particulièrement adaptée à l'examen de la face inférieure des cordes vocales, mais surtout de la commissure antérieure.

Ces deux régions sont très importantes à examiner pour évaluer l'extension des cancers glottiques.

L'examen au microscope du plan glottique, associé à l'utilisation de micro-instruments (pince coudée à droite et à gauche, palpeur, aspiration) permet de faire

le diagnostic des anomalies, soit de la muqueuse, soit du ligament vocal, soit en profondeur dans la corde vocale.

Il s'agit essentiellement des polypes, des kystes, des nodules, mais surtout des sulcus glottidis et des kystes intra-cordaux dont le diagnostic est parfois difficile en laryngoscopie indirecte. [22]



**Image 1** : image endoscopique des cordes vocales.

### 3.2. La commissure antérieure :

Elle est idéalement examinée à l'optique à 30° et à 70°. [22] (Figure.15, image2)

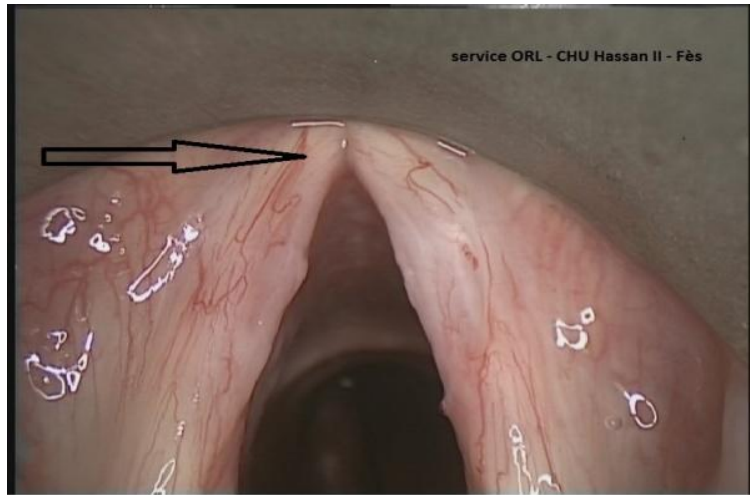


Image 2 : image endoscopique montrant la Commissure antérieure.

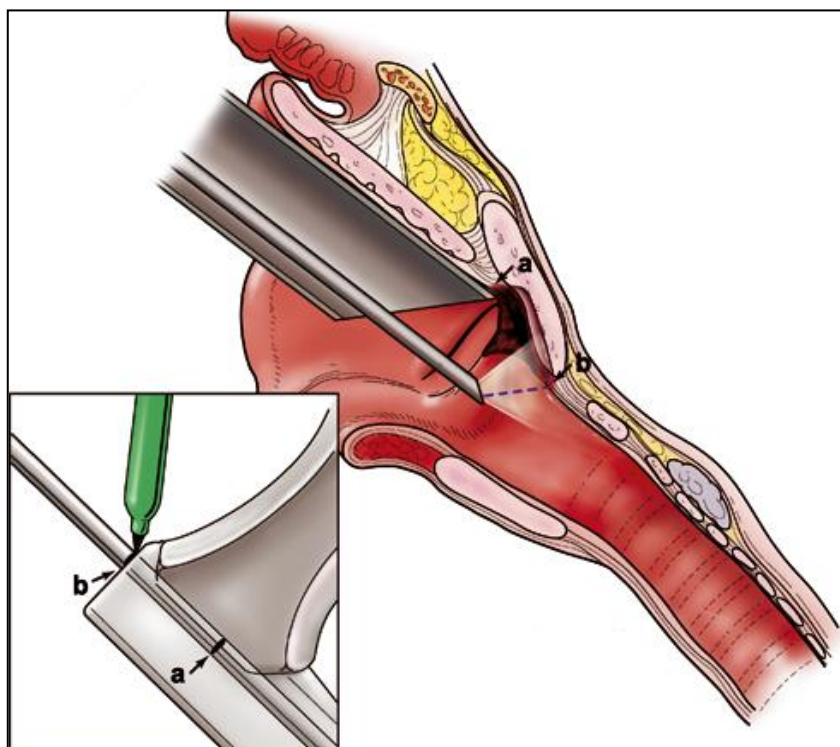


Figure 15 : aspect schématique à l'aide d'un optique à 30° [23]

### **3.3. La commissure postérieure :**

Elle correspond à la glotte cartilagineuse représentée par les deux apophyses vocales des cartilages aryténoïdes, c'est une région particulière qui ne participe que de façon accessoire à la phonation, recouverte d'une muqueuse fine, directement appliquée sur le cartilage avec une vascularisation riche ce qui explique la fragilité de cette dernière [24].

## **PHYSIOLOGIE**

Le terme de phonation décrit l'ensemble des processus physiologiques et physiques correspondant à l'apparition d'une vibration sonore au niveau des cordes vocales [25,26].

L'énergie aérodynamique est fournie par la pression de l'air trachéal « soufflerie pulmonaire ».

La vibration sonore qui est la transformation de l'énergie aérodynamique et de l'énergie mécanique en énergie acoustique apparaît lorsque les cordes vocales sont rapprochées sur la ligne médiane.

Le son produit dans les cordes est aussitôt modifié, filtré par les cavités aériennes situées au-dessus des cordes vocales jusqu'aux lèvres «résonateurs buccopharyngés ».

# 1. Soufflerie pulmonaire :

## 1.1. La mécanique thoracique :

Il existe deux modalités du mouvement thoracique qui peuvent être exécutés isolément ou conjointement (Figure1-).

On distingue :

- Le mouvement d'élévation/abaissement : Caractéristique du mouvement de l'orifice supérieur du thorax, il correspond au mouvement élémentaire de la côte en « poignée de pompe ».
- Le mouvement d'élargissement/resserrement : Il correspond au mouvement élémentaire de la côte en « anse de seau ».

On observe que le soupir s'effectue selon le premier mode.

A l'opposé, le souffle dit « abdominal » qui a lieu lors de la projection vocale s'effectue selon le deuxième mode.

Dans la respiration courante, on observe le plus fréquemment une association de ces deux modalités.

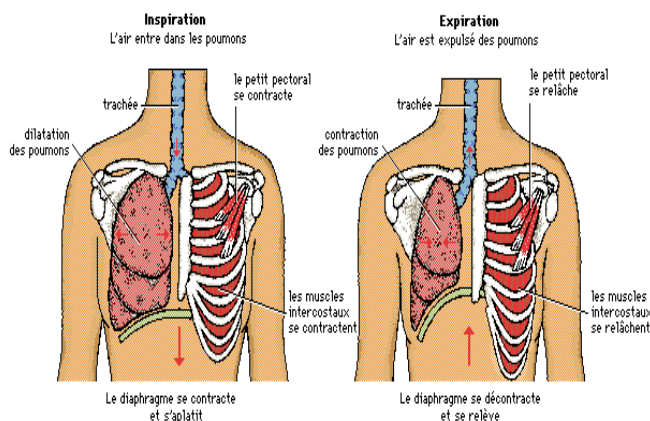


Figure 16 : Mécanique respiratoire [13]

## 1.2. La dynamique respiratoire :

Les forces s'exerçant sur le thorax sont au nombre de quatre :

- L'élasticité pulmonaire, qui permet au poumon de suivre les mouvements inspiratoires et expiratoires de la paroi thoracique ; ceci grâce à l'espace de glissement entre le feuillet viscéral et pariétal de la plèvre.
- L'élasticité thoracique.
- La pesanteur.
- L'action des muscles respiratoires avec l'effet antagoniste des muscles inspiratoires et expiratoires.

## 1.3. La physiologie du souffle phonatoire :

La première fonction de l'appareil respiratoire est d'assurer l'hématose ; Tandis que lors de la phonation, l'appareil respiratoire doit assurer une double fonction :

- Continuer à assurer l'hématose
- Fournir un souffle ajusté aux nécessités de la production vocale.

### 1.3.1. La phonation et les deux temps de la respiration :

La phonation entraîne l'adoption d'un rythme respiratoire particulier ; En effet l'inspiration se raccourcit et prend la signification d'un élan du geste phonatoire ; L'expiration se rallonge et devient souffle phonatoire.

Il existe par ailleurs un contrôle de l'expiration par la mise en jeu simultanée de muscles antagonistes inspiratoires et expiratoires avec une augmentation des volumes mobilisables à chaque cycle.

### 1.3.2. Modalités du souffle phonatoire :

#### ➤ Souffle thoracique supérieur :

Il est dû à l'abaissement costal en « poignée de pompe », sous l'action de l'intercostal interne et Il fait suite à un élan thoracique supérieur, ce souffle thoracique supérieur correspond à la parole ou à la voix d'expression simple.

#### ➤ Souffle abdominal :

Dans ce souffle, les muscles oblique et transverse produisent conjointement :

- Une rétraction de la paroi abdominale avec refoulement du diaphragme en haut
- Un abaissement costal en « anse de seau »

L'exécution du souffle abdominal suppose un élan respiratoire abdominal ; Il correspond à l'acte de projection vocale, dans l'intention déclarée d'agir sur autrui.

#### ➤ Souffle vertébral :

Il est produit par la flexion vertébrale qui met en jeu toute la musculature du tronc et Il intervient dans la voix de détresse, dont l'usage prolongé risque d'entraîner une irritation laryngée et l'entrée dans le cercle vicieux du forçage vocal aboutissant à la dysphonie dysfonctionnelle

Ces trois mécanismes du souffle thoracique supérieur, du souffle abdominal et du souffle vertébral peuvent fonctionner de façon parfaitement isolée ou bien se succéder au cours d'une même phrase.

## 2. Vibration vocale :

Les théories et modèles actuels dérivent tous de la théorie myoélastique de Ewald (1898) qui sera expliqué dans ce chapitre par le modèle à une masse.

Dans un premier temps, les cordes vocales doivent être correctement positionnées de part et d'autre de la ligne médiane (position fermée préphonatoire) avec une tension appropriée, elles opposent ainsi une certaine résistance à l'écoulement de l'air, cette position est très proche de la position fermée utilisée par exemple durant la déglutition pour rendre le larynx étanche et éviter les fausses routes par inhalation (Figure 17 A).

Lorsque les cordes sont en position fermée, le mécanisme de base de la vibration correspond à la résolution du conflit de forces entre d'une part les forces biomécaniques de contact des cordes vocales, qui dépendent du degré de contraction musculaire du muscle vocal lui-même et de son élasticité, d'autre part les forces aérodynamiques de pression qui tendent à les écarter (pression sous-glottique) [27-29].

La vibration elle-même est passive et commence avec la compression de l'air sous-glottique sous l'action des muscles expiratoires.

Lorsque la pression de l'air sous les cordes vocales dépasse le seuil de cette résistance, le mécanisme cyclique de la vibration se met en route : l'air peut s'échapper à travers les cordes, ce qui fait diminuer la pression sous-glottique.

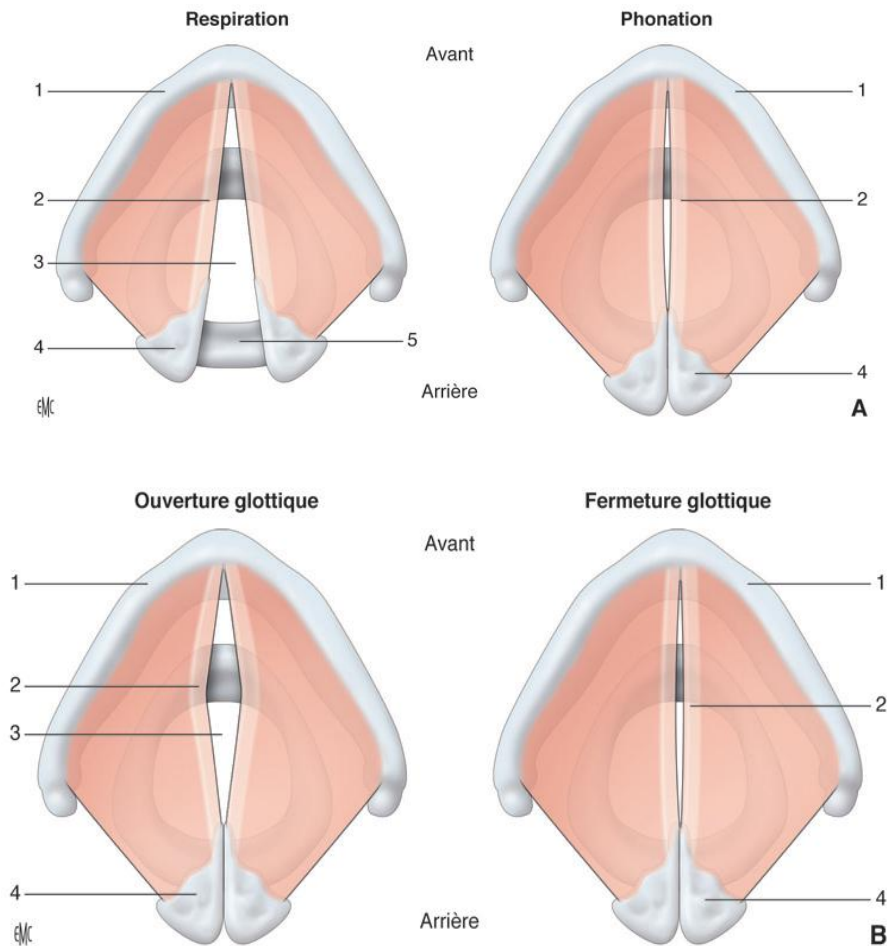
Dès lors, les cordes se referment à la fois sous l'effet de leur élasticité propre et lorsqu' ils sont refermées, le processus peut recommencer (Figure. 17B).

La production du son correspond donc à la transformation aéroacoustique d'un mouvement aérodynamique continu, l'expiration active, en un phénomène acoustique alternatif, le son.

En aval des cordes vocales, lors de la phonation, deux phénomènes se superposent : le premier est le déplacement de l'air du tractus vocal vers la sortie par les lèvres et le second est le déplacement de l'onde sonore à la vitesse du son.

La genèse de l'onde acoustique par modulation du débit d'air expiré se fait au bord libre des cordes vocales selon des mécanismes d'échange d'énergie non complètement élucidés.

Plusieurs modèles physiques ont été proposés pour en reproduire le fonctionnement comme le modèle à une masse [27] par exemple, qui justifie convenablement l'alternance de phases ouvertes et fermées du plan glottique.



**Figure 17 : Position et vibration des cordes vocales. [30]**

1. Cartilage thyroïde ; 2. corde vocale ; 3. fente glottique ; 4. cartilage aryténoïde ;  
5. cartilage cricoïde.

**A. Positions ouverte et fermée des cordes vocales.**

La position fermée correspond à la contraction des muscles cricoaryténoïdien latéral et inter aryténoïdien, c'est à partir de cette position fermée dite « pré phonatoire » que les mécanismes de la vibration peuvent entrer en jeu.

**B. La vibration des cordes vocales correspond :**

À la résolution du conflit aérodynamique et myo-élastique entre la pression de l'air et la force de contact des cordes.

## 2.1. Modèle à une masse :

Ce modèle repose sur le principe que chaque corde vocale peut être modélisée par une masse et un ressort avec un système d'amortissement, ce modèle est le plus simple et il répond à la conception myoélastique de Ewald [27,31,32] , Il s'agit d'un modèle symétrique, constitué en fait de deux hémi-modèles (un par côté).

Chaque masse n'a qu'un axe de mouvement (fermé-ouvert).

Le moteur d'énergie est l'air phonatoire sous-glottique.

Les caractéristiques de la masse et du ressort expliquent la résistance à l'écoulement aérien, et l'alternance d'ouverture/fermeture du bord libre est ainsi justifiée par la mise en jeu de l'élasticité du ressort.

Le mouvement résultant peut être assimilé à celui d'un pendule oscillant entretenu.

Dans ce modèle, les cordes vocales sont ouvertes ou fermées ; il s'agit d'un oscillateur faiblement amorti et dont l'oscillation est mise en jeu par un petit ébranlement de départ.

L'oscillation démarre lorsque la pression sous-glottique donne l'impulsion pour le début de l'oscillation (Figure 18).

Lors de chaque cycle, l'ouverture glottique entraîne la compression de la masse musculaire, c'est-à-dire du ressort du modèle à une masse, cette compression met en jeu son élasticité de façon non linéaire puisqu'elle augmente sa raideur et cette élasticité entraîne une force de rappel qui provoque la fermeture glottique.

Enfin, l'asymétrie entre les pressions sus- et sous glottique contribue à entretenir ce cycle : lorsque l'air a franchi le plan glottique, la pression immédiatement sus-glottique diminue du fait que l'air continue son chemin à travers le tractus vocal.

Pendant ce temps, la pression sous-glottique augmente à nouveau et le cycle peut se reproduire à la fois du fait de la surpression sous-glottique et de la dépression sus-glottique.

L'asymétrie nécessaire pour que la vibration se produise est donc une asymétrie de phase correspondant à l'inertie de la colonne d'air.

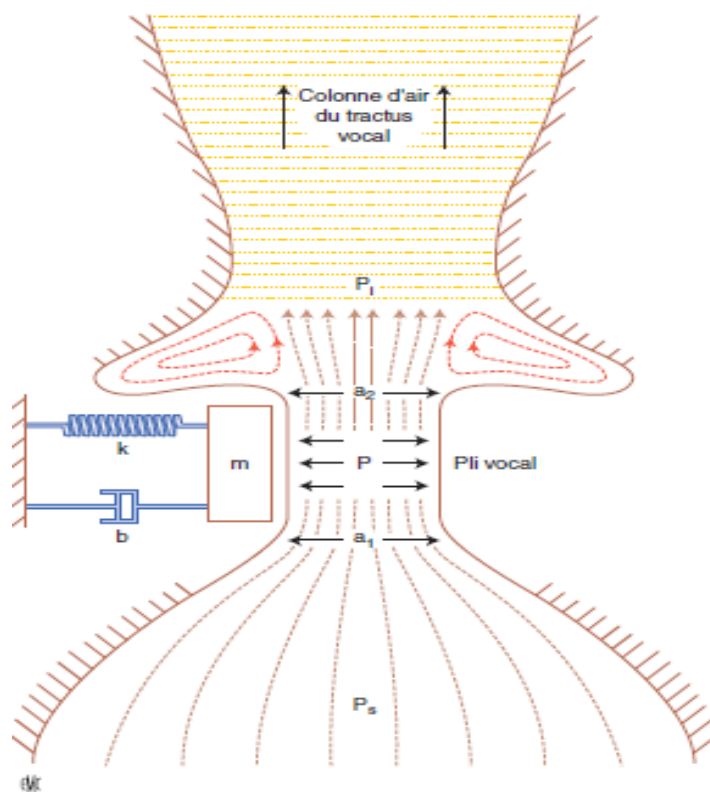


Figure 18 : Modèle à une masse. [30]

### **3. Réglage de la hauteur :**

Le réglage de la hauteur tonale de la voix correspond au réglage de la fréquence de la vibration glottique, Il peut s'agir au terme des équations du réglage de la masse et/ou du réglage de la tension.

Pour la masse, seule compte la masse vibrante qui peut n'être qu'une partie de la corde en fonction de la hauteur et en fonction de l'intensité.

Pour la tension, il peut s'agir d'une tension active grâce à la contraction des muscles intra-laryngés ou passive grâce à la contraction des muscles péri-laryngés.

La hauteur tonale de la voix varie en rapport avec les caractéristiques de taille et de poids des cordes vocales en fonction de l'âge [33,34].

#### **3.1. Modification de la fréquence en fonction de la raideur et de la masse vibrante :**

D'une manière générale, la fréquence de vibration d'un dispositif est inversement proportionnelle à sa taille.

La fréquence oscillante ( $F_0$ ) est donc plus basse si l'instrument est plus gros ou moins tendu.

La raideur est normalement une fonction de la longueur : si les fibres sont étirées, elles sont plus tendues et plus raides, mais lorsque le muscle vocal (thyro-aryténoïdien) est contracté, donc raccourci, sa raideur est plus grande.

De plus, la contraction du muscle antagoniste (cricothyroïdien) peut entraîner un changement de la tension sans changement de la longueur (contraction isométrique).

Ainsi, si le cricothyroïdien est contracté et le thyroaryténoïdien relâché, la totalité de la longueur de la corde est augmentée, mais sa raideur est globalement augmentée dans toutes ses couches et la Fo est augmentée.

Inversement, si le thyroaryténoïdien est activé et le cricothyroïdien est désactivé, la rigidité de la masse musculaire augmente et la Fo augmente avec la diminution de la longueur de la corde.

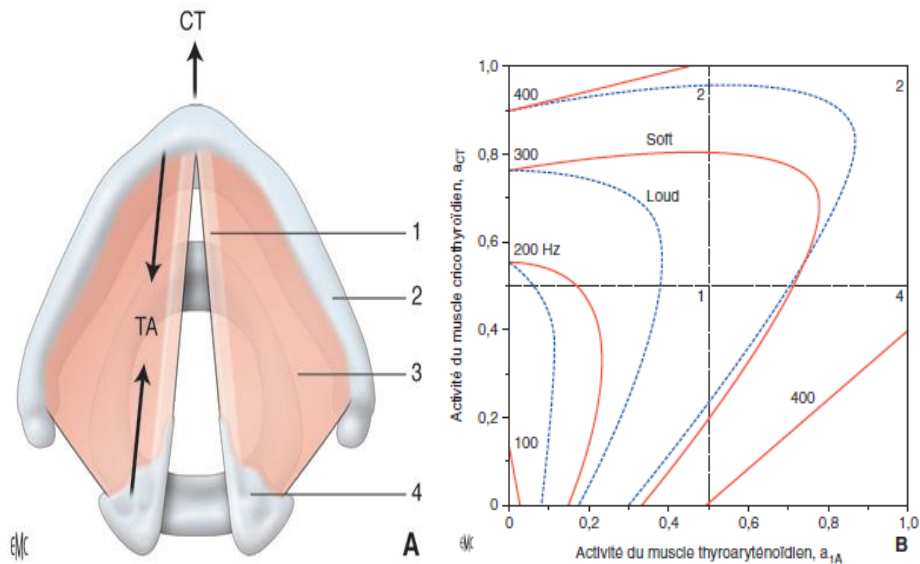
Il existe donc un contrôle différentiel de la Fo par ces deux muscles dont on peut rappeler qu'ils reçoivent une innervation motrice différente :

- Le nerf laryngé supérieur pour le cricothyroïdien.
- Le nerf laryngé inférieur pour le thyroaryténoïdien.

Ces mécanismes de réglage différentiel ont été à la base de la conception dite body-cover qui sous-tend le modèle à trois masses.

Le body correspond à la masse musculaire de la corde vocale, c'est-à-dire au thyroaryténoïdien, tandis que le cover correspond au ligament vocal mis en tension par la bascule du cartilage thyroïde sous l'influence du cricothyroïdien [35,36] (Figure 19).

La « carte d'activation musculaire » proposée par Titze est la clé de la théorie body-cover [37]. Il s'agit du graphique de l'activité des cricothyroïdien (en ordonnées) et thyroaryténoïdien (en abscisses).



**Figure 19 :** Contrôle différentiel de la fréquence des oscillations

par la contraction des muscles cricothyroïdien et thyroaryténoïdien [30].

1. Corde vocale ; 2. cartilage thyroïde ; 3. Pli vestibulaire ; 4. Cartilage aryténoïde.

**A.** Action des muscles.

**B.** Carte d'activation musculaire.

On voit qu'il existe une grande variété de combinaisons possibles de l'activité des deux muscles pour produire chaque fréquence voulue, Il existe même des effets paradoxaux.

Dans la partie basse de la carte, pour les fréquences les plus graves, les courbes sont presque verticales, ce qui montre une corrélation positive entre TA et Fo, au contraire, dans les fréquences aiguës la pente s'inverse et on trouve une corrélation négative entre Fo et thyroaryténoïdien .

On peut donc conclure que l'élévation de la Fo est généralement obtenue par l'augmentation de l'activité de thyroaryténoïdien dans les fréquences médiums et

graves, et par l'augmentation de celle du cricothyroïdien dans les fréquences aiguës, il s'agit là de « mécanismes laryngés » glottiques différents [38,39].

Dans la production vocale en mécanisme M1, qui correspond aux notes les plus graves, la contraction progressive du muscle thyroaryténoïdien, initialement relâché (de la même façon le cricothyroïdien est relâché), entraîne une augmentation de la tension du *body* sans augmenter la tension du *cover*, Il en résulte une élévation progressive de la fréquence, jusqu'à un seuil de tension maximale au-delà duquel il est nécessaire de passer dans un mécanisme laryngé différent pour continuer à produire un son.

Dans la production des notes aiguës en mécanisme M2, c'est le cricothyroïdien qui est responsable de l'élévation progressive de la tension du ligament et ainsi de la hauteur de la voix, le relâchement du thyroaryténoïdien fait porter au ligament vocal la majeure partie de l'étirement, ce dernier absorbe la majeure partie de l'étirement, ce qui permet d'éviter un stress effectif dans la muqueuse.

Dans les hautes fréquences, le ligament vocal assume donc la plus grande partie de l'étirement, la muqueuse restant relativement détendue et ainsi libre de propager une ondulation muqueuse.

On peut spéculer qu'un ligament vocal tendu, et une muqueuse relâchée et souple, semblent donc la configuration idéale pour la phonation dans l'aigu.

Le réglage de la « profondeur » de la vibration est particulièrement complexe.

La tension dans le *cover* peut également être augmentée par l'amincissement de la tranche de section de la vibration.

Cette solution est celle adoptée pour le changement vers un registre plus léger comme le passage en voix de falsetto (cf. infra).

Une diminution de la profondeur effective peut entraîner des modifications de la Fo telle qu'elle aurait été obtenue par les modifications autres de la tension et de la longueur cette dernière peut être régulée par l'activité du muscle thyroaryténoïdien.

Dans les basses fréquences et dans les fréquences intermédiaires, la portion musculaire du *body* peut participer à la mise en tension.

Ainsi, la muqueuse et le ligament vocal peuvent rester relâchés tous les deux et permettre une plus grande « profondeur » de la vibration dans le registre modal.

C'est cette action complexe du thyroaryténoïdien sur la Fo qui est en relation avec des couches de différentes tensions et aux caractéristiques biomécaniques différentes : si la partie vibrante correspond uniquement à la muqueuse, la contraction du thyroaryténoïdien entraînerait un abaissement de la Fo.

Inversement, si la partie vibrante est essentiellement musculaire, la contraction du thyroaryténoïdien entraînerait une élévation de la fréquence.

La Fo serait donc « d'autant plus » en corrélation positive avec l'activité du thyroaryténoïdien que la vibration va plus en profondeur.

Ces points sont plutôt des déductions et la validation expérimentale n'en est pas encore disponible.

En fait, chaque couche de la corde vocale a ses propres caractéristiques biomécaniques et notamment la relation longueur-tension, c'est-à-dire la tension

induite au sein du matériau par un changement de sa longueur (courbes de déformation–contrainte [*stress–strain curve*]).

On sait par exemple que les fibres de collagène sont plus résistantes à l'élongation que les fibres d'élastine.

On comprend que les différentes couches de la lamina propria qui ont des contenus en collagène et en élastine différents se comportent différemment en fonction de leur élongation, il existe donc une courbe longueur/tension résultante pour toute la corde vocale, cette tension peut être approchée par le terme  $k$  de l'équation-1-

On sait que si on allonge la corde vocale, on augmente passivement la tension de la corde, ce qui se traduit par une élévation de la fréquence vibratoire comme cela a été démontré sur des larynx excisés.

La tension totale de la corde (tension « résultante ») correspond à la combinaison des phénomènes actifs et passifs de mise en tension qui est réglée par la combinaison des effets du cricothyroïdien et du thyroaryténoïdien.

Au total, il existe un réglage « bipolaire » de la tension entrant globalement dans le cadre de la théorie body-cover de Titze.

### **3.2. Modification de la fréquence en fonction de la pression SOUS- Glottique :**

La pression sous-glottique intervient dans le réglage de la fréquence.

Sur des larynx excisés, on peut démontrer que l'augmentation de la pression sous-glottique est responsable d'une augmentation de la fréquence.

Sur le plan clinique, la notion d'élévation de la fréquence de la Fo lorsqu'un sujet émet une voyelle tenue et qu'on lui applique une brusque augmentation de pression sur le sternum est bien connue. Sur le plan expérimental, l'augmentation de la pression sous-glottique augmente à la fois l'amplitude de la vibration et sa fréquence.

En pratique, la pression sous-glottique augmente la Fo surtout dans les notes basses (lorsque les cordes vocales sont courtes et détendues).

Le fait que ce soit plutôt les notes graves qu'il est possible de faire monter avec la pression d'air est d'ailleurs un phénomène bien connu des chanteurs. Il est donc possible de combiner les effets de la pression pulmonaire avec les effets des contractions des muscles intrinsèques pour parvenir au réglage de la Fo. [40]

#### 4. Réglage de l'intensité :

Il correspond à la combinaison des réglages

- du gradient de pression trans-glottique,
- de la géométrie glottique, de la force d'adduction
- de la vitesse de contact des cordes vocales,
- de la géométrie du tractus vocal dans son ensemble.

L'intensité est mesurée en décibels et fait référence à la pression sonore (sound pressure level), proportionnelle au carré de la distance qui correspond par convention à 30cm des lèvres.

La pression sous-glottique dépend de la pression pulmonaire qui est en rapport avec la pression imposée par les forces qui régissent l'appareil respiratoire.

Il existe une relation quasi linéaire entre la pression pulmonaire et trachéale et l'intensité du son tel que, si on augmente la pression sous-glottique, toutes choses restant égales par ailleurs, la fréquence augmente en corrélation avec l'augmentation de pression, ainsi pour compenser cette élévation de la fréquence, il est nécessaire d'augmenter la force et le temps d'adduction des cordes vocales, ce dernier est un facteur qui s'oppose à l'augmentation de fréquence.

Par ailleurs, plus la force d'adduction est importante, plus la vitesse de fermeture s'élève [41].

La configuration glottique et en particulier l'adduction glottique peut être mise en rapport avec la qualité du son produit [42].

Le timbre est jugé riche en voix de poitrine lorsque les cordes vocales sont complètement closes pendant la phase de fermeture du cycle glottique, cela correspond à une mise en contact pré phonatoire des apophyses vocales, au contraire le timbre est jugé pauvre lorsqu'il existe une fuite glottique (petite ouverture postérieure).

Si l'adduction est faible, le moyen d'obtenir un meilleur accolement peut être d'augmenter la pression sous-glottique.

On voit donc qu'il existe une forte interaction entre le réglage de la hauteur de la voix et le réglage de l'intensité.

- Quand les cordes vocales ne se touchent pas, la voix n'est ni forte ni timbrée.
- Quand la force d'adduction est trop importante, la voix est dite « serrée »

Une configuration idéale semble être celle où les cordes vocales sont très proches sans être en contact avant la mise en phonation (diminution de la largeur glottique préphonatoire) [43], cette configuration assure un fonctionnement presque libre des cordes qui sont ainsi capables d'exprimer leurs modes de vibration.

Le terme de forçage vocal est utilisé quand l'effort vocal mis en oeuvre par le locuteur se révèle inadapté à la situation.

En réalité, il existe une augmentation de la tension à tous les niveaux de l'organisme : il a été démontré que tous les muscles, y compris les muscles de la posture, voient leur activité augmenter.

- Au plan comportemental, on observe en général une attitude de redressement du corps avec un regard tourné vers l'interlocuteur.
- Au plan respiratoire, on observe une inspiration plus ample (anticipation préphonatoire) pour faire face à l'augmentation prévue de la pression sous-glottique.

Il est à noter que certains sujets peuvent avoir des difficultés à obtenir le relâchement musculaire nécessaire à une inspiration profonde suivie d'une expiration contrôlée par les muscles de la paroi abdominale.

Au plan postural, on observe également une augmentation de la raideur de tous les muscles, qu'il s'agisse des muscles du cou et du larynx, ou de muscles situés plus à distance comme les muscles des mollets et du dos.

Les modifications de l'activité musculaire en rapport avec l'augmentation de l'intensité sont donc génératrices d'une dépense d'énergie dont le sujet compense normalement par un repos compensateur, mais dans la plupart des cas, le sujet n'observe pas ce repos et risque l'apparition de complications à type de laryngopathies dysfonctionnelles (malmenage vocal).

On comprend que la prise en charge rééducative des patients présentant un malmenage vocal ne puisse se résumer à la modification de la configuration glottique, même si elle est nécessaire, et que la prise en charge d'aspects aussi divers que la tension musculaire générale, le niveau de stress, la posture, la respiration préphonatoire soient des éléments indispensables d'une rééducation.

## 5. Transformation du son voyelles:

L'onde acoustique de débit glottique produite par la vibration des cordes vocales se propage dans l'instrument vocal humain à travers le conduit vocal [44-46].

Le conduit vocal est l'ensemble des cavités situées au-dessus du plan glottique : vestibule laryngé, pharynx, sinus piriformes, cavité orale (bouche) et cavités nasales (narines).

Le vestibule laryngé, encore appelé conduit aryépiglottique, est la partie supraglottique du larynx qui comporte les plis vocaux, les plis vestibulaires, et la cavité qui les sépare, le ventricule, il s'ouvre sur le pharynx par l'épiglotte et les plis aryépiglottiques.

La forme du conduit vocal est modelée par l'action des articulateurs de la parole : langue qui est l'articulateur principal pour les sons de la parole ; voile du palais mou ; lèvres ; mâchoire.

la langue peut déplacer sa masse vers l'avant ou l'arrière de la bouche, s'abaisser ou s'élever, s'aplatir ou s'arrondir, et former ainsi des zones de constriction ou même des zones d'occlusion au sein du conduit vocal.

Le voile du palais mou abaissé, intervient dans la production de la nasalité en permettant une ouverture vers les cavités nasales : on parle de « son nasal », relevé, il ferme l'accès à ces cavités (« son oral »).

Par sa grande mobilité qui affecte directement la longueur du conduit vocal, le larynx est également un des articulateurs dont nous disposons pour agir sur les sons vocaux.

Au plan de la physique, le conduit vocal possède, comme toute cavité, des propriétés acoustiques qui dépendent de sa géométrie et de la rigidité de ses parois, du médium (l'air a priori) et de sa température, des conditions aux limites en entrée (glotte) et sortie (lèvres, narines) du conduit.

Lors d'une excitation acoustique périodique en entrée de conduit, telle celle que peut générer la vibration des plis vocaux, des ondes acoustiques stationnaires vont s'installer au sein des cavités qui le constituent.

Certaines zones de fréquence sont amplifiées et d'autres atténuées : ce sont les résonances du conduit vocal.

Le terme « formant » peut également être utilisé dans le cas de la voix humaine pour décrire ces zones de résonance, néanmoins, son usage peut prêter à confusion : désignant pour certains auteurs les maxima de la fonction de transfert acoustique du conduit vocal, les formants sont pour d'autres les zones spectrales renforcées sur le spectre du son rayonné en sortie des lèvres.

Dans le cas de la production de sons voisés qui nous intéresse ici, ces zones de renforcement spectral du son rayonné sont interprétées perceptivement comme des voyelles.

La discrimination d'une voyelle dépend de la fréquence et de la largeur de bande des trois premières résonances du conduit vocal.

La modification de la position des articulateurs, et en particulier de la langue, permet le contrôle de la fréquence des résonances du conduit vocal, et donc le contrôle articulaire des voyelles.

Dans le cas de la production des consonnes sonores, la vibration des plis vocaux constitue toujours la source acoustique principale tandis que dans le cas de la production des consonnes sourdes, qui sont des sons vocaux non voisés, les plis vocaux ne vibrent pas.

La génération aéro-acoustique du son vocal (bruit de plosion, bruit de friction) se fait par interaction fluide-structure-acoustique entre la colonne d'air et un endroit de constriction (langue à proximité du palais dur, dents, lèvres).

Au plan de la phonétique, les voyelles sont perçues et classifiées sur la base des deux formants aux fréquences les plus graves, appelés F1 et F2.

La prise en compte du troisième formant F3 est jugée importante pour la distinction perceptive des voyelles de certaines langues, comme le français.

Dans l'approche de phonétique articulatoire classique, les voyelles sont décrites en fonction de la position élevée ou abaissée de la langue, en lien avec les mouvements de la mâchoire, et de sa position avancée ou reculée dans la cavité buccale.

Pour produire la voyelle /a/, la langue se positionne de façon basse et reculée, laissant un espace important en avant de la cavité buccale et une ouverture labiale conséquente.

Le terme souvent employé en phonétique de « voyelle ouverte » fait référence à cette ouverture buccale.

Pour produire la voyelle /i/, la langue se positionne de façon haute et avancée, emplissant l'avant de la cavité buccale et libérant l'arrière, l'espace labial se resserre : on parle de « voyelle fermée ».

Une autre voyelle fermée est la voyelle /u/, pour laquelle la langue se positionne de façon haute et reculée.

Ces trois voyelles forment les extrémités de ce qu'on appelle « le triangle vocalique » dans la représentation orthonormée F1-F2, ce sont des voyelles universelles, qui se retrouvent dans tous les systèmes phonologiques.

La forme du conduit vocal pour le son /eu/ est approximativement tubulaire, avec une section à peu près uniforme du fait d'une position neutre de la langue.

La fréquence de F1 se situe vers 500 Hz et celle de F2 vers 1500 Hz.

Les fréquences formantiques sont modifiées par les gestes articulatoires.

Les fréquences de l'ensemble des formants du conduit vocal diminuent uniformément quand le conduit vocal s'allonge, ces modifications de longueur peuvent être liées au sexe (les hommes ont, en moyenne, un conduit vocal plus long que les femmes), à l'âge (les adultes ont des conduits vocaux plus longs que les enfants).

Pour un individu donné, un allongement du conduit vocal peut résulter de l'abaissement du larynx ou d'une protrusion des lèvres, ces modifications de la longueur du conduit vocal entraînent donc un glissement global des fréquences sans modification de l'intervalle entre les formants, donc sans modification de l'identification de la voyelle.

La deuxième façon de modifier les voyelles est d'arrondir les lèvres, ce qui correspond schématiquement à obturer légèrement la bouche comme font parfois certains instrumentistes à vent, cette « couverture » aboutit à l'équivalent acoustique

de l'augmentation de la longueur du tube et donc à un glissement des fréquences vers le grave.

La combinaison entre la hauteur du larynx, et la position et la forme des lèvres, permet effectivement d'éclaircir ou d'assombrir le timbre de la voix ainsi l'abaissement de la mâchoire peut également être utilisé.

En particulier, la fréquence de F1 peut être élevée par un abaissement de la mâchoire.

Cette stratégie articulatoire est utilisée par les sopranos pour amener leur première résonance ( $R1 = F1$ ) à proximité du premier harmonique ( $H1 = f0$ ), et ainsi accroître la puissance acoustique transmise (cf. infra).

Les chanteurs parlent fréquemment du « placement » de la voix, affirmant que certaines voyelles sont censées avoir des localisations précises dans le conduit vocal.

Ces sensations de placement précis de telle ou telle voyelle peuvent correspondre à la localisation des maxima de pression des ondes stationnaires dans le tractus vocal.

Il y a donc plusieurs endroits dans lesquels les sensations proprioceptives peuvent être conséquentes.

## **6. Modélisation source filtre et interactions entre source et filtre :**

Concernant le signal, la production de sons vocaux est modélisée par la théorie source–filtre formalisée par Fant en 1960 [47].

Dans cette théorie, le contact entre les plis vocaux génère une source de débit acoustique (source glottique) dont la fréquence fondamentale est la fréquence du contact glottique, cette source acoustique se propage dans le conduit vocal, en suivant les lois de l'acoustique linéaire.

Le conduit vocal agit comme un ensemble de filtres résonants en parallèle.

Certains harmoniques, proches des résonances du conduit vocal, vont être renforcés et d'autres fortement atténués, ce signal acoustique est ensuite rayonné aux lèvres vers l'extérieur.

Le rayonnement aux lèvres a pour effet d'amplifier les fréquences aiguës au détriment des fréquences plus graves, ce qui se modélise par une dérivation, on passe ainsi d'un signal de débit acoustique à un signal de pression acoustique.

Cette modélisation source–filtre de la production vocale humaine suppose une linéarité du système, et une indépendance entre la source et le filtre.

Cette approximation a permis des avancées majeures en traitement de la parole et en analyse–synthèse de la voix.

## 7. Ajustement des résonances dans la parole :

Caractéristiques géométriques et biomécaniques des plis vocaux, par les caractéristiques aérodynamiques du flux d'air laryngé et par la charge acoustique du conduit vocal.

Les fréquences des résonances du conduit vocal sont contrôlées par les ajustements des articulateurs [48,49].

Pour obtenir un timbre donné, renforcer l'énergie d'un harmonique ou d'un ensemble d'harmoniques, le locuteur ou le chanteur peut développer des stratégies d'ajustement des fréquences de résonance à la fréquence de vibration glottique ou à ses multiples (accords phonorésonantiels).

Dans le cadre de la parole, les fréquences de résonance impactent la perception des voyelles, Il est donc important pour un locuteur de les maintenir stables autant que possible dans les zones formantiques caractéristiques de chaque voyelle.

Néanmoins, quand le locuteur produit un effort vocal important (voix criée par exemple), il peut être amené à accorder la fréquence de la première résonance (R1) au premier harmonique ( $H1 = f_0$ ) dans le cas de voyelles fermées (/i/, /y/, /u/) ou au second harmonique ( $H2 = 2f_0$ ) dans le cas de voyelles plus ouvertes.

Ces ajustements résonantiels permettent d'augmenter l'intensité acoustique du son vocal produit.

## **8. Plis vestibulaires et leur impact sur la vibration glottique :**

Les plis vestibulaires sont situés au-dessus et à proximité des plis vocaux sont souvent considérés comme une structure passive du conduit vocal, néanmoins, leur participation à de nombreux gestes phonatoires a été mise en évidence, dans le chant comme dans la parole.

Du fait de leur structure interne hétérogène, les plis vestibulaires sont a priori de moins bons vibrateurs que les plis vocaux, Ils peuvent être rapprochés par contraction de la musculature laryngée, en particulier celle des muscles thyro-aryténoïdiens, ce rapprochement peut s'accompagner ou non d'une mise en vibration de la structure, cette dernière, quand elle a lieu, procède d'un couplage aérodynamique fluide-structure avec le flux d'air laryngé.

La constriction supra-glottique formée par les plis vestibulaires va avoir un impact direct sur le mouvement vibratoire glottique.

Quand les plis vestibulaires sont très écartés, ils n'influencent pas le champ de pression aérodynamique laryngé mais quand ils se rapprochent, ils vont favoriser la mise en vibration glottique en générant une pression aérodynamique non nulle en aval des plis vocaux, néanmoins, si le degré de constriction devient trop important, ils vont perturber, voire empêcher, la vibration glottique.

Dans le cas où les plis vestibulaires entrent en contact et se mettent à vibrer, un phénomène d'oscillations couplées est mis en évidence.

Les plis vestibulaires peuvent vibrer à la même fréquence que celle des plis vocaux, ou à une fréquence plus basse ( $f_0/2$ ,  $f_0/3$ ,  $f_0/4$ , etc.).

Dans le cas d'un doublement de période (fréquence de vibration des plis vestibulaires à  $f_0/2$ ), les plis vestibulaires s'accrochent tous les deux cycles glottiques, pendant la phase d'ouverture glottique.

Leur accrochement prolonge la durée de l'ouverture glottique, ce qui impacte de ce fait la durée du cycle glottique correspondant.

Le rapprochement vestibulaire est observé dans toute production vocale s'accompagnant d'un effort, et en particulier dans la voix criée.

## Physiopathologie des dysphonies organiques

Pour qu'apparaissent des lésions laryngées, un certain nombre de conditions anatomiques ou physiologiques doivent être réunies.

Dejonckere et al [50] ont proposé une hypothèse biomécanique susceptible de rendre compte d'un phénomène de microtraumatisme chronique limité au point nodulaire, c'est-à-dire à l'union du tiers antérieur et des deux tiers postérieurs des bords libres des plis vocaux.

Les trois conditions suivantes sont nécessaires et suffisantes :

- Les axes d'oscillation des plis vocaux doivent impérativement être incurvés vers l'extérieur.
- Les extrémités postérieures des deux axes d'oscillation doivent être disjointes ; Cette condition peut être liée, soit à une hypotonie des muscles vocaux après un effort prolongé, soit à un défaut de relâchement des muscles abducteurs dans le cadre d'une hypertonie isométrique laryngée.
- L'amplitude d'oscillation doit être suffisante.

On a probablement surajouté, aux forces de collision, un traumatisme d'arrachement de la muqueuse par rapport au plan ligamentaire.

Lors de la présence de lésions postérieures à type d'ulcères et de granulomes de contact, on observe, outre la présence très fréquente d'un reflux gastro-œsophagien, un mode phonatoire particulier : le « coup de glotte ».

Ces attaques dures semblent correspondre à une compression médiane du plan glottique en position préphonatoire [51].

## **Les facteurs favorisant des dysphonies**

Certains facteurs sont fréquemment retrouvés et doivent être recherchés lors du bilan d'une dysphonie.

Ils peuvent être considérés comme facteurs déclenchant ou favorisants.

Ils constituent parfois une plainte que les patients présentent comme principale cause du trouble.

Leur reconnaissance est importante pour la prise en charge [4].

### **1. Facteurs physiologiques et génétiques :**

Toute modification histologique et tissulaire retentit sur la biomécanique laryngée et se traduit cliniquement par une dysphonie.

#### **1.1. Influence du sexe :**

Les études de Butler [52] ont montré que chez la femme, la proportion d'acide hyaluronique (AH) dans l'espace de Reinke était plus faible que chez l'homme.

Une sensibilité accrue de la femme à la fatigue vocale pourrait y trouver une explication.

Cette différence de répartition homme-femme de l'AH pourrait expliquer la prévalence des phono-traumatismes chez l'enseignant de sexe féminin.

## **1.2. Influence de l'âge :**

Le vieillissement affecte inégalement chaque individu et peut avoir un effet sur la souplesse des plis vocaux.

Les études de Butler [52] ont montré que chez l'homme âgé, la qualité des structures de la lamina propria se modifiait, l'espace de Reinke devenait plus oedémateux et épais, avec une couche moyenne atrophique et une couche profonde épaisse et fibreuse ainsi le muscle vocal devient atrophique.

## **1.3. Influence de la personnalité et du psychisme :**

Certaines personnalités à tendances extraverties ont plus de risque de forçage vocal qui fait partie intégrante de leur mode de communication.

Le stress, l'anxiété, l'émotion peuvent être le point de départ de la dysfonction vocale.

- Les asthénies physiques liées à la grossesse, l'asthénie du post-partum, les affections cardiaques, pulmonaires, les pathologies thyroïdiennes, hormonales, les troubles hypophysaires et la myasthénie peuvent avoir des conséquences sur la qualité posturale ou respiratoire et être à l'origine d'un dysfonctionnement vocal.
- Les asthénies psychiques : les patients dépressifs peuvent, à cause d'une désorganisation de la tonicité posturale et une hypotonie du geste expiratoire et articulatoire, présenter une dysphonie non organique hypotonique.

## **2. Facteurs anatomiques :**

### **2.1. Insuffisance vélopharyngée :**

Le degré d'occlusion vélopharyngée détermine le caractère oral ou nasal du phonème émis.

Un défaut de fermeture vélopharyngée est responsable d'une rhinolalie ouverte avec déperdition nasale.

Cette fuite vélaire entrave l'augmentation de la pression intraorale nécessaire à la réalisation des consonnes surtout occlusives mais aussi fricatives.

Un mécanisme de compensation peut se manifester par un serrage pharyngolaryngé avec coup de glotte et être source de forçage vocal avec dysphonie. [4]

### **2.2. Troubles auditifs :**

Toute pathologie altérant la boucle audiophonatoire, en particulier la perception de la parole, peut retentir sur le mode de production vocale en modifiant les caractéristiques acoustiques de la voix (timbre, mélodie et intensité) et le comportement phonatoire.

La presbyacousie progressive non prise en charge chez des professionnels de la voix peut être à l'origine de l'apparition d'une dysfonction vocale.

### **3. Facteurs d'environnement :**

Ces facteurs sont importants à rechercher car ils rentrent dans le domaine du contrôlable et devraient être améliorés pour optimiser les performances vocales et surtout pour apprendre à remédier aux troubles qu'ils ont engendrés.

Une attitude préventive face à ces facteurs d'environnement serait souhaitable.

#### **3.1. Conditions acoustiques :**

Un dysfonctionnement vocal peut se mettre en place, soit parce que la voix est émise en milieu bruyant (classes mal insonorisées, chantiers, machines industrielles etc.), soit parce que l'acoustique absorbe trop la voix et la rend inefficace.

#### **3.2. Hydratation :**

Les propriétés mécaniques de la muqueuse des plis vocaux sont sensibles aux variations d'humidité qui n'agissent que sur la couche superficielle de la muqueuse.

Une hydratation suffisante est nécessaire pour une bonne ondulation muqueuse et pour optimiser le fonctionnement laryngé. [53]

La déshydratation induite par la climatisation, le vent, le froid, la sécheresse est un facteur favorisant de dysphonie et de forçage vocal.

### **4. Les facteurs comportementaux :**

Au cours d'une utilisation prolongée de la phonation, des auteurs comme Vintturi [54] ont mis en évidence des comportements liés à la fatigue vocale avec une modification des paramètres acoustiques.

Les femmes ont plus de signes de tensions musculaires « épaules–nuque–dos » que les hommes.

La musculature du conduit vocal trop tendue ou hypotendue va diminuer les possibilités de résonance et sera responsable d'un timbre pauvre et d'une portée vocale limitée nécessitant un effort accru.

Une hypotonie laryngée extrême se voit dans les aphonies dites psychogènes.

## **5. Facteurs professionnels :**

Les dysphonies non organiques surviennent le plus souvent dans un contexte d'abus quantitatif et qualitatif de la voix [55].

Certaines professions sont plus exposées que d'autres aux risques de Forçage vocal. Le professionnel de la voix est aussi bien un chanteur, un comédien, un animateur mais aussi ceux dont la voix représente l'outil de travail comme les enseignants, le personnel éducatif ou d'encadrement, les conférenciers, les professions judiciaires, les hommes politiques, les journalistes, sans oublier les mères de famille nombreuse.

### **5.1. Forçage vocal et ses conséquences :**

Comme l'a montré Le Huche [56], le forçage vocal s'installe lorsque le sujet se met dans une situation de communication dans laquelle il ne contrôle plus sa dépense d'énergie.

Dans cette situation le sujet ressent bien souvent une sensation d'insuffisance vocale qui l'amène à augmenter le forçage ; c'est ce que Le Huche décrit sous le terme de « cercle vicieux du forçage vocal », induisant une consommation accrue d'énergie pour un rendement vocal diminué.

Le geste vocal se modifie et devient de moins en moins efficace.

Le forçage vocal recouvre deux types de situation :

- d'une part le malmenage vocal, situation dans laquelle le locuteur utilise sans modération la voix d'insistance qui est une voix fatigable, ne pouvant être maintenue sans dommage pour les structures laryngées, plus de quelques minutes.

Cette voix s'accompagne d'une modification de la posture avec accentuation de la cyphose dorsale, lordose cervicale, projection du visage vers l'avant et perte de la verticalité.

L'utilisation de cette voix de détresse oblige à une respiration plus haute et plus superficielle avec utilisation des muscles respiratoires accessoires, muscles sus-hyoïdiens et muscles sterno-cléido-mastoïdiens, avec pour conséquence une hypertonie au niveau vestibulaire et pharyngé.

- d'autre part, le surmenage vocal, qui revêt un aspect quantitatif, rencontré dans certaines catégories socioprofessionnelles bien connues où le sujet ne dispose pas d'un temps de repos vocal suffisant.

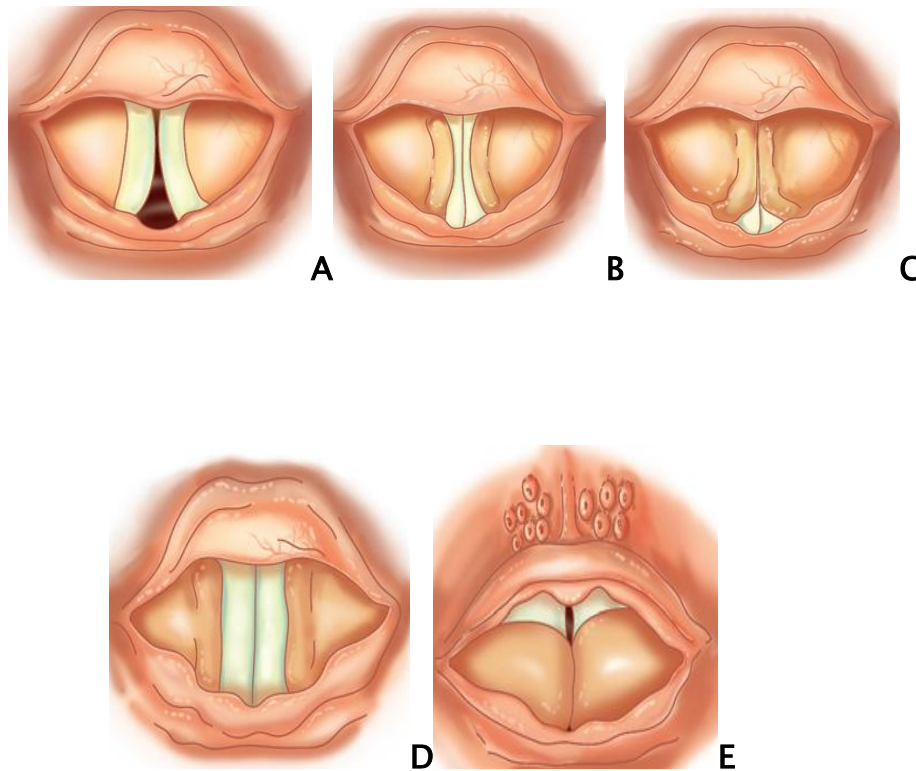
Un des aspects du comportement dit « de forçage vocal » entraîne une augmentation des tensions musculaires laryngées et périlaryngées.

Classiquement on distinguait des dysphonies dysfonctionnelles hypokinétiques et des dysphonies dysfonctionnelles hyperkinétiques; l'hypokinésie laryngée pure est très rare et l'on considère que la dysphonie dysfonctionnelle est une dysphonie hyperkinétique introduite sous le terme de muscle tension dysphonia par Morisson [57] en 1983.

C'est une tension excessive de la musculature périlaryngée occasionnée par de nombreux facteurs étiologiques.

Koufman [58] décrit quatre types de comportements laryngés en fonction de la tension musculaire anormale glottique et paraglottique à l'origine d'une dysphonie :

- type 1 : caractérisé par une fuite glottique postérieure pouvant être prise pour une hypotonie, mais correspondant en fait à une hypertonie du muscle cricoaryténoïdien postérieur en phonation
- type 2 : hypertonicité avec occlusion glottique et supra-glottique avec hypertonie des bandes ventriculaires réalisant au maximum la voix des bandes
- type 3 : hypertonicité antéropostérieure du plan glottique avec bascule antérieure des aryténoïdes.
- type 4 : hyper-contraction antéropostérieure extrême avec contact aryténoïdes-épiglotte, accompagnée d'une béance du plan glottique (Figure 20).



**Figure 21** : Types de comportements laryngés selon Koufman [58].

- A.** Type I : hypertonie laryngée avec fente glottique postérieure et tension des muscles crico-arythénoïdiens postérieurs.
- B, C.** Type II : hypercontraction laryngée latérale avec contraction des bandes ventriculaires réalisant au maximum la voix des bandes.
- D.** Type III : hypertonie supra-glottique avec contraction antéropostérieure.
- E.** Type IV : hypertonie et contraction supra-glottique maximale avec contact arythénoïde épiglotte.

## 5.2. Autres facteurs associés :

Certaines pathologies associées sont très fréquemment retrouvées dans l'anamnèse du patient présentant une dysphonie non organique.

Ces pathologies sont d'ailleurs parfois le facteur déclenchant, voire aggravant, de la dysphonie.

## 6. Les pathologies infectieuses et inflammatoires :

Les inflammations rhinopharyngées influencent par contiguïté le larynx et peuvent créer une rhinorrhée postérieure avec un réflexe de hémage, toux, éternuements et une irritation chronique de la muqueuse des plis vocaux.

L'obstruction nasale due à une pathologie rhinopharyngée induit une rhinolalie fermée modifiant le timbre de la voix qui perd ses harmoniques aigus.

La voix devient plus sourde et nécessite plus d'effort pour être efficace.

Les épisodes infectieux aigus tels que les laryngites aiguës inflammatoires, ou des laryngites chroniques liées à des irritants et tout particulièrement au tabagisme peuvent déclencher une dysphonie qui conduit à un phénomène de surcompensation inadaptée, entraînant alors la dysfonction vocale.

Les pharyngites chroniques et l'amygdalite chronique sont aussi responsables de fatigue vocale en altérant les qualités de résonance de la muqueuse du conduit vocal.

Toute atteinte de la sensibilité et de la motricité linguale peut se répercuter sur la qualité de l'articulation de la parole.

Les poussées inflammatoires de l'articulation temporo-mandibulaire peuvent induire une sensibilité douloureuse lors de la mobilisation de la mandibule avec légère restriction articulaire.

Peut-être en cause toute atteinte du rachis modifiant la statique et la dynamique posturale.

## **7. Le reflux gastro-oesophagien :**

Le reflux gastro-oesophagien est à l'origine d'une pharyngite irritative, une laryngite postérieure, une inflammation des aryténoïdes et des lésions postérieures des plis vocaux comme l'ulcère de contact ou les granulomes.

## **8. Pathologies respiratoires :**

Les pathologies broncho-pulmonaires, l'obésité ou l'asthme peuvent se répercuter sur la phonation en modifiant la dynamique respiratoire lors de la parole.

Les atteintes motrices ou traumatiques des muscles respiratoires et de la cage thoracique perturbent aussi la phonation.

Les pathologies abdominales et rachidiennes peuvent entraver la fonction respiratoire en modifiant l'appui expiratoire et le souffle phonatoire.

Les médications sous forme d'aérosols ou de corticothérapie inhalée à long terme, peuvent être source d'irritation de la muqueuse laryngée ; de même, les antihistaminiques, les atropiniques, les antidépresseurs ou les diurétiques peuvent réduire et épaissir les sécrétions muqueuses et modifier la viscosité et la dynamique vibratoire de la muqueuse des plis vocaux.

## Etude clinique de la voix

Le bilan de la dysphonie lie aux pathologies bénignes des cordes vocales a un double objectif : il s'agit à la fois d'établir un bilan quantitatif du trouble vocal, et d'autre part de rechercher des éléments pertinents qui vont intervenir dans le choix thérapeutique lui-même, notamment en ce qui concerne l'évaluation du forçage vocal.

### 1. Interrogatoire :

Il s'agit d'un élément essentiel de la prise en charge d'un problème de voix qui ne doit jamais être négligé, notamment la motivation du patient pour un traitement à visée d'amélioration de sa voix est primordial.

L'interrogatoire peut être schématisé en trois questions

#### 1.1. Analyse de la demande du patient :

Il s'agit d'un élément essentiel de la prise en charge d'un problème de voix qui ne doit jamais être négligé, notamment la motivation du patient pour un traitement à visée d'amélioration de sa voix est primordial.

L'interrogatoire peut être schématisé en trois questions :

- Pourquoi venez-vous ?
- Les plaintes exprimées le plus fréquemment peuvent être regroupées en trois catégories.
- Altérations acoustiques de la voix : Elles touchent la portée, la hauteur et le timbre, de façon généralement combinée, et peuvent être fluctuantes, permanentes ou croissantes avec l'activité vocale (fatigabilité).
- Il peut y avoir récupération plus ou moins complète par le repos.

- Il faut noter que les patients ne font pas souvent la différence entre les dimensions de hauteur et de timbre (la voix éraillée est souvent qualifiée de « grave »).
- Sensations corporelles : Paresthésies pharyngolaryngées, souvent comme un corps étranger (dans le cas des polypes notamment), avec comme conséquence un raclement de gorge incessant (hemmage), sensation diffuse d'un effort musculaire anormal ou impression d'essoufflement à la phonation, et fatigue générale en résultant.

Le sujet se plaint aussi parfois d'altérations d'autres fonctions :

- troubles de la déglutition.
- troubles de la parole (dysarthries).

### **1.2. Conséquence dans la vie relationnelle et psychique :**

Perte de la capacité à agir sur autrui avec la voix, sentiment de dévalorisation, impression d'être jugé par les autres, etc. peuvent aboutir à un véritable sentiment de malaise.

### **1.3. Pourquoi venez-vous maintenant :**

Le praticien doit reconstituer la chronologie des troubles vocaux, depuis les premiers signes.

L'histoire d'une dysphonie est souvent longue et le praticien doit trouver le fil de cette histoire : mode de début et circonstances, évolution, consultations et traitements entrepris.

La rééducation orthophonique est importante à signaler ainsi sa durée son suivi et son protocole.

La recherche de traitement antérieure a base d inhibiteur de pompe a proton ou autre.

La notion de repos vocal.

Le facteur déclenchant et aggravant.

Il faut connaître comment et dans quelles conditions la personne utilise sa voix, dans sa vie professionnelle, familiale et sociale.

La charge de travail vocal doit être appréciée aussi précisément que possible

Usage professionnel

## **2. Quel est le contexte médical (antécédents) :**

Mené classiquement, l'interrogatoire recherche toutes les pathologies et facteurs de risque susceptibles d'être pertinents pour la prise en charge du problème vocal :

- Modifications anatomiques de l'appareil de phonation par (chirurgie, traitements médicamenteux, traumatismes)
- Facteurs d'irritation (tabac, alcool, poussières, etc.)
- Anomalies respiratoires et posturales (surpoids, chirurgie, scoliose, etc.)
- Problèmes auditifs, neurologiques ou psychiatriques.

Ces éléments doivent être notés et mis en perspective avec les thérapeutiques qui seront proposées.

### **3. L'examen clinique :**

L'examen de l'appareil vocal est un élément déterminant qui doit faire l'objet d'un rapport détaillé permettant aux autres intervenants et aux rééducateurs de la voix d'avoir une idée précise notamment du fonctionnement des cordes vocales.

#### **3.1. L'examen oto-rhino-laryngologique :**

L'ensemble de l'appareil vocal doit être examiné.

##### ➤ La région cervicale :

- Souplesse des tissus, aspect, trophicité et motricité des lèvres, de la langue et du voile du palais
- Examen des effecteurs des nerfs crâniens impliqués dans la phonation (nerfs trijumeau, facial, glossopharyngien, vague, hypoglosse en particulier).
- Les éléments en faveur d'un forçage sont un gonflement de la base du cou plus ou moins associé à une turgescence veineuse sur forçage expiratoire ou laryngé.

##### ➤ L'examen du larynx :

###### - Par méthodes indirectes :

- La fermeture glottique peut être appréciée sur la qualité de la phonation, dans une activité réflexe : tousser, rire, racler la gorge.
- L'efficacité phono-respiratoire peut être indirectement évaluée par la mesure du temps maximal phonatoire. (cf. analyse de la voix)
- Les attaques peuvent être testées sur une épreuve de comptage (de 80 à 90, en stoppant entre chaque chiffre par exemple).
- Le jeu de la musculature intrinsèque peut être apprécié sur des épreuves d'étendue vocale.

- Les méthodes directes seront traitées dans un chapitre à part (moyens d'exploration laryngée).

### **3.2. La statique corporelle :**

Observée essentiellement pendant la phonation.

Un trouble de la verticalité gêne l'amplitude des mouvements cervico-thoraciques et modifie la disponibilité musculaire, notamment respiratoire [51].

Les modifications posturales observées au cours du forçage vocal sont, d'après Le Huche [11] : l'avancée du visage, des tensions cervicales, un affaissement thoracique et une flexion du rachis dorsal.

### **3.3. Le souffle :**

Le souffle expiratoire est le support aérodynamique de la phonation.

La difficulté d'évaluation de ce système est liée au fait qu'il n'existe pas une bonne et une mauvaise respiration, mais plutôt une respiration adaptée ou non. [60]

L'examen de la cage thoracique (type, déformation, taille, mobilité) est indiqué et il sera complété par les mesures aérodynamiques. (cf. analyse de la voix)

### **3.4. Les cavités de résonance :**

La vérification de l'intégrité anatomique du pharynx, de la cavité buccale [59] et des fosses nasales est indispensable.

Le mode d'ouverture des résonateurs est important pour le fonctionnement laryngé.

# Les moyens d'explorations laryngés

## 1. La nasofibroscopie :

### 1.1. Principe :

La laryngoscopie indirecte est le temps principal de l'examen clinique du larynx.

La réalisation simultanée d'un enregistrement vidéographique permet une lecture répétée de l'examen, une évaluation de l'efficacité thérapeutique en comparant les enregistrements successifs et également de conserver des documents dans un intérêt médico-légal.

Elle permet une exploration du larynx sur le plan anatomique et dynamique[61].

La mobilité du larynx est étudiée lors de la phonation, lors de petits mouvements expiratoires, lors d'efforts de toux (fermeture glottique) et lors du renflement (ouverture maximale de la glotte) en comparant les deux côtés.

Les mobilités de la corde vocale et de l'aryténoïde doivent être étudiées séparément.

### 1.2. Indications :

La nasofibroscopie doit être systématiquement réalisée pour le diagnostic et le suivi des patients atteints d'une pathologie laryngée morphologique (polype, nodule, sulcus...), neurologique (paralysie laryngée, sclérose latérale amyotrophique, myopathies...) ou mécanique (ankylose crico-aryténoïdienne, sténose laryngée).

Elle permet d'observer les anomalies du larynx, des cordes vocales, de préciser les mobilités cordales et aryténoïdiennes et d'observer des mouvements anormaux (par exemple, des syncinésies dans les paralysies récurrentielles ou des fasciculations dans la sclérose latérale amyotrophique).

La nasofibroscope présente des applications en matière de phonétique.

En effet, elle permet d'analyser les mouvements du voile du palais, de la base de la langue, d'abaissement et d'élévation du larynx et d'ouverture et de fermeture de la glotte.

La fibroscopie laryngée peut également être reliée à une caméra ultra-rapide.

Cet examen permet de filmer avec une fréquence élevée d'images (2000 à 9000 images par seconde) la vibration des cordes vocales, un cycle de vibration peut être ainsi décomposé en de nombreuses images.

L'utilisation des images obtenues par cette technique a permis notamment de réaliser des études sur l'espace glottique, son évolution au cours du cycle glottique et l'existence d'une fermeture incomplète pendant la vibration des plis vocaux pour certains types de phonation (par exemple certaines voyelles et consonnes aspirées). Cet examen peut être couplé avec l'enregistrement simultané du signal acoustique et électro-glotto-graphique ce qui permet de mettre en corrélation les différentes données.

Certains auteurs l'ont utilisé pour analyser la voix normale et la dysphonie en cas de lésions bénignes des cordes vocales (polypes, nodules...). Cependant, ce matériel très coûteux n'est accessible que dans des laboratoires spécialisés de recherche.

## **2. La stroboscopie :**

Le but de l'examen laryngé en stroboscopie est d'explorer les mouvements vibratoires des plis vocaux [62].

### **2.1. Principe :**

La fréquence de vibration des plis vocaux est tellement élevée qu'elle ne peut être enregistrée visuellement en laryngoscopie indirecte sans recours à un autre artifice de visualisation.

Le mot stroboscope vient du grec strobos, tourniquet et skopein, voir.

La stroboscopie a été utilisée pour la première fois en laryngologie en 1878 par Max Joseph Oertel, laryngologiste de Munich et au début du 20e siècle, la stroboscopie est devenue un outil irremplaçable en laryngologie et phoniatrie pour l'observation de la vibration des plis vocaux au moyen d'une source lumineuse périodique.

Il s'agit de créer une illusion d'optique d'un mouvement continu à partir d'une série d'images instantanées (Figure 22 et 23).

### **2.2. Les champs d'application de l'examen :**

L'apport de l'examen avec une lumière stroboscopique est très variable selon la pathologie et Il peut :

- faciliter le diagnostic clinique et différentiel dans les cas de pathologie organique avec une lésion locale du plan glottique (comportement de la lésion par rapport au plan muqueux et musculo-ligamentaire, et compensations biomécaniques des plis vocaux) [63].

- apporter des informations complémentaires en cas de trouble d'ordre neurologique (parésie, trouble du tonus localisé ou diffus, uni ou bilatéral) et dans les diagnostics pré et post opératoire en phono-chirurgie.

Son apport dans l'identification des pathologies fonctionnelles [64] est reconnue de longue date car il permet l'élimination d'une pathologie organique minime du plan glottique, et permet l'évaluation des différentes phases du cycle vibratoire selon l'intensité vocale, la fréquence fondamentale (F0), la pression sous-glottique, la forme de la glotte, la qualité des structures tissulaires des plis vocaux et les variations de tonus et de contraction des muscles glottiques.

### **2.3. Les limites de l'examen stroboscopiques :**

Les informations apportées par la stroboscopie en termes de qualité de l'image dynamique et du processus vibratoire de tout le plan glottique, sont limitées par le principe même de la lumière stroboscopique, c'est à dire qu'il s'agit d'une reconstruction visuelle et non un cycle vibratoire complet.

Il s'agit en outre d'une évaluation subjective, examinateur dépendant selon son degré de formation et d'expérience.

### **2.4. Le matériel :**

Le matériel stroboscopique de base consiste en un capteur de vibration laryngée (qui sert à déterminer la fréquence fondamentale), placée sur une aile thyroïdienne, une source lumineuse, une unité électronique de contrôle et une pédale de commande permettant de varier la fréquence des flash lumineux et de passer d'une image plus ou moins ralentie à une image fixe.

Le capteur peut aussi être un microphone placé devant la bouche du sujet pour capter le signal acoustique mais il est nettement moins performant en cas de dysphonie.

Le faisceau lumineux peut être dirigé sur le larynx de diverses façons: nasofibroscope, optique rigide à 90° ou 70°, miroir laryngé, microscope opératoire [65].

L'enregistrement vidéostroboscopique est une archive pouvant servir de preuve médico-légale mais aussi permettant au consultant de mieux comprendre les mécanismes de la phonation normale et sa dysphonie.

Ce document a un intérêt pédagogique et permet aussi de comparer les examens dans le temps.

## **2.5. Les résultats :**

### **➤ Analyse du cycle vibratoire**

On note trois composantes du mouvement vibratoire normal des plis vocaux au cours de la phonation lors de l'adduction : un mouvement horizontal de la position médiane vers la position latérale, un mouvement vertical qui se produit de bas en haut et une ondulation de la muqueuse des plis vocaux qui se superpose aux précédents sous l'effet de la pression sous-glottique et qui se déplace de bas en haut, cette ondulation muqueuse intéresse tout ou une partie des plis vocaux selon la hauteur et l'intensité du son émis.

## ➤ Les paramètres à analyser

Classiquement on note cinq critères d'évaluation stroboscopiques :

### a. La fermeture

La durée et la qualité de la fermeture glottique augmentent en voix grave et à forte intensité.

Une fermeture glottique incomplète peut résulter d'une adduction incomplète des plis vocaux, d'un bord irrégulier d'un ou des deux plis vocaux, d'un obstacle entre les plis vocaux, d'une rigidité segmentaire du bord libre d'un ou des deux plis vocaux.

On note également l'axe de fermeture glottique : médian, paramédian ou latéral. Une fermeture incomplète est responsable d'une composante de souffle dans la voix.

### b. La symétrie

La symétrie vibratoire entre les 2 plis vocaux a deux composantes : la symétrie en amplitude et la symétrie en phase. La vibration est symétrique en amplitude quand l'étendue du déplacement latéral est identique pour les 2 plis vocaux.

Elle est symétrique en phase quand les moments de fermeture et d'ouverture maximale sont synchrones pour les 2 plis vocaux.

En dehors d'une lésion visible, les asymétries résultent le plus souvent des différences dans les propriétés biomécaniques des plis vocaux (élasticité, viscosité, tension, volume, forme, position). Elles sont responsables des dysphonies non organiques ou fonctionnelles.

### **c. La régularité**

Il s'agit de la régularité des différents cycles successifs au niveau d'un même pli vocal, ce caractère est mieux apprécié en mode « fixe ».

En effet si la vibration est bien régulière, l'image du bord libre du pli vocal demeure statique ; En revanche en cas d'irrégularité, on peut voir une trémulation du bord libre.

Cette irrégularité se traduit acoustiquement par une raucité.

### **d. L'amplitude**

L'amplitude correspond à l'étendue du déplacement latéral du pli vocal par rapport à l'axe de symétrie de la vibration musculo-ligamentaire.

Chaque pli vocal est analysé séparément.

L'amplitude augmente de façon physiologique avec une augmentation de l'intensité vocale ou une diminution de la fréquence fondamentale (F0).

En cas de raideur de tout ou partie d'un pli vocal (lésionnel, cicatriciel ou congénital), l'amplitude sera diminuée. Le timbre de la voix est modifié et souvent associé à une limitation des modulations de la F0.

### e. L'ondulation muqueuse

L'ondulation de la muqueuse représente le déplacement de la muqueuse en forme de vague sur le ligament et le muscle vocal sous-jacent.

L'ondulation de la muqueuse se déplace dans un plan vertical de bas en haut avec un déphasage entre le plan supérieur et le plan inférieur du bord libre du pli vocal. Cette ondulation muqueuse peut être normale, augmentée, diminuée ou abolie.

Plus la pression sous-glottique est grande, plus l'ondulation muqueuse est marquée.

En cas d'absence de vibration d'une portion ou de la totalité du pli vocal, on parle d'arrêt stroboscopique ou de silence phonatoire stroboscopique.

On n'observe ni amplitude ni ondulation alors que la mobilité de la corde vocale peut être conservée en lumière continue ; Si l'arrêt stroboscopique n'est présent que pour certaines fréquences, la dysphonie est plutôt d'ordre fonctionnel ; Si par contre, l'arrêt est présent sur toute la tessiture, il faut craindre une anomalie organique.

Une muqueuse épaissie ou raide ondule de façon ralentie et peu ample ; Quand la muqueuse est partiellement rigide, l'ondulation s'arrête sur cette portion.

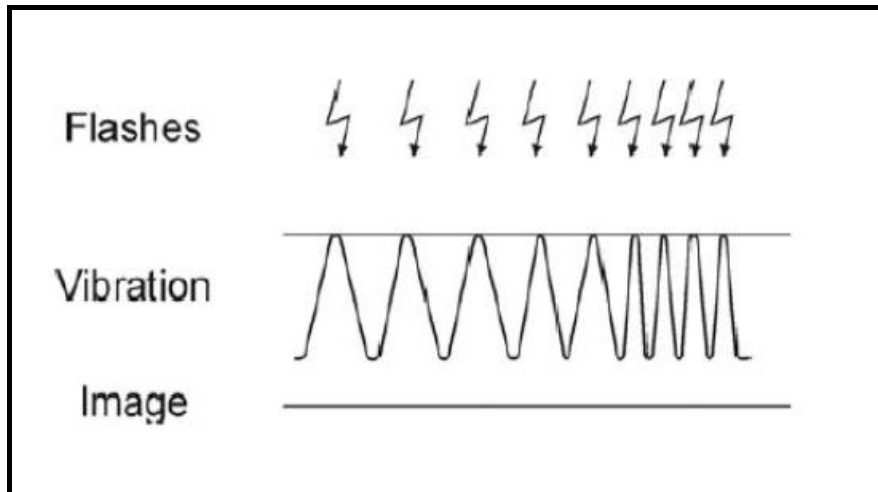


Figure 21 : Principe de la stroboscopie. L'image fixe [13]

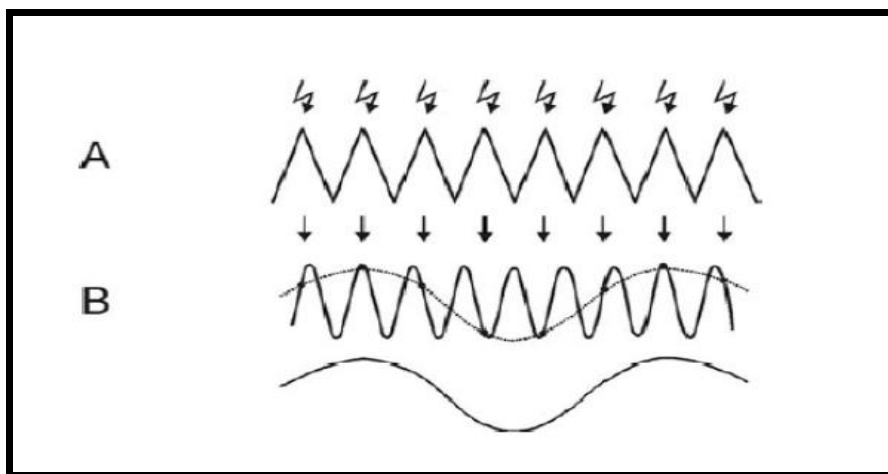


Figure 22 : Principe de la stroboscopie. L'impression de ralenti. [13]

### 3. L'électromyographie laryngée :

L'électromyographie (EMG) laryngée est un moyen d'exploration des troubles de la mobilité du larynx ; à visée diagnostique, topographique, pronostique et thérapeutique.

- Intérêt diagnostique, essentiellement dans :
  - Le diagnostic différentiel des immobilités laryngées (paralysie, ankylose, dystonie)
  - Le diagnostic topographique de l'atteinte nerveuse ;
  - Le diagnostic étiologique (sclérose latérale amyotrophique, myasthénie, dystonie, myopathie)
- Intérêt pronostique de la récupération nerveuse.
- Intérêt thérapeutique dans le repérage pour les injections intramusculaires.

Son utilisation en pratique clinique reste limitée à quelques équipes, car elle impose la collaboration d'un otorhinolaryngologiste et d'un neurologue électrophysiologiste.

L'examen est réalisé sans anesthésie locale ou générale, en ambulatoire, chez un patient conscient capable de phonation ou d'inspiration profonde à la demande. (Figures 23 et 24)

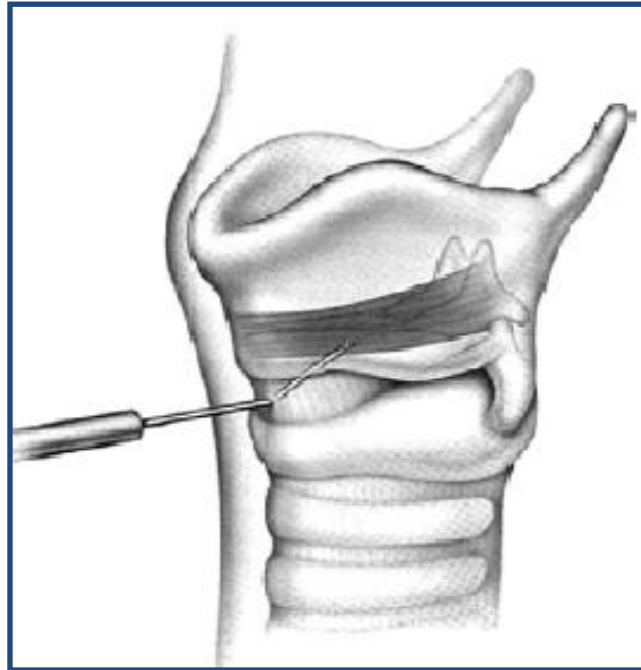


Figure 23 : EMG laryngé : Position de l'aiguille dans le muscle thyroaryténoïdien[13]

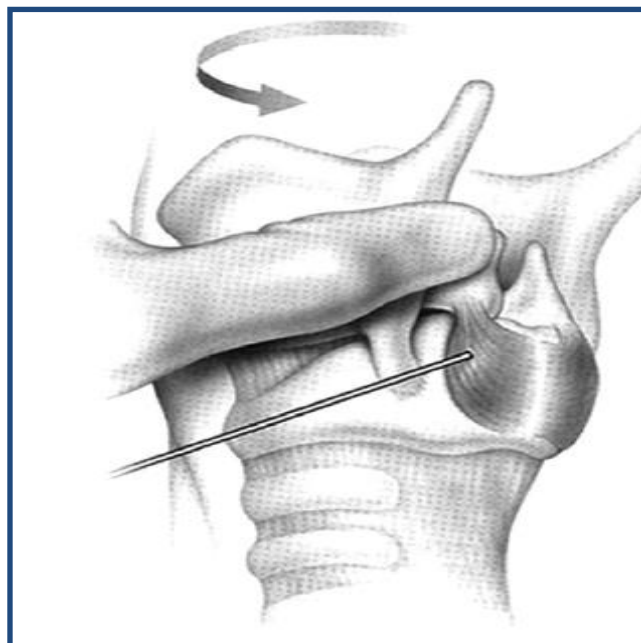


Figure 24 : EMG laryngée : Position de l'aiguille dans le muscle cricoaryténoïdien postérieur[13]

#### 4. La glottographie :

La glottographie permet l'étude indirecte du mouvement des cordes vocales.

On distingue l'électroglottographie, la photoglottographie, la glottographie de flux (ou par filtrage inverse), l'ultrasonoglottographie, la glottographie digitale à haute vitesse, la stroboglottographie et la glottographie électromagnétique. [65]

L'électroglottographique permet d'apprécier les variations de contact entre les cordes vocales pendant la phonation à l'aide de deux électrodes placées sur la peau de part et d'autre du larynx.

En analysant le signal, on peut obtenir indirectement une représentation de l'oscillation glottique.

Les autres techniques sont peu utilisées en pratique et sont utilisés en laboratoire pour l'étude de la physiologie et de la physiopathologie des cordes vocales.

## 5. La cinématographie ultrarapide et la kymographie :

Les dispositifs actuels permettent de filmer jusqu'à 4000 images par seconde avec un éclairage permanent du larynx.

Grâce à la lecture ralentie de séquences courtes, il est possible de visualiser le mouvement réel des structures vibrantes, d'analyser le comportement du vibreur pendant les phases transitoires de l'attaque, de l'amortissement et de l'extinction du son. [67]

Le retentissement de la présence d'une lésion, type polype de la corde vocale, peut être parfaitement analysé en cinématographie ultrarapide : blocage ; retard de phase ; diffusion de l'ondulation à d'autres structures laryngées.

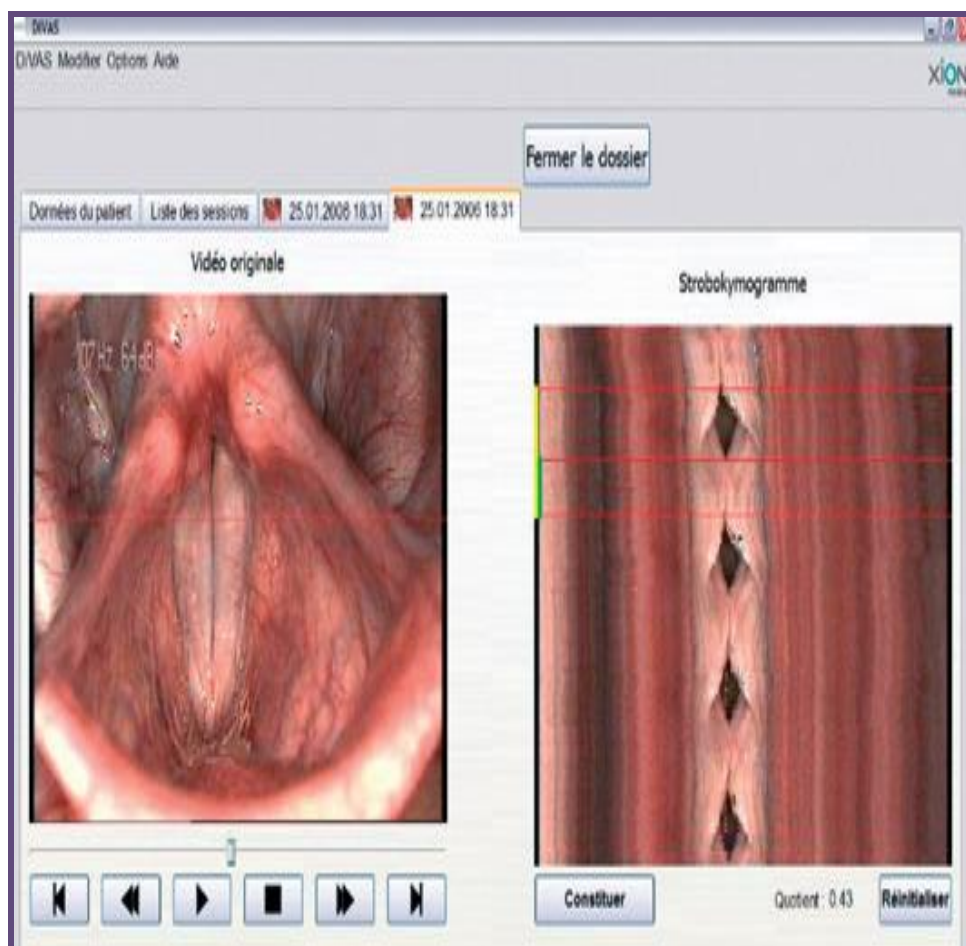
Les inconvénients sont :

- une résolution de l'image beaucoup moins bonne par rapport à l'image de vidéostroboscopie, ce qui signifie que pour faire un diagnostic lésionnel précis, la vidéostroboscopie est pour le moment toujours la plus performante
- une acquisition numérique pour l'instant limitée à 2 ou 4 secondes en fonction de la vitesse de capture choisie.

Les avantages sont les suivants :

- le phénomène vibratoire peut être filmé dans son intégralité, sans perte, toutes les formes de vibration peuvent être étudiées, qu'elles soient périodiques ou non, cordales pures ou cordoventriculaires [68,69].
- elle permet de quantifier certains phénomènes en utilisant des outils de traitement informatique comme la vidéokymographie numérique en particulier qui permet, à partir de l'acquisition vidéo ultrarapide, de voir se

dérouler le cycle glottique dans le temps en prenant comme point d'analyse une ligne placée perpendiculairement à l'axe glottique. [70,71] (Figure 25).



**Figure 25 : Kymographie. [72]**

Le tracé kymographique représente une reconstruction des cycles glottiques consécutifs au niveau de la ligne visible sur la vidéo originale.

## Analyse de la voix

La voix est une transformation d'énergie aérienne en énergie acoustique perçue par l'oreille dont l'analyse est surtout acoustique.

En raison tant de la complexité du phénomène physicoacoustique que des phénomènes psychoacoustiques, l'élaboration d'une méthode unique est impossible.

La recherche de techniques objectives est difficile.

En premier lieu parce que, dans la réalité, c'est toujours par notre oreille que nous entendons et analysons la production vocale ; L'analyse perceptive reste donc la référence, bien qu'elle soit subjective.

En second lieu, bien que la recherche de paramètres « biophysiques » soit en cours, leur objectivité est limitée du fait de l'intervention de la collaboration du sujet testé et du choix par l'examineur du corpus (échantillon vocal) à analyser (la variabilité étant une caractéristique de la voix).

Toutes ces techniques sont à considérer comme semi-objectives, ainsi, l'évaluation perceptuelle est fondamentale, elle évalue le trouble vocal comme un tout. Elle joue un rôle important dans l'appréciation subjective de la rééducation vocale.

En fonction des outils à notre disposition, elle peut être complétée par des paramètres plus objectifs.

Les études actuelles recherchent les corrélations entre les mesures acoustiques objectives, les mesures de la fonction laryngée et les données de l'analyse perceptive.

Ces études ont pour but d'élaborer des mesures objectives qui pourront dans le futur remplacer le jury d'écoute.

La plupart des auteurs s'accordent pour utiliser des protocoles comprenant des tests non invasifs, reproductibles et de réalisation simple.

Il n'existe pas de consensus concernant les mesures exactes à réaliser pour évaluer et suivre les patients dysphoniques, cependant, la Société Européenne de Laryngologie a récemment publié des recommandations et un protocole d'évaluation comprenant une analyse subjective par le patient, une analyse perceptive par un tiers, et certaines mesures acoustiques, aérodynamiques et vidéo stroboscopiques[73].

Ainsi L'analyse des dysphonies est multiparamétrique (incluant des critères perceptifs, acoustiques, biomécaniques et aérodynamiques), chaque mesure apportant des informations différentes sur les aspects de la production sonore.

Aucune mesure ne suffit à elle seule à caractériser la voix pathologique [4].

## **1. Analyse subjective de la voix :**

### **1.1. Auto-évaluation par le patient :**

Des échelles d'auto-évaluation de la fonction vocale et de la qualité de vie relative à la voix ont été récemment développées et validées.

Il existe plusieurs questionnaires de qualité de vie globale, avec des groupes de questions relatifs chacun à un domaine particulier de la vie, actuellement trois questionnaires validés de qualité de vie, spécifiquement orientés vers la qualité de la voix et vers les conséquences de la dysphonie dans la vie quotidienne sont disponibles à savoir le « Voice Outcome Survey », le « Voice-Related Quality of Life Measure » et le « Voice Handicap Index » [4,74].

Ce dernier, le « Voice Handicap Index » (VHI) est le plus utilisé (34), C est un outil psychométrique d'évaluation de l'handicap vocal comprenant 30 items regroupés en trois sous-échelles de dix items chacune : fonctionnelle (impact du trouble vocal sur les activités quotidiennes), émotionnelle (impact psychologique) et physique (perceptions personnelles des caractéristiques physiques de la voix).

Une grille de réponses à cinq degrés de sévérité est proposée allant de 0 (non, jamais de problème) à 4 (oui, toujours un problème).

Il existe aussi une version raccourcie du VHI avec une sélection de dix items parmi les 30 de l'échelle initiale.

Le score de chaque sous-échelle varie entre 0 et 40, le VHI total entre 0 et 120, plus le score est élevé, plus le handicap lié au problème vocal est sévère.

Un score inférieur ou égal à 10 points est considéré comme normal [74,75], Il a été validé pour des voix pathologiques d'étiologies variées.

Il est disponible dans une traduction française réalisée par le groupe d'étude belge sur les troubles de la voix et développée par le Groupe Européen de Recherche Laryngologique.

L'avantage de ces questionnaires de qualité de vie est d'obtenir l'avis subjectif du patient sur son état.

Ils ont pour but de révéler les différents handicaps ressentis par le patient lui-même, qui ne correspondent pas toujours à ceux perçus par le médecin ou le chirurgien.

La répétition régulière des questionnaires permet alors un suivi longitudinal pour évaluer le vécu du patient par rapport aux traitements reçus.

## **1.2. Analyse perceptive de la voix :**

L'évaluation perceptive a pour but d'analyser les voix d'un point de vue esthétique, phonétique et physiologique.

Il n'existe pas à ce jour de classification permettant de distinguer les dysphonies d'étiologies différentes.

L'évaluation perceptive est la méthode la plus utilisée en pratique clinique pour évaluer la voix ; elle est toujours considérée comme la méthode de référence.

Cette évaluation doit décrire, ou mieux quantifier, les différents aspects de la qualité des voix pathologiques d'une façon fiable et reproductible à l'aide d'échelles d'évaluations perceptives.

Pour une application en clinique quotidienne, il faut que cette échelle soit simple et facile à utiliser [4].

### **a. Choix de l'échantillon vocal et enregistrement**

Le trouble de la voix peut n'être décelé que sur un seul mode de production vocale.

La voix doit donc être testée dans le maximum de situations : voyelle tenue (avec attaque, tenue, fin), voix conversationnelle, voix projetée, voix d'appel, voix chantée (chanson populaire, montée et descente vocaliques, fusée).

Les conditions d'enregistrement doivent toujours être les mêmes : local calme, microphone à la même distance de la bouche du patient, avec une constance et une simplicité du matériel phonétique [73].

### **b. Caractéristiques de la dysphonie**

#### ➤ Fréquence = hauteur

La fréquence fondamentale ( $F_0$ ) peut être qualifiée comme grave, aiguë, instable. Notre oreille ayant la possibilité de discriminer la fréquence, des mesures quantitatives fiables peuvent être obtenues à l'aide d'un instrument de musique pour repérer la note.

#### ➤ Intensité

Les termes de normophone, hyper ou hypophone sont utilisés. La difficulté est de différencier l'intensité et la portée de la voix : la portée dépend de l'intensité et du timbre.

➤ Timbre

L'échelle GRBAS, décrite par Hirano en 1981 et inspirée par les travaux d'Isshiki, est la plus utilisée à l'heure actuelle, sa validité et la fiabilité ont été démontrées par de nombreuses études.

Elle peut être appliquée à l'évaluation d'une voyelle tenue (/a/ ou /i/, en général) ou à une phrase ou un texte lu et évalue principalement le timbre et le comportement phonatoire.

Elle comprend cinq items : grade (impression globale de la qualité de la voix ou degré d'altération), « roughness » (raucité), « breathiness » (souffle audible), « asthenicity » (voix hypotonique, faible, peu intense), « strained » (voix hyperkinétique, serrée, forcée).

Chacun des indices est coté de 0 (normal ou absent) à 3 (très altéré).

Un tel classement est actuellement recommandé par l'European Laryngological Society (ELS) [73].

Très étudiée, cette échelle a l'avantage de pouvoir être utilisée dans une pratique clinique quotidienne, pour apprécier la qualité de la voix par les cliniciens.

Elle n'exclut pas un complément par des adjectifs choisis par l'utilisateur.

Les corrélations interjuges et intrajuges sont satisfaisantes pour le G, le R et le B.

La reproductibilité est surtout satisfaisante pour le G.

Elle est moins bonne sur le A qui a plus de variabilité dans le temps.

### ➤ Résonance

La résonance est souvent exclue des échelles du timbre qui ciblent plutôt la source sonore.

Certaines de ces caractéristiques sont fondamentales, comme la nasalité qui correspond à un trait phonétique, au même titre que la vibration des cordes vocales (le « voisement »).

Elle peut être appréhendée aussi bien sur un mode perceptif (hyper- ou hyponasalité, résonance de poitrine...) que sur un mode plus objectifs, avec l'analyse des formants.

### ➤ Mélodie et intonation

Elles font partie des caractéristiques prosodiques de la parole.

-Sur le plan acoustique, elles comprennent des variations du fondamental autour du fondamental usuel, mais également des variations de timbre, d'intensité relative, de durée.

Sur le plan perceptif, la voix peut être qualifiée de monotone, peu intonative.

## **2. Analyse objective de la voix :**

### **2.1. Analyse acoustique :**

L'analyse acoustique est une méthode d'exploration non invasive de la voix fournissant des mesures quantitatives objectives sur un échantillon vocal.

Les principaux paramètres altérés dans le cadre d'une dysphonie sont la hauteur (ou fréquence fondamentale), la sonie (ou intensité), et le timbre qui donne toute la couleur à la voix, d'autres paramètres reflètent les perturbations de la parole comme le débit phonatoire et l'articulation [4,73].

#### **a. Fréquence :**

Au moyen d'histogrammes, les différentes fréquences et leur pourcentage (Mais aussi moyenne, écart-type, coefficient de variation) peuvent être mesurés lors de la lecture d'un texte ou d'un autre échantillon vocal à partir du signal acoustique ou du signal électroglottographique.

Elle rend compte de l'étendue des variations de la fréquence qui sont une des caractéristiques de la mélodie de la parole.

#### **b. Intensité :**

L'utilisation d'un sonomètre permet des mesures précises et reproductibles, à condition de toujours respecter la même distance lèvres-microphone.

Pour les autres appareils d'analyse, le problème de l'étalonnage d'une part, et de la vérification du niveau d'enregistrement rendent souvent illusoire l'obtention de mesures absolues de l'intensité.

### c. Timbre :

#### a. Méthodes objectives qualitatives :

Les représentations visuelles, comme le sonagramme et le spectrogramme, permettent de visualiser des phénomènes intermittents ou périodiques (subharmoniques, tremblements), d'apprécier l'importance des bruits de souffle par rapport aux harmoniques.

#### b. Indices quantitatifs objectifs acoustiques :

- Les indices de perturbation à court terme de la Fo : L'indice de Jitter (factor, ratio...) et l'indice de perturbation relative moyenne.

La caractéristique du Jitter est de mesurer la variation de la Fo cycle à cycle. Plusieurs méthodes de calcul existent, gênant les comparaisons des données dans la littérature. Le Jitter est corrélé au « R » de l'échelle GRBAS.

- Les indices de perturbation à court et moyen terme de l'amplitude : L'indice de Shimmer, le quotient de perturbation d'amplitude. L'indice de Shimmer mesure les fluctuations de l'amplitude du signal sonore cycle par cycle, il est exprimé en pourcentages ou en dB. Il est corrélé au « B » pour Dejonckere [76] et au « R » pour Jacobson [77].

- Les indices explorant la présence de « bruits » au cours de la phonation sont souvent calculés à partir du spectre. Ils opposent la partie régulière, périodique, du signal, à la partie apériodique « bruyante ». Ils sont exprimés habituellement en dB.

Différents algorithmes de calcul existent (H/N : harmonic to noise ratio, NNE : normalized noise energy, Sr : relative signal intensity). Ils semblent corrélés avec toutes les qualités vocales du GRBAS

## 2.2. Mesures aérodynamiques :

Elles apprécient la qualité du souffle phonatoire, qui conditionne la qualité et l'efficacité de l'émission vocale.

Le but est la recherche d'un accord pneumophonatoire et d'une respiration adaptée au geste vocal [4].

Le temps maximum de la phonation (TMP) est la mesure la plus fréquemment utilisée, c'est une mesure simple, non invasive et nécessite seulement un chronomètre ; elle consiste à mesurer la durée de la tenue d'une voyelle (en général la voyelle /a/) à une intensité et une fréquence confortables.

On considère qu'il est significatif du rendement de la source vocale ; Il est diminué en cas de fatigue vocale.

D'autres mesures nécessitent un appareillage plus sophistiqué avec des capteurs de débit et de pression et sont encore du domaine de la recherche clinique.

### a. Exploration fonctionnelle :

L'air utilisable pour la phonation peut être évalué par les explorations fonctionnelles respiratoires classiques avec mesure de la capacité vitale, du volume expiratoire maximum seconde (VEMS) et du débit de pointe.

Le volume d'air en phonation est statistiquement corrélé de manière linéaire à la capacité vitale.

Il peut être mesuré à l'aide d'un spiromètre ou d'un pneumotachographe sur une voyelle tenue le plus longtemps possible, précédée d'une inspiration profonde.

**b. Débit d'air en phonation :**

Le débit d'air transglottique correspond, en l'absence de fuite nasale en phonation, au débit d'air buccal.

Les mesures directes sont réalisées à l'aide d'un pneumotachographe.

**c. Quotient phonatoire :**

Le quotient phonatoire correspond à la capacité vitale divisée par le temps maximal phonatoire ( $QP = CV/TMP$ ). Il équivaut, indirectement, au débit phonatoire moyen.

**d. Pression sous glottique :**

Son amplitude et sa stabilité seraient des informations pertinentes pour la connaissance de la biomécanique pneumophonique, cependant, sa mesure en clinique reste délicate.

**e. Résistance glottique :**

Elle peut être calculée en divisant la pression sous-glottique par le débit d'air buccal. Sa valeur normale est de 40 hPa/dm<sup>3</sup>.

## 2.3. Capacité vocales :

### a. Phonétogramme : profil vocal ou courbes vocales (Figures 26 et 27)

C'est la représentation graphique du champ dynamique vocal obtenu en quantifiant les intensités sonores minimales et maximales, en fonction de la hauteur tonale du son fondamental sur toute l'étendue de la voix.

Il donne l'ensemble des possibilités et limites physiologiques de la voix du sujet, permet la classification vocale, la détermination des « passages », la quantification de la dynamique d'expression vocale, met en évidence les effets de l'éducation vocale et d'un entraînement spécifique.

C'est un document de référence et de comparaison intra-individuelle et interindividuelle.

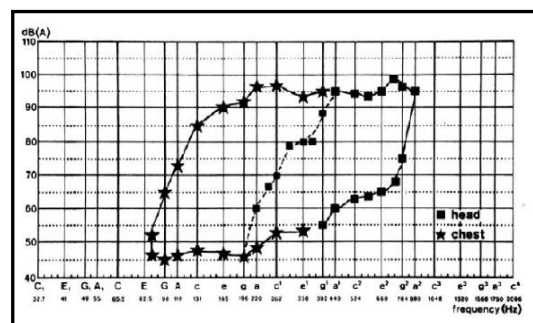


Figure 26 : Phonétogramme normal :

Voix chantée d'homme : en voix de poitrine (chest) et en voix de tête (head). [13]

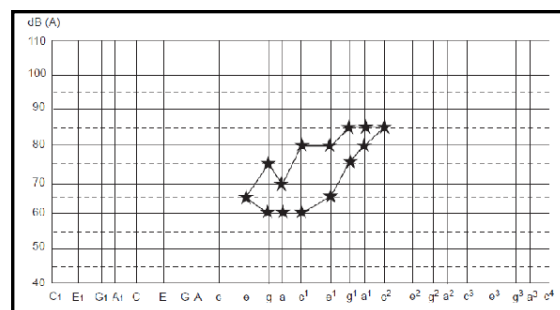


Figure 27 : Phonétogramme pathologique [13]

### **b. Test d'endurance :**

Sur les recommandations de l'Union européenne des phoniatries (UEP), ce test a été standardisé sous la forme d'une lecture à haute voix de 20 minutes pour évaluer l'endurance vocale. Combiné avec le contrôle de perturbations au niveau de l'analyse perceptuelle, du temps maximal phonatoire et de l'examen laryngé, avant et après le test, il peut avoir une valeur prédictive sur la survenue de certaines pathologies.

Pour certains, cette capacité peut être appréciée en demandant au sujet de compter rigoureusement jusqu'à 100.

### **c. Dysphonia severity index :**

C'est un indice multiparamétrique calculé avec le temps maximal phonatoire, la fréquence la plus élevée possible, l'intensité la plus basse possible et le Jitter.

Il est en cours de validation.

## La classification des pathologies bénignes des cordes vocales

La classification des pathologies bénignes des cordes vocales est une entreprise difficile.

Elle peut en effet être réalisée sur la base de critères cliniques, étiologiques ou histologiques.

La tâche est d'autant plus compliquée que les phoniâtres et les chirurgiens n'ont actuellement pas réussi à établir un consensus sur l'aspect macroscopique et les caractéristiques vidéo-stroboscopiques des lésions observées[78,79] que les mécanismes étiologiques présidant à la formation de ces lésions restent pour la plupart incompris, et que les analyses histologiques habituellement pratiquées sur les prélèvements chirurgicaux ne fournissent pas de renseignement discriminant sur les lésions traitées.

Ce qui nous paraît fonctionnellement, et microchirurgicalement, le plus important est l'épaisseur et la souplesse résiduelles de l'espace de Reinke pathologique.

Les mécanismes qui président à cette dérégulation sont toujours incompris.

Les lésions bénignes peuvent être classées, du point de vue physiologique, en trois types [14] :

- Les lésions dysfonctionnelles.
- Les lésions kystiques.
- Les lésions cicatricielles.

## **1. Les lésions dysfonctionnelles :**

Elles correspondent à des lésions bénignes réactionnelles à des anomalies du fonctionnement glottique associées ou non à des agents irritants extérieurs comme le tabac [80], Ce groupe comprend :

- Les nodules
- Les polypes
- Les œdèmes de Reinke

Dans le modèle de Remacle, [66] les lésions sont organisées selon un arbre plus ou moins hiérarchique mettant en parallèle les caractéristiques histologiques et les facteurs étiologiques ainsi que les formes de passage ( Figure 28).

## **2. Les lésions kystiques :**

Il s'agit de lésions d'origine congénitale ; le kyste épidermique évolue, après s'être rompu, vers un kyste ouvert puis vers un sulcus glottidis ou un pont muqueux lorsque l'ouverture se fait par deux orifices. (Pour Bouchayer et Cornut) [81].

- Les kystes épidermiques
- Les kystes muqueux rétentionnels
- Le sulcus glottidis :
- Les vergetures
- Les ponts muqueux

### 3. Les lésions cicatricielles :

- Granulome
- Ulcère

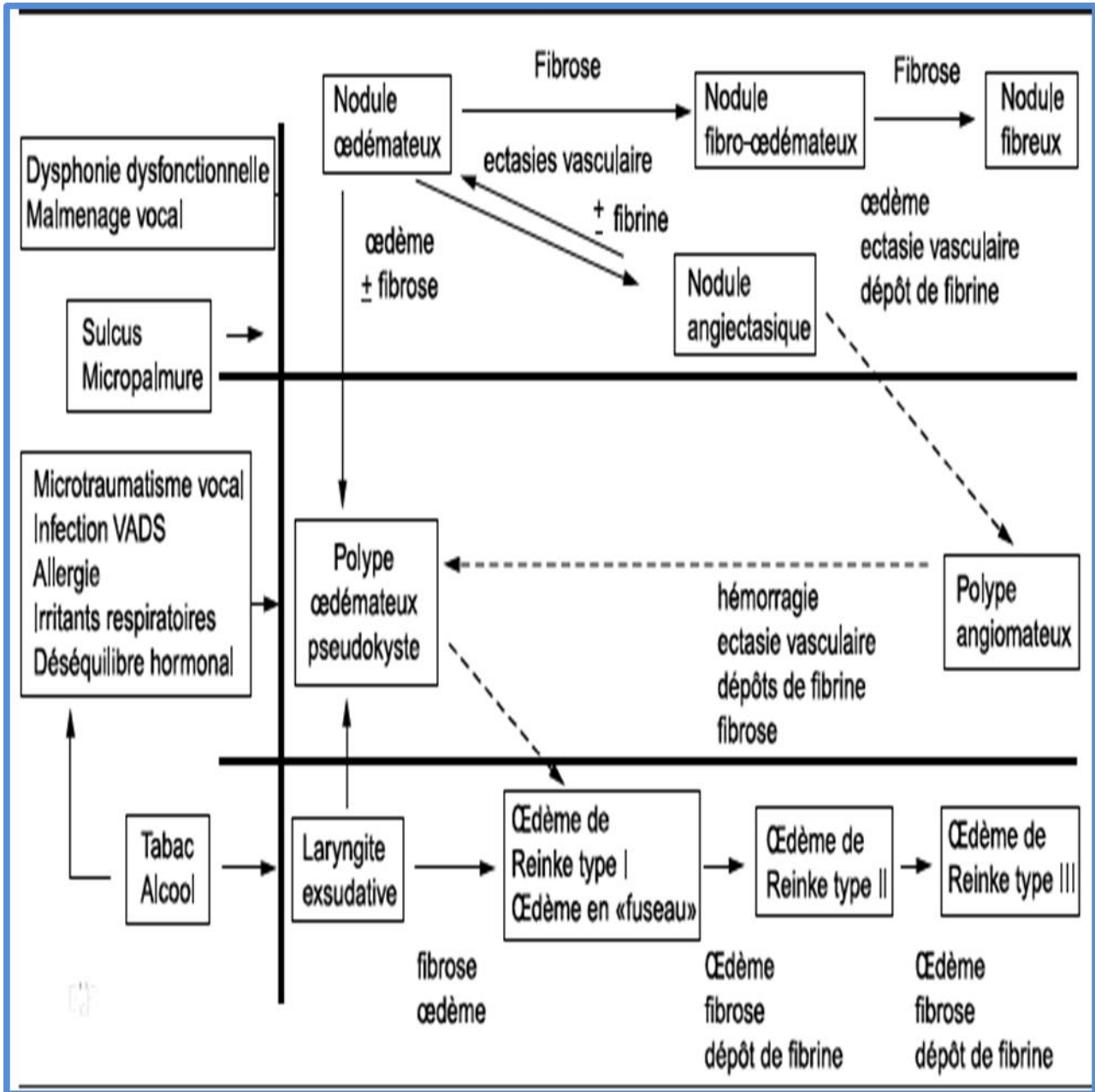


Figure 28 : classification des lésions dysfonctionnelles selon Remacle [14]

# Etiologies des dysphonies organiques

## 1. Les nodules

Le nodule vocal est le type le plus connue parmi les lésions bénignes des cordes vocales.

Sa définition et sa catégorisation sont particulièrement difficiles, un consensus n'étant actuellement toujours pas acquis si l'on tient compte de caractéristiques macroscopiques.

Nous la définirons comme une lésion chronique, localisée au 1/3 moyen de la corde vocale qui peut être uni- ou bilatérale, [82] bien que certains auteurs ne considèrent comme nodule « vrai » que les lésions bilatérales. [83]

Le nodule apparaît comme une voussure du bord libre, un peu sous- cordale. (Image 3,4)

En vidéostroboscopie, il est totalement rigide, il n'existe aucune ondulation muqueuse à son niveau, le mouvement latéral vibratoire est également restreint, la fermeture glottique est déficitaire, dessinant une forme de sablier en cas de nodules bilatéraux.

Le nodule se développe en réponse à un phono-traumatisme chronique, [87,97-99] qui a été longtemps considéré comme un simple épaissement épithélial, sa structure histologique étant étudiée par de simples techniques de coloration à l'hématoxyline/éosine. [82,88]

Ce sont les techniques immunohistochimiques qui ont permis de démontrer que la pathologie nodulaire siège au sein de la couche superficielle de la lamina propria et qu'elle est associée à des altérations de la membrane basale épithéliale.

Une étude au microscope électronique de la membrane basale épithéliale de lésions nodulaires a montré d'importantes altérations de celle-ci : épaissement important de la membrane basale, dislocation et fragmentation de la lamina propria, envahissement de l'espace de Reinke par des fragments de membrane basale, absence de collagène de type I et de fibres élastiques sous la membrane basale. [84]

C'est l'envahissement progressif de la région sous-épithéliale par les débris de membrane basale et par les dépôts de fibronectine qui va créer la déformation du bord libre et l'épaississement tissulaire.

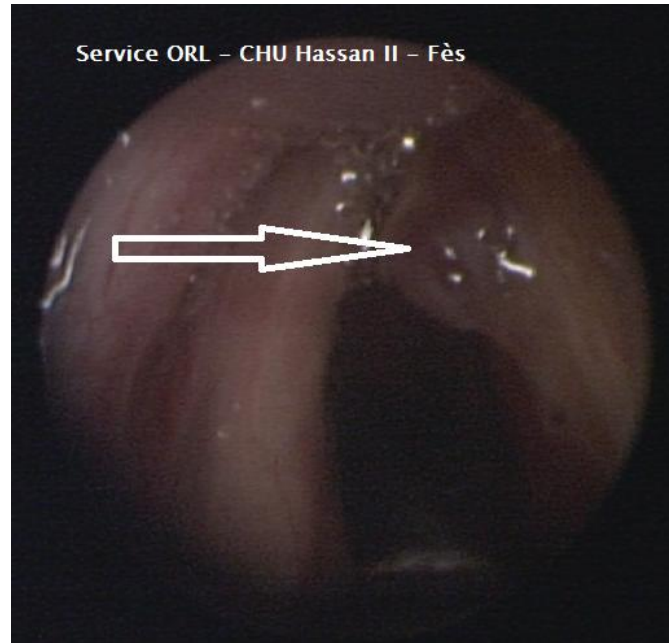
Le nodule constitue donc une lésion à la fois destructrice et occupante de l'espace de Reinke.

La localisation du nodule au tiers moyen de la corde vocale s'explique par le fait que, durant la vibration de la corde, les forces d'impact sont maximales à cet endroit. [85]

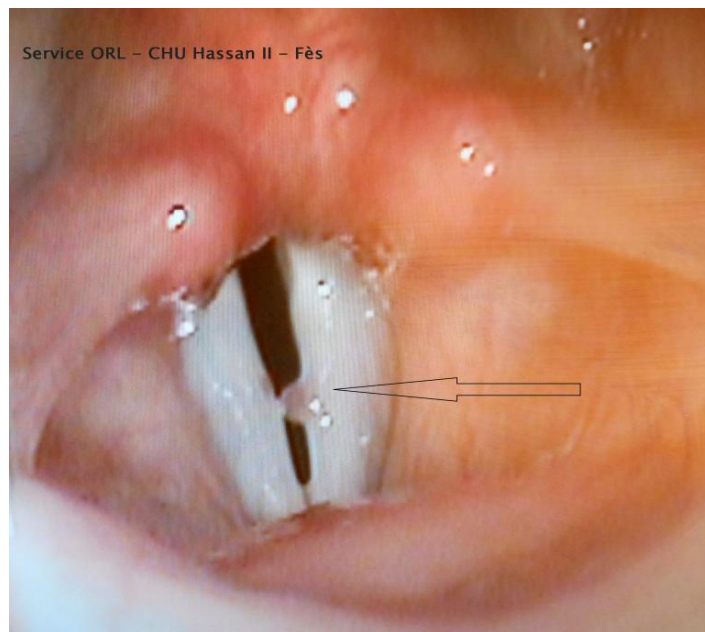
Sur base de ces observations, la localisation (au tiers moyen de la corde) ainsi que le mécanisme du développement de la lésion nodulaire trouvent une explication rationnelle.

La vibration induit un traumatisme répété de la membrane basale épithéliale, qui s'avère incapable de cicatriser normalement et qui se désinsère continuellement de la couche superficielle de la lamina propria.

Cette fragilité locale induit l'apparition de mécanismes cicatriciels, dont un des témoins est le dépôt de fibronectine et de collagène, à l'origine de la rigidité tissulaire locale [84,100], Il a également été démontré que le stress mécanique compressif est capable d'induire une augmentation de la production de matrice extracellulaire par les cellules qui y sont soumises. [100,102]



**Image 3** : nodule de la corde vocale droite



**Image4** : nodule de la corde vocale gauche.

## 2. Les polypes

Le polype de la corde vocale est une lésion unilatérale, d'implantation large (polype sessile) ou étroite (polype pédiculé). (Image 5,6)

Ils sont la conséquence d'une hémorragie [86,88] au sein de la lamina propria, parfois favorisée par la prise d'aspirine, survenant de manière aiguë [86,87].

Un effort vocal intense, un effort de toux ou une manœuvre de Valsalva peuvent en constituer l'événement déclenchant, l'hémorragie intracordale à l'origine d'un polype doit être suffisamment profonde pour qu'une accumulation de sang se crée localement.

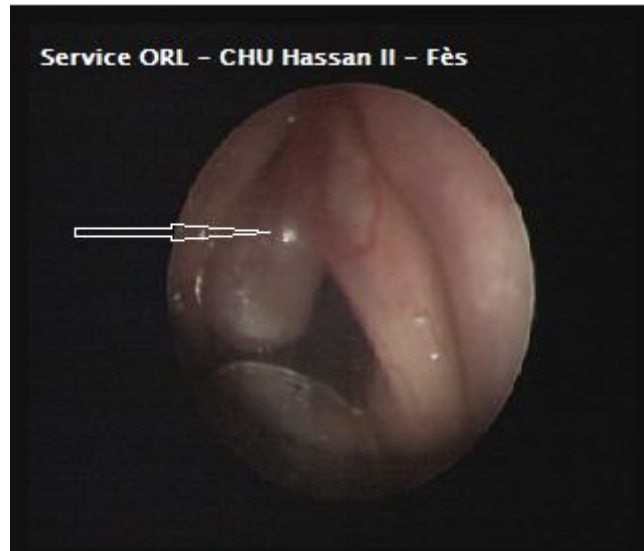
Avec le temps, le polype peut perdre son aspect hémorragique et être difficile à différencier d'un œdème, le caractère pédiculé serait également une caractéristique d'une lésion polypoïde ancienne. [86]

Les polypes sont des lésions exsudatives de l'espace de Reinke, et faisant partie du même cadre nosologique que les œdèmes et les nodules, [92] mais leur expression phénotypique est néanmoins très différente, et ils constituent très certainement une entité morphologique et biologique distincte. [87]

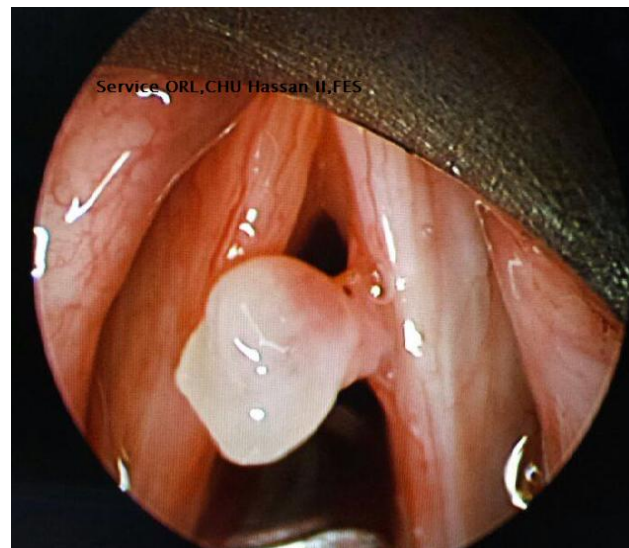
Certaines études montrent qu'ils sont pauvres en fibronectine, [88] alors que d'autres les décrivent comme exprimant plus les ARNm pour la fibronectine que ne le font les œdèmes.

Un contenu lésionnel plus faible en collagène et plus grand en fibronectine semble associé à une moindre souplesse tissulaire, et donc à une moins grande ondulation muqueuse à l'examen vidéo-stroscopique. [87]

Enfin, ils ne montrent pas de lésion de la membrane basale épithéliale (à l'inverse des nodules), [88] mais leur profil d'expression génique montre pourtant une surexpression d'un gène impliqué dans l'amarrage de la membrane basale épithéliale au tissu conjonctif sous-jacent. [89]



**Image 5** : polype angiomateux de la corde vocale



**Image6** : polype de la corde vocale droite

### 3. Les œdèmes de Reinke

L'œdème de Reinke possède de nombreux synonymes : pseudo-myxome, dégénérescence polyploïde, laryngite chronique pseudomyxomateuse. [82,107]

Sa caractéristique essentielle est un œdème chronique de l'espace de Reinke qui déforme la face supérieure et le bord cordal, la corde atteinte a un aspect boursouflé et translucide. (Image 7et 8)

L'épaisseur de la couche superficielle de la lamina propria peut être considérable, atteignant parfois plus d'un centimètre, la lésion peut alors s'avérer dyspnéisante.

Cette lésion, uni- ou bilatérale, est la conséquence d'une irritation chronique tabagique ou consécutive à un reflux gastro-œsophagien, ou d'un forçage vocal. [91,103] (image 8)

Les caractéristiques histologiques de l'œdème de Reinke sont l'association d'un épaissement de la membrane basale épithéliale à des lacs d'œdème, des extravasations d'érythrocytes et un épaissement des parois vasculaires [83]

L'œdème de Reinke et les polypes sont considérés par certains auteurs comme faisant partie d'un même cadre nosologique. [90]

Dans une étude, [88] utilisant les techniques de « polymerase chain reaction » (ou PCR) et de Western Blot sur des lésions qualifiées cliniquement de polypes et d'œdèmes de Reinke, a montré une expression phénotypique différente des deux types lésionnels : polype et œdème diffèrent dans l'expression des ARNm codant pour la fibronectine et la fibromoduline : la fibronectine est sous-exprimée dans les

oedèmes de Reinke, alors que c'est la fibromoduline qui est sous-exprimée dans les polypes.

Ces 2 caractéristiques sont par ailleurs liées à un phénotype plus « rigide » dans la population des polypes.

En effet, la surexpression pour la fibronectine et la sous-expression pour la fibromoduline sont associées à des ondulations muqueuses faibles ou absentes.

Cette étude apporte des arguments permettant de penser que polype cordal et œdème de Reinke sont deux lésions différentes, et que l'une n'est pas le continuum biologique de l'autre. [88]

Dans le groupe des œdèmes, ce sont les gènes impliqués dans la protection contre les stress oxydatifs et l'apoptose, qui sont surexprimés, selon les auteurs, ce profil d'expression génique est évocateur d'une protection contre une transformation tumorale éventuelle.

Dans le groupe des polypes, ce sont des gènes impliqués dans le remodelage de la matrice extracellulaire, la croissance et la prolifération cellulaire qui sont surexprimés, en particulier, un gène impliqué dans l'amarrage de la membrane basale épithéliale au tissu conjonctif sous jacent est surexprimé dans ce groupe pathologique. [89]

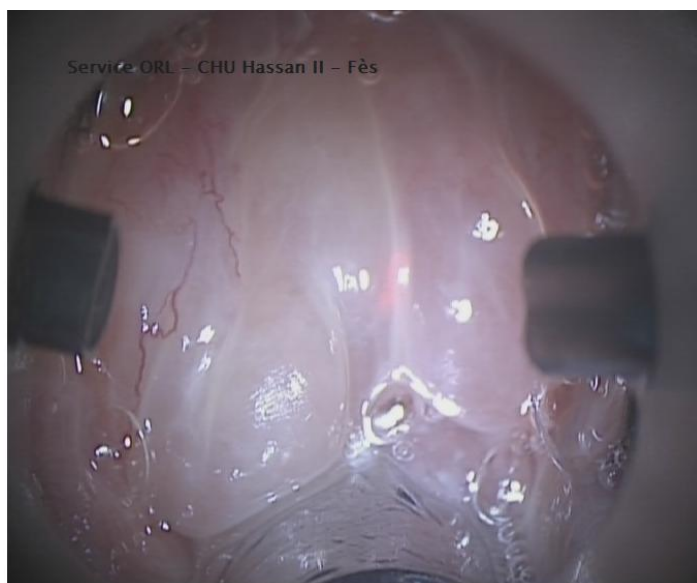
Lors de l'examen vidéostroboscopique, l'ondulation muqueuse est difficile à évaluer et apparaît comme extrêmement différente de celle que l'on peut observer à la surface d'une corde vocale saine.

Le caractère irrégulier est souvent important, ainsi la lésion peut être souple ou parfois très rigide [91].

Selon Yonekawa, [94] l'œdème de Reinke peut être classé en trois types évolutifs : le type I correspond au contact des tiers antérieurs des cordes vocales en abduction, l'évolution se fera ensuite vers le type II où le contact entre les cordes vocales en abduction se fait entre les deux tiers antérieurs pour aboutir au type III, avec contact sur la totalité des cordes vocales.



**Image 7 : œdème de Reinke stade II.**



**Image 8 : œdème de Reinke stade III.**

#### 4. Les kystes muqueux

Ils sont souvent difficiles à diagnostiquer lorsqu'ils sont de petite taille, car ils se développent d'abord à la face inférieure de la corde vocale, échappant donc aisément à la vue de l'examineur. (Image 9 )

Ce sont des kystes de gros volume qui peuvent, par compression, entraîner une atrophie ou une déhiscence des couches plus profondes de la lamina propria, ce sont des kystes par rétention dont la cavité est bordée d'un épithélium glandulaire constitué d'une ou deux couches de cellules. [85, 87,105]

Ils surviennent spontanément et ne semblent pas liés à une utilisation vocale excessive.

A l'examen vidéostroboscopique, on observe une voussure unilatérale, souvent jaunâtre, enclavée au sein de l'espace de Reinke, l'ondulation muqueuse est souvent très altérée, parfois totalement absente, et si le kyste est de petite taille, la déformation peut être peu visible car localisée au niveau du bord inférieur de la corde. [87]



**Image 9** : kyste muqueux de la corde vocale droite.

## 5. Les kystes épidermoïdes

Les kystes épidermoïdes occupent également l'espace de Reinke, ils contiennent des débris de kératine, et ils sont plus fréquents que les kystes muqueux, représentant environ 2/3 des kystes intracordaux. [92](Image 10)



**Image 10** : kyste épidermoïdes. [14]

La physiopathologie de ces lésions reste encore discutée et considérés longtemps comme des lésions congénitales, [82] actuellement l'explication physiopathologique la plus probable est l'altération de la muqueuse cordale par forçage vocale, [106,107] la cicatrisation pathologique enfouissant des cellules épithéliales dans la lamina propria. [86,104]

Les kystes épidermoïdes peuvent se rompre spontanément et communiquer avec la lumière laryngée, par une ouverture naturelle : ce sont alors des kystes dits « ouverts » , [86] tel un puits, cette ouverture peut descendre profondément dans la lamina propria, jusqu'au niveau des fibres musculaires du muscle vocal.

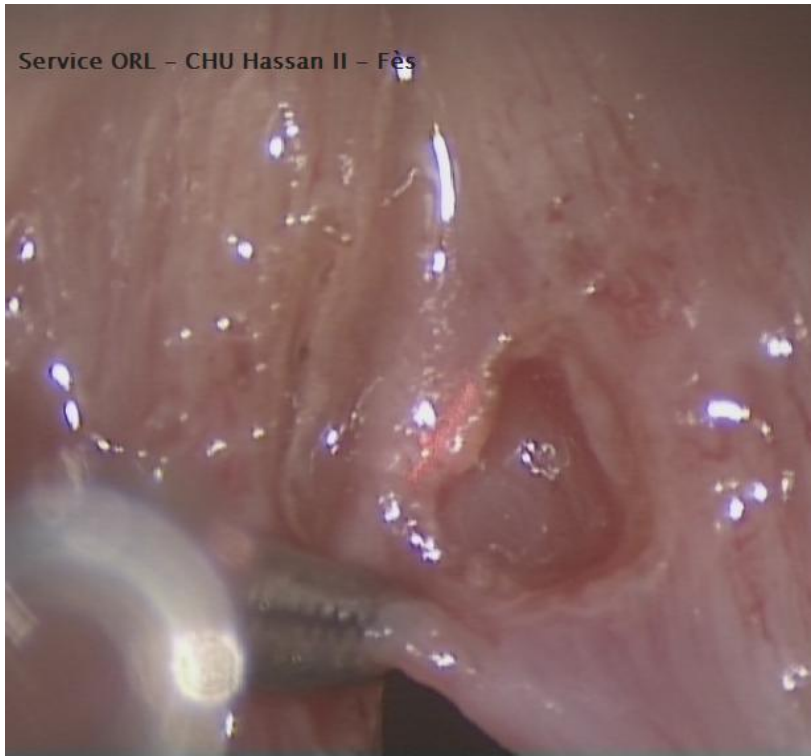
Des phénomènes inflammatoires et des adhérences cicatricielles sont souvent présents. [93]

La vidéostroboscopie de ces kystes montre, de manière classique, et dans tous les cas, une altération sévère de l'ondulation muqueuse, [86, 94,104] ainsi la corde vocale atteinte, montre une voussure à sa face supérieure et son bord libre apparaît discrètement déformé, cette voussure est surmontée le plus souvent par des vaisseaux dilatés. [82, 86, 94,103]

Les kystes épidermoïdes peuvent être unis ou bilatéraux et peuvent être associés à d'autres lésions bénignes telles que nodule, polype, ponts muqueux ou sulci. [94]

## 6. Les sulcus glottidis

Le sulcus glottidis est une dépression longitudinale de la surface cordale, constituée d'une invagination plus ou moins profonde et longue de l'épithélium de surface. (Image 11)



**Image 11** : sulcus de la corde vocale droite

A ce niveau, la caractéristique essentielle est la disparition de la couche superficielle de la lamina propria, qui est remplacée par un tissu cicatriciel créant une adhérence sévère entre la membrane basale de l'épithélium et le ligament vocal. [93].

Au microscope électronique, la membrane basale est épaissie, les fibres élastiques sont réduites en nombre, et les fibres de collagènes sont très denses, au contact du fonds du sulcus. [95]

Cette découverte est importante car cette pathologie n'est donc pas une altération isolée de l'espace de Reinke mais bien des 3 couches de la lamina propria cordale.

L'examen vidéostroboscopique montre un aspect de fente longitudinale se dessinant à peu de distance du bord libre de la corde vocale.

Au niveau du sulcus, on n'observe pas d'ondulation muqueuse, mais celle-ci peut être présente à la face supérieure de la corde atteinte.

## 7. Les vergetures

Les vergetures correspondent à un aspect de sillon atrophique plus ou moins étendu à la surface de la corde, en général un peu en dessous du bord libre qui peuvent être uni- ou bilatérales. (Image 12)

Comme pour les kystes épidermoïdes, la physiopathologie de ces lésions peut être congénitale ou acquise.

Le forçage vocal est à l'origine d'une destruction progressive de la couche superficielle de la lamina propria,

L'altération vocale est plus sévère que dans les sulci [93].

L'examen vidéostroboscopique montre un aspect concave et arqué du bord libre dont le mouvement vibratoire peut être nul.

La fermeture glottique phonatoire est déficitaire, le coulage aérien est ovalaire.



**Image 12 : vergeture [14]**

## 8. Les ponts muqueux

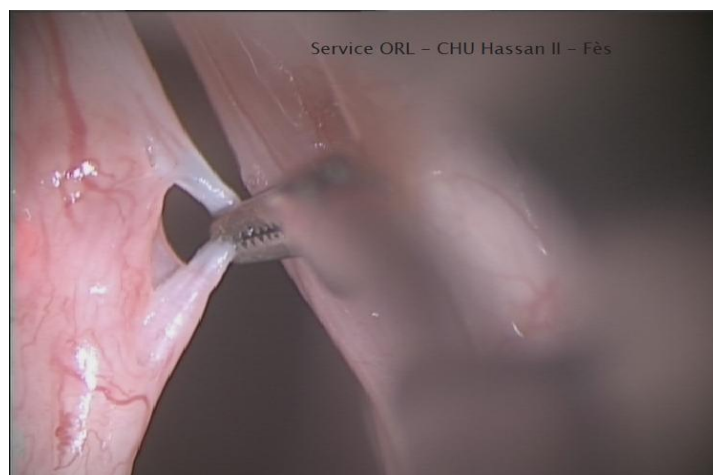
Les ponts muqueux ne surviennent jamais seuls : ils sont toujours associés à une altération sous-jacente telle qu'une vergeture, un sulcus ou un kyste ouvert. [91]

Le pont est une bride constituée d'épithélium et de tissu conjonctif passant par-dessus la vergeture, le sulcus ou le kyste ouvert, Il pourrait être la conséquence d'une double rupture d'une seule inclusion kystique.

L'épaisseur du pont muqueux est variable, certains ponts très épais altérant de manière considérable l'anatomie macroscopique de la corde atteinte, véritablement séparée en deux chefs distincts, dans ces ponts épais, une grande quantité de fibres conjonctives est présente. (Image 13)

Le pont muqueux peut parfois être suspecté à l'examen vidéo stroboscopique mais son diagnostic préopératoire est difficile, et il constitue souvent une découverte per-opératoire, lors de l'inspection cordale. [85]

Il partage par ailleurs les mêmes caractéristiques vidéo-stroboscopiques que les pathologies cordales auxquelles il est associé.



**Image 13 : pont muqueux**

## 9. Les granulomes

Les granulomes sont des lésions glottiques secondaires dans la majorité des cas à des séquelles post-intubation ou au reflux gastro-œsophagien. [97-110]

Qui se manifestent cliniquement par une dysphonie variable associées à une gêne laryngo-trachéale et endoscopiquement par des tuméfactions arrondies, de couleur variable, uni ou bilatérales, pédiculées ou non, implantées également à la face interne des aryténoïdes qui siègent au tiers postérieur de la corde vocale, préférentiellement à la face interne des apophyses vocales. (Image 14,15)

Il est rarement obstructif et se présente initialement sous forme d'un bourgeon pédiculé, dépourvu d'épithélium puis évolue en ulcère de contact par ulcération centrale ou s'organise en une lésion pédiculée, d'emblée évocatrice par son siège postérieur, qui peut se détacher spontanément lorsque sa base d'implantation est filiforme.

Sur le plan histologique : Il s'agit d'une muqueuse ulcérée et un tissu de granulation conjonctif très vasculaire infiltré de cellules polymorphes, sans spécificité.

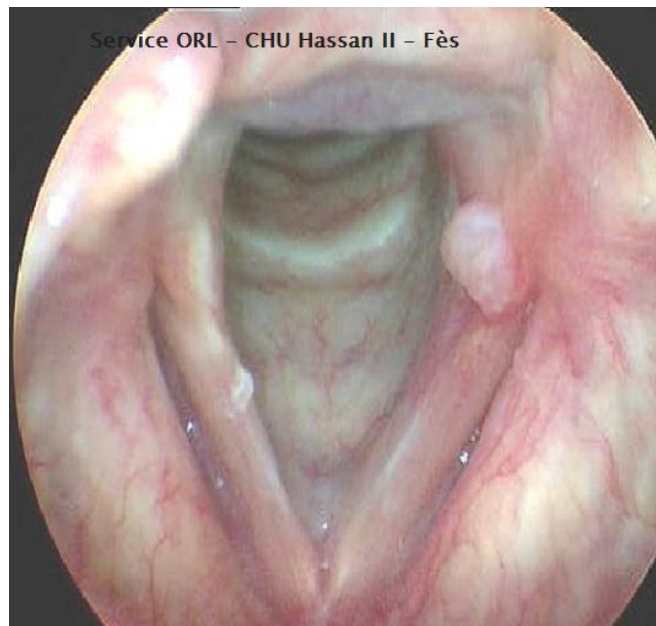
## 10. Les ulcères

Il apparaît souvent chez les professionnels de la voix, ainsi le reflux gastro-œsophagien reste un facteur de risque fréquent et parfois, il peut apparaître lors de vomissements volontaires.

La lésion se situe toujours au tiers postérieur de la corde vocale d'aspect variable : rouge parfois verruqueux dont l'évolution peut se faire vers le granulome cicatriciel uni ou bilatéral.



**Image 14 :** granulome de la commissure antérieure post-intubation.



**Image 15 :** granulome postérieur de la corde vocale gauche

# Traitement

## **I. Traitement chirurgical :**

La laryngologie a connu un très grand progrès en matière de phonochirurgie ces dernières décennies.

Le terme de phonochirurgie désigne toutes les interventions réalisées sur le larynx dans le but de restaurer ou d'améliorer la fonction vocale.

L'intervention phonochirurgicale vise à rétablir une anatomie normale de la corde vocale et une vibration glottique souple et régulière, la plus proche possible de la vibration physiologique.

Le laser trouve est un bon moyen thérapeutique, utilisé dans la prise en charge de la pathologie bénigne des cordes vocales, et offre d'avantage plus de précision par rapport aux micro-instruments, assurant ainsi plus d'efficacité et moins de morbidité.

### **A. La phonochirurgie au laser CO2 :**

#### **1. Définition :**

Le mot « laser » en anglais : light Amplification by stimulated Emission of radiation (amplification de la lumière par émission stimulée de radiations).

D'abord cantonnés à la lumière visible, les lasers couvrent aujourd'hui toute la gamme des rayonnements électromagnétiques, des rayons x et ultraviolets aux ondes infrarouges et micrométriques.

Le laser CO2 est le laser de référence utilisé en laryngologie, même si des essais ont été effectués avec d'autres types de laser et en particulier le laser KTP.

## **2. Principes physiques :**

### **2.1. Les caractéristiques du laser :**

Dans le laser CO<sub>2</sub>, l'émission laser se fait dans un mélange gazeux à partir des molécules du gaz.

La longueur d'onde émise est de 10 600 nm (c'est-à-dire dans l'infrarouge et le faisceau est invisible), cette longueur d'onde est responsable du fait que le laser CO<sub>2</sub> est absorbé par l'eau et par le verre.

Les effets du laser sont toujours des effets thermiques correspondant à la transformation de l'énergie laser en chaleur à l'intérieur même des tissus, ces effets peuvent être bénéfiques lorsqu'on cherche à coaguler des petits vaisseaux (jusqu'à 0,5 mm environ) mais, ils peuvent également être nuisibles, car la coagulation des protéines des tissus de la lamina propria est susceptible de modifier les caractéristiques vibratoires de la muqueuse, et d'entraîner une cicatrice rigide.

Aux environs de 100 °C, les cellules explosent du fait de la vaporisation de l'eau intra- et péri-cellulaire, cet effet destructeur peut correspondre à un effet de coupe si le faisceau est suffisamment fin.

Au point d'impact du laser, les cellules explosent et il existe un cratère de destruction dont la dimension dépend des caractéristiques physiques du laser utilisé (puissance, temps d'émission), et surtout de la taille du faisceau.

Autour de ce cratère, on peut trouver une étroite bande de tissu nécrosé, carbonisé dont l'épaisseur ne dépend pas de la puissance utilisée mais du type de laser, c'est-à-dire du type d'interaction avec la matière, avec le laser CO<sub>2</sub>, cette bande a une épaisseur de 50 µm environ.

Tout autour de cette bande, s'étend une zone plus ou moins large correspondant aux effets thermiques latéraux du laser, c'est-à-dire à une zone dans laquelle les protéines ont été coagulées.

La largeur de cette bande dépend moins de la puissance utilisée que du temps d'émission : plus le temps d'émission est long, plus cet effet est marqué, c'est pour cette raison que les lasers modernes disposent d'un mode pulsé permettant de fournir l'énergie demandée pendant des temps extrêmement courts, ces modes diminuent considérablement la largeur de la bande d'effet thermique ou effet de coagulation autour du cratère de destruction ainsi ils facilitent l'effet de section aux dépens de l'effet de coagulation. [14]

## **2.2. Les autres types du laser**

### **2.2.1. Laser à solides :**

#### ➤ Le laser à rubis :

L'élément actif est un barreau artificiel de rubis : cristal d'alumine  $Al_2O_3$  renfermant des ions chrome actuellement utilisé pour le traitement du glaucome.

#### ➤ Le laser au néodyme :

C'est le laser le plus connu à l'heure actuelle, Le néodyme est présent sous forme d'ions  $Nd^{3+}$ , le plus utilisé est le YAG (initiales de Yttrium, Aluminium, Grenat :  $Y_3Al_5O_2$ ).

#### ➤ Le laser Nd-YAG :

C'est un laser à solide dont le milieu actif est représenté par un cristal grenat d'yttrium et d'aluminium, dopé au néodyme utilisé exclusivement dans la pathologie endonasale.

➤ Le laser KTP :

Le laser KTP est un Nd YAG doublé en fréquence et caractérisé par son absorption par l'hémoglobine, il pénètre peu mais coagule bien ,pour détruire une masse tumorale l'utilisation alternative de ces deux longueurs est extrêmement pratique

**2.2.2. Laser à gaz :**

Le milieu est le plus souvent constitué de deux gaz, l'un d'eux transférant son excitation par choc sur l'autre, Ils utilisent un pompage électrique.

➤ Le laser à l'hélium néon :

Une décharge électrique excite les atomes d'hélium qui transfèrent leur énergie au néon qui, en se désexcitant va permettre l'émission laser, il est utilisé dans le domaine des analyses médicales, comme centreur dans les appareils radio et dans les thérapeutiques à infra rouges.

➤ Le laser argon :

Il est utilisé en dermatologie et en ophtalmologie.

➤ Le laser krypton ionisé :

Emet dans le domaine du visible et très semblable, par sa structure et ses caractéristiques, au laser à argon ionisé.

➤ Le laser excimère :

Le terme excimère signifie deux atomes, Ce laser est produit par excitation d'un milieu dimère.

### **2.2.3. Laser à liquides :**

Le milieu utilisé dans ce laser se caractérise par la propriété qu'ont ses molécules de devenir fluorescentes sous l'influence d'une excitation qui fait appel à d'autres lasers à Argon ou à Nd-Yag.

L'intérêt de ces lasers réside dans le traitement sélectif de certaines tumeurs ou lésions. [109-111]

## **3. mise en jeu**

### **3.1. Anesthésie :**

La phonochirurgie est une chirurgie fonctionnelle à la limite de la chirurgie esthétique, le risque opératoire doit donc être minimal et les contre-indications à l'anesthésie générale doivent être impérativement respectées. [112,113]

#### **a. Règles générales :**

En phonochirurgie, chirurgien et anesthésiste doivent se partager le même champ opératoire mais les impératifs de l'un et de l'autre doivent être respectés.

Pour l'anesthésiste, la préoccupation essentielle est le maintien d'une hématoxe satisfaisante malgré une anesthésie générale qui doit être profonde du fait du caractère très réflexogène du larynx.

Une autre préoccupation, compte tenu d'interventions généralement brèves (moins de 20 min) est la rapide réversibilité de l'anesthésie.

Pour le chirurgien, la visibilité du plan glottique et son immobilité sont les impératifs les plus importants ; Si le patient est intubé, le calibre de la sonde doit

être suffisamment petit pour ne pas gêner l'acte opératoire. L'immobilité du plan glottique impose le maintien d'une apnée (due à la dépression inspiratoire induite par l'anesthésie ou par l'utilisation de curares) ; La ventilation assistée, manuelle ou mécanique, est donc indispensable.

Les techniques permettant une ventilation spontanée (neuroleptanalgie, narcoanalgie) ne sont plus utilisées dans les équipes qui pratiquent régulièrement cette chirurgie.

En effet, l'immobilité parfaite du plan glottique et la stabilité de l'anesthésie pendant l'intervention sont une condition essentielle du déroulement du geste opératoire.

Le choix de l'accès trachéal ne fait pas l'objet d'un consensus entre les artisans de la sonde trachéale de petit calibre et les tenants de la jet-ventilation.

L'intubation par sonde et la ventilation « conventionnelle » nécessitent des sondes de petit calibre mais suffisamment longues, venant se caler entre les aryténoïdes.

Il existe des sondes adaptées au catalogue de toutes les grandes marques (Bivona, Mallinckrodt, Portex).

En cas d'usage du laser, il est nécessaire de protéger la sonde avec du papier aluminium, des compresses humides ou de choisir une sonde spécialement conçue.

De même, comme on l'a vu, au moment des impacts, les gaz potentiellement explosifs doivent être remplacés par de l'air.

Les avantages de l'intubation sont la possibilité d'utiliser des circuits anesthésiques conventionnels convenant à d'autres types de chirurgie

éventuellement réalisés dans la même salle d'intervention, cet avantage est d'autant plus important que le geste de laryngoscopie au laser est en général court.

Un autre avantage est la présence du ballonnet qui protège la trachée de la chute de débris et de sang.

La jet-ventilation à haute fréquence (JVHF) utilise l'injection de gaz sous pression à travers un cathéter de petit calibre (3 à 4 mm de diamètre) placé, soit entre les cordes vocales, soit directement dans la trachée par ponction intercricothyroïdienne.

Pour le chirurgien, cette technique a l'avantage de dégager complètement le champ opératoire mais a l'inconvénient de ne pas protéger la région sous-glottique de la chute de débris ou de sang.

Cet argument est faible dans le domaine de la phonochirurgie.

L'existence d'un petit mouvement des cordes vocales sous l'influence des courants aériens peut nécessiter l'arrêt de la ventilation au moment du geste chirurgical lui-même. Pour l'anesthésiste, la JVHF permet le maintien d'une hématoxe correcte et le risque de pneumothorax est faible.

#### **b. Notre protocole :**

Le patient est installé sur une table munie d'une tête ; Après mise en place d'une voie veineuse périphérique et d'un monitoring (électrocardioscope, oxymètre de pouls, brassard à tension), il est pré-oxygéné au masque, déconnecté avec une injection intraveineuse de benzodiazépine.

L'induction est faite avec 2 à 2,5 mg/kg de propofol (Diprivan) et éventuellement 0,5 à 1 mg/kg de vécuronium bromure puis le patient est intubé

avec une sonde orotrachéale (le chirurgien peut en effet mieux déplacer à sa guise la sonde que par voie nasotrachéale).

Nous utilisons une sonde non armée à ballonnet, du calibre le plus réduit possible pour ne pas obstruer le champ opératoire.

Le maintien de l'anesthésie est assuré par l'utilisation d'halogénés en ventilation assistée manuelle.

Lors de la chirurgie au laser, on remplace l'oxygène par de l'air en surveillant la saturation du sujet en CO<sub>2</sub> ; Si la saturation descend en dessous de 95 %, le tir est arrêté et le patient oxygéné à nouveau jusqu'au retour à la normale, le réveil du patient se fait en salle de réveil avec poursuite du monitoring.

La corticothérapie intraveineuse est systématique pour prévenir tout risque d'oedème postopératoire.

Les suites opératoires sont en général peu ou pas douloureuses, le cas échéant, nous prescrivons du paracétamol injectable (perfalgon).

### **3.2. Préparation du geste chirurgicale :**

#### **a. Installation du malade :**

Le patient est allongé sur la table, la tête relevée par une têtère de manière à lui faire prendre la position du « guetteur », Le cou est ainsi en légère flexion sur le tronc et la tête en hyper-extension sur le cou, Cette position permet de bien dégager la commissure antérieure et de détendre la corde vocale.

La mise en place du laryngoscope, nécessite un parfait relâchement des muscles cervicaux et du larynx, la coopération avec l'anesthésiste est ici cruciale ;

par exemple, il peut être nécessaire de curariser le patient pour obtenir le relâchement musculaire désiré.

Le laryngoscope est choisi le plus large possible parmi les laryngoscopes disponibles. Il est introduit en prenant garde aux dents et surtout aux incisives supérieures qui sont protégées par un protège-dents ou, au moins, par une compresse humide.

L'introduction du laryngoscope doit être bien dosée :

- Trop peu enfoncé, les cordes vocales restent masquées par les bandes ventriculaires et la commissure antérieure n'est pas visible.
- Trop enfoncé, il met trop en tension les cordes vocales et la commissure antérieure n'est encore pas visible, la bonne exposition est parfois difficile à réaliser et il faut passer du temps, car une bonne exposition est nécessaire pour une bonne chirurgie.

Lorsque l'exposition est correcte, le laryngoscope peut être fixé à une tablette pré-thoracique, celle-ci peut également être soulevée avec précaution pour contribuer à visualiser correctement la commissure antérieure.

La bonne exposition de la commissure antérieure nécessite souvent la mise en place d'un ruban adhésif au niveau de la face antérieure du cou, fixé à la têtère. Le ruban abaisse la commissure antérieure et permet de la visualiser dans le laryngoscope.

Le microscope opératoire est alors mis en place devant l'ouverture distale du laryngoscope, équipé d'une focale de 350 ou de 400 mm suivant les habitudes de l'opérateur.

L'axe optique du microscope (parallèle à l'axe de sa source de lumière et, bien sûr, parallèle à l'axe du laser) doit être aligné avec l'axe central du laryngoscope, idéalement, cet axe forme un angle de 45° par rapport au plan de la table opératoire.

Les instruments de phonochirurgie sont préparés et disposés sur une tablette. Ils sont dérivés de l'instrumentation de microchirurgie otologique mais leur manche est plus long, environ 22 cm pour l'instrumentation de Bouchayer (MicroFrance).

Ils comprennent deux jeux, un pour chaque côté et de chaque côté, on trouve une micropince fine (dite pince de Kleinsasser) et une micropince en « coeur » contre-coudée (dite pince de Bouchayer), on trouve également un décolleur mousse et une paire de micro-ciseaux courbes, enfin, on dispose d'un bistouri lancéolé et d'une canule d'aspiration. Lorsqu'on utilise le laser

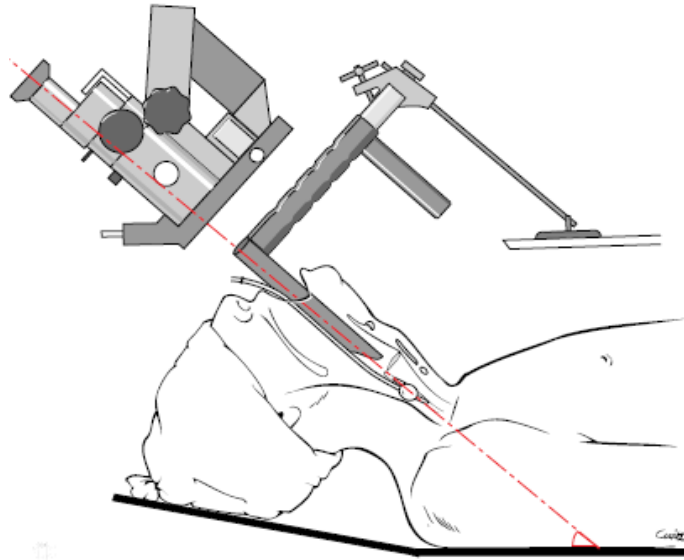
Il est pratique de disposer d'un système d'aspiration de la fumée qui peut s'agir d'une canule d'aspiration supplémentaire, solidaire du laryngoscope, ou d'instruments spéciaux comportant un fin canal d'aspiration intégré (instrumentation de Remacle.

Les gestes ancillaires nécessitent également la préparation de matériel. Un bistouri électrique doit être installé de manière à faire face à toute situation hémorragique, on extrémité distale est munie d'une micropince analogue aux micropinces fines de Kleinsasser.

On dispose également de cotonnettes (0,5 × 0,5 cm) refroidies et imbibées de vasoconstricteurs, de colle biologique pour certains auteurs, de cotonnettes imbibées de sérum physiologique (0,5 × 2 cm) pour protéger la sous-glotte.



image 30 : Installation du laser CO2 sur le micromanipulateur.



**Figure 31 : Mise en place du laryngoscope**

**b. Notre protocole :**

➤ Laser CO2 : (figure 30)

- Il est réglé sur le mode superpulse avec une puissance : 3–5 W
- Microscope opératoire avec une focale : 400mm

➤ Micro-laryngoscopie endoscopique : (figure 31)

En suspension avec bonne exposition de la commissure antérieure

➤ Anesthésie générale :

- Intubation oro-trachéale par la sonde la plus petite possible (numéro 5 ou 6) protégée par du film d'aluminium.
- Ventilation à une  $PiO_2 < 40\%$

➤ Les instruments : (figure 32)

- Pincettes de bouchayer
- Pincettes fines (kleinasser)
- Cotons imbibés d'adrénaline
- Laryngoscopes de tailles différentes

➤ Mesures de protection : (figure 33)

- Protection du visage et du cou par des champs humides.



**Figure 32 : les instruments**



**Figure 33 : mesures de protection**

### **3.3. Technique opératoires :**

Quelles qu'elles soient, ces méthodes doivent préserver absolument le ligament vocal et la commissure antérieure.

Elles doivent de plus respecter autant que possible la muqueuse du bord libre et de la face inférieure de la corde ainsi que les tissus de l'espace de Reinke qui est l'espace de glissement nécessaire à la vibration de la corde vocale lors de la phonation.

#### **a. Inspection :**

On commence par vérifier l'ensemble du larynx et en particulier du plan glottique. On prête attention à la vascularisation superficielle des cordes : des vaisseaux dilatés convergeant en un point précis de la muqueuse font suspecter une lésion sous-jacente comme un kyste, Convergeant vers la commissure antérieure, ils font évoquer une micropalmure.

Il peut être utile de vérifier la région de la commissure antérieure ou certaines zones difficiles avec des optiques droites et à 30°.

**b. Palpation :**

Elle complète l'inspection en écartant les bandes ventriculaires pour visualiser toute la face supérieure de la corde, Il est possible de faire légèrement tourner la corde vocale sur son axe antéropostérieur pour bien visualiser son bord libre et inspecter sa face inférieure.

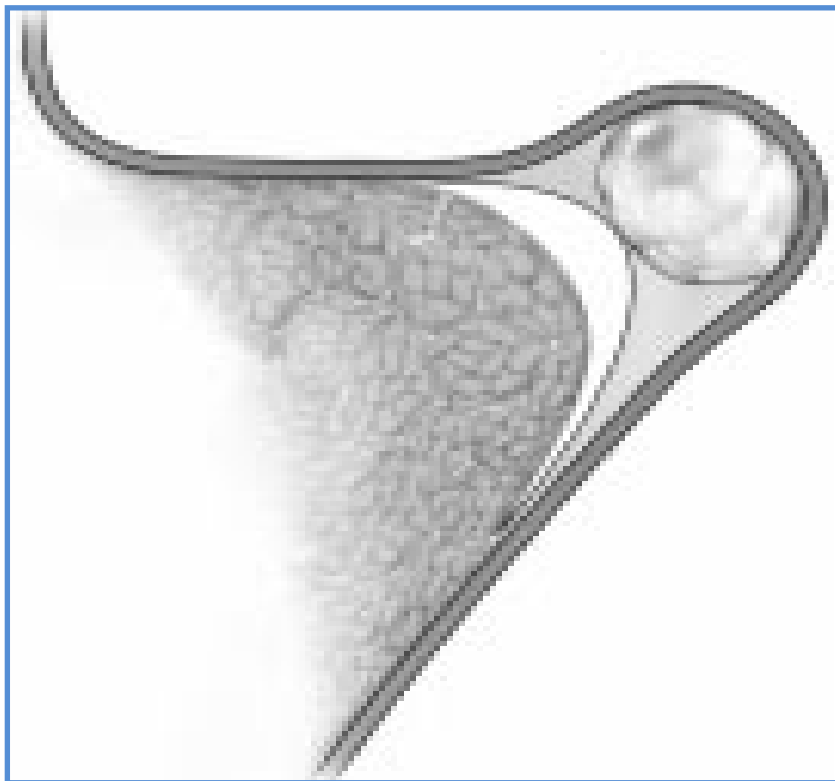
Il est surtout possible de palper soigneusement la corde vocale à l'aide d'une pince fine pour vérifier l'absence d'induration en profondeur qui pourrait faire évoquer un kyste intracordal.

**i. Nodule et polype**

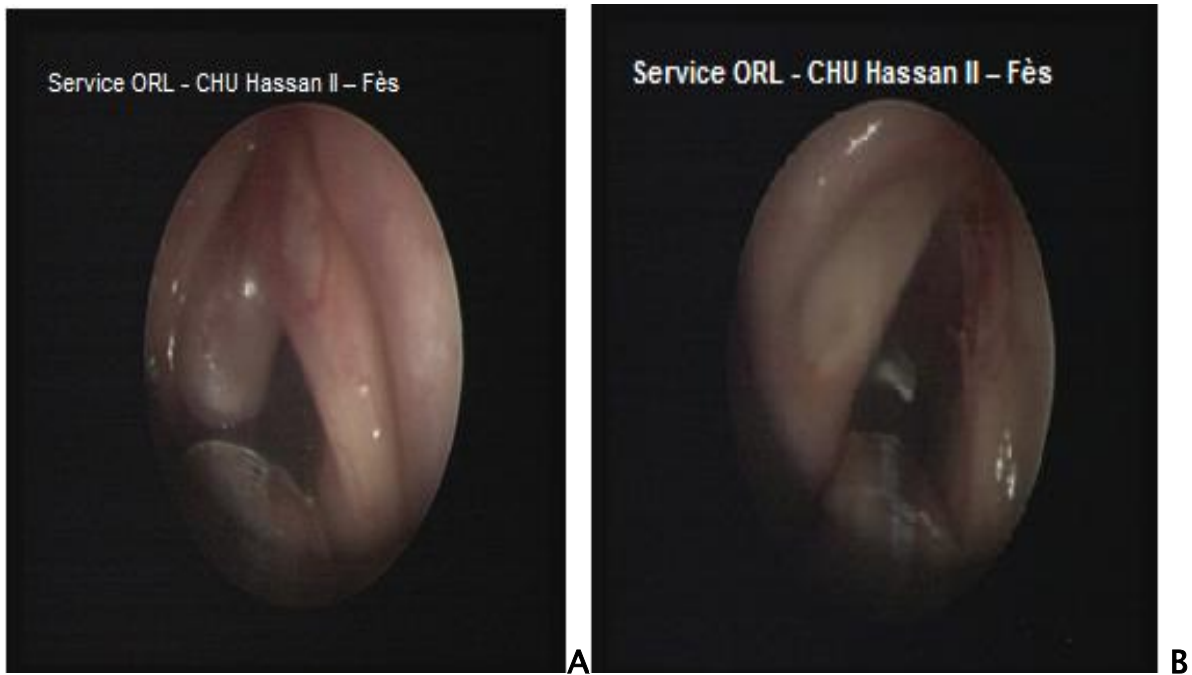
**a. Principe :**

La lésion correspond à une tuméfaction siégeant principalement au niveau du chorion qui est le siège d'une inflammation localisée avec ou sans microvascularisation, la muqueuse de surface ne peut pas être conservée car elle est, soit atrophique, indissociable du polype, soit au contraire hyperplasique, voire légèrement dysplasique.

Le geste chirurgical consiste donc à enlever la lésion en totalité sans léser le ligament vocal ni, de façon excessive, le tissu de l'espace de Reinke au voisinage de la lésion (figure 34).

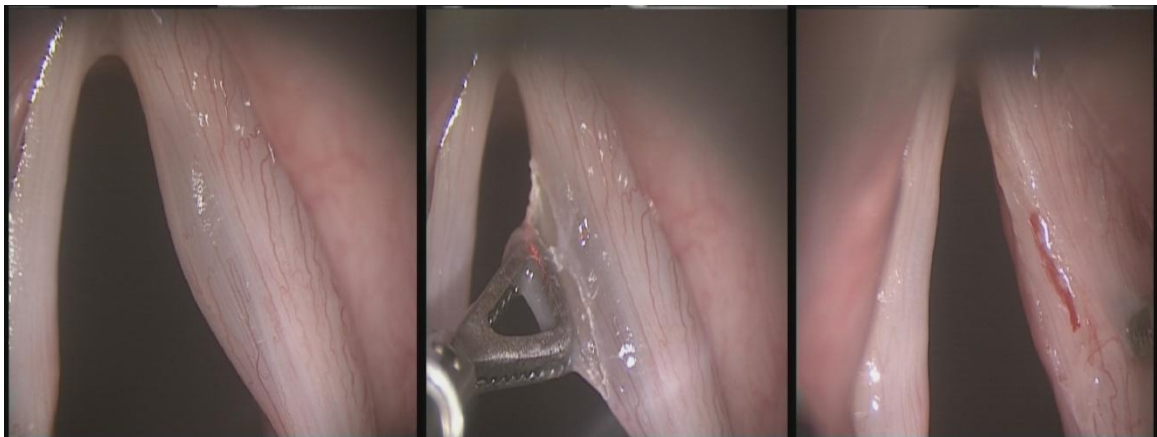


**Figure 34 :** Principe de l'exérèse du polype. [14]



**Image 17a** : Exérèse au laser CO2 du polype de la corde vocale droite.

A. Polype avant l'exérèse. B. post-opératoire immédiat.



**Image 17b** : étapes d'exérèse au laser CO2 d'un nodule de la corde vocale droite.

## **b. Technique :**

La palpation et l'inspection permettent dans certains cas de retrouver une lésion non diagnostiquée avant l'intervention et en particulier un kyste ou un sulcus.

La résection d'un polype ou d'un nodule, surtout lorsqu'il est angiectasique, est très confortable au laser grâce à la diminution du petit saignement en « nappe » parfois observé en microchirurgie conventionnelle.

Le mode de travail que nous préconisons avec Remacle [114] est : faisceau focalisé à 300  $\mu\text{m}$  pour une focale de 350 mm, mode pulsé, 2 à 3 W, impacts de 0,1 seconde.

La pince attire la lésion vers la ligne médiane de manière à ce que les impacts laser agissent en quelque sorte tangentiellement par rapport à la corde vocale (image 17b).

Le polype comme le nodule est ensuite adressé systématiquement pour une analyse histologique.

L'utilisation du laser ne contre indique en rien l'analyse histologique des lésions, y compris au niveau de leurs limites [114]

Dans certains cas, il existe une ectasie vasculaire associée qui peut bénéficier d'une cautérisation au laser, les micro-vaisseaux sont coagulés au coup par coup à une puissance de 1 W, avec un temps d'impact de 0,1 seconde, le mode pulsé n'est pas utilisé puisqu'il ne s'agit pas d'obtenir une section mais un simple « blanchiment » des vaisseaux superficiels. (image17a, 17b)

### **c. Suites postopératoires :**

Les suites sont généralement simples, surtout lorsque l'intervention a été unilatérale comme dans le cas des polypes.

Après le repos vocal de 6 à 8 jours, la récupération vocale est en général déjà assez satisfaisante, parfois de façon spectaculaire.

Le résultat vocal définitif n'est cependant obtenu qu'au bout de 1 mois environ.

La rééducation orthophonique n'est pas toujours facile à faire accepter, surtout lorsque le résultat vocal a été obtenu rapidement.

Il reste cependant utile de la proposer dans tous les cas, surtout dans le cas d'une dysfonction vocale importante risquant d'être responsable d'une récurrence.

### **ii. Œdème de Reinke :**

#### **a. Principe :**

Il s'agit ici d'une lésion siégeant principalement au niveau du chorion qui est envahi par un œdème généralement assez « fluide » n'adhérant pas, ni au niveau du ligament vocal, ni au niveau de la muqueuse qui est « soufflée ».

En cas de dysplasie de surface, la muqueuse doit bien sûr être réséquée pour analyse histologique, mais elle peut être le plus souvent conservée, le principe chirurgical est alors l'aspiration de l'œdème à travers une section muqueuse réalisée au niveau du bord supérieur de la corde.

La résection de la muqueuse en excès après cette aspiration doit être parcimonieuse et permettre si possible de recouvrir la zone cruentée de la corde vocale après redrapage.

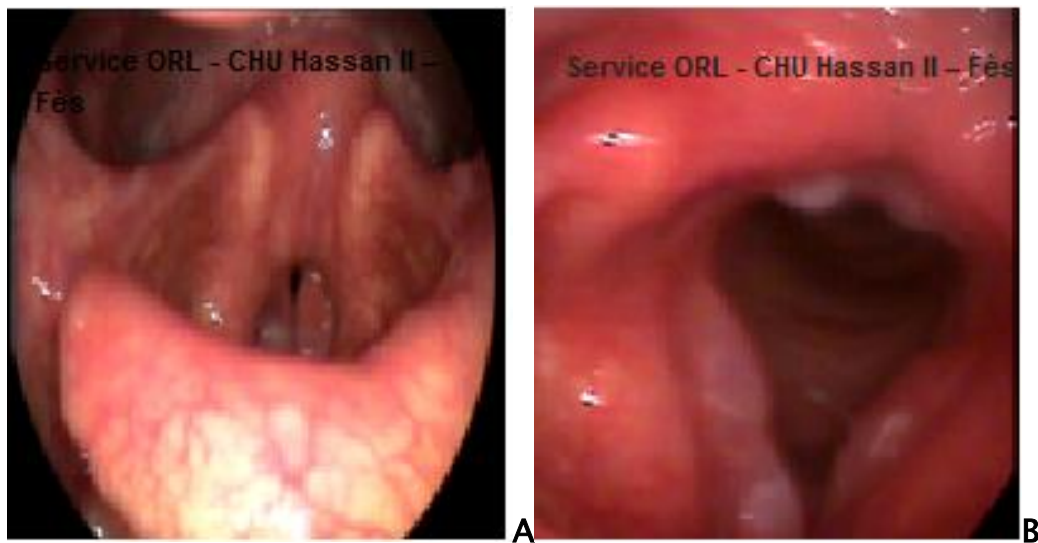
### **b. Technique :**

Il est possible de réaliser une coagulation des microvaisseaux avec le laser pour diminuer le saignement souvent assez gênant.

On réalise ensuite une section de la muqueuse au niveau du bord supérieur de la corde vocale, à la jonction du plancher ventriculaire.

Le laser est réglé comme pour la résection d'un polype (faisceau focalisé à 300  $\mu\text{m}$  pour une focale de 350 mm, mode pulsé, 2 à 3 W, impacts de 0,1 seconde).

Sauf cas particulier, les deux cordes vocales sont opérées dans la même séance mais on prend garde de toujours respecter la région de la commissure antérieure pour éviter l'apparition d'une synéchie.



**Image18** : œdème de Reinke

**A** : Œdème de Reinke stade II

**B** : Œdème de Reinke 1 mois postopératoire

### **c. Suites postopératoires :**

Elles sont souvent spectaculaires avec une voix beaucoup plus claire et plus haute.

Elles peuvent cependant être plus difficiles, surtout en cas d'intervention bilatérale. Il est prudent de prévenir le patient, en cas d'œdème de Reinke important, que la période de récupération vocale peut être longue (4 à 6 semaines dans certains cas).

La durée de cette phase de cicatrisation doit être connue du patient et doit être considérée au moment de l'indication thérapeutique et du choix du moment de la chirurgie.

### iii. Kyste épidermique

#### a. Principe :

La lésion correspond à une tuméfaction intracordale, limitée par une paroi dans le chorion, la muqueuse de recouvrement est, soit parfaitement normale et peut être conservée, soit porteuse de l'ouverture du kyste au niveau du bord libre ; dans ce cas, les deux berges de l'ouverture du kyste doivent être réséquées comme dans un sulcus.

L'ablation de la poche kystique en monobloc est une garantie contre les récurrences.

#### b. Technique :

Nous reprenons les principales étapes de la technique décrite par Bouchayer.[115]

L'intervention commence par une incision de la face supérieure de la corde vocale, menée parallèlement au bord libre de la corde, en regard du kyste.

L'incision (cordotomie) est réalisée par le laser CO2 avec le maximum de focalisation possible et une puissance de 1 à 2 W, si possible en mode pulsé pour privilégier l'effet de section, puis le kyste est décollé à la fois du ligament vocal et de la muqueuse, il est possible de faciliter cette dissection par une injection sous-muqueuse de vasoconstricteurs. [116,117]

Le plan est en général plus facile à trouver en avant et en arrière du kyste. Puis le décollement est effectué.

En effet, dans quelques cas, le pôle externe du kyste peut s'enchâsser entre les fibres du ligament vocal qui peut être dilacéré.

Après l'intervention, la logette du kyste doit être inspectée avec soin pour ne pas ignorer un deuxième kyste plus profond, parfois dans l'épaisseur du ligament vocal. Cependant, il faut connaître la ressemblance entre un kyste dans le ligament vocal et les macula flava.

Dans le doute, la plus grande prudence s'impose, puis la muqueuse est rabattue et peut être fixée avec un peu de colle biologique.

En cas de kyste ouvert, l'intervention commence par l'incision des berges supérieure et inférieure, de manière à circonscrire l'ouverture relativement résistante entourée d'une certaine inflammation de la poche épidermique.

L'incision est réalisée au laser (maximum de focalisation, 1 W, mode pulsé). Puis, le fond de la poche est décollé du ligament cordal de la même manière que dans le cas des kystes fermés. Le décollement entre le fond de la poche et le ligament vocal peut également être réalisé au laser comme l'a montré Remacle. Puis la muqueuse de la région sous-glottique est libérée sur quelques millimètres, ce qui permet aux berges muqueuses supérieure et inférieure de la zone de résection de s'affronter pour recouvrir la zone cruentée laissée par l'exérèse du kyste.

Les ponts muqueux, considérés comme des kystes ouverts en deux points, doivent bénéficier théoriquement de la même technique.

Au niveau du fond de la poche, il n'existe effectivement pas de différence notable, en revanche, au niveau du pont muqueux lui-même, il est le plus souvent difficile de le dédoubler dans l'épaisseur pour enlever la partie profonde en monobloc avec la poche kystique en conservant la bandelette muqueuse superficielle comme le recommande Bouchayer [115].

Dans la plupart des cas, si le pont muqueux est mince et si le fond de la poche n'est pas trop remanié, il est possible de simplement réséquer la bandelette en sectionnant au laser ses attaches antérieure et postérieure.

En ce qui concerne les kystes muqueux rétentionnels, la technique est quasiment identique à celle des kystes épidermiques mais la fragilité de la coque kystique doit être connue.

La dissection en est donc très délicate et il est rare que l'on puisse en réaliser l'exérèse complète sans l'ouvrir, mais il est en général possible de séparer cette membrane de la muqueuse d'une part et du ligament vocal d'autre part, de manière à enlever en totalité la poche kystique.

En fin d'intervention, la zone d'exérèse est très soigneusement vérifiée pour être certain d'avoir enlevé la totalité de la poche. Puis la muqueuse est rabattue selon la technique habituelle.

### **c. Suites postopératoires :**

Les suites sont souvent simples mais il est prudent de prévenir le patient que la récupération vocale peut prendre plusieurs semaines.

Le premier contrôle postopératoire montre parfois des cordes vocales ayant un aspect satisfaisant avec des signes inflammatoires modérés et la cicatrice de cordotomie n'est même plus visible.

Plus souvent, la corde opérée est inflammatoire et la vibration stroboscopique est absente. La voix est souvent médiocre, voilée, instable, facilement désonorisée, surtout à faible intensité. Même avec la rééducation orthophonique, l'amélioration reste lente et très progressive.

#### **iv. Vergeture :**

##### **a. Principe :**

L'objectif est d'enlever la muqueuse pathologique, atrophique et de supprimer une adhérence très intime entre la muqueuse cicatricielle et le plan du ligament vocal pour retrouver une zone de décollement entre muqueuse et ligament, Il peut être nécessaire d'obtenir une augmentation de volume du muscle vocal en cas d'atrophie musculaire associée.

##### **b. Technique :**

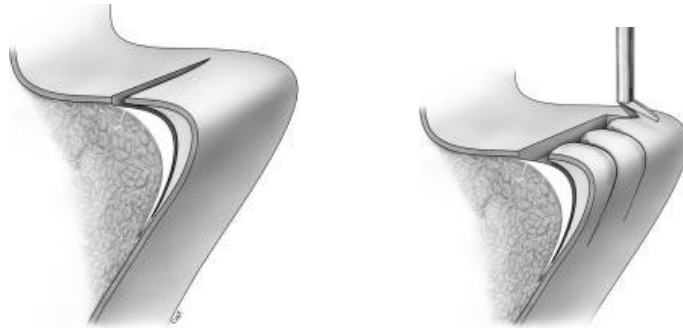
L'intervention commence, comme pour les kystes ouverts, par une incision au niveau des berges supérieure et inférieure de la vergeture ou de l'encoche. Puis, à l'aide du laser, on cherche un plan de décollement entre la muqueuse et le ligament.

Cette dissection est toujours difficile car la muqueuse adhère très intimement au plan ligamentaire et ne peut pas toujours être conservée.

Il est possible de s'aider d'une injection (hydrotomie), soit de corticoïdes, soit de vasoconstricteurs [116] dans le plan de la lamina propria.

Au niveau de la berge inférieure, le danger est de réséquer abusivement des fibres conjonctives et musculaires et le décollement doit être particulièrement prudent.

Comme pour les sulcus, il peut être utile de décoller la muqueuse de la région sous-glottique pour éviter de laisser une zone cruentée au niveau de la zone d'exérèse, certains auteurs [117] proposent de réaliser de petites incisions de la berge inférieure perpendiculaires à l'axe de la corde vocale (figure 36).



**Figure 36** : Technique de Ford (d'après Ford). [14]

Une injection dans le muscle vocal a été proposée pour augmenter le volume de la corde vocale. Il peut s'agir, suivant les disponibilités, de graisse, de collagène ou d'autocollagène.

Ces lésions sont bilatérales et les deux côtés sont opérés dans le même temps, sauf en cas de dissection très difficile du premier côté où il peut être préférable d'attendre 6 mois entre les opérations des deux cordes vocales.

### **c. Suites postopératoires :**

Lors du premier contrôle postopératoire, l'aspect de sillon reste souvent présent et la vibration stroboscopique reste faible. La voix reste médiocre, parfois un peu plus grave qu'avant l'intervention mais très souvent désonorisée, voilée.

Ce n'est que progressivement au cours de la rééducation que l'on voit apparaître une amélioration de la fermeture glottique et de la souplesse des cordes vocales.

Cependant, le résultat n'est qu'exceptionnellement parfait. Au fur et à mesure de la rééducation qui doit être longtemps poursuivie, la voix devient plus grave, plus forte et plus « confortable », même si le timbre garde souvent un aspect voilé.

La majorité des patients, lorsque l'indication est bien posée, sont très satisfaits car l'ensemble du schéma thérapeutique (rééducation et chirurgie) diminue la fatigabilité et augmente le volume sonore, diminue le forçage vocal et les paresthésies associées.

De même, dans les cas de lésions cicatricielles, les examens stroboscopiques postopératoires assez tardifs (deuxième ou troisième mois) montrent dans les meilleurs cas une reprise de l'ondulation muqueuse avec une amélioration de la fermeture glottique, témoignant de l'efficacité du geste chirurgical. [114]

Le confort vocal et l'intensité vocale sont améliorés. Il est cependant exceptionnel d'obtenir le retour à une voix normale.

## **v. Granulome**

### **a. Principe :**

Le trouble de la voix est en rapport avec le volume du granulome qui empêche l'accolement des apophyses vocales et qui est responsable d'une voix soufflée.

Le geste chirurgical doit permettre de régulariser le bord libre des apophyses vocales et de limiter les risques de récurrence par une cautérisation laser des berges et fond de la zone d'exérèse.

### **b. Technique :**

Le premier problème à régler est celui de la visibilité de la lésion recourir à une anesthésie sans intubation. Nous préférons repousser la sonde d'intubation en avant, avec le bec du laryngoscope. Cette méthode a l'avantage de garder les cordes vocales écartées, ce qui permet de bien voir la face interne des apophyses vocales. Puis l'exérèse est effectuée au laser, en utilisant des constantes de type « coagulation » : spot légèrement défocalisé, mode non pulsé, mais des puissances toujours faibles de 1 à 3 W.

La pièce d'exérèse ne doit pas être vaporisée au laser mais découpée de manière à pouvoir être analysée en histologie.

En fin d'intervention, il est possible d'injecter des corticoïdes au niveau de la zone d'exérèse afin de limiter la réaction inflammatoire postopératoire et de limiter ainsi l'incidence des récurrences.

### **c. Suites postopératoires :**

Les suites peuvent être marquées par quelques douleurs pharyngées le soir de l'intervention, nécessitant la prescription d'antalgiques.

Lors du contrôle postopératoire, il n'est pas rare que la région opérée montre, soit un enduit blanchâtre du type pseudomembranes, soit même une réaction granulomateuse.

Un traitement anti-inflammatoire associé au traitement du reflux gastro-œsophagien doit être prescrit et en cas de récurrence, la ré-intervention ne doit pas être trop précoce

## **4. Danger du laser en phonochirurgie :**

Les incidents et les accidents dus à l'emploi du laser pour une laryngoscopie en suspension ont été classifiés par Romanet [113], Ils résultent le fait, soit d'un égarement du rayon, soit d'un rayon trop puissant, soit encore de la coexistence du rayon avec un gaz explosif.

### **4.1. Egarement du rayon :**

Il peut être dû à une réflexion du rayon laser sur des surfaces réfléchissantes qui peut atteindre le personnel ou le malade si le faisceau n'est pas renvoyé dans le champ du laryngoscope cette réflexion peut également se faire à l'intérieur du laryngoscope et réaliser des impacts intempestifs sur l'axe aérien du patient. [119]

Parfois, il s'agit d'un décuplement des lasers hélium-néon et CO<sub>2</sub>, dans ce cas, la cible est éclairée au bon endroit par le faisceau de visée mais le rayon actif n'est pas correctement collimaté et l'impact CO<sub>2</sub> se fait à un autre endroit cet incident est généralement sans gravité, surtout lorsque de faibles puissances sont utilisées.

De même, la coaxialité de l'axe optique du microscope et de l'axe du faisceau laser (objectivé par le laser hélium-néon) doit être vérifiée avant toute intervention.

En effet, une partie du faisceau laser peut être réfléchi en dehors du laryngoscope, sans que l'opérateur ne s'en aperçoive immédiatement ce qui entraîne des lésions chez le patient intéressent principalement la peau du visage, la peau de la lèvre supérieure et les yeux.

Pour ces raisons, le patient doit avoir les yeux fermés et recouverts par de compresses humides et le visage protégé par des champs (type compresses intestinales) humides.

Les lésions chez le personnel peuvent être des brûlures légères de la peau mais aussi des lésions oculaires [119], ce qui rend le port de lunettes spéciales une règle absolue, de même que le maintien des portes fermées avec un avertissement spécial concernant l'usage du laser dans cette salle opératoire.

#### **4.2. Grande puissance :**

Dans ce cas, la vaporisation est excessive et dépasse en profondeur le site à détruire : la zone de coagulation protéique (zone des dégâts « thermiques ») est plus étendue en profondeur et risque de contribuer à « solidariser » la muqueuse et le ligament vocal ou à entraîner une zone de rigidité muqueuse trop importante.

Le moyen de prévention le plus efficace consiste à utiliser les plus faibles puissances possibles avec le mode pulsé, un autre moyen consiste à étirer la lésion à enlever vers la ligne médiane de manière à limiter la possibilité de lésion en profondeur, en revanche, il existe là un risque de lésion de la région sous-glottique qui doit être prévenu par l'utilisation de cotonnettes mouillées : un faisceau trop puissant peut transpercer la paroi de la trachée sous-glottique en entraînant un emphysème ou une hémorragie thyroïdienne. [119]

Ces accidents restent rares, surtout aux puissances utilisées en phonochirurgie et se rencontrent plutôt dans les cas de cordectomie laser.

### **4.3. Inflammation :**

Elles sont dues à l'inflammation de la sonde d'intubation et/ou à la présence d'un gaz explosif. [120]

Le matériau des sondes n'est jamais un gage absolu de sécurité et des accidents ont été décrits avec des sondes en polychlorure de vinyle, en silicone, en Téflont et même avec des sondes gainées d'aluminium.

Hirshman rapporte, par exemple, un cas d'ignition d'une sonde protégée par de l'aluminium mais échauffée par des rayons réfléchis. [121]

Les accidents peuvent être graves avec des explosions entraînant des déchirures et des brûlures graves de la trachée et du larynx ainsi que des contusions pulmonaires. [120]

La prévention de ces accidents passe bien sûr par la protection de la sonde et surtout du ballonnet avec des compresses humides et/ou de l'aluminium et passe aussi par le remplacement de l'oxygène par de l'air au moment des tirs laser.

Il est à noter que le chirurgien doit attendre une dizaine de secondes après que l'oxygène a été coupé de même, l'anesthésiste doit attendre un dizaine de secondes avant de réintroduire le gaz explosif dans une sonde d'intubation potentiellement échauffée.

## **B. Le choix entre laser CO2 ou micro-instruments ?**

En 1984, dans le rapport de la Société française d'ORL sur la voix humaine et ses troubles, Frèche fit le point sur l'état des indications du laser CO2. [113]

Il considérait le laser CO2 comme un « must » dans le cas des cordites vasculaires, des granulomes aryténoïdiens et des œdèmes aryténoïdiens post laser ainsi que les nodules des cordes vocales et les synéchies, en revanche, il considérait que le laser était moins efficace que la microchirurgie instrumentale dans les cas des kystes et des sulcus glottidis.

L'évolution de la technologie laser, avec l'apparition de faisceaux mieux focalisés, la maîtrise des basses puissances et le mode pulsé, permet maintenant de réaliser une véritable dissection au laser CO2 réglé pour privilégier la section au détriment de la coagulation.

Il semble donc qu'actuellement, ces distinctions ne soient plus valables et que le laser et les micro-instruments aient des indications et des résultats très comparables, la différence étant plutôt une question de préférence technique pour chaque opérateur.

## **II. Le traitement médical :**

### **1. La corticothérapie :**

La corticothérapie est systématique en postopératoire, elle permet de minimiser les réactions inflammatoires, qui peuvent réduire la filière laryngée et induire une gêne respiratoire chez le malade opéré.

On prescrit donc le plus souvent de la cortisone par voie générale (Prednisolone : 1 mg/kg/jour, pendant 3 à 5 jours)

La durée de prescription limitée à 3 à 5 jours rend le risque de complications minime, en pratique, il n'y a pas, sauf en cas d'ulcère digestif en poussée, d'obstacle majeur à une corticothérapie courte de 3 à 5 jours.

### **2. Antibiothérapie :**

Elle est systématique en postopératoire après la phonochirurgie au laser dont l'indication réside dans l'incision de la muqueuse laryngée, elle doit être à large spectre, couvrant ainsi les germes de la flore buccale à savoir : les aérobie, les anaérobies, Staphylococcus aureus, streptocoques.

Il n'existe pas de consensus qui détermine le traitement à prescrire mais dans la pratique courante, c'est la céphalosporine de première génération et surtout amoxicilline-acide clavulanique qui est fréquemment utilisé pendant 7jours.

### **3. Traitement anti-reflux :**

Le RGO est une pathologie très fréquente qui se peut se manifester par : une dysphonie, un hémage ou des paresthésies pharyngées.

Le traitement comporte des mesures hygiéno-diététiques et un control de l'acidité par un traitement médicamenteux

#### **a. Les mesures d'hygiènes sont importantes et souvent oubliées :**

- surélever la tête du lit,
- ne pas se coucher immédiatement après le repas (sieste, dîner),
- éviter la position penchée en avant (s'accroupir pour lacer les chaussures ou ramasser un objet),
- éviter la compression abdominale (vêtements serrés à la taille, constipation, port de charges lourdes),
- limiter la consommation de tabac et d'alcool,
- lutter contre la surcharge pondérale.

#### **b. Les inhibiteurs de la pompe à proton :**

Prescrit systématiquement à dose de 20mg par jour pendant un mois en dehors du reflux gastro-œsophagien ou un avis de gastro-entérologue est préconisé pour une prise en charge adaptée.

#### **c. Les pansements œsophago-gastriques :**

Ils sont à prendre à la fin de chaque repas et/ou dix minutes avant le coucher, en signalant au patient qu'ils empêchent toute autre absorption de médicaments, à ne pas prendre donc en même temps.

#### **d. Les anti-sécrétoires :**

Deux types d'anti-sécrétoires :

- Antihistaminiques H2 : CIMETIDINE, RANTIDINE
- Inhibiteurs de la pompe à protons : OMEPRAZOLE, à prendre le matin avant le petit déjeuner pendant 1 à 3 mois.

#### **4. L'aérosolthérapie :**

L'aérosolthérapie est systématique en postopératoire, mais en absence de consensus, il semble prudent de n'utiliser que des aérosols de sérum physiologique à visée d'humidification, et les corticoïdes inhalées à visée anti-inflammatoire.

Elle a un effet rapide, notamment dans les minutes qui suivent son administration, elle entraîne une diminution des résistances laryngées à l'écoulement de l'air, facilitant ainsi la production vocale.

La durée de prescription est de 3 à 6 jours.

### **III. Le repos vocal :**

Il fut longtemps l'élément essentiel du traitement des dysphonies dysfonctionnelles simples ou compliquées de lésion des cordes vocales.

Il permet de favoriser la récupération complète, cela peut conduire chez un professionnel à la possibilité d'un arrêt de travail de 3 à 6 jours avec des consignes d'utilisation de la voix à minima, exclusivement dans des situations de conversation en face à face.

Lorsqu'il constitue le seul traitement fonctionnel proposé, l'amélioration est presque toujours de courte durée, et la récurrence est fréquente.

Le repos vocal garde comme indication les suites post phonochirurgie.

Il existe une contre-indication formelle à sa prescription constituée par la dysphonie Spasmodique, cette affection s'aggrave généralement au décours d'un tel repos surtout s'il se prolonge pendant plusieurs semaines.

### **IV. Rééducation orthophonique :**

#### **1. Définition :**

La rééducation orthophonique est une intervention par laquelle l'orthophoniste prend en charge les troubles de la phonation des patients adressés par le médecin traitant, qui vise à stimuler la fonction vocale altérée, à contrôler puis éliminer le trouble.

#### **2. Le but :**

- Rétablir le fonctionnement physiologique de l'émission vocale en retrouvant une pression sous-glottique suffisante pour avoir un bon accolement des cordes vocales en phonation et une bonne vibration,
- retrouver le contrôle de la hauteur, de l'intensité et les qualités du timbre, sans fatigue ni forçage.

Il faut désapprendre un geste qui est faux pour en apprendre un nouveau qui est adapté, ce qui passe par une phase consciente avant de devenir automatique.

### **3. Prescription :**

Elle est toujours indispensable, car la dysphonie est la plupart du temps le résultat d'une mauvaise coordination pneumo-phonique, avec fatigue et forçage vocal.

La nécessité qu'a le patient d'utiliser sa voix le mène au forçage et à la fatigue, se sont ces gestes d'adaptation erronés qu'il faut corriger.

La rééducation doit être prescrite selon le Huche [56] après et à surtout avant la chirurgie, afin d'avoir les meilleurs résultats.

Le patient doit être au courant qu'une collaboration avec l'orthophoniste est primordiale et que la rééducation orthophonique nécessite du temps avant l'apparition d'une amélioration.

Le diagnostic est important a précisé parce que le protocole de la rééducation diffère en fonction de l'étiologie de la dysphonie. [56]

En général, les séances durent trente minutes et sont suivies deux fois par semaine, avec de petits exercices à faire régulièrement chez soi.

C'est l'apprentissage nécessaire de ce que l'on appelle « le geste vocal ».

### **4. Les grandes étapes de la rééducation**

Il faut savoir écouter et regarder son patient pour comprendre comment « il fonctionne vocalement ».

- Il est souhaitable de pouvoir enregistrer la voix pathologique afin par la suite de pouvoir lui faire entendre et prendre conscience des progrès.
- Il faut schématiquement lui expliquer le fonctionnement vocal afin qu'il puisse comprendre la nécessité du travail qui va lui être proposé.
- Tout commence en général par apprendre ou réapprendre à respirer et à corriger la posture ; La respiration doit être thoraco–abdominale, la posture verticale, sans tensions des muscles cervicaux, des mâchoires, avec les épaules en position basse, Parfois, il faut faire un peu de relaxation pour arriver à obtenir la détente nécessaire.
- Lorsque la respiration et la posture sont correctes, on commence un travail vocal spécifique en fonction des altérations acoustiques rencontrées et des pathologies

## **5. Les indications :**

### **a. En préopératoire :**

La rééducation orthophonique doit être progressive à raison de (1à 2 séances par semaine).

Une partie générale orientée sur :

La relaxation : maitrise du niveau de tension intérieure.

La statique : correction de la posture

Le souffle : respiration costo–diaphragmatique et travail de l'expiration.

Une seconde partie plus spécifique avec : massage vocaux et pose de projection vocale.

En cas d'échec de la rééducation orthophonique, la phonochirurgie s'impose.

## **b. En postopératoire :**

### **i. les nodules :**

C'est Le traitement clé pour ce type de lésions, dont le but est de modifier le comportement vocal, ainsi la rééducation orthophonique visera aussi à la recherche d'un confort vocal dans un geste phonatoire facile.

Il s'agit forcément d'un suivi long dans le temps, il est donc fondamental pour qu'il aboutisse, que le patient soit au courant des mécanismes de survenue des lésions (à savoir : le « mauvais » geste phonatoire).

### **ii. Les polypes**

Après la phonochirurgie, le bilan phonatoire va mettre en évidence un forçage vocal chronique.

Le but de la rééducation est là aussi de corriger le geste phonatoire dans son ensemble, cependant, du fait de l'amélioration vocale quasi immédiate en postopératoire, l'adhésion au traitement orthophonique est souvent difficile.

### **iii. les œdèmes de Reinke :**

La rééducation est capitale en postopératoire, les principes et les buts sont les mêmes que ceux des autres lésions liées au forçage vocal, Elle doit bien entendu être systématiquement associée au sevrage tabagique total.

### **iv. les autres types de lésions bénignes vocales.**

En postopératoire, la rééducation orthophonique doit être proposée au patient, afin de l'aider à retrouver ses capacités vocales.

## V. La prise en charge psychiatrique

La voix est, en lien avec la personnalité, au cœur des interactions humaines, de ce fait, les troubles vocaux s'inscrivent dans l'histoire de la personne, et interviennent aux plans émotionnel et social.

Les sujets dysphoniques présentent souvent un profil psychologique particulier dominé par le stress et l'anxiété [122].

En particulier, un trouble vocal peut être causé ou accentué par un état émotionnel ou certains facteurs de la personnalité, on peut donc considérer que si les émotions et la personnalité du patient ne sont pas pris en compte dans le traitement du trouble, celui-ci sera inefficace sur le long terme [123-125].

De nombreuses méthodes permettent d'analyser le profil psychologique du patient :

- ❖ La première est évidemment l'entretien informel portant sur son vécu : lors du bilan, le thérapeute cherche à observer la capacité du patient à énoncer sa plainte et sa demande et il va accorder un moment au patient pour lui permettre de verbaliser la perception de sa propre voix.

La verbalisation du symptôme aide à la prise de conscience du trouble par le patient, d'autre part, toutes les informations corporelles (postures, gestes) ou langagières (mots, tournures de phrases) peuvent aider le thérapeute à cerner son patient.

- ❖ L'analyse transactionnelle peut être un outil de compréhension du comportement vocal [126], elle permet notamment l'analyse du mode d'interaction avec l'autre.

Une analyse transactionnelle peut être réalisée à partir d'un auto-questionnaire de positions de vie qui compte 32 items que le patient doit coter sur une échelle de 1 à 10.

- ❖ Les positions de vie sont des attitudes « chroniques » dépendant d'une part de l'image de soi et d'autre part de l'image que l'on se fait des autres.

Cette méthode peut être utilisée avec profit par les thérapeutes de la voix, mais nécessite une formation spécifique.

Les positions de vie sont des attitudes chroniques, le postulat de cette méthode est que nos relations avec les autres dépendent des images que nous nous faisons d'eux et de nous, des opinions ou des représentations que nous avons de nous-mêmes et de nous par rapport à eux, et que l'on peut schématiser de façon synthétique :

- le profil OK+/OK+ : personne active, réaliste, optimiste. C'est une personne qui pense qu'il y a toujours une possibilité d'échange ou d'action intéressante avec les autres.
- le profil OK+/OK- : personne réagissant avec colère, se positionnant comme une victime, elle ne se croit jamais responsable et accuse toujours les autres de ce qui est négatif.
- le profil OK-/OK+ : personne qui se sent inférieure aux autres. C'est la position de vie d'une personne dépressive, qui a tendance à se replier sur elle-même, à se dévaloriser.
- le profil OK-/OK- : personne ayant une image négative d'elle-même et du monde.

L'individu exprime de la lassitude, du désespoir.

Chaque personne a une position de vie basale, mais celle-ci peut être influencée par les situations et les contraintes environnementales.

Un changement d'attitudes et de comportements est donc possible.

La relation thérapeute patient, au cœur du dispositif rééducatif, est un facteur déterminant pour la réussite de la prise en charge.

L'analyse transactionnelle et la programmation neurolinguistique sont des outils qui vont permettre de favoriser cette relation en créant des conditions de communication optimales.

❖ La programmation neurolinguistique est une approche de la communication et du changement élaborée par Bandler et Grinder [127, 128], qui permet à la personne de développer son habileté relationnelle, et de savoir initier des processus générateurs de changements profonds et durables.

C'est une thérapie contractuelle, génératrice d'un nouveau comportement. On demande au patient de décrire l'état dans lequel il est (état présent), qu'il n'aime pas, qui le dérange, et de décrire l'état dans lequel il voudrait être (état désiré) en fixant des objectifs précis et positifs à court, moyen et long termes.

L'analyse transactionnelle, élaborée par Berne dans les années 1970 [59, 62], est une nouvelle approche de la compréhension de soi-même et d'autrui.

Elle propose une méthode d'analyse et de compréhension du comportement. Elle permet une analyse complète de la personnalité et des échanges interpersonnels à l'aide d'un questionnaire « les positions de vie ».

De nombreux autres tests de personnalité peuvent être proposés, la plupart du temps sous contrôle d'un psychologue.

Sans souci d'exhaustivité, citons le test de Cloninger qui envisage la personnalité en deux dimensions : le tempérament inné et immuable, et le caractère acquis et évolutif [130,131].

Une exploration complète de la personnalité du sujet peut être réalisée à l'aide d'un auto-questionnaire explorant d'une part les quatre composantes du tempérament (la recherche de nouveauté, l'évitement du danger, la dépendance à la récompense et la persistance) et d'autre part les trois composantes du caractère (la détermination, la coopération et la transcendance). Ce test est le plus souvent réservé à une utilisation par des psychologues. On peut en rapprocher les tests d'anxiété.

Le facteur commun de tous ces tests est précisément la question du recours aux services d'un psychologue dans le bilan.

Donc le recours à la psychothérapie proprement dite peut s'avérer nécessaire dans la prise en charge des patients dysphoniques.

# Partie pratique

## Objectifs

### Objectif principal :

Apprécier l'intérêt de la phonochirurgie au laser CO2 et ses résultats dans la prise en charge des dysphonies chroniques suivies en service d'ORL du CHU Hassan II de Fès.

### Objectifs secondaires :

- Etudier le profil épidémiologique, les facteurs de risque et les aspects étiologiques des dysphonies chroniques.
- Apprécier le retentissement du trouble vocal sur la qualité de vie des patients dysphoniques et montrer la place de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de cette qualité de vie.

# **Matériels et méthodes**

## **1. Type d'étude**

Nous avons mené une étude rétrospective des cas de dysphonies chroniques liées à des lésions bénignes des cordes vocales, ayant bénéficié d'une phonochirurgie par laser CO2, pris en charge au service d'ORL et de chirurgie cervico-faciale du CHU Hassan II de Fès entre Janvier 2011 et Juin 2014.

On a étudié le profil épidémiologique des cas étudiés ainsi que les résultats morphologiques et fonctionnels en post-opératoires.

## **2. Population étudiée**

Tous les patients qui se présentent avec une dysphonie chronique secondaire à une pathologie bénignes des cordes vocales et qui ont bénéficié de phonochirurgie au laser CO2 ont été inclus dans l'étude.

Une dysphonie était considérée comme chronique si elle dépassait trois semaines.

Les critères d'exclusion étaient :

- Les lésions malignes et lésions pré-néoplasiques des cordes vocales,
- Les troubles du langage d'origine neurologique,
- Les dysphonies liées aux paralysies reccurentielles.

### **3. Suivis des patients et recueil des données :**

#### **3.1. Evaluation avant la phonochirurgie au laser CO2 :**

Tous les patients inclus dans notre étude ont bénéficié d'une première consultation au cours de laquelle le dossier médical propre à chaque patient est rempli et une nasofibroscopie initiale est réalisée.

Tous les patients ont bénéficié d'un bilan orthophonique pré-thérapeutique, d'un enregistrement vocal et d'une analyse perceptive de la voix au moyen du score GRBAS-I (Rough, Breathy, Asthenic, Strained, Instability) ainsi que les scores d'auto-évaluation et les mesures aérodynamiques qui ont été administrés à tous ces patients.

#### **a. Dossier médical des dysphonies : (ANNEXE 1)**

On a recueilli les variables sociodémographiques incluant : l'âge, le sexe, l'origine, le statut marital, le nombre d'enfants, la profession (en précisant les professions à risque tels les professionnels de la voix) et le niveau socio-économique.

- ❖ Les facteurs de risque en relation avec la dysphonie ont été relevés à partir :
  - des antécédents médicaux : les affections respiratoires, un reflux gastrooesophagien, une allergie ou une notion d'atopie,
  - des antécédents chirurgicaux : la chirurgie thyroïdienne, la chirurgie thoracique, la notion d'intubation,
  - des antécédents toxiques du patient : le tabagisme passif ou actif On a recherché par ailleurs la présence ou non d'un forçage ou d'un malmenage vocal.

- ❖ Les données cliniques liées à la dysphonie comprenaient : l'ancienneté de la dysphonie, son mode de début, l'existence d'un facteur déclenchant, la fluctuation, les facteurs améliorants ou aggravants ainsi que les signes associés à savoir les fausses routes, le chatouillement laryngé, la dyspnée, la dysphagie et la douleur.
- ❖ Les traitements associés ont été précisés.

#### **b. Nasofibroscopie initiale :**

On a réalisé une analyse morphologique et fonctionnelle des cordes vocales en respiration puis en phonation sur une voyelle tenue (le « i »).

6 paramètres ont été appréciés :

- La position des cordes vocales.
- La présence ou non d'une fente glottique à la phonation et son importance.
- La symétrie de la mobilité des cordes vocales.
- L'aspect du bord libre des cordes vocales : normal, atrophique, incurvé.
- La présence de lésions surajoutées des cordes vocales ou de l'étage sus-glottique et leur retentissement sur la fermeture glottique.

#### **c. Bilan orthophonique (ANNEXE 2)**

Le bilan orthophonique était réalisé par l'orthophoniste et comprenait trois parties :

- L'analyse de la voix d'une manière subjective: décrivant les caractéristiques acoustiques de la voix à savoir l'intensité, le timbre et la fréquence de la voix pour ses trois types: conversationnelle, projetée et d'appel. On a précisé par ailleurs la mélodie et l'intonation de la voix, le temps maximum

phonatoire, l'efficacité de la toux, le coup de glotte et la sonorisation du rire.

- L'analyse du geste vocal : étudie la statique corporelle, l'état des muscles cervicaux tendus ou pas, la gestualité d'accompagnement de la voix calme, naturelle ou désordonnée. Elle précise par ailleurs le mode d'utilisation des résonateurs.
- L'examen de la respiration et l'analyse du mode respiratoire en précisant la présence ou non des reprises inspiratoires.

**d. Analyse perceptive de la voix après enregistrement vocal :**

L'échantillon vocal testait les différentes qualités de la voix :

L'émission d'une voyelle tenue pendant quelques secondes (le « i »), la voix conversationnelle (en demandant au patient de répéter une phrase simple), la voix projetée et la voix d'appel (en demandant au patient d'appeler un membre de sa famille qui se trouverait dans une autre pièce) et la voix chantée (récitation de versets coraniques).

Les conditions de mesures étaient standardisées pour tous les patients, utilisant le même appareil, avec une distance bouche -microphone de 5cm et un angle de 45°.

L'analyse perceptive a été réalisée par l'échelle GRBAS-I (ANNEXE 3).

Pour chaque patient le Grade a été calculé par la somme de 5 paramètres.

Chaque paramètre : raucité (Rough), souflée (breathy), fatiguée (asthénic), forcée

(strained), variabilité (instability) est coté de 0 (absence) à 3 (présence maximale).

#### **e. Scores d'auto-évaluation :**

Nous avons adopté deux instruments spécifiques d'auto-évaluation par le patient de son problème vocal.

- Le VHI 30 : Voice Handicap Index 30 (**ANNEXE4**)

Nous avons utilisé la version francophone du VHI 30 traduite par le groupe d'étude belge sur les troubles de la voix.

Il comprend 30 items regroupés en trois sous-échelles de dix items chacune : fonctionnelle (impact du trouble vocal sur les activités quotidiennes), émotionnelle (impact psychologique) et physique (perceptions personnelles des caractéristiques physiques de la voix). La grille des réponses comporte cinq degrés de sévérité allant de 0 (non, jamais de problème) à 4 (oui, toujours un problème). Le total réalise 120 points pour le VHI total.

On a calculé par ailleurs le VHI fonctionnel, le VHI émotionnel et le VHI physique, étudiant respectivement la gêne fonctionnelle, émotionnelle et physique liée à l'altération de la voix. Ils comprennent chacun 10 items. La valeur de chacun de ces scores varie de 0 à 40. Un score <10 est considéré normal.

Une différence supérieure à 14 points entre les scores du VHI total avant et après la phonochirurgie est considérée comme une amélioration selon Hakkesteegt et al [132].

Il a été administré chez tous les patients consentants, par le même examinateur.

Le patient était tenu de répondre vis-à-vis de sa propre perception de son problème vocal.

#### **f. les mesures aérodynamiques :**

On a réalisé la détermination du temps phonatoire maximal en demandant aux patients de produire une voyelle tenue pendant le plus de temps possible tout en mesurant ce temps par un chronomètre

les voyelles utilisées sont :le A, le S (non voisé) et le Z et on a calculer la moyenne de ces tenues vocaliques chez tous les patients avant et après la phono-chirurgie au laser CO2.

#### **3.2. Réévaluation à la fin de la phono-chirurgie au laser CO2:**

Un contrôle a été réalisé pour tous les patients comprenant les trois paramètres suivants :

##### **a. Une nasofibroscopie de contrôle**

Nous avons analysé l'aspect morphologique et fonctionnel des cordes vocales par rapport à la nasofibroscopie initiale.

Nous avons noté l'amélioration des atteintes initiales à savoir :

- La disparition des lésions bénignes des cordes vocales
- Le bon accolement des cordes vocales et la disparition de la fente glottique à la phonation.

##### **b. Un deuxième enregistrement vocal avec analyse perceptive de la voix par le score GRBAS-I.**

##### **c. Les scores d'auto-évaluation:**

Le VHI total : le Voice handicap index.

#### **d. les mesures aérodynamiques :**

Le Temps maximum phonatoire à partir des tenues vocaliques moyennes.

#### **4. Plan d'analyse :**

Les données ont été saisies sur Excel et analysées par la version 17 du logiciel SPSS.

L'analyse a été faite au laboratoire d'épidémiologie du CHU Hassan II de Fès.

Dans un premier temps une analyse descriptive des données socio démographiques, des facteurs de risque, des données cliniques et des étiologies recensées a été réalisée.

Par ailleurs nous avons apprécié la qualité de vie chez les patients dysphoniques.

Les variables quantitatives ont été exprimées en moyenne et écart type, et les variables qualitatives en effectifs et pourcentages.

Ensuite une étude analytique été faite pour évaluer l'impact des facteurs socio démographiques et étiologiques sur la qualité de vie des patients et la place de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de cette dernière.

Nous avons apprécié les résultats de phonochirurgie au laser CO2 par quatre méthodes d'évaluation : endoscopique, perceptive et par les scores d'auto-évaluation ainsi que les mesures aérodynamiques.

Les comparaisons de pourcentages ont été faites à l'aide du test exact de Fisher vu le faible effectif dans notre étude.

Une comparaison des moyennes des scores avant la rééducation en fonction de l'âge, du sexe et de l'étiologie de la dysphonie, a été faite en utilisant le test de Student pour séries indépendantes. Et pour comparer les moyennes des différents scores avant et après la phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub>, nous avons utilisé le test de Student pour séries appariées.

Un degré de significativité (p) inférieur à 0,05 a été considérée statistiquement significatif.

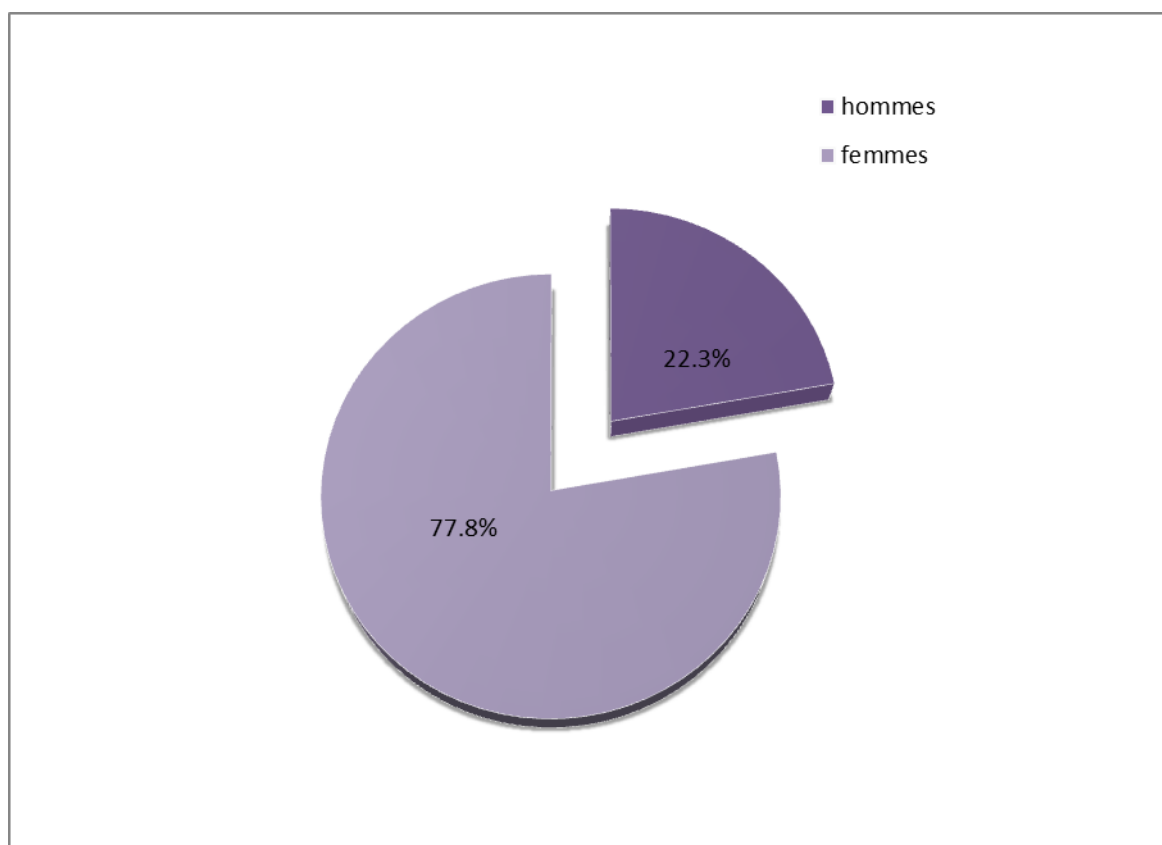
# Résultats

## 1. Description de l'échantillon

### 1.1. Données sociodémographiques

#### a. Sexe

La population étudiée se composait de 77,8% de femmes contre 22,3% d'hommes, soit 14 femmes et 4 hommes (figure 32).

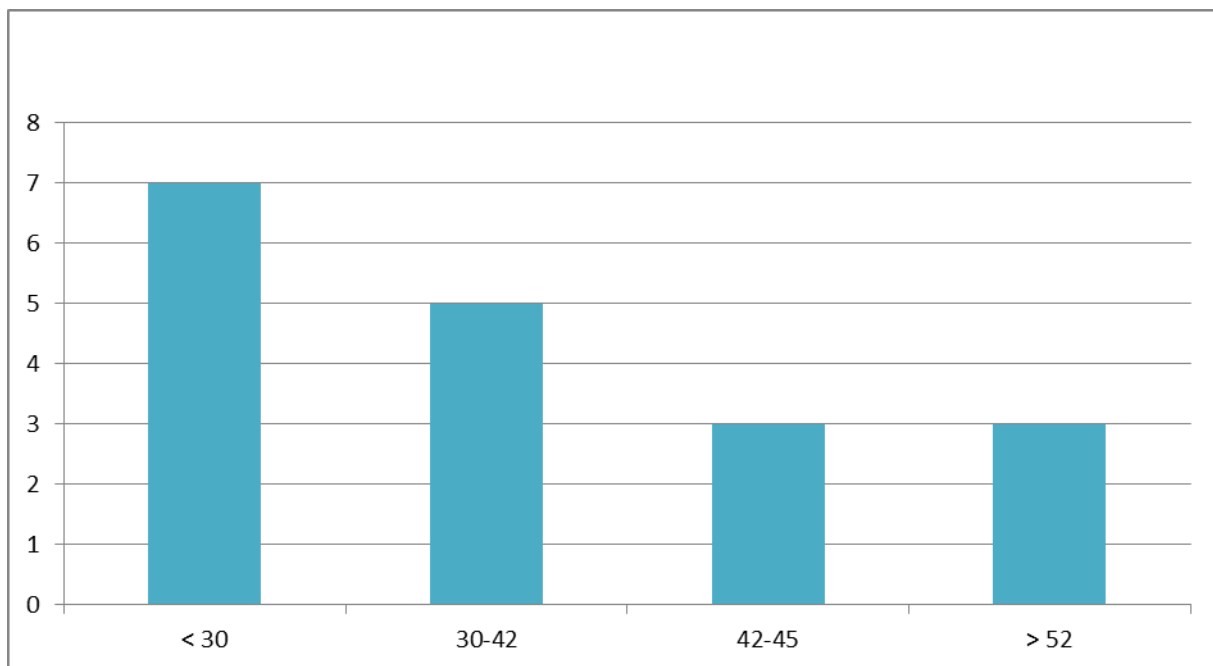


**Figure 32** : Répartition de la population selon le sexe

## b. Age

L'âge moyen des patients était de  $37,80 \pm 16,23$  ans 50 % des patients avaient un âge inférieur à 39,50 ans avec des extrêmes allant de 23 à 58 ans.

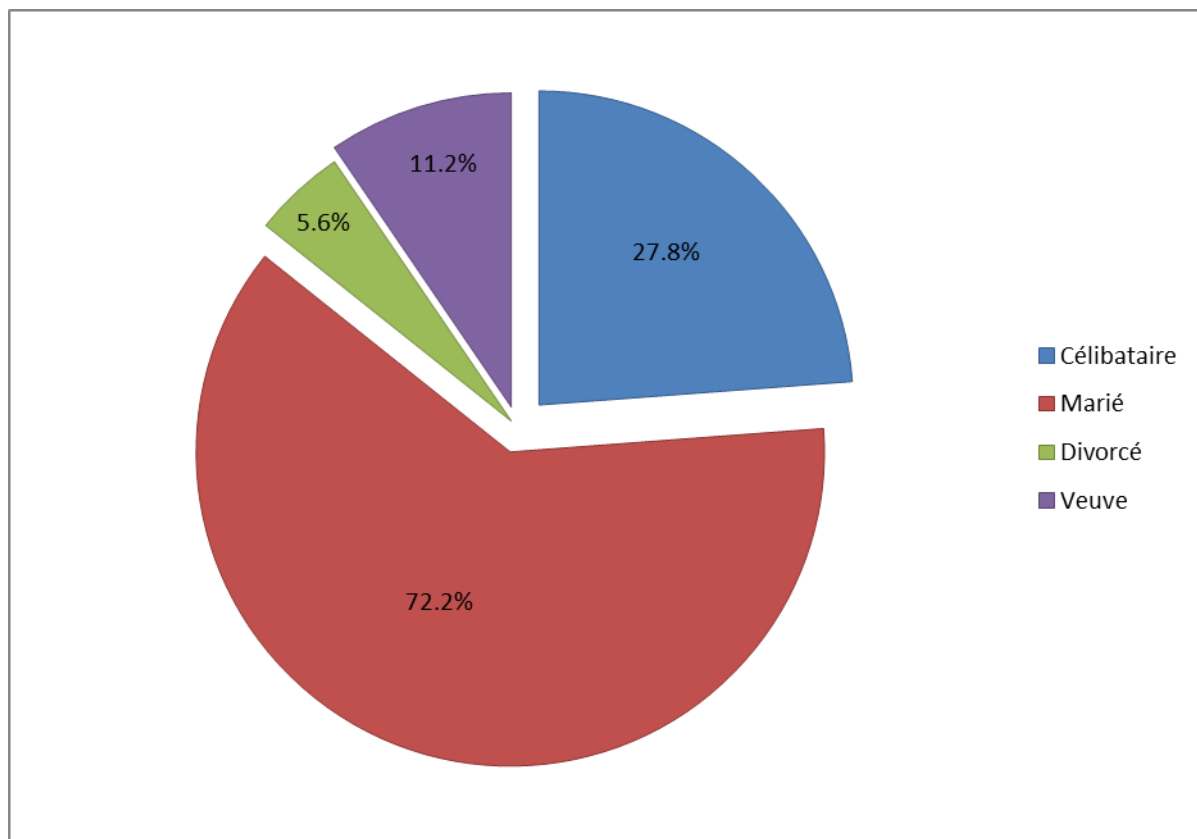
La répartition de la population étudiée en fonction des classes d'âge selon les quartiles, est représentée dans (Figure 33).



**Figure 33** : Répartition de la population en fonction des classes d'âge

### c. Situation familiale

La majorité des patients étaient mariés : 13 (72,2%), 1 divorcé (5,6%) et 2 veuves (11,2%). Tous nos patients vivaient en famille ; une notion de famille nombreuse a été retrouvée chez 11 patients (61,2%). (Figure 34)

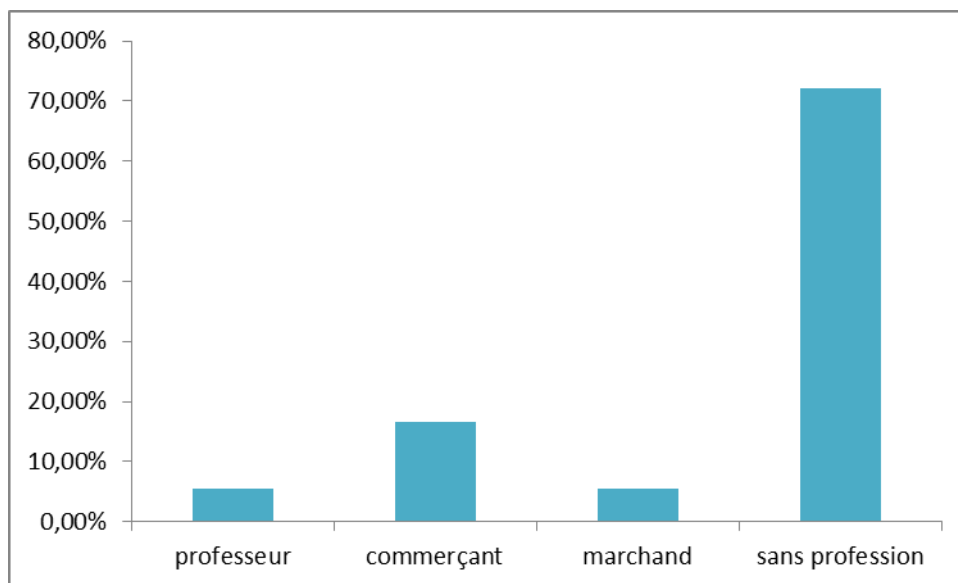


**Figure 34:** Répartition de l'effectif en fonction de la situation familiale

#### d. Profession :

13 patients étaient sans profession soit 72,1%. Une profession à risque ou une notion de forçage vocal lié aux conditions du travail ont été retrouvés chez 5 patients (27.8 %) répartis comme suit : 3 commerçants, 1 marchand

et 1 professeur. (Figure 35)



**Figure 35** : répartition de la population en fonction de la situation Professionnelle

#### **e. Niveau socioéconomique**

Plus que la moitié des patients 66,7% (soit 12 patients) avaient un niveau socioéconomique moyen, alors que 33,4% (soit 6 patients) avaient un niveau socioéconomique bas.

		Nombre	Pourcentage
sexe	Femme	14	77,8%
	homme	4	22,3%
Age moyen+ écart type	37,80 ±16,23 ans		
Situation familiale	marie	13	72,2%
	Célibataire	5	27,8%
	Divorcé	1	5,6%
	Veuve	2	11,2%
Vit seul	oui	0	0%
	non	18	100%
profession	Sans	13	72,1%
	Profession à risque	5	27,8%
	FAF	11	61,2%
Niveau socio-économique	bas	6	33,4%
	moyen	12	66,7%

**Le tableau 1** : les données sociodémographiques de la population étudiées

## 1.2. Facteurs de risques

Le forçage vocal a été relevé chez 12 patients soit 66,7% de la population étudiée.

Une affection respiratoire dans les antécédents a été retrouvée chez 2 patients 1 cas d'asthme contrôlé et 1 cas de tuberculose pulmonaire traitée.

Un reflux gastro-œsophagien symptomatique a été retrouvé chez 5 patients (27,8%).

Une notion d'allergie a été relevée chez 3 patients (16,7%). 27.8 % des patients étaient tabagiques actifs, alors que, 22,3% avaient un antécédents de tabagisme passif.

		Nombre	Pourcentage
Forçage vocal	homme	2	11,2%
	femme	10	55,6%
Affection respiratoire	asthme	1	5,6%
	Tuberculose	1	5,6%
allergie		3	16,7%
RGO	homme	1	5,6%
	femme	4	22,3%
Tabagisme	actif	4	22,3%
	passif	5	27,8%
cervicotomie		1	5,6%
Chirurgie thoracique		2	11,2%
intubation		2	11,2%

**Tableau 2** : Répartition des facteurs de risques chez la population étudiée.

### 1.3. Données cliniques

L'ancienneté de la dysphonie était de 6 mois (médiane) avec un minimum de 1 mois et un maximum de 120 mois.

Son mode de début était aigu chez 11 patients (64,3%) et progressif chez les 7 autres (38,9%).

L'effort vocal a été relevé comme facteur déclenchant chez 12 patients (66,7%).

Aucun facteur déclenchant n'a été retrouvé chez 6 patients (33,3%).

La dysphonie était fluctuante chez 6 patients (38,1%).

Le repos vocal était reporté comme facteur améliorant la dysphonie chez 4 patients (23,8%), la prise médicamenteuse chez 1 patient; alors qu'aucun facteur améliorant n'a été relevé chez 13 patients (72,3%).

Le forçage vocal était reporté comme facteur aggravant chez 12 patients (66,7%).

La dyspnée était associée à la dysphonie chez 4 patients (22,3%) et elle avait un caractère intermittent chez 3 patients (16,7%).

Les fausses routes étaient rapportées par 9 patients (50%).

#### 1.4. Résultats de la nasofibroskopie

Réalisée chez 100% des patients :

Les lésions bénignes des cordes vocales retrouvées dans notre série étaient comme suit :

- un polype fibreux dans 8 cas,
- un polype angiomateux dans 2 cas,
- Un granulome dans 4 cas,
- Un nodule dans 2 cas,
- Un kyste séreux dans 1 cas,
- Un œdème de Reinke dans 1 cas.

L'atteinte était bilatérale dans 4 cas (22,2%), unilatérale dans 14 cas (77,7%) dont la localisation est gauche dans 6 cas (33,3%) et droite dans 8 cas (44,4%).

Une fente glottique à la phonation était observée chez 4 patients (22,2%)

Ces différentes étiologies sont résumées dans le tableau 3.

	nombre	pourcentage
Polype fibreux	8	44,5%
Polype angiomateux	2	11,2%
Granulome	4	22,3%
Nodule	2	11,2%
Oedeme de Reinke	1	5,6%
Kyste sereux	1	5,6%

**Tableau 3** : les pathologies bénignes des cordes vocales

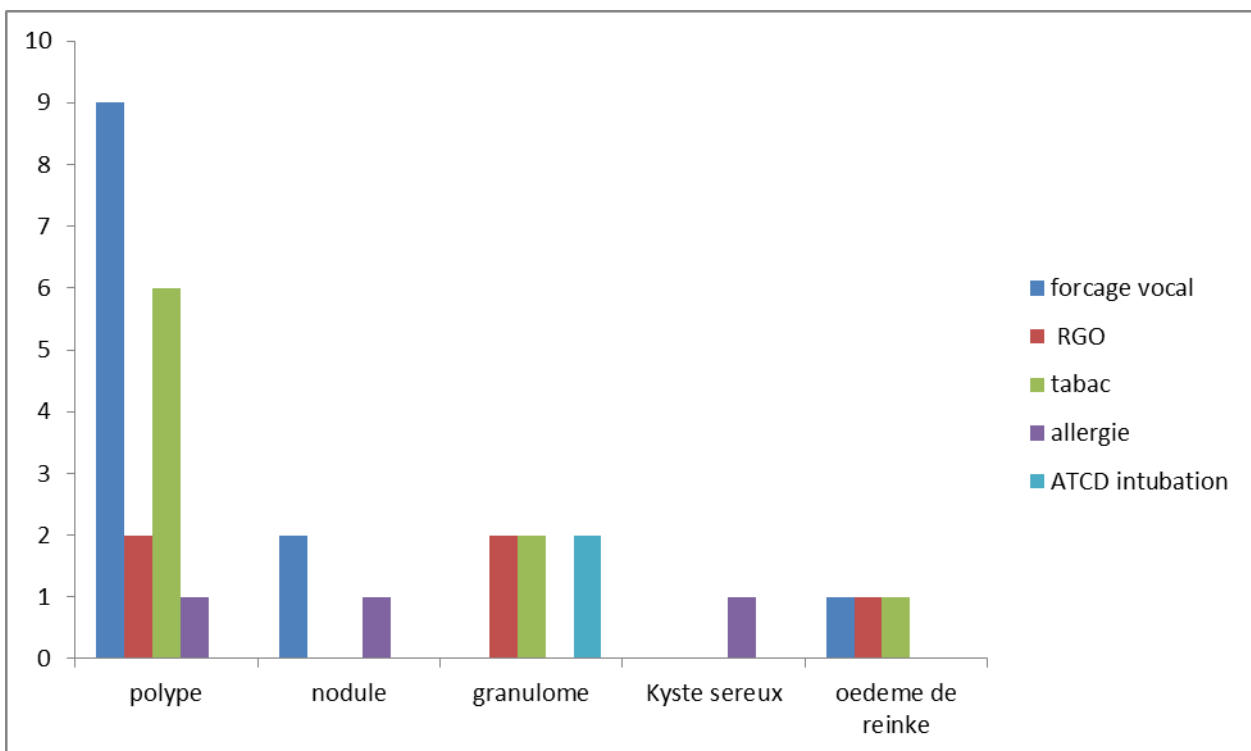
## 1.5. Etiologies

Les lésions bénignes des cordes vocales sont : les polypes fibreux et angiomateux, les nodules, les granulomes, un kyste séreux et un œdème de Reinke.

### a. En fonction des facteurs de risques

On note que les patients qui présentent des polypes des cordes vocales avaient comme facteurs de risques : le forçage vocal et tabagisme, ainsi le forçage vocal a été trouvé chez les patients présentant des nodules vocaux, tant que le RGO et les antécédents d'intubation constituent les principaux facteurs de risques du granulome.

La répartition de ces étiologies en fonction des facteurs de risques est représentée par la figure 36.



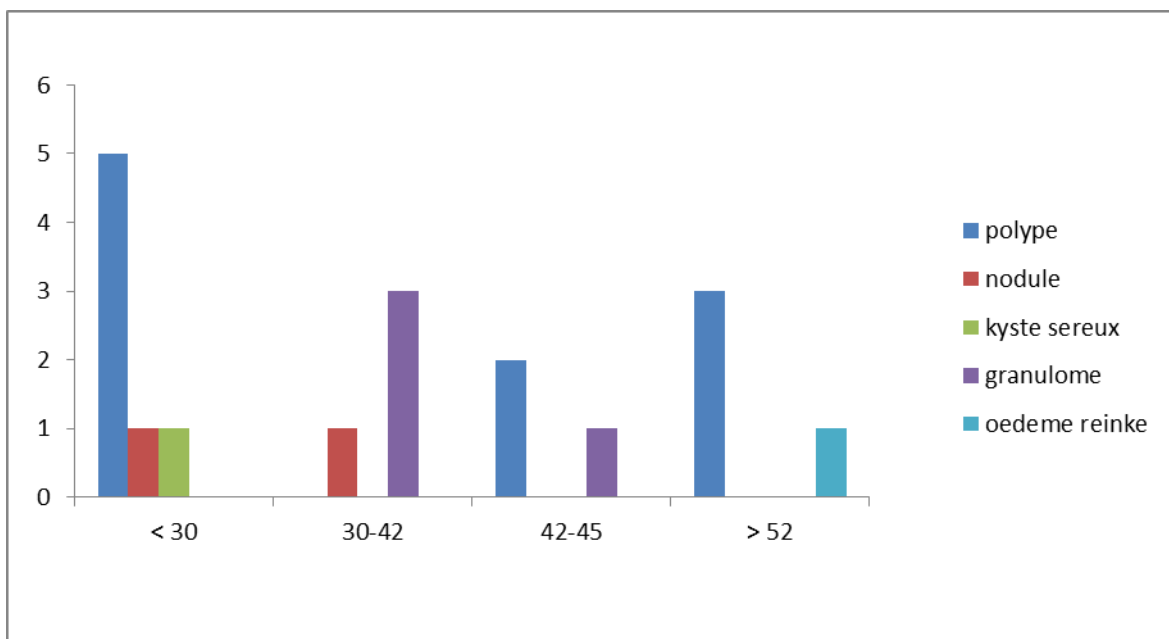
**Figure 36** : répartition des facteurs de risques en fonction des étiologies

## b. En fonction de l'âge

La majorité des patients présentant des polypes des cordes vocales avaient un âge moins de 30 ans, tant que les nodules prédominent chez les patients dont l'âge est moins de 42 ans.

Tous les patients qui présentent des granulomes avaient un âge entre 30 et 45ans.

La répartition de ces étiologies en fonction des classes d'âge est représentée par la figure 37.



**Figure 37** : Répartition des étiologies en fonction des classes d'âge

## 1.6. Bilan préopératoire

Tous les patients ont bénéficié d'un bilan préopératoire qui comporte :

❖ Un bilan biologique :

- Numération formule sanguine avec taux des plaquettes
- Glycémie
- Fonction rénale
- Temps de quick, Temps de Céphaline Active.

❖ Un bilan radiologique :

- Radiographie thoracique

❖ Un bilan cardio-respiratoire :

- L'électrocardiogramme (ECG) :
- Exploration respiratoire fonctionnelle : chez les patients qui présentent une dyspnée associée.

Tous les patients de cette étude avaient un bilan préopératoire normal, avec un rapport Tiffeneau supérieur à 70% chez les 4 patients dyspnéiques et une visite pré-anesthésique qui ne contre-indique pas l'anesthésie générale.

## 1.7. Traitement

La phonochirurgie par le laser CO2 a été réalisé chez 100% des patients.

L'aérosolthérapie postopératoire était systématique.

Tous les patients étaient mis sous traitement médical à base d'antibiothérapie pendant 8 jours et de corticothérapie pendant 3 à 5 jours.

Un repos vocal associé a été conseillé à tous les patients pendant 8jours après la phonochirurgie.

Tous les patient ont été mis sous IPP pendant un mois en postopératoire tant que 4 patient ont été traités pour RGO en préopératoire.

La rééducation orthophonique a été réalisée chez 100% des patients en postopératoire dont 14 patient (77,7%) ont bénéficié d'une rééducation orthophonique en préopératoire.

## 2. Evaluation de la qualité de vie des patients dysphoniques

### 2.1. Résultats du score d'évaluation de la qualité de vie liée à la voix : score

#### VHI.

Le taux de réponse au VHI dans notre étude est de 100%.

La moyenne du VHI total dans notre population, toute étiologie confondue était de  $70,95 \pm 22,76$ , avec des extrêmes allant de 12 à 108.

- ❖ Le VHI fonctionnel (VHI F) était en moyenne de  $21,12 \pm 9,73$  avec un minimum de 1 et un maximum de 38.
- ❖ Le VHI physique (VHI P) était en moyenne de  $26,21 \pm 7,12$  avec un minimum de 5 et un maximum de 36
- ❖ Le VHI émotionnel (VHI E) était en moyenne de  $23,62 \pm 10,82$  avec un minimum de 1 et un maximum de 39.

VHI avant rééducation	MOYENNE $\pm$ ECART-TYPE	EXTREMES
VHI total	$70.95 \pm 22.76$	12 - 108
VHI F	$21,12 \pm 9,73$	1 - 38
VHI P	$26,21 \pm 7,12$	5 - 36
VHI E	$23,62 \pm 10,82$	1 - 39

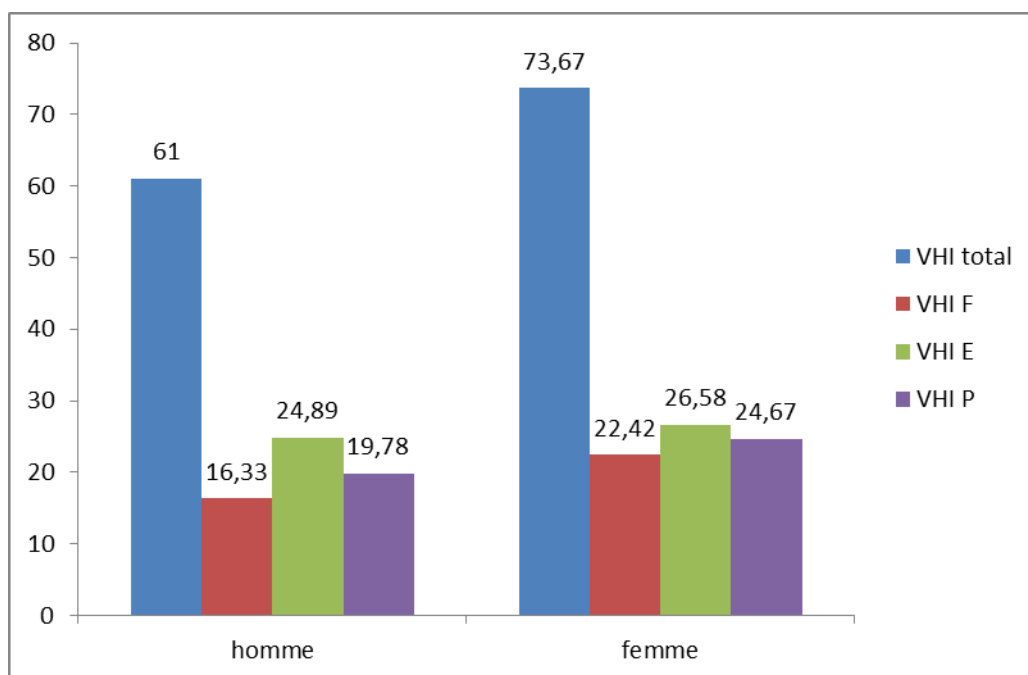
**Tableau 4:** Valeurs du VHI chez les patients dysphoniques

## 2.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et la qualité de vie liée à la voix

L'estimation subjective de la qualité de vie liée à la voix à l'aide du VHI total varie de manière non significative selon le sexe ( $p=0,14$ ).

En effet la moyenne du VHI total était de  $73,9 \pm 23,20$  chez les femmes et de  $70,50 \pm 19,00$  chez les hommes.

Ceci était le cas aussi pour le VHI F ( $p=0,09$ ), le VHI P ( $p=0,53$ ), le VHI E ( $p=0,23$ ) qui ne varient pas de manière significative selon le sexe. (Figure 38)



**Figure 38:** influence du sexe sur la qualité de vie appréciée par le VHI

**a. Association entre l'âge et la qualité de vie liée à la voix : score VHI.**

Nous avons noté globalement une variation de la qualité de vie liée à la voix selon l'âge des patients.(Figure 39)

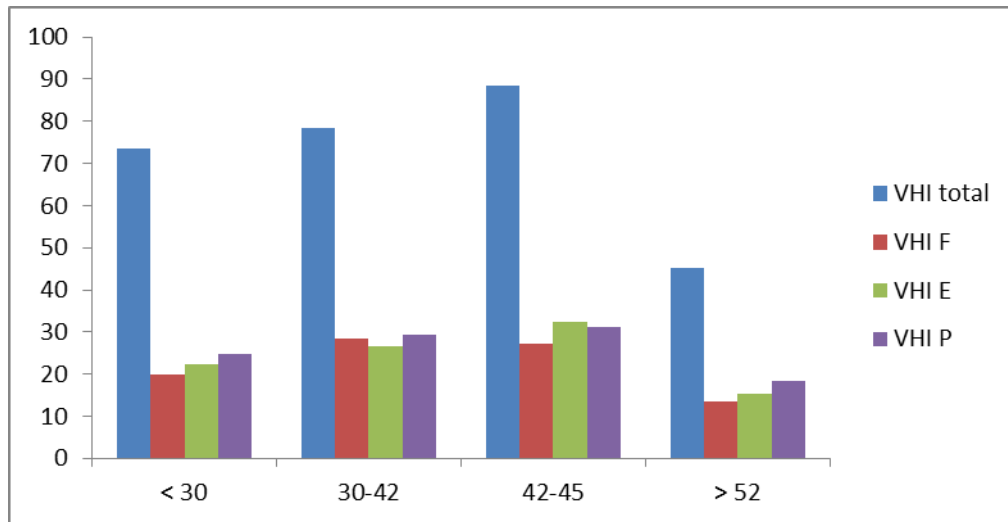
Le VHI total varie de façon très significative entre les différentes tranches d'âge avec un  $p < 0,01$ .

La plus grande gêne de la qualité de vie revenait à la tranche d'âge entre 42 et 52 ans avec une moyenne du VHI total de  $86,60 \pm 8,43$ , alors que la plus faible gêne était relevée chez les patients de plus de 52 ans avec une moyenne de  $46,45 \pm 22,10$ .

Concernant les sous échelles, le VHI F variait également de manière très significative entre les différentes tranches d'âge dans notre population d'étude ( $p < 0,01$ ).

La moyenne du VHI E était significativement différente selon les tranches d'âge avec un  $p = 0,01$ .

Le VHI P variait de manière significative selon les tranches d'âge avec un  $p = 0,02$ .



**Figure 39:** influence de l'âge sur la qualité de vie appréciée par le VHI.

**b. Association entre l'étiologie et la qualité de vie liée à la voix : score VHI.**

Les résultats du VHI total en fonction de l'étiologie sont représentés dans le tableau 5.

Les moyennes du VHI total ne différaient pas en fonction de l'étiologie dans notre étude ( $p=0,21$ ).

Etiologies	Les résultats du VHI total avant le laser CO2
Polype	75.12
Nodule	73.04
Kyste séreux	46.28
granulome	78.64
Œdème de Reinke	58.41

**Tableau 5 :** le score VHI en fonction des étiologies.

### **3. Evaluation perspective de la qualité de la voix**

#### **3.1. Résultats du score GRBAS-I**

Dans notre étude, la moyenne du GRBAS-I avant la phonochirurgie au laser CO2 était de  $12.72 \pm 6.67$  avec un minimum de 7 et un maximum de 16.

#### **3.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et le GRBAS-I**

##### **a. Association entre le sexe et le GRBAS-I**

La moyenne du GRBAS-I chez les femmes était de  $12,20 \pm 2,19$  ; alors qu'elle était de  $12.2 \pm 2,20$  chez les hommes.

Cette différence n'était pas significative ( $p=0,76$ ).

##### **b. Association entre l'âge et le GRBAS-I**

Les moyennes du GRBAS-I selon les tranches d'âge dans notre étude sont résumées dans le tableau 6.

L'évaluation perceptive de la qualité de la voix au moyen du GRBAS-I ne variait pas de manière significative en fonction de l'âge des patients ( $p=0,29$ ).

Classes d'âge (ans)	GRBAS-I avant laser CO2
< 30	13,19
30 - 42	12,68
42 - 52	11,81
> 52	12,3

**Tableau 6:** Moyennes du GRBAS-I avant la phonochirurgie au laser CO2 en fonction de l'âge

### c. Association entre l'étiologie et le GRBAS-I

Les résultats du GRBAS-I en fonction de l'étiologie sont représentés dans le

Tableau 7.

Les moyennes du GRBAS-I ne différaient pas en fonction de l'étiologie dans notre étude ( $p=0,21$ ).

Etiologies	Moyenne de GRBAS-I avant laser CO2
Polype	13.6
Nodule	14.75
Kyste séreux	7.54
Granulome	12.11
Œdème de reinke	12.61

**Tableau 7:** Moyennes du GRBAS-I avant la phonochirurgie au laser CO2 en fonction des étiologies.

## 4. Les mesures aérodynamiques

### 4.1. Résultat du temps maximum phonatoire : TMP

Dans notre étude, la moyenne de TMP avant la phonochirurgie au laser CO2 était de 15,11s avec un minimum de 10 et un maximum de 18s.

	Avant le traitement
Tenue vocalique sur « A » (moyenne)	3,24 secondes
Tenue vocalique sur « S » (moyenne)	6,25 secondes
Tenue vocalique sur « Z » (moyenne)	5,62 secondes

**Tableau 8:** Valeurs des tenues vocaliques moyennes avant la phonochirurgie au laser CO2.

## **4.2. Association entre des facteurs sociodémographiques et étiologiques et le TMP**

### **a. Association entre l'âge et le TMP :**

Les moyennes du TMP selon les tranches d'âge dans notre étude sont résumées dans le tableau 9.

Les mesures aérodynamiques appréciés par le temps maximum phonatoire ne variait pas de manière significative en fonction de l'âge des patients ( $p=0,29$ ).

Classes d'âge (ans)	TMP avant laser CO2
< 30	11,62
30 – 42	14,18
42 – 52	18,95
> 52	18,93

**Tableau 9:** Moyennes du TMP avant la phonochirurgie au laser CO2 en fonction de l'âge.

### **b. Association entre le sexe et le TMP :**

La moyenne du TMP chez les femmes était de  $18.63 \pm 2,08$  ; alors qu'elle était de  $20,53 \pm 2,20$  chez les hommes.

Cette différence était significative ( $p=0,76$ ).(figure 40)

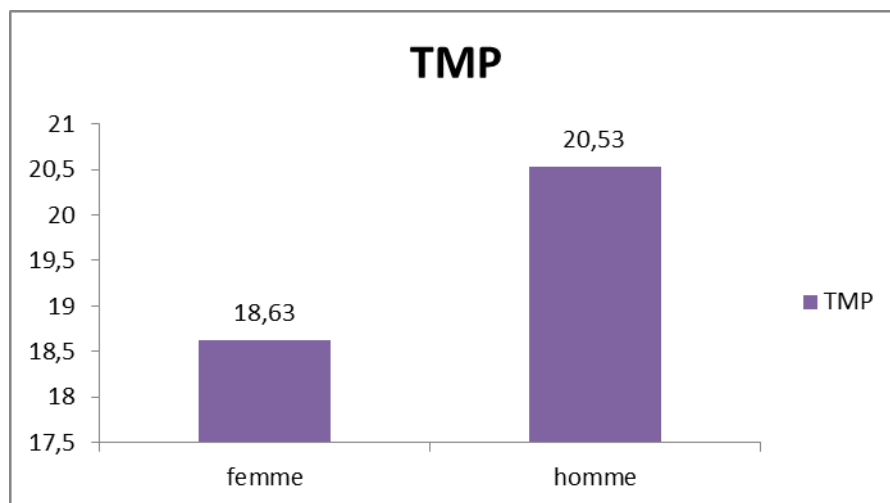


Figure 40: Influence du sexe sur les mesures aérodynamiques : TMP.

### c. Association entre l'étiologie et le TMP

Les résultats du TMP en fonction de l'étiologie sont représentés dans le

Tableau10.

Les moyennes du TMP ne différaient pas en fonction de l'étiologie dans notre étude ( $p=0,21$ ).

Etiologies	Moyenne de TMP avant laser CO2
Polype	15,47
Nodule	11,70
Kyste séreux	5,51
granulome	21,38
Œdème de Reinke	15,38

Tableau 10: Moyennes du TMP avant la phonochirurgie au laser CO2 en fonction de des étiologies.

## **5. Résultats de la phonochirurgie au laser CO2 dans la prise en charge des patients dysphoniques**

### **5.1. Résultat du bilan morphologique : nasofibroscopie**

La nasofibroscopie de contrôle a été réalisée chez tous les patients inclus dans l'étude.

Une amélioration par rapport à la nasofibroscopie initiale était retrouvée chez 100% des patients avec une anatomie normale des cordes vocales après la phonochirurgie.

### **5.2. Résultat de l'analyse perspective de la qualité de la voix par le score GRBAS-I**

Le GRBAS-I est passé de  $12,7 \pm 6,67$  avant la phonochirurgie au laser CO2 à  $4,89 \pm 4,82$  après la phonochirurgie au laser CO2.

En effet il a diminué de façon très significative après la phonochirurgie au laser CO2 ( $p < 0,01$ ).

L'amélioration du GRBAS-I après la phonochirurgie est représentée dans la figure 41.

Cette différence était significative pour toutes les caractéristiques de la voix. Ce qui est résumé dans le tableau 11.

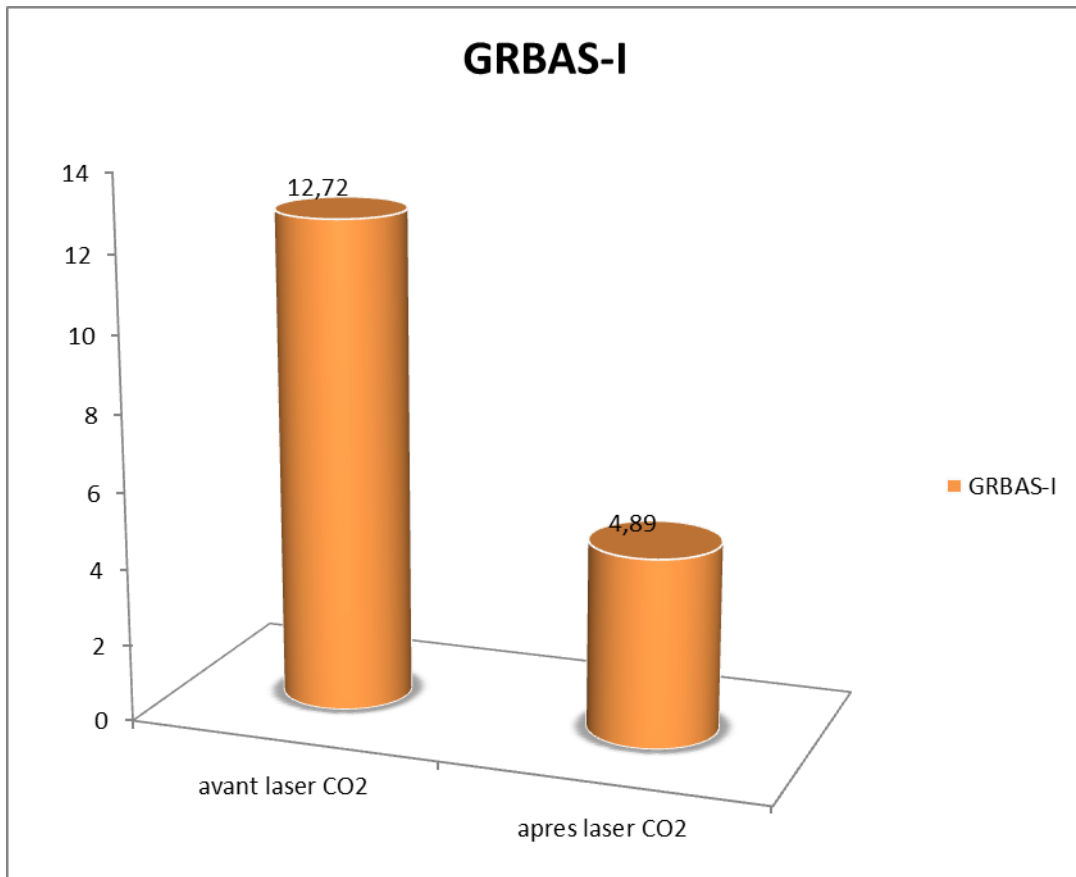


Figure 41: Amélioration du GRBAS-I après la phonochirurgie au laser CO2.

	G	R	B	A	S	I
avant	3,86 ± 1,01	2,44 ± 0,84	2,17 ± 1,05	1,69 ± 1,23	1,31 ± 1,26	1,25 ± 1,27
après	1,97 ± 0,64	0,73 ± 0,79	0,53 ± 0,81	0,50 ± 0,84	0,44 ± 0,77	0,72 ± 0,97

Tableau 11: résultats du score GRBAS-I après la phonochirurgie au laser CO2

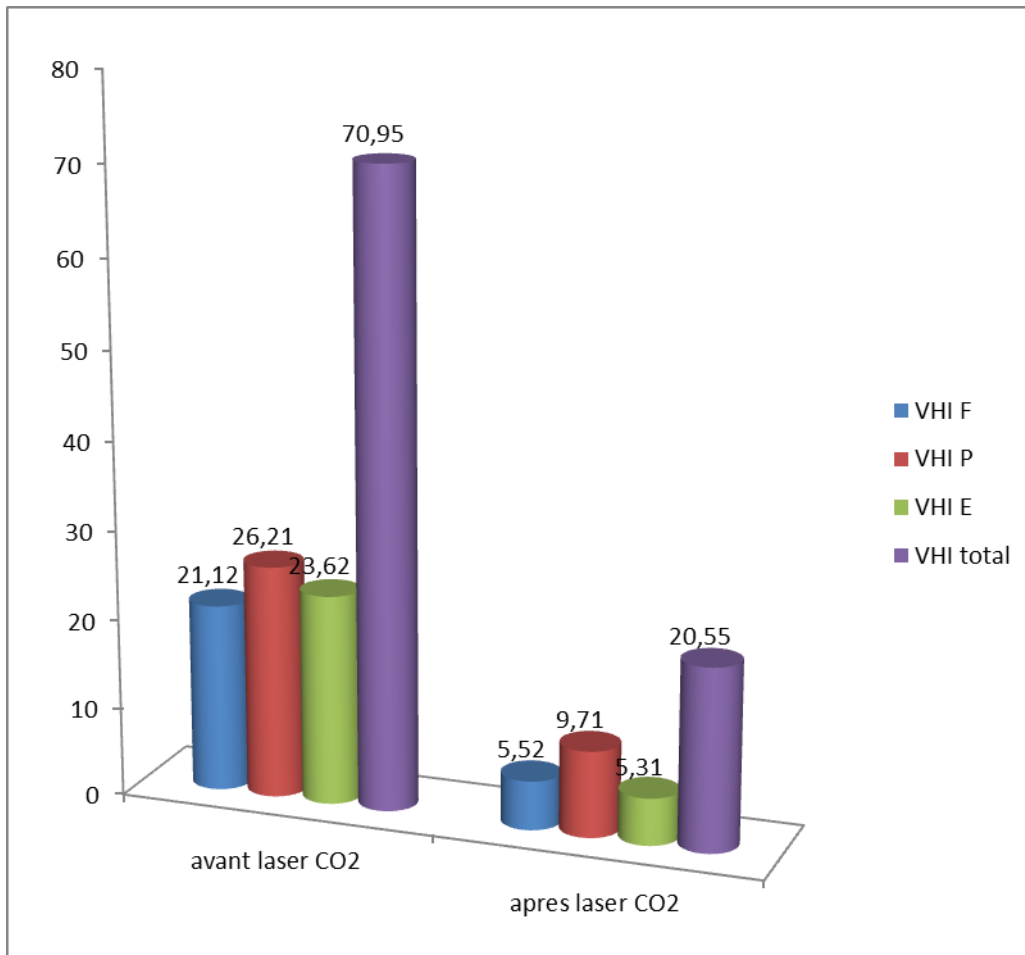
### 5.3. Résultat de l'analyse de la qualité de vie lié à la voix : score VHI

Les moyennes du VHI total, VHI F, VHI P et le VHI E se sont significativement améliorées après la phonochirurgie au laser CO2.

Ces résultats sont résumés dans le tableau 12 et la figure 42.

	Avant laser CO2	Après laser CO2
VHI F	21,12±9,73	5,52±7,14
VHI P	26,21±7,12	9,71±8,28
VHI E	23,62±10,82	5,31±7,12
VHI Total	70,95±22,76	20,55±20,20

**Tableau 12:** Amélioration du VHI après la phonochirurgie au laser CO2.



**Figure 42 :** Evolution du VHI total, VHI F, VHI P, VHI E après la phonochirurgie au laser CO2

En utilisant la méthode de Hakkesteegt et al, [132] pour l'interprétation des résultats du VHI, nous avons relevé une amélioration significative du VHI après la phonochirurgie au laser CO2 chez tous les patients de notre étude.

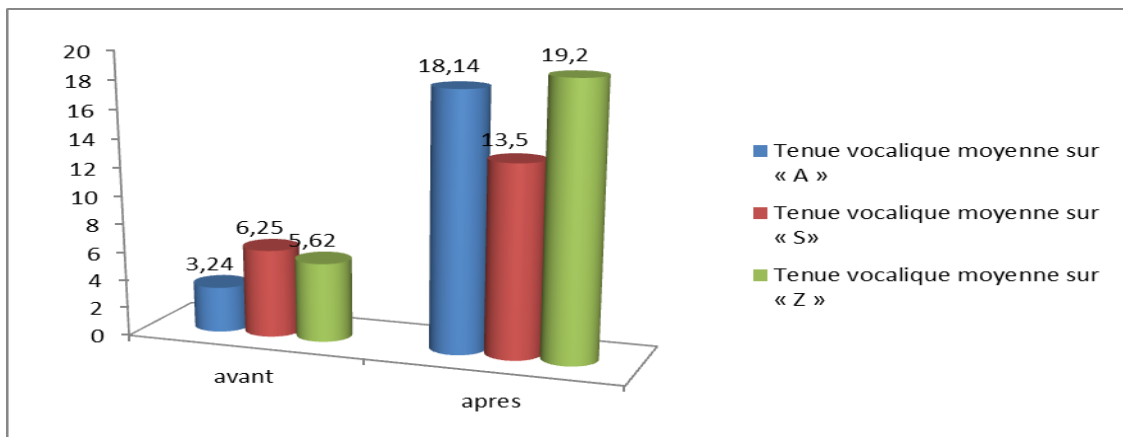
#### 5.4. Résultat des mesures aérodynamiques

Les tenues vocaliques moyennes sur les « A », « S » et « Z » sont significativement améliorées après la phonochirurgie au laser CO2.

Ces résultats sont résumés dans le tableau 13 et la figure 43.

	Avant laser CO2	Avant laser CO2	significativité
Tenue vocalique moyenne sur « A »	3.24s	18.14s	<0,01
Tenue vocalique moyenne sur « S »	6.25s	13.5s	<0,01
Tenue vocalique moyenne sur « Z »	5.62s	19.2s	<0,01

**Tableau 13:** Amélioration des tenues vocaliques moyennes après la phonochirurgie au laser CO2.



**Figure 43 :** Evolution des tenues vocaliques moyennes après la phonochirurgie au laser CO2

# **Discussion**

## **1. Introduction :**

La finalité de cette étude était d'évaluer les résultats de la phonochirurgie au laser CO2 dans la prise en charge de la dysphonie chronique liée aux pathologies bénignes des cordes vocales et de préciser son bénéfice thérapeutique dans ce groupe de pathologies.

Par ailleurs on a aussi évalué le retentissement des troubles de la voix sur la qualité de vie des patients dysphoniques et le rôle de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de cette qualité de vie.

## **2. Points forts et limites de l'étude :**

### **2.1. Points forts de l'étude :**

L'intérêt de cette étude tient essentiellement sur son aspect rétrospectif avec la recherche minutieuse des antécédents des patients ainsi que les facteurs de risques des pathologies bénignes des cordes vocales.

Plusieurs critères d'évaluation ont été adoptés afin d'avoir l'approche la plus complète possible du trouble vocal, de le handicap qui en découle et de l'intérêt de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration des ces derniers.

Nous avons utilisé quatre méthodes d'évaluation :

- Premièrement par l'endoscopie en faisant appel aux données de la nasofibroscopie.
- Deuxièmement par l'analyse perceptive de la qualité de la voix en utilisant le score GRBAS-I,
- Troisièmement par l'analyse de qualité de vie liée à la voix par le VHI.

- Quatrièmement par l'analyse objective de la qualité de la voix grâce aux mesures aérodynamiques.

L'analyse a porté d'abord sur les résultats obtenus pour tous les patients dysphoniques, puis nous avons analysé les résultats en fonction des étiologies à savoir : les nodules, les polypes, les granulomes, l'œdème de Reinke, le kyste séreux.

## **2.2. Les limites de l'étude :**

Pour évaluer les résultats de la phonochirurgie au laser CO2, nous avons eu une limite principale dans notre étude qui est l'absence des données de la stroboscopie, ainsi qu'un enregistrement précise la qualité vocale avant et après la phonochirurgie.

Cette dernière n'a pas pu être utilisée chez tous les patients dans le protocole d'évaluation dans notre étude.

### **3. Evaluation de la qualité de vie liée à la voix :**

La dysphonie altère la qualité de vie des patients dans ses différents aspects : fonctionnel, physique et émotionnel, comme elle retentit sur la vie sociale et professionnelle du patient.

De rares études ont évalué la prévalence des troubles de la voix et l'ont estimé entre 0,65% et 15%. [133]

Verdolini et Ramig estiment que 50-60 % des patients dysphoniques rapportent une gêne sociale, physique et psychologique liée à leur problème vocal. [134,135]

A côté du retentissement psychosocial des troubles de la voix, le retentissement économique est important notamment dans les pays développés. A titre d'exemple, les dépenses liées aux troubles vocaux chez les enseignants aux Etats unis ont été estimés à 2,5 billion de dollars en 2001 [134]

La société européenne de laryngologie (ELS) a mis l'accent sur le caractère multidimensionnel de la voix [136]

Elle a précisé qu'une évaluation clinique appropriée d'un trouble vocal doit inclure l'évaluation subjective du patient de son problème vocal, d'où le développement d'instruments de mesure de la qualité de vie liée à la voix.

De là des instruments spécifiques ont été alors mis au point. Le VHI, standardisé par Jacobson et al et validé par l'ELS est largement utilisé comme moyen de mesure [137,138]

Notre étude a relevé une altération du VHI total et de ses sous-échelles fonctionnelle, physique et émotionnelle chez tous les patients dysphoniques.

La moyenne du score était de  $70 \pm 9,73$ , ce qui est largement supérieur à 10 (valeur considérée normale).

Bouwers et al ont testé le retentissement psychosocial des troubles vocaux dans une étude sur 68 patients en évaluant le score VHI avant et après la phonochirurgie au laser CO2.

L'amélioration du VHI était significative après traitement chez tout le groupe étudié et surtout chez les patients présentant des lésions bénignes des cordes vocales.

Les auteurs ont conclu que le VHI est un bon moyen d'évaluation du handicap psychosocial lié à la dysphonie [138]

La relation entre certains facteurs sociodémographiques et étiologiques et la qualité de vie liée à la voix a été largement étudiée dans la littérature.

### **3.1. Influence du sexe sur la qualité de vie liée à la voix**

Nos résultats ont montré que la qualité de vie liée à la voix chez les femmes dysphoniques ne différait pas de celle des hommes dysphoniques.

Une étude de la qualité de vie des patients dysphoniques a été menée en Allemagne par Krischke et al, [137] s'est intéressée à étudier la relation entre la qualité de vie liée à la voix et le sexe du patient ainsi que la relation avec l'étiologie du trouble vocal.

Elle a recensé 108 patients dont la moyenne d'âge est de  $45,3 \text{ ans} \pm 15,1$ . La différence était non significative et les auteurs ont conclu que la qualité de vie liée à la voix ne dépend pas du sexe du patient. [137]

Bouwers et al, [138] ont analysé la qualité de vie liée à la voix chez un groupe de 68 patients porteurs de lésions bénignes des cordes vocales sur une durée de 2 ans avant et après traitement.

Les groupes étiologiques étudiés sont les suivants : la paralysie laryngée unilatérale, les nodules, les polypes et kystes des cordes vocales, le sulcus glottidis, l'œdème de Reinke, la dysphonie spasmodique, la papillomatose laryngée et le reflux laryngé. Ils ont trouvé que les scores VHI ne diffèrent pas significativement selon le sexe. [138]

Bien que l'on croit que les femmes perçoivent une maladie différemment que l'homme [139].

Les résultats de notre étude montrent que l'altération de la qualité de vie liée à la voix ne dépend pas du sexe et que le patient perçoit son handicap vocal d'une manière semblable quelque soit le sexe.

Nos résultats concernant la relation entre le sexe et la qualité de vie se trouvent concordants avec les données de la littérature. [131–133]

### **3.2. Association entre l'âge et la qualité de vie liée à la voix**

Dans notre étude, la qualité de vie mesurée par le VHI différait significativement entre les tranches d'âge.

Nos résultats suggèrent que la qualité de vie liée à la voix dépend de l'âge.

Ils sont concordants pour tous les scores en ce qui concerne la tranche d'âge la plus affectée et celle la moins affectée.

Les patients âgés entre 42 et 52 ans ont eu les scores les plus altérés et donc la plus importante altération de la qualité de vie.

Ceux âgés de plus de 52 ans ont eu la qualité de vie liée à la voix la moins altérée.

Nous supposons que cette différence était liée au niveau d'activité de ces patients, ce qui peut expliquer le retentissement différent de la dysphonie sur la qualité de vie de nos patients.

### **3.3. Association entre l'étiologie et la qualité de vie liée à la voix**

Le VHI analyse de manière détaillée les différents aspects fonctionnel, physique et émotionnel du handicap vocal mais également son retentissement social et professionnel, il constitue un moyen de choix dans la mesure de la qualité de vie liée à la voix. [138]

Des études récentes, notamment celle de Krischke et al ont montré que la dysphonie altère significativement la qualité de vie des patients et n'ont pas relevé de différence statistiquement significative entre les étiologies. [143]

Barreto Bassi et al ont étudié la qualité de vie chez 88 enseignantes dysphoniques qui n'avait pas objectivé de différence significative entre la qualité de vie liée à la voix et le diagnostic étiologique.

Les auteurs ont conclu que l'impact de la dysphonie sur la qualité de vie n'était pas corrélé à l'étiologie du trouble vocal. [144]

Dans l'étude de Bouwers et al, les auteurs ont relevé que le VHI total était différent dans chacun des groupes étiologiques, étudiés mais cette différence était statistiquement non significative. [138]

Les groupes étiologiques dans cette étude sont les suivants : la paralysie laryngée unilatérale, les nodules, les polypes et kystes des cordes vocales, le sulcus

glottidis, l'œdème de Reinke, la dysphonie spasmodique, la papillomatose laryngée et le reflux laryngé.

Nos résultats se trouvent concordants avec les données de la littérature concernant l'influence de l'étiologie de la dysphonie sur la qualité de vie liée à la voix.

#### **4. Quels sont les résultats de la phonochirurgie au laser CO2 ?**

Nous avons apprécié les résultats de la phonochirurgie au laser CO2 par quatre méthodes d'évaluation : endoscopique, perceptive, par scores d'auto-évaluation et par les mesures aérodynamiques.

Dans une étude prospective, randomisée, Benninger [145] a évalué les résultats de la phonochirurgie par : la stroboscopie, le calcul des paramètres : jitter, shimmer dans une étude qui a mis en évidence l'efficacité de la phonochirurgie par le laser CO2 dans le traitement des pathologies bénignes des cordes vocales.

Dans une étude récente, Remacle et al [146] l'évaluation des résultats de la phonochirurgie au laser CO2 a été faite par la fréquence fondamentale F0, le temps maximum phonatoire.

Dans une étude réalisé par Lin Chang et al [147] l'évaluation des résultats de la phonochirurgie au laser CO2 a été réalisé par : la vidéostroboscopie, les mesures aérodynamiques et les analyses acoustiques.

Tant que dans l'étude de Geyer [148] qui s'intéressait aux résultats de la phonochirurgie au laser dans le traitement des pathologies bénignes des cordes vocales, cette évaluation a été faite par : la vidéostroboscopie, les analyses acoustiques, spectrales et perspectives.

On note une variabilité dans les moyens d'évaluation dont le but est de mieux évaluer les perturbations de la voix, par contre l'évaluation se base dans toutes ces études sur une triple analyse :

- morphologique des cordes vocales par la stroboscopie et la nasofibroskopie.
- une analyse fonctionnelle par les différents scores

- une analyse de la gène vocal des patients dysphoniques.

Notre étude a évalué ces trois paramètres ainsi les résultats de la phonochirurgie au laser CO2 ont été satisfaisants d'une manière globale.

#### 4.1. Le bilan morphologique :

Nous avons noté une amélioration morphologique à la nasofibroscope de contrôle dans 100% des cas : avec une bonne cicatrisation, un aspect normale de la muqueuse des cordes vocales, sans complications ni récurrence.

Toutefois cette évaluation morphologique ne s'est basée que sur la nasofibroscope, avec 4 cas sur la stroboscopie, cette dernière a fournit une meilleure analyse du fonctionnement laryngé.

La stroboscopie est une méthode non invasive qui offre une image endoscopique précise permettant à la fois le diagnostic des lésions et l'évaluation objective des cordes vocales après le traitement.

Dans une étude de Geyer, [148] la stroboscopie était satisfaisante chez 94,3% des patients tant que dans une étude de Puxeddu ,[149] l'évaluation de 114 patients a objectivé une récurrence chez un patient porteur de granulome avec une bonne cicatrisation et absence de récurrence chez les autres patients.

Dans une étude de Lin Chang et al [147] l'évaluation a objectivé une dépression au lieu du kyste vocal.

Dans une étude de thomas [150] une bonne évaluation a été observé chez 90% des patients avec une amélioration significative de la fermeture glottique de 96%.

Nos résultats concernant l'évaluation morphologiques des cordes vocales se trouvent concordants avec les résultats des autres études. [148–150]

#### **4.2. L'analyse de la qualité de vie lie a la voix :**

L'analyse de la qualité de vie lié à la voix dans notre étude a été évalué par les paramètres : Voice handicap index (VHI) et l'échelle bipolaire d'auto-évaluation.

Dans son étude thomas a observé que le VHI permet au patient de mieux connaitre la gravité de son problème, ce qui a participé selon lui dans l'amélioration du VHI E émotionnel par rapport au VHI physique et au VHI fonctionnel, [150] ainsi le VHI permet d'estimer l'impact du trouble vocal sur les différents domaines de la vie.

Remacle a concentré l'analyse de la qualité de vie lié a la voix en pré et postopératoire sur les variations de la fréquence fondamentale FO [146]

Dans l'étude de Geyer l'évaluation post thérapeutique a montré une tendance de la FO moyenne vers les valeurs physiologiques. [148]

Les moyennes du VHI total, VHI F, VHI P et le VHI E sont significativement améliorées après la phonochirurgie au laser CO2 dans notre étude ce qui concordes avec les autres études [146, 148,150] dans le rôle de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de la qualité de vie des patients lié à la voix.

#### 4.3. L'analyse perspective de la voix par le GRBAS-I :

L'évaluation perceptive de la qualité de la voix est considérée comme le Gold standard des méthodes d'évaluation et c'est l'un des aspects de la voix les plus décrits dans la littérature [151].

Plusieurs classifications ont été proposées par différents auteurs : « the Buffalo Voice Profile », « the Vocal Profile », le Grade GRBAS: Roughness, Breathiness,

Asthenicity, and Strain, le modèle multidimensionnel de la production vocale décrit par Perkins, la classification de la qualité vocale par Wendler et le SVEC. [151]

Le GRBAS est considéré comme étant l'échelle perceptuelle la plus fiable qui est disponible actuellement, [152] Il a montré une haute fiabilité inter-observatrice et une reproductibilité modérée.

Le paramètre G semble être le paramètre le plus fiable [152] toutefois, il n'existe pas de définitions standards permettant de comparer les stimuli vocaux. [151]

Dans l'étude de Geyer, l'amélioration du GRBAS après la phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub> a été satisfaisante et cohérente dans tous les paramètres [148]

Dans d'autres études, l'évaluation de l'efficacité de la phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub> a été basée sur d'autres scores [146, 147, 149]: F<sub>0</sub>, le jitter, le shimmer.

La fréquence fondamentale F<sub>0</sub>, la stabilité fréquentielle, la stabilité de l'intensité sont des mesures considérées par l'European Laryngological Society comme les plus fiables. [136]

Ce sont des mesures objectives réalisables en activité clinique courante grâce à un logiciel spécialement développé à cet usage clinique : le logiciel Multi Dimensional.

Certaines de ces mesures objectives peuvent être corrélées avec des caractéristiques vocales subjectives de l'échelle GRBASI. [90,153]

Les mesures de stabilité fréquentielle à court terme (le jitter) corrélées avec la raucité et donc avec les indices G et R de l'échelle d'évaluation perceptuelle.

Chez le sujet atteint de pathologie cordale, le jitter augmente en raison d'une instabilité vibratoire des cordes vocales plus grande, et il est corrélé avec la raucité subjectivement audible. [154,155]

La phonochirurgie, en améliorant les caractéristiques tissulaires cordales, peut améliorer la stabilité vibratoire et donc réduire le jitter enregistré.

Cette diminution peut être statistiquement significative [156] ou non [157,159]

La mesure de stabilité de l'intensité : le shimmer est la mesure de stabilité de l'intensité et correspond donc à la mesure du jitter réalisée pour l'évaluation de la stabilité fréquentielle.

Chez le sujet atteint d'une lésion bénigne cordale, le shimmer augmente pour la même raison que celle évoquée pour l'augmentation du jitter : l'instabilité vibratoire est augmentée par la pathologie cordale [90,153].

Après La phonochirurgie, une diminution significative du shimmer est observée. [156,159]

Dans l'étude de Puxeddu [149] l'évaluation des résultats de la F0, le jitter et le shimmer a montré de manière générale une amélioration statistiquement significative après la phonochirurgie au laser CO2.

Dans notre étude l'amélioration du GRBAS-I était significative pour toutes les caractéristiques de la voix ce qui concorde avec ces études dans le rôle de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration perspective la voix.

#### **4.4. les mesures aérodynamiques**

Les mesures aérodynamiques dans notre étude constituent le moyen objectif de l'analyse de la voix qui est évalué par le temps maximum phonatoire

Le temps maximum de phonation est une mesure simple à réaliser : c'est le temps maximum de tenue d'un « a » à intensité et fréquence spontanées confortables, après une inspiration maximum.

Il est enregistré et mesuré en même temps que le débit aérien moyen phonatoire.

Chez le sujet sain, le temps maximum de phonation est plus grand chez les hommes que chez les femmes en raison de leur plus grande capacité vitale.

Il est compris entre 25 et 35 secondes chez l'homme, et entre 15 et 25 secondes chez la femme : Un temps maximum inférieur à 10 secondes chez la femme, et à 15 secondes chez l'homme, est considéré comme anormal [160].

En cas de lésion cordale bénigne, le temps maximum de phonation se réduit.  
[160]

L'utilisation du temps maximum de phonation comme indicateur de l'efficacité de la phonochirurgie a été rapporté dès 1977 [160,161], les résultats publiés ne

sont pourtant pas univoques: une augmentation de la valeur du temps maximum phonatoire après microchirurgie cordale a été rapporté dans certaines séries [157,158], alors qu'il demeure parfois inchangé [159], ou même diminuée. [162]

Dans notre étude le TMP a significativement évolué après la phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub>, ce qui concorde avec le résultat de certaines études [157,158], et disconcorde avec d'autres [159,162].

# **Conclusion et recommandation**

La dysphonie chronique représente pour le patient un handicap à la fois fonctionnel et physique pouvant gêner sa vie sociale et professionnelle ; sans oublier le retentissement psychologique et émotionnel important qu'un tel trouble peut induire sur la qualité de vie des patients.

Les principaux facteurs de risque relevés dans notre étude étaient Le forçage vocal, le RGO, et le tabagisme.

La dysphonie altérait la qualité de vie de nos patients indépendamment du sexe, cette altération est en effet aussi importante chez l'homme que chez la femme.

La dysphonie liée à la pathologie bénignes des cordes vocales est responsable d'un handicap socioprofessionnel et émotionnel dont l'importance, ne varie pas significativement en fonction du type étiologique : polype, nodule, granulome, œdème de Reinke, ou kyste séreux) dans notre étude.

Les données de la littérature montrent que toute évaluation d'un trouble vocal doit faire appel à une méthode multidimensionnelle et à une approche globale du trouble.

L'étude de la qualité de vie chez les patients dysphoniques est un des principaux moyens d'évaluation du trouble vocal et de l'efficacité du traitement dans l'amélioration de l'handicap, par ailleurs la méthode d'évaluation perceptive, malgré sa subjectivité, est une des méthodes clef d'analyse de la voix.

On a démontré que la phonochirurgie au laser CO2 associées à la rééducation orthophonique sont des moyens thérapeutique efficace dans la prise en charge des dysphonies organiques liées aux lésions bénignes des cordes vocales.

Nos résultats ont montré que la phonochirurgie au laser CO2, suivie d'un traitement médical postopératoire à base de corticothérapie d'antibiothérapie, et d'aérosolthérapie avec un repos vocal associées à la rééducation orthophonique, améliore la qualité de la voix ainsi que la qualité de vie des patients dysphoniques.

Sans oublier le traitement des facteurs de risques a savoir : arrêt du tabagisme, le traitement anti-reflux et les mesures d'hygiène vocal chez les professionnel de voix.

Cette amélioration est significative aussi bien dans les polypes, les nodules, les granulomes, l'œdème de Reinke et le kyste séreux.

La phonochirurgie au laser CO2 trouve alors une bonne indication dans la prise en charge de la dysphonie liée a la pathologie bénigne des cordes vocales.

Un soutien psychologique et une psychothérapie d'accompagnement ainsi qu'une bonne information du patient sur les principes et les bénéfices de la rééducation s'avèrent nécessaires pour une meilleure optimisation des résultats de la thérapie vocale.

# Résumé

## SUMMARY

The growing importance of evidence-based medicine is stimulating the demand for scientific research on the effects of medical and paramedical therapy over the last few decades.

In fact, the study on results and effectiveness of carbon dioxide laser phonosurgery as treatment of voice disorders, fits into this growing interest with the development of tools for analysis of pathological voices.

Voice problems can have significant influence on a person's life, as the voice is an important tool for communication.

The role of carbon dioxide laser phonosurgery in improving the quality of life which is related to the voice, is a major aspect to study.

We performed a retrospective study in the period of January 2011 to June 2014 in the department of Otorhinolaryngology and orthophonic therapy unit.

The study group contained 18 patients presenting benign pathologies of the vocal cords: polyps, granuloma, nodules, cyst and reinke's oedema, excluding malignant tumor causes, pre-neoplastic lesions, and language disorders of neurological origin.

We studied the socio-demographic profile, clinical data of our population and assessed the quality of life for our patients by the score VHI (Voice Handicap Index) and the bipolar scale vocal self-assessment (EBA).

The study results carbon dioxide laser phonosurgery in our work called four evaluation methods: Endoscopic, perceptive analysis of voice, by the self-assessment scores of quality of life and aerodynamic measures.

The statistical analysis was elaborated in the Biostatistics Laboratory of Medicine school of Fes.

Our results showed that chronic dysphonia affects the quality of life of our patients regardless of gender and etiology, and that advanced age affects more the quality of life in our population.

Carbon dioxide laser phonosurgery has allowed a significant improvement in the quality of life by improving the quality of the voice.

In light of our study, we can conclude that the carbon dioxide laser phonosurgery is an effective therapy in the treatment of chronic dysphonia.

The comparison between phonosurgery CO2 laser and instrumental phonosurgery discussed in the literature has demonstrated the efficacy and safety of the CO2 laser.

Any assumption of a voice disorder should also focus primarily on the disability generated by this disorder and the role of treatment in improving the voice quality of the patient.

# Résumé

Avec le développement croissant de la médecine fondée sur les preuves

(Evidence Based–Medecine), les traitements aussi bien médicaux que paramédicaux devraient être évalués par des méthodes scientifiques.

En effet l'étude des résultats et de l'efficacité de la phonochirurgie au laser CO2 comme thérapeutique des troubles de la voix a connu un intérêt croissant ces dernières décennies et a largement profité du développement des outils d'analyse de la voix pathologique.

La voix représente un instrument de communication et d'expression, toute altération de sa qualité au cours de la dysphonie chronique, aurait des conséquences sur la vie sociale et professionnelle du patient constituant alors un véritable handicap dans la vie quotidienne.

Le rôle de la phonochirurgie au laser CO2 dans l'amélioration de cette qualité de vie liée à la voix est alors un des principaux aspects à étudier.

Notre travail est une étude rétrospective menée au service d'ORL et à l'unité d'orthophonie du CHU Hassan de Fès, étalée sur une durée de quatre ans, entre Janvier 2011 et juin 2014.

Elle a intéressé 18 patients dysphoniques qui ont présenté des pathologies bénignes des cordes vocales : polypes, granulome, nodules, un kyste séreux et un œdème de Reinke, en excluant les causes tumorales malignes, les lésions pré–néoplasiques, les troubles du langage d'origine neurologique.

On a étudié le profil sociodémographique, les données cliniques de notre population et évalué la qualité de vie chez nos patients par le score VHI (Voice Handicap Index) et par l'échelle bipolaire d'auto–estimation vocale (EBA).

L'étude des résultats de la phonochirurgie au laser CO2 dans notre travail a fait appel à quatre méthodes d'évaluation: endoscopique, par analyse perceptive de la voix, par les scores d'autoévaluation de la qualité de vie et par les mesures aérodynamiques.

L'analyse statistique des données a été réalisée au laboratoire d'épidémiologie de la faculté de médecine et de pharmacie de Fès.

Nos résultats ont montré que la dysphonie chronique altère la qualité de vie de nos patients indépendamment du sexe et de l'étiologie et que c'est l'âge avancé qui altère plus la qualité de vie dans notre population.

La phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub> a permis une amélioration significative de cette qualité de vie par amélioration de la qualité de la voix.

A la lumière de notre étude, on peut conclure que la phonochirurgie au Laser CO<sub>2</sub> est une thérapie efficace dans la prise en charge des dysphonies chroniques.

La comparaison entre la phonochirurgie au laser CO<sub>2</sub> et la phonochirurgie instrumentale discutée dans la littérature a démontrée l'efficacité et la sécurité du laser CO<sub>2</sub>.

Toute prise en charge d'un trouble vocal doit par ailleurs s'intéresser avant tout à l'handicap généré par ce trouble et au rôle du traitement dans l'amélioration de la qualité de vie du patient.

## ملخص

دراسة نتائج جراحة الحبال الصوتية بواسطة الليزر ثاني أكسيد الكربون و نجاعته ، كوسيلة من و سائل علاج حالات اختلال الصوت ، عرفت تطورا ملحوظا خلال السنوات الأخيرة ، و قد استفادت من تطور وسائل تحليل الاضطرابات، الصوتية ، و تماشيا مع تطور الطب المبني على الأدلة الذي يفرض دراسة الوسائل الطبية ، و كذلك الشبه الطبية بطرق علمية.

إن تدهور جودة الصوت ، خلال اختلال الصوت ، قد يشكل عائقا كبيرا في حياة المريض ، اليومية الاجتماعية منها و المهنية ، خاصة و أن الصوت يعتبر أداة للتواصل و التعبير من هذا المنطلق ، فإن دور جراحة الحبال الصوتية في تحسين جودة حياة المريض ، يمثل أهم نقطة يجب على كل دراسة في هذا المجال التطرق إليها.

و لقد قمنا في هذه الأطروحة، بدراسة إسترجاعية، بمصلحة طب الأذن و الأنف و الحنجرة ، و بوحدة ترويض الصوت التابعة للمستشفى الجامعي الحسن الثاني بفاس، لمدة أربع سنوات، ابتداء من يناير 2011 إلي يونيو 2014 ، نتبعنا خلالها 18 حالة مرضية تعاني من اختلال ، الصوت، الناتج عن الاورام الحميدة : الحبيبي، ورم العقيدات الكيس المصلي وذمة رينكه ، مع ملاحظة عدم التطرق إلي الحالات التي ترجع إلي أورام ، خبيثة، أو إلي خلل عصبي.

في هذا الإطار قمنا بدراسة الخصائص السوسيوديمغرافية، و المعلومات السريرية للعينة (VHI) المدروسة، كما قيمنا جودة حياة مرضانا بواسطة أداة تقييم العجز المترتب عن الصوت (EBA). و كذلك بواسطة السلم الثنائي الأبعاد للتقييم الذاتي للصوت لأجل دراسة نتائج ترويض الصوت، تم استعمال أربع طرق للتقييم:

- بالتنظير الداخلي

- بالتحليل الإدراكي للصوت

- القياسات الهوائية

- بأدوات التقييم الذاتي لجودة الحياة.

تم إنجاز التحليل الإحصائي في المختبر البيواحصائي التابع لكلية الطب و الصيدلة بفاس، و توصلنا إلي النتائج التالية إختلال الصوت المزمن يؤدي إلي تدهور جودة حياة المصابين به، بغض النظر عن الجنس والمسببات و لكن عمر المرضى المتقدم يؤثر بسلبية أكثر على جودة حياة المريض ، كما أن جراحة الحبال الصوتية بواسطة الليزر ثاني أكسيد الكربون يمكن من تحسين جودة الصوت لديه وكذا جودة حياته. و للإشارة فإن هذه النتائج قد

شملت المصابين باختلال الصوت الوظيفي، و العضوي على حد سواء.

على ضوء دراستنا هاته، يتجلى لنا أن جراحة الحبال الصوتية بواسطة الليزر ثاني أكسيد الكربون يعتبر وسيلة ناجعة في علاج اختلال الصوت. و بصفة عامة نقول أن كل تكفل بهذه الحالة ينبغي التطرق إلي دراسة جودة

حياة المريض، و دور العلاج في تحسين هذه الجودة.

# Annexes

# ANNEXE 1



## DOSSIER MEDICAL DES DYSPHONIES

CHU Hassan II

Service ORL

et Chirurgie Cervico-faciale

Le .....

### Identité

Prénom : ..... Nom : .....

Age : ..... ans

Situation familiale : ..... Nombre d'enfants : .....

Profession : .....

Niveau socio-économique : .....

Adresse :  
.....

Téléphone : .....

Hospitalisation  non  oui ..... IP

NO

### Antécédents

Antécédents personnels :

**A - Antécédents médicaux :**

	N	O
Maladie infectieuse		
tuberculose	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
syphilis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre		

**Endocrinopathie**

Dysthyroïdie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diabète	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acromégalie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maladie d'Addison	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autre		

RGO / Gastrite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
----------------	--------------------------	--------------------------

Maladie générale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
------------------	--------------------------	--------------------------

**Pathologie respiratoire**

Allergie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asthme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Traumatisme antérieur**

Externe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Intubation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Néoplasie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-----------	--------------------------	--------------------------

Radiothérapie cervicale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------	--------------------------	--------------------------

Affection neurologique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
------------------------	--------------------------	--------------------------

Affection psychiatrique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------	--------------------------	--------------------------

Prise médicamenteuse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
----------------------	--------------------------	--------------------------

Autres

**B - Habitudes toxiques :**

- Néant
- Tabagisme :
  - Actif :
  - Passif :
- Alcoolisme :
- Cannabisme :
- Autres : ....

**C - Antécédents chirurgicaux :**

- Intervention cervicale antérieure

Date :

Type :

Suites post-opératoires :

- Intervention thoracique

- Exploration endoscopique antérieure

Date :

Résultat :

Traitement préconisé :

**Antécédents familiaux :**

## Histoire du trouble vocal

### Dysphonie :

Ancienneté : .....

Mode d'installation :  aigu     rapidement progressif     progressif

Facteur déclenchant :     non     oui

Evolution :

Fluctuation :  Facteur aggravant :

Facteur améliorant :

Douleur :     non     oui

Chatouillement laryngé :  non     oui

### Signes associés :

	N	O
Dyspnée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dysphagie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Odynophagie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fausse routes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otalgies	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Etat général :

Rhinopharyngite       

Syndrome fébrile

## Examen ORL

### Examen cervico-facial :

Loge thyroïdienne :

Adénopathies :

Masse palpable :

Autres :

### Examen de la cavité buccale :

### Examen otologique

### Examen rhinologique :

## Examen général

## Examen laryngé

### Nasofibroscopie :

### Examen en respiration :

Position des cordes vocales :

CV droite :

CV gauche :

Position de l'arythénoïde :

Lésions surajoutées :

### Examen en phonation :

Aspect du bord libre de la CV

Mobilité de l'arythénoïde :

Bascule de l'arythénoïde :

### Stroboscopie :

### Panendoscopie :

## ANNEXE 2

### Bilan orthophonique

#### A- Analyse acoustique de la voix d'une manière subjective :

Type de voix	Intensité	Timbre	Hauteur
v. conversationnelle			
v. projetée			
v. d'appel			

Mélodie et intonation de la voix : Durée de la voix (TMP) :

Déperdition d'air en fonction :

Tenue vocale (TV) sur « A » :

Tenue consonantique (TC) sur « S » :

Tenue consonantique (TC) sur « Z » :

Quotient phonatoire (QP) = CV/TMP

Efficacité de la Toux :

Le coup de glotte :

Sonorisation du rire :

#### B- Analyse du geste vocal :

→ Statique corporelle :

→ Etat des muscles du cou :  Tendu  Détendu

→ Gestualité d'accompagnement de la voix :

Calme  Naturelle  Désordonnée

→ L'utilisation des résonateurs :

- L'ouverture buccale :
- Les dents :
- Les mâchoires :
- L'oropharynx :
- La langue : articulation des sons en appui lingual interdental

## Contrôle après rééducation

Nasofibroscopie

Analyse perceptive

Scores d'autoévaluation

**Conduite à tenir :**

Continuer rééducation :  non  oui

Autres :

## FICHE D'EXPLOITATION DES DYSPHONIES

Nom Prénom : .....

Age : ..... ans

Profession à risque :  non  oui

.....

Situation familiale : .....

Nombre d'enfants : .....

ATCD liés à la dysphonie:  non  oui

1).....

2).....

3).....

4).....

5).....

Habitudes toxiques :  Néant  Tabagisme actif : ..... Pq/an

Tabagisme passif

Ethylisme  Cannabisme  Autres :

Sevrage depuis :

.....

Dysphonie : Ancienneté : .....

Mode d'installation :  aigu  rapidement progressif  progressif

Signes associés :  Dyspnée  Dysphagie  Odynophagie

Fausses routes  Otagies  Rhinopharyngite  Syndrome fébrile

Examen ORL :  normal  anomalie

1).....

2).....

3).....

4).....

5).....

Examen général :  normal  anomalie

### Examen laryngé

#### Nasofibroskopie :

##### Examen en respiration :

Position des cordes vocales :

CV droite :

CV gauche :

Position de l'arythénoïde :

Lésions surajoutées :

##### Examen en phonation :

Aspect du bord libre de la CV :

Mobilité de l'arythénoïde :

Bascule de l'arythénoïde :

#### Stroboscopie :

#### Panendoscopie :

#### Paraclinique :

## Au terme du bilan

Diagnostic retenu :

Traitement :

Médical :  non  oui

Chirurgical :  non  oui

Autres :

Orthophonie :

Résultat du bilan orthophonique

Nombre total des séances

Techniques utilisée

Evolution

### ANNEXE 3: Echelle GRABS-I

Tableau III. – Échelle GRBAS (« *Grade, Rough, Breathy, Asthenic, Strained* »)-I (« *Instability* »).

<i>Grade</i>	Degré de l'ensemble des anomalies de la voix
<i>Rough</i>	Raucité : qualité de la voix en rapport avec l'impression : - d'impulsions glottiques irrégulières - d'une composante de bruit dans les basses fréquences - d'une rugosité (dureté) ou de friture ( <i>fry</i> ) Il est proposé de prendre en considération les fluctuations aléatoires de l'impulsion glottique sur une large étendue de Fo et les anomalies intéressant certains groupes de Fo, comme la diplophonie
<i>Breathy</i>	Soufflée : qualité de la voix en relation avec un bruit de turbulence audible, produit au niveau de la glotte par une fuite d'air
<i>Asthenic</i>	Fatigue : impression auditive de faiblesse ou de perte de puissance en phonation spontanée. Voix hypofonctionnelle, hypokinétique
<i>Strained</i>	Forcée : impression auditive d'effort excessif, de tension en phonation spontanée. Voix hyperfonctionnelle, hyperkinétique (n'est pas nécessairement corrélée à une voix « forte »)
<i>Instability</i>	Variabilité : fluctuation, variation au cours du temps de la qualité vocale ou d'un de ces aspects (G, R, B, A, ou S)

Chaque paramètre est à coter de 0 (absence) à 3 (présence maximale).

\* Forcée \* et \* fatiguée \* étant antagonistes, une seule des deux échelles peut être cochée pour un seul patient.  
 Fo : fréquence fondamentale.

## ANNEXE 4: Score VHI 30

Tableau II. – Version francophone du « voice handicaped index » (VHI) traduite par le Groupe d'étude belge sur les troubles de la voix.

		J	P	P	PT	T
F1	Or, n'entend difficilement à cause de ma voix					
P2	Je suis à court de souffle quand je parle					
F3	Or ne comprend difficilement dans un milieu bruyant					
P4	Le son de ma voix varie au cours de la journée					
F5	Les membres de la famille ont du mal à m'entendre quand je les appelle dans la maison					
F6	Je téléphone moins souvent que je le voudrais					
E7	Je suis tendu(e) quand je parle avec d'autres à cause de ma voix					
F8	J'ai tendance à éviter les groupes à cause de ma voix					
E9	Les gens semblent irrités par ma voix					
F10	Or me demande : « Qu'est-ce qui ne va pas avec la voix » ?					
F11	Je parle moins souvent avec mes voisins, mes amis, ma famille à cause de ma voix					
F12	Or ne comprend difficilement quand je parle dans un endroit calme					
P13	Ma voix semble grinçante et sèche					
P14	J'ai l'impression que je dois forcer pour « produire » la voix					
E15	Je trouve que les autres ne comprennent pas mon problème de voix					
F16	Mes difficultés de voix limitent ma vie personnelle et sociale					
P17	La carte est imprévisible					
P18	J'essaie de changer ma voix pour qu'elle sonne différemment					
F19	Je me sens écartelé(e) des conversations à cause de ma voix					
P20	Je fais beaucoup d'efforts pour parler					
P21	Ma voix est plus mauvaise le soir					
F22	Mes problèmes de voix entraînent des pertes de revenus					
E23	Mes problèmes de voix me contrarient					
E24	Je suis moins sociable à cause de mon problème de voix					
F25	Je me sens handicapé(e) à cause de ma voix					
P26	Ma voix m'abandonne au cours de conversation					
E27	Je suis agacé(e) quand les gens me demandent de me répéter					
E28	Je suis embarrassé(e) quand les gens me demandent de me répéter					
E29	À cause de ma voix, je me sens incompetent(e)					
E30	Je suis honteux (se) de mon problème de voix					

J : jamais ; P : presque jamais ; P : parfois ; PT : presque toujours ; T : toujours.

# Références

1. **Feldmann H.**  
Diagnosis and therapy of diseases of the larynx in the history of medicine. *laryngorhinootologie*.2002, p: 81:46–55.
2. **Green H.**  
Morbid growths in the larynx. New York: GP Putnam.1852.
3. **Reinhard M, Eberhardt E, Alfred Kirstein.**  
Pioneer in direct laryngoscopy. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*.1995;30:240–6.
4. **HERAL O.**  
Contribution à l'histoire des rééducations Dissertation sur la parole de Johann Conrad Amman (1669–1724) Un précis de physiologie de la phonation et de phonétique clinique à la fin du XVIIe siècle. *J. Réadapt. Méd.*2005, 25, n° 4, pp ;197–203.
5. **Crevier–Buchman L, Brihaye–Arpin S, Sauvignet A, Tessier C, Monfrais–Pfauwadel M.–C, Brasnu D.**  
Dysphonies non organiques (dysfonctionnelles).EMC (Elsevier SAS, Paris), Oto–rhino–laryngologie.2006, 20–752–A–15.
6. **Smith E, Gray SD, Dove H, Kirchner L, Heras H.**  
Frequency and effects of teacher's voice problems. *J Voice*.1997; 11:81–7.
7. **Tarneaud J.**  
Psychological and clinical study of the pneumophonic synergy. *NATS Bull*. 1958;14:12–5.
8. **Multinovic Z, Bojic P.**  
Functional trauma of the vocal folds: classification and management strategies. *Folia Phoniatr Logop*.1996; 48:78–85.

9. **Halim I.**  
Le laser en laryngologie. Thèse 2006; 5–6 ;université de médecine Case
10. **Le Huche, Allali.**  
La voix : Anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole (Tome1). MASSON, Paris, 1991, 200 ;
11. **Larry R. Cochard**  
The respiratory system. Netter’s Atlas of Human Embryology: Updated Edition, pp: 120.
12. **Frank H. Netter MD.**  
Atlas of Human Anatomy: 6th Edition (Netter Basic Science),pp:
13. **Hajj.A**  
Place de la rééducation orthophonique dans la prise en charge des dysphonies(Etude prospective à propos de 42 cas).2011.
14. **Giovanni A,Remacle M,Robert D.**  
Phonochirurgie des tumeurs bénignes des cordes vocales.Elsevier Encyclopédie Médico–chirurgicale.2000.
15. **Culbertson WR, Tanner DC.**  
Introductory speech and hearing anatomy and physiology workbook. Boston: Allyn and Bacon.1997.
16. **Henrich N.**  
Physiologie de la voix chantée: vibrations laryngées et adaptations phono résonantielles, dans la voix parlée et la voix chantée. 40es Entretiens de médecine physique et de réadaptation, Montpellier .2012.
17. **Henrich N, Kiek M, Smith J, Wolfe J.**  
Resonance strategies used in Bulgarian women’s singing style: a pilot study. Logop Phoniatr Vocol.2007;32:171–7.

**18. Guerrier B, Giovanni A, Remacle M.**

Pathologies de la corde vocale. Paris: Éditions de la Société Française d'ORL et Chirurgie Cervicofaciale.2004

**19. Hirano M.**

Clinical examination of voice. New York: Springer.1981.

**20. Berry DA, Herzel HP, Titze IR, Krischer K.**

Interpretation of biomechanical simulations of normal and chaotic vocal fold oscillations with empirical eigenfunctions. J Acoust Soc Am.1994; 95:3595-604.

**21. Lacau St Guily J, Fardeau M.**

Muscles intrinsèques du larynx de l'homme : caractéristiques histoenzymologiques des fibres musculaires. Ann Otolaryngol.1983; 100:1-2

**22. Bouchayer M.**

Nodules, polypes, pseudo-myxomes. In: Frachet B, Morgon A, Legent Féd. Pratique phoniatrique en ORL. In : Paris : Masson.1992: 42-52

**23. Clark A,Blake C.**

Operative techniques in laryngology.2008.

**24. Chevalier D, Piquet JJ.**

Ulcère de contact et trouble de la mobilité laryngée. À propos de deux observations. Rev Laryngol.1994 ; 115 : 61-63

**25. Lacau-St-Guily J, Roubeau B.**

Voies nerveuses et physiologie de la phonation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie.1994, 20-632-A-10.

26. **Meyer B.**  
Voies nerveuses et physiologie de la phonation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie.1984, 20-632-A-10.
27. **Joliveau E, Smith J, Wolfe J.**  
Vocal tract resonances in singing: The soprano voice. J Acoust Soc Am.2004; 116:2434-9.
28. **Berry DA, Herzel HP, Titze IR, Krischer K.**  
Interpretation of biomechanical simulations of normal and chaotic vocal fold oscillations with empirical eigenfunctions. J Acoust Soc Am. 1994; 95:3595-604.
29. **Lacau-St-Guily J, Fardeau M.**  
Muscles intrinsèques du larynx de l'homme. Caractéristiques histoenzymologiques des fibres musculaires. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.1983;100:1-12.
30. **Giovanni A, Lagier N, henrich.**  
Physiologie de la phonation. EMC (Elsevier SAS, Paris),Oto-rhino laryngologie.2013.
31. **Bailly L, Henrich N, Pelorson X.**  
Vocal fold and ventricular fold vibration in period-doubling phonation: Physiological description and aerodynamic modeling. J Acoust Soc Am.2010; 127:3212-22.
32. **Ishii K, Zhai WG, Akita M, Hirose H.**  
Ultrastructure of the lamina propria of the human vocal fold. Acta Otolaryngol.1996;116:778-82.

- 33. Matsuhita H.**  
The vibratory mode of the vocal folds in the excised larynx. *Folia Phoniatr.* 1975; 27:7-18.
- 34. Story BH, Titze IR.**  
Voice simulation with a body-cover model of the vocal folds. *J Acoust Soc Am.* 1995;97:1249-60.
- 35. Titze IR, Scherer RC.**  
Vocal fold physiology: biomechanics. In: acoustics and phonatory control. Denver: The Denver Center for The Performing Art. 1983.
- 36. Kahane JC.**  
Histologic structure and properties of the human vocal folds. *Ear Nose Throat* 1988;67:322-30.
- 37. Bailly L, Pelorson X, Henrich N, Ruty N.**  
Influence of a constriction in the near field of the vocal folds: Physical modeling and experimental validation. *J Acoust Soc Am* 2008; 124:3296-308
- 38. Fant G.**  
Acoustic theory of speech production. La Hague: Mouton. 1960.
- 39. Herzel H, Berry D, Titze I, Saleh M.**  
Analysis of vocal disorders with methods from nonlinear dynamics. *J Speech Hear Res.* 1994;37:1008-19
- 40. Joliveau E, Smith J, Wolfe J.**  
Tuning of vocal tract resonance by sopranos. *Nature.* 2004; 427:116
- 41. Slavit D, Mc Caffrey T.**  
Regulation of phonatory efficiency by vocal fold tension and glottic width in the excised canine larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1991;100:668-77.

42. **Horii Y, Hata K.**  
A note phase relationship between frequency and amplitude modulations in vocal vibrato. *Folia Phoniatr.* 1998; 40:303-11.
43. **Berry DA, Herzel HP, Titze IR, Krischer K.**  
Interpretation of biomechanical simulations of normal and chaotic vocal fold oscillations with empirical eigenfunctions. *J Acoust Soc Am.* 1994; 95:3595-604.
44. **Culbertson WR, Tanner DC.**  
Introductory speech and hearing anatomy and physiology workbook.  
Boston. Allyn and Bacon. 1997.
45. **Bourne T, Garnier M.**  
Physiological and acoustic characteristics of the female music theatre voice. *J Acoust Soc Am.* 2012; 131:1586-94
46. **Seikel JA, King DW, Drumright DG.**  
Anatomy and physiology for speech and language. San Diego: Singular Publishing Group. 1997
47. **Buck JM.**  
Organic variation in the vocal apparatus. In: Hardcastle WJ, Laver J, editors. *The handbook of phonetic sciences.* Cambridge: Blackwell. 1997. p: 256-97.
48. **Fink BR, Demarest RJ.**  
Laryngeal biomechanics. Cambridge: Harvard University Press. 1978.
49. **Giovanni A, Ouaknine M, Garrel R, Ayache S, Robert D.**  
Un modèle non-linéaire de la vibration glottique. Implications cliniques potentielles. *Rev Laryngol Otol Rhinol.* 2002; 123:273-7.

50. **Dejonckere PH.**  
Aspects biomécaniques de la pathogénie des nodules vocaux. Rev Laryngol Otol Rhinol.1994 ; 115 : 267-276
51. **Sarfati J.**  
Dysphonies dysfonctionnelles. Encyd Méd Chir (Elsevier, Paris), Oto-rhino laryngologie, 20-752-A-15.1998, 10 p
52. **Butler JE, Hammond TH, Gray SD.**  
Gender-related differences of hyaluronic acid distribution in the human vocal fold. Laryngoscope .2001,111:907-11.
53. **Solomon NP, Dimattia MS.**  
Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. J Voice.2000; 14: 341-62.
54. **Vintturi J, Alku P, Lauri ER, Sala E, Sihvo M, Vilkmann I.**  
Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. J Voice.2001;15:36-53.
55. **Titze IR.**  
Criteria for occupational risk in vocalization. In: Dejonckere PH, editor. Occupational voice: care and cure. The Hague: Kugler Publications.2001p.1.
56. **le Huche F.**  
Les concepts de projection vocale et de voix de détresse. Cah ORL 1990;25:143-70
57. **MORISSON MD, RAMMAGE LA, BELISLE GM, NICHOL H, PULLAN B.**  
MUSCULAR TENSION DYSPHONIA. J OTOLARYNGOL.1983;12:302-6.
58. **KOUFMAN JA, BLALOCK PD.**  
CLASSIFICATION AND APPROACH TO PATIENTS WITH FUNCTIONAL VOICE DISORDERS. ANN OTOL RHINOL LARYNGOL.1982;91:372-7.

59. **SATALOFF RT, HAWKSHAW MJ, DIVI V, HEMAN-ACKAH YD.**  
PHYSICAL EXAMINATION OF VOICE PROFESSIONALS. OTOLARYNGOL CLIN  
NORTH AM
60. **Titze IR, Liang H.**  
Principles of voice production. Prentice Hall : Englewood Cliffs.  
1994 :1-288
61. **Hans S, Monès E, Behm E, Laccourreye O, Brasnu D.**  
Comment faire une nasofibroskopie laryngée chez l'adulte?. Ann Otolaryngol  
Chir Cervicofac, 2006; 123, 1, 41-45
62. **Crevier Buchman L, Hans S, Behm E, Tissot V, Laccourreye O, Brasnu D.**  
Comment faire et analyser une stroboscopie laryngée ? Ann Otolaryngol Chir  
Cervicofac, 2006; 123, 4, 203-206.
63. **Colden D, Zeitels SM, Hillman RE, Jardore J, Bunting, Spanouk.**  
Stroboscopic assessment of vocal fold keratosis and glottic cancer. Ann Otol  
Rhinol Laryngol 2001;110:293-8.
64. **Schneider B, Wenler J, Seidner W.**  
The relevance of stroboscopy in functional dysphonias. Folia Phoniatr  
Logop. 2002;54:44-54
65. **Schade G, Hess M.**  
Flexible versus rigid laryngoscopy and stroboscopy. Differential findings in  
voice disorders. HNO. 2001;49: 562-8.
66. **Remacle M, Lawson G, Giovanni A, Woisard V.**  
Exploration du larynx. EMC (Elsevier SAS, Paris), Oto rhinolaryngologie.  
2005,20 635-A-10,

- 67. Braunschweig T, Flaschka J, Schelhorn–Neise P, Dollinger M.**  
Hightspeed video analysis of the phonation onset, with an application to the diagnosis of functional dysphonias. *Med Eng Phys.*2008;30:59–66.
- 68. Krausert CR, Olszewski AE, Taylor LN, McMurray JS, Dailey SH, Jiang JJ.**  
Mucosal wave measurement and visualization techniques. *J Voice.* 2011; 25:395–405.
- 69. Patel R, Dailey S, Bless D.**  
Comparison of high–speed digital imaging with stroboscopy for laryngeal imaging of glottal disorders. *Ann Otol Rhinol Laryngol .*2008;117:413–24.
- 70. Schutte HK, Svec JG, Sram F.**  
First results of clinical application of videokymography.*Laryngoscope.* 1998 ;108(8Pt1):1206–10.
- 71. Svec JG, Sram F, Schutte HK.**  
Videokymography in voice disorders: what to look for? *.Ann Otol Rhinol Laryngol .*2007;116:172–80.
- 72. Giovanni A,Saint–victor S.**  
Bilan clinique de la voix. *Encyd Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Otorhino–laryngologie.*2013, pp:4.
- 73. Woisard–Bassols V.**  
Bilan clinique de la voix. *Encyd Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Otorhino–laryngologie.*2000, 20–753–A–10,12 p

- 74. D.M. Hartl.**  
Méthodes actuelles d'évaluation des dysphonies. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac, 2005; 122, 4, 163-172
- 75. Bouwers, Frederik G. Dikkers**  
A Retrospective Study Concerning the Psychosocial Impact of Voice Disorders: Voice Handicap Index Change in Patients With Benign Voice Disorders After Treatment (Measured With the Dutch Version of the VHI). Journal of Voice. 2009; Vol. 23, No. 2, pp. 218-224
- 76. Dejonckere PH, Obbens C, De Moor GM , VVieneke GH.**  
Per-ceptual evaluation of dysphonia:reliability and relevance.Folio Phoniatr.1993; 45:76-83
- 77. Jacobson BH.**  
Objective voice analysis: the clinical voice laboratory. In:Benninger MS, Jacobson BH, Johnson AF eds. Vocal arts medicine: the care and prevention of pro-fessional voice disorders. New York :Thieme medical publishers.1994,135-152
- 78. Rosen CA.**  
Vocal fold scar: evaluation and treatment. Otolaryngol Clin North Am.2000 33:1081-1086.
- 79. Branski RC, Verdolini K, Sandulache V, Rosen CA, Hebda PA.**  
Vocal fold wound healing: a review for clinicians. J Voice.2006, 20:432 442.
- 80. Benjamin B,CroxsonG.**  
Vocal nodules in children.AnnOtol Rhinol Laryngol 1987; 96 : 530-533
- 81. Cornut G, Bouchayer M. Phonosurgery for singers.**  
J Voice 1989 ; 3 : 269-276

- 82. Chalabreysse L, Perouse R, Cornut G, Bouchayer M, Loire R.**  
Anatomy and anatomopathology of benign vocal cord lesions. Rev Laryngol Otol Rhinol(Bord ).1999.120:275–280.
- 83. Dikkers FG, Nikkels PG.**  
Lamina propria of the mucosa of benign lesions of the vocal folds. Laryngoscope.1999.109:1684–1689.
- 84. Gray SD.**  
Basement membrane zone injury in vocal nodules. In: Vocal fold physiology. 1991.pp 21–27
- 85. Jiang JJ, Titze IR.**  
Measurement of vocal fold intraglottal pressure and impact stress. J Voice 1994, 8:132–144.
- 86. Courey MS, Shohet JA, Scott MA, Ossoff RH.**  
Immunohistochemical characterization of benign laryngeal lesions. Ann Otol Rhinol Laryngol.1996, 105:525–531.
- 87. Gunter HE.**  
Modeling mechanical stresses as a factor in the etiology of benign vocal fold lesions. J Biomech.2004, 37:1119–1124.
- 88. Swartz MA et al.**  
Mechanical stress is communicated between different cell types to elicit matrix remodeling.2001, pp 6180–6185.
- 89. Bastian RW.**  
Benign vocal fold mucosal disorders. In: Otolaryngology&Head Neck Surgery (Cummings FHKRS,ed).St Louis, Missouri: Mosby.1998, pp 2096–2129.

90. **Guerrier, Giovanni, Remacle.**  
Pathologies bénignes des cordes vocales: phonopathologie. In: Pathologie de la corde vocale de l'adulte. Société Française d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie de la Face et du Cou.2004, pp 153–177.b
91. **Thibeault SL, Bless DM, Gray SD.**  
Interstitial protein alterations in rabbit vocal fold with scar. J Voice 17.2003,377–383.
92. **Duflo SM,Thibeault SL, Li W, Smith ME, Schade G, Hess MM.**  
Differential gene expression profiling of vocal fold polyps and Reinke's edema by complementary DNA microarray. Ann Otol Rhinol Laryngol.2006,115:703–714.
93. **Guerrier B, Giovanni A, Remacle M.**  
Pathologies bénignes des cordes vocales: pathologie traumatique du plan glottique. In: Pathologie de la corde vocale de l'adulte. Société Française d'Oto-laryngologie et de Chirurgie de la Face et du Cou. 2004, pp 199–220.b
94. **Yonekawa H.**  
A clinical study of Reinke's edema. Auris Nasus larynx.1988,15: 57 –78
95. **Zeitels SM, Hillman RE,Bunting GW, Vaughn T.**  
Reinke's edema: phonatory mechanisms and management strategies. Ann Otol Rhinol Laryngol.1997,106:533–543.
96. **Wallner LJ.**  
Smoker's larynx. Laryngoscope.1954,64:259–270.
97. **Michaels L.**  
The vocal polyp and other exsudative processes of Reinke's space.Springer-Verlag.1984, pp 102– 109,Berlin Heidelberg.

- 98. Cornut G, Bouchayer M.**  
Indications phoniatriques et résultats fonctionnels de la microchirurgie laryngée. Bulletin d'audiophonologie. 1977, pp 5–52.
- 99. Cornut G et al.**  
Indications phoniatriques et résultats fonctionnels de la microchirurgie endolaryngée chez l'enfant et l'adolescent. Bulletin d'Audiophonologie. 1984, 17 473–496.
- 100. Johns MM.**  
Update on the etiology, diagnosis, and treatment of vocal fold nodules, polyps, and cysts. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg. 2003, 11:456–461.
- 101. Monday LA, Cornut G, Bouchayer M, Roch JB.**  
Epidermoid cysts of the vocal cords. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1983, 92:124–127.
- 102. Ford CN.**  
Advances and refinements in phonosurgery. Laryngoscope. 1999, 109:1891–1900.
- 103. Sato K, Hirano M.**  
Electron microscopic investigation of sulcus vocalis. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1998, 107:56–60.
- 104. Garcia Martins RH et al (2007) Sulcus vocalis: probable genetic etiology. Rev Bras Otorrinolaringol 73 (4): 573.**
- 105. Lumpkin SM, Bishop SG, Katz PO.**  
Chronic dysphonia secondary to reflux disease. J Voice. 1989;3:351–5.

**106. Koufman JA.**

Laryngopharyngeal reflux: a new paradigm of airway disease. *Ear Nose Throat*.2002;81:2–6.

**107. Ylitalo R, Lindestad P, Hertegard S.**

Pharyngeal and laryngeal symptoms and signs related to extraesophageal reflux in patients with heartburn in gastroenterology practice: a prospective study. *Clin Otolaryngol*. 2005;30:347–52.

**108. Scheid SC, Anderson TD, Sataloff RT.**

Non operative treatment of laryngeal granuloma. *Ear Nose Throat J* 2003;82:244–5.

**109 .BAER G**

Complications and technical aspects of jet ventilation for endolaryngeal procedures. *Acta anesthesiol scand*. 2000; 44: 1273– 1274

**110. OUAZZANI FZ**

Le laser CO2 en ORL. Thèse en médecine, faculté de médecine de Casablanca, 1993, n° 63

**111. SERRES P, SERRES F, ROMARY PH.**

Bases physiques des lasers utilisés en ORL. Le laser en ORL: rapport de la société française d'ORL et de pathologie cervico-faciale.1993, 5– 33.

**112. Ford CN, Inagi K, Khidr A, Bless D, Gilchrist KV.**

Sulcus vocalis: a rational analytical approach to diagnosis and management. *Ann Otol Rhinol Laryngol*.1996 ; 105 : 189–200.

**113. Frèche CH, Piquet JJ, Traissac L, Romanet P, Guerrier B, Brasnu D et al.**

Le laser en ORL.1993.

**114 .Remacle M, Lawson G, Watelet JB.**

Carbon dioxide laser microsurgery of benign vocal fold lesions: indications, techniques and results in 251 patients. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*1999; 108 : 156–164.

**115. Bouchayer M, Cornut G.**

Microsurgical treatment of benign vocal fold lesions: indications, technique, results.*Folia Phoniatr.*1992,44 : 155–184.

**116. Courey MS,Gardner GM, Stone RE, Ossof RH.**

Endoscopic vocal fold microflap: a three–year experience. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*1995;104 : 267–273.

**117. Kass ES, Hillman RE, Zeitels,SM.**

Vocal foldsubmucosalinfusion technique in phonosurgery. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*1996;105 : 341–347

**118. Hirshman CA, Smith J.**

Indirect ignition of the endotracheal tube during carbon dioxide laser surgery. *Arch Otolaryngol* 1980 ; 106 : 639–641

**119. Sosis M, Dillon F.**

Reflexion ofCO2 laser radiation from laser resistant endotracheal tubes. *Anesth Analg* 1991,pp : 338–340

**120. Duncavage JA, Ossof RH, Rouman WC, Toohill RJ, Almagro**

**UA, Carl GA et al.**

Injuries to the bronchi and lungs caused by laser–ignited endotracheal tube fires. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1984, pp:92 : 639–643

**121. Hirshman CA, Smith J.**

Indirect ignition of the endotracheal tube during carbon dioxide laser surgery. *Arch Otolaryngol* 1980 ; 106 : 639–641.

122. **Wilson JA, Deary IJ, Scott S, MacKenzie K.**  
Functional dysphonia. *Br Med J* 1995;**311**:1039–40.
123. **Dietrich M, Verdolini Abbott K, Gartner-Schmidt J, Rosen CA.**  
The frequency of perceived stress, anxiety, and depression in patients with common pathologies affecting voice. *J Voice* 2008;**22**:472–88.
124. **McHugh–Munier C, Scherer KR, Lehmann W, Scherer U.**  
Coping strategies, personality, and voice quality in patients with vocal fold nodules and polyps. *J Voice* 1997;**11**:452–61.
125. **Freidl W, Friedrich G, Egger J.**  
Personality and coping with stress in patients suffering from functional dysphonia. *Folia Phoniatr* 1990;**42**:144–9 [German].
126. **Berne E.**  
Analyse transactionnelle et psychothérapie. Paris: Payot; 2001, 374p.
127. **Bandler R, Grinder J.**  
Les secrets de la communication. Versoix: Reuille; 1981.
128. **Cayrol A, de Saint Paul J.**  
Derrière la magie : la Programmation Neuro– Linguistique. Paris: InterEditions; 2005, 230p.
129. **James M, Jongeward D.**  
Naître gagnant : L'analyse transactionnelle dans la vie quotidienne. Paris: InterEditions; 2006, 320p.
130. **Cloninger CR, Svrakic DM, Przybeck TR.**  
A psychobiological model of temperament and character. *Arch Gen Psychiatry* 1993;**50**:975–90.

**131. Pelissolo A, Lepine JP.**

Normative data and factor structure of the Temperament and Character Inventory (TCI) in the French version. *Psychiatry Res* 2000;**94**:67–76.

**132. Hakkesteegt MM, Wieringa MH, Gerritsma EJ, Feenstra L.**

Reproducibility of the Dutch version of the voice handicap index. *Folia Phoniatr Logop.*2006;**58**:132–138.

**133. Roy N, Merrill RM, Thibeault S, Gray SD, Smith EM.**

Voice disorders in teachers and the general population: effects on work performance, attendance, and future career choices. *J Speech Lang Hear Res.* 2004;**47**:542–551.

**134. Verdolini K, Ramig LO.**

Review: occupational risks for voice problems. *Logoped Phoniatr Vocol.* 2001;**26**:37–46.

**135. Roy N, Merrill RM, Gray SD, Smith EM.**

Voice disorders in the general population: prevalence, risk factors, and occupational impact. *Laryngoscope.* 2005;**115**:1988–1995.

**136. Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier–Buchman L, Friedrich G, Van De HP, 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. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS).2001;**258**:77–82.

**137. Krischke S, Weigelt S, Ulrich H, Volker K, Klotz M, Eysholdt U, Rosanowski F.**

Quality of Life in Dysphonic Patients. *Journal of Voice.*2005;pp. 132–137.

**138. Bouwers, Frederik G. Dijkers.**

A Retrospective Study Concerning the Psychosocial Impact of Voice Disorders: Voice Handicap Index Change in Patients With Benign Voice Disorders After Treatment (Measured With the Dutch Version of the VHI). *Journal of Voice*. 2009;pp. 218–224.

**139. Brähler E, Schumacher J, Brahler C.**

Erste gesamtdeutsche Normierung der Kurzform des Gießener Beschwerdeboogens GBB–24. *Psychother Psychosom Med Psychol*. 2000;50:14–21.

**140. Wilson JA, Deary IJ, Millar A, Mackenzie K.**

The quality of life impact of dysphonia. *Clin Otolaryngol*. 2002; 27: 179–182.

**141. Guimaraes I, Abberton E.**

An investigation of the voice handicap index with speakers of Portuguese: preliminary data. *J Voice*. 2004;18:71–82

**142. Rosen CA, Lee AS, Osborne J, Zullo T, Murry T.**

Development and validation of the voice handicap index–10. *Laryngoscope*. 2004;114:1549–1556.

**143. Sylvia Krischke, Susan Weigelt, Ulrich Hoppe, Volker Kollner, Michael Klotz,**

Ulrich Eysholdt, Frank Rosanowski. Quality of Life in Dysphonic Patients  
*Journal of Voice*, 2005 Vol. 19, No. 1, pp. 132–137.

**144. Barreto Bassi et al.**

Quality of Life, Self-Perceived Dysphonia, and Diagnosed Dysphonia Through Clinical Tests in Teachers. *Journal of Voice*. 2011, Vol. 25, No. 2.

**145. Benninger SM.**

Microdissection or microspot CO2 laser for limited vocal fold benign lesions: a prospective randomized trial. *Laryngoscope*. 2000, 110:1–17

**146. Remacle M, Lawson G, Watelet JB .**

Carbon dioxide laser microsurgery of benign vocal fold lesions: indications, techniques, and results in 251 patients. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*1999, 108:156–164 110

**147. Lin C, Er B, Yan H, Ke H.**

Vocal function of benign vocal fold lesions and outcomes assessment after CO2 phonomicrosurgery. 2004,Sep;18(9):526–9.

**148. Marcel Geyer. Gian Peppino.**

Carbon dioxide laser–assisted phonosurgery for benign glottis lesions.2009, 8 July Springer–Verlag.

**149. Roberto Puxeddu.**

Fonochirurgia laringea con ausilio di laser CO2.Sezione di Otorinolaringoiatria.2000.

**150. George Thomas.**

Outcome analysis of benign vocal cord lesions by videostroboscopy, acoustic analysis and voice handicap index. *Indian J Otolaryngology.*2007.

**151. R. Speyer.**

Effects of Voice Therapy: A Systematic Review *Journal of Voice*, 2008 Vol. 22, No. 5, pp. 565–580

**152. Rattenbury, Paul N,Carding, Paul Finn.**

Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Voice Therapy using Transnasal Flexible Laryngoscopy: A Randomized Controlled Trial *Journal of Voice*, Vol. 18, No. 4, pp. 522–533.

**153. Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier–Buchman L, Friedrich G, Van De HP, 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. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS). *Eur Arch Otorhinolaryngol.*2001, 258:77–82.

**154. Baken R.**

Clinical measurement of speech and voice.1987,Boston: College–Hill Press.

**155. Lieberman P.**

Some acoustic measures of the fundamental periodicity of normal and pathological larynges. *J Acoust Soc Am.*1963,35:344–353.

**156. Uloza V**

Effects on voice by endolaryngeal microsurgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol.*1999, 256:312–315.

**157. Hsiung MW, Lin YS, Su WF, Lee JC.**

Wang HW Fat augmentation following microsurgical removal of the vocal nodules: long–term results. *ORL J Otorhinolaryngol Relat.*2003, Spec 65:169–175.

**158. Zeitels SM, Hillman RE, Desloge R, Mauri M, Doyle PB.**

Phon microsurgery in singers and performing artists: treatment outcomes, management theories, and future directions. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*2002;190:21–40.

**159. Zeitels SM, Hillman RE, Bunting GW, Vaughn T**

Reinke's edema: phonatory mechanisms and management strategies. *Ann Otol Rhinol Laryngol.*1997,106:533–543.

**160. Hirano M.**

Examination of phonatory ability. In: Clinical examination of voice (Arnold WW, ed).1981,pp 85–98.Wien, New York: Springer–Verlag.

**161. Shigemori Y.**

Some tests related to the air usage during phonation.1977,pp 138–166.

**162. Woo P, Casper J, Colton R, Brewer D.**

Aerodynamic and stroboscopic findings before and after microlaryngeal phonosurgery. J Voice.1994,8:186–194.