

Table des matières

Dédicace.....	1
Remerciement.....	3
Sommaire.....	4
Introduction générale.....	8

Chapitre1 : Anatomie, physiopathologie de l'appareil phonatoire et état de l'art sur les méthodes d'exploration

Introduction	11
I. Aperçu Anatomique du système phonatoire	11
1. La soufflerie vocale	12
2. L'appareil vibrateur	13
2.1. Le larynx.....	13
2.2. Les cordes vocales	17
3. L'appareil résonateur.....	18
II. Physiologie de la phonation.....	21
1. Définition de la physiologie de la phonation	21
2. La physiologie des organes du système phonatoire.....	21
2.1 La cavité pulmonaire	21
2.2 La cavité laryngée.....	21
2.3 La cavité supra-laryngée	22
3. Le mécanisme de production de la parole.....	25
4. Caractéristiques de la production de la parole.....	26
5. Caractéristiques phonétiques	26
5.1. Définition du phonème.....	26
5.2. Classification des phonèmes de la langue française	27
6. Description acoustique des sons de la parole	28
6.1. Les voyelles.....	28
6.2. Les consonnes	29
6.3. Les semi voyelles.....	30
7. Les sons voisés et non-voisés.....	31

III. Les dysphonies	32
1. La définition de la dysphonie.....	32
2. Les causes des dysphonies	32
2.1 Les laryngites chroniques.....	33
2.2 Cancer du larynx	33
2.3 Nodules.....	34
2.4 Polypes	34
IV. Etat de l'art sur les méthodes d'exploration laryngée.....	36
Les moyens d'exploration larngée	36
1.1. La laryngoscopie indirecte	36
1.2. Naso-fibroscopie	37
1.3. La laryngoscopie directe	37
1.4. Stroboscopie	37
1.5. La glottographie	38
1.6. L'électromyographie laryngée	39
1.7. Les examens radiologiques	40
2. L'évaluation perceptuelle de la voix.....	41
3. Analyse objective de la voix.....	42
3.1 L'analyse acoustique.....	42
3.2 L'analyse aérodynamique	42
Conclusion	44

Chapitre 2 : Traitement numérique du signal vocal acoustique

Introduction	46
I. Classification des Signaux.....	46
II. L'analyse temporelle du signal vocal acoustique	47
1. Etude morphologique du signal acoustique.....	47
2. Analyse corrélative	47
2.1 Définition de l'auto corrélation	47
2.2 La fonction d'auto corrélation.....	47
2.3 Les propriétés mathématiques de la fonction d'auto corrélation	48
2.4 La fonction d'auto corrélation temporelle.....	48
3. Le coefficient d'atténuation.....	48

3.1	Définition	48
3.2	Le calcul du coefficient d'atténuation	48
III.	Analyse spectrale du signal vocal acoustique	49
1.	L'intensité sonore.....	49
2.	La durée	49
3.	Le timbre	49
4.	La fréquence fondamentale.....	50
5.	Le jitter	50
6.	Le shimmer	51
IV.	Présentation de l'organigramme de notre application.....	52
	Conclusion.....	53

Chapitre 3 : Techniques et méthodes d'acquisition et du traitement du signal vocal acoustique

	Introduction	55
I.	Un microphone	55
II.	La carte son	55
III.	Audacity.....	55
IV.	Watex	58
V.	Le format wave.....	59
VI.	Logiciel Visual Basic.6.....	59
	Conclusion.....	62

Chapitre 4 : Interprétation et discussion des résultats

	Introduction.....	64
I.	Présentation de l'interface de traitement numérique du signal vocal acoustique..	64
II.	Analyse clinique de quelque exemple de sujet sain et malade	65
1.	Sujet sain.....	66
2.	Sujets malades (masculin) atteint d'un cancer du larynx.....	68
3.	Sujet malade (masculin) atteint d'un polype inflammatoire	70
4.	Sujet malade (masculin) atteint d'une laryngite chronique.....	72
III.	Calcul du coefficient d'atténuation	73
IV.	Interprétation des résultats obtenus par le coefficient d'atténuation	75

Conclusion.....	76
Conclusion générale	77
Bibliographie et Neto-graphie	78
Liste des Figures	81
Liste des tableaux	83
Résumé	

Introduction générale

Le signal vocal acoustique est un signal très complexe qui est caractérisé par sa très grande variabilité et donc par sa grande richesse en information, ceci est du aux changements dans le temps du signal de source, de la forme et des dimensions du conduit vocal. C'est ce qui lui donne le caractère aléatoire, cette propriété est très importante car elle nous montre le type de signal que l'on va traiter dans ce présent travail. [1]

Ce traitement du signal vocal va nous permettre de faire l'évaluation de la qualité de la voix et la perception des causes de sa dégradation à travers différents indices vocaux car cette étude a toujours été la préoccupation clinique principale des phoniâtres.

Comme dans les autres disciplines médicales, ils ont été attentifs à toutes les techniques qui seraient susceptibles de leur donner des informations complémentaires, pour aider au diagnostic et évaluer les effets des traitements chirurgicaux et médicamenteux ou les progrès des rééducations. Cependant, la voix et la parole étant par essence faites pour être entendue, l'évaluation subjective « à l'écoute » par « l'oreille clinique » de l'expert, reste la référence face à des méthodes d'évaluation objective.

Dans le cadre de ce travail de projet fin d'études en Génie Biomédical notre problématique est l'évaluation objective et le suivi des dysphonies chroniques d'origine laryngée en utilisant l'analyse temporelle du signal vocal acoustique. Ce plateau technique mettra à la disposition du clinicien ORL des indices complémentaires comme la morphologie du signal vocal acoustique ainsi que sa fonction d'Auto-Corrélation et le coefficient d'atténuation qui caractérise cette dernière. Ces trois paramètres permettent une évaluation objective des dysphonies chroniques laryngées d'origine inflammatoire ou tumorale (cancer du larynx, polype de type inflammatoire des cordes vocales, laryngite chronique).

La plateforme que nous avons réalisée est constituée d'une interface graphique implémentant plusieurs algorithmes de traitement du signal vocal acoustique. Pour ce faire, nous procédons dans un premier temps à l'enregistrement d'un signal vocal acoustique voisé en l'occurrence un « a » soutenu pendant trois secondes. Nous appliquons ensuite au niveau du service ORL du CHU de Tlemcen différents algorithmes d'évaluation objective des différents paramètres caractérisant les signaux voisés enregistrés.

Nous organisons notre travail de recherche en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la description anatomique et physiopathologique du système phonatoire, nous aborderons aussi la description de quelques dysphonies d'origine laryngée. Nous avons consacré la dernière partie de ce chapitre à l'étude de l'état de l'art des méthodes d'exploration laryngée.

Nous avons consacré le deuxième chapitre à la caractérisation du signal vocal acoustique en présentant les différents paramètres spectro-temporels qui sont utilisés dans l'évaluation objective des dysphonies chroniques d'origine laryngée. Nous avons aussi présenté dans ce chapitre l'algorithme que nous avons utilisé pour faire l'acquisition et le traitement du signal vocal acoustique.

Dans le troisième chapitre intitulé « Dispositifs d'acquisition du signal vocal » nous mettons en œuvre la plate forme d'acquisition du signal vocal par le biais de la carte son sur le plan hardware et l'environnement AUDACIT, WATEX et VISUEL BASIC sur le plan software.

Le quatrième chapitre est réservé à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus par :

- ✓ L'étude de la morphologie du signal vocal acoustique
- ✓ le calcul de sa fonction d'auto corrélation
- ✓ Le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto corrélation

Nous achevons ce mémoire par une conclusion générale ouvrant les perspectives de sa poursuite.

Chapitre 1 :
Anatomie, physiopathologie
de l'appareil phonatoire et
état de l'art sur les
méthodes d'exploration

Introduction

De puis des décennies, plusieurs axes de recherches se sont développés pour extraire les différentes informations portées par le signal vocal acoustique. Ces informations sont d'une aide précieuse pour faire le traitement objectif du signal vocal acoustique.

Dans ce chapitre nous allons aborder quelques connaissances de base sur l'anatomie et la physiopathologie du système phonatoire pour comprendre les différents gestes et mécanismes de la phonation, ce qui va nous permettre de comprendre le traitement évaluatif objectif des dysphonies vocales d'origine laryngé dans les différents chapitres que nous allons développer tout au long de ce mémoire.

La dernière partie de ce chapitre est réservée à la présentation des méthodes d'exploration du territoire laryngé.

I. Aperçu Anatomique du système phonatoire

L'appareil phonatoire est l'ensemble des organes qui permettent de produire les sons constituant la voix. Chez l'Homme, cet appareil est partie intégrante du système respiratoire et ses organes sont situés entre le thorax, le cou et la tête. [2]

Comme illustré sur la **Figure 1**, il comprend une soufflerie (poumons et trachée), une source vibratoire (cordes vocales dans le larynx) et une série de résonateurs (le conduit vocal, constitué de l'ensemble des cavités comprises entre les cordes vocales, les lèvres et les narines) qui permet à l'être humain d'émettre un son vocal, parlé ou chanté.[3]



Figure 1 : Schéma de l'appareil vocal

1. La soufflerie vocale :

1.1. Thorax

Le thorax correspond à la partie supérieure du torse, entre la base du cou et la partie haute de l'abdomen.

Le thorax, qu'on appelle aussi couramment poitrine, contient des organes essentiels à la respiration, la digestion et la circulation : poumons, œsophage, cœur et diaphragme. La cage thoracique est formée des vertèbres dorsales et des côtes qui viennent protéger cet ensemble d'organes.

1.2. Muscle intercostaux

L'un des muscles situés entre les côtes qui entourent les poumons.

1.3. Diaphragme

Le diaphragme est le muscle respirateur principal. Il sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale. C'est un muscle digastrique, constitué d'une partie tendineuse centrale et d'une partie musculaire périphérique.

1.4. Poumons

Les deux poumons sont les organes de la respiration et se situent de chaque côté du médiastin au niveau des cavités pleurales droite et gauche. L'air entre dans les poumons et en sort par les bronches, qui sont des divisions de la trachée.

1.5. Bronche

La trachée se divise, à l'angle sternal, en bronche souche droite, qui se rend vers le poumon droit, et en bronche souche gauche, qui se dirige vers le poumon gauche. La bronche souche droite est plus verticale, plus courte et plus large que la gauche.

1.6. Trachée

La trachée est le conduit aérien **cervico-thoracique**. Elle est constituée des 16 à 20 **anneaux cartilagineux** en fer à cheval fermé en arrière par une paroi postérieure membraneuse qui comprend également le **muscle trachéal**. Cette structure annulaire existe jusqu'au niveau des bronchioles. [4]

2. L'appareil vibrateur

2.1. Larynx [5]

Le larynx est un organe musculo-cartilagineux expliquant sa grande mobilité.

Il constitue l'extrémité supérieure de la trachée artère, située à la hauteur de la sixième vertèbre cervicale (chez l'adulte). C'est un assemblage de cartilages articulés, reliés entre eux par des ligaments et des muscles (dont les cordes vocales), l'ensemble étant tapissé d'une muqueuse.

2.1.1. Les cartilages de larynx [6]

a. Cartilage épiglottique

Il est en forme de feuille. Sa face antérieure est la face linguale et sa face postérieure est la face laryngienne.

Il ferme le larynx au moment de la déglutition pour que les aliments se dirigent vers l'œsophage ; s'il ne se ferme pas bien c'est la fausse route.

b. Cartilage thyroïde

Ce cartilage est composé de deux lames (gauche et droit) ainsi que de deux cornes par lame, une supérieure (grande) et une inférieure (petite). Entre les deux lames, il y a une incisure médiane qui est visible chez l'homme car inclinée et formant une saillie : la pomme d'Adam ou incisure thyroïdienne.

c. Cartilages aryténoïdes

Ils sont posés sur la lame du cartilage cricoïde. Sur sa face médiale va émerger le processus musculaire en avant, qui donne insertion à tout ce qui sert à la phonation (cordes vocales). En arrière et latéral émerge le processus vocal.

À la face externe est creusée la fossette oblongue (plus externe que le processus vocal) où s'insère le 2^{ème} ligament du larynx.

L'articulation crico-aryténoïdienne a une grande importance fonctionnelle.

d. Cartilage cricoïde

Ce cartilage a l'image d'une bague à l'envers, l'arc représentant l'anneau alors que la lame est en arrière. Ce cartilage délimite le diamètre du larynx.

L'assemblage brut de ces cartilages est impossible, on retrouve donc des structures fibreuses doublées de muscles (qu'ils soient propres au larynx, ou qu'ils soient partagés avec l'os hyoïde ou le pharynx) pour les maintenir en place et les articuler.

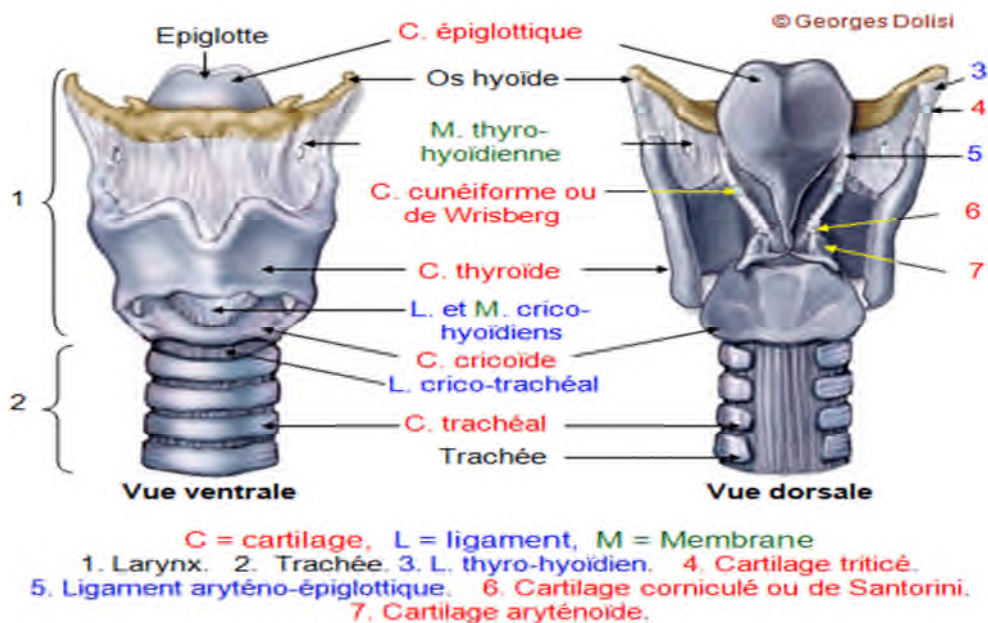


Figure 2 : Schéma des cartilages et les ligaments de larynx

2.1.2. Les muscles du larynx [5]

Les muscles du larynx sont habituellement classés en muscles intrinsèques, qui appartiennent totalement au larynx, et muscles extrinsèque dont l'un des points d'insertion est extérieur au larynx.

1. Muscles intrinsèques

Les muscles intrinsèques relient les cartilages entre eux et assurent leur mobilité; leur nom indique leurs points d'attache.

Les crico-aryténoïdiens postérieurs.

Les crico-aryténoïdiens latéraux.

L'inter-aryténoïdien (ou ary-aryténoïdien)

Les crico-thyroïdiens .

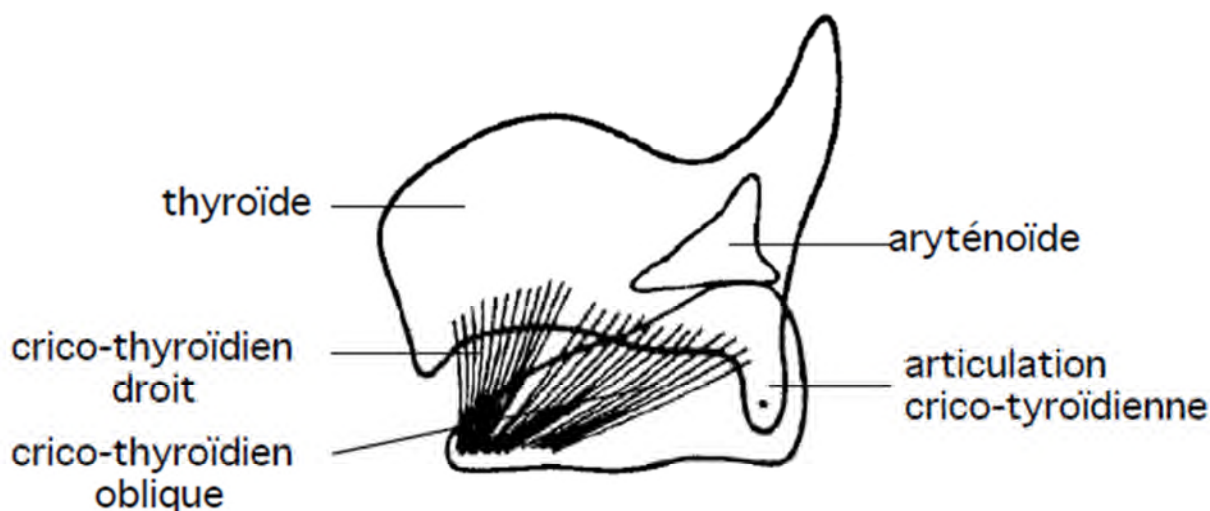


Figure 3 : Les crico-thyroïdiens

Les thyro-aryténoïdiens se divisent également en deux faisceaux : un faisceau ary-vocal, qui part de l'apophyse antéro-externe de l'aryténoïde pour se projeter le long du ligament vocal, et un faisceau thyro-vocal, venant de la commissure interne du thyroïde pour rejoindre le même ligament, en croisant le faisceau thyro-vocal. Cet ensemble, fibres musculaires, ligament (et muqueuse), est désigné sous le nom de corde vocale (**Figure4**).

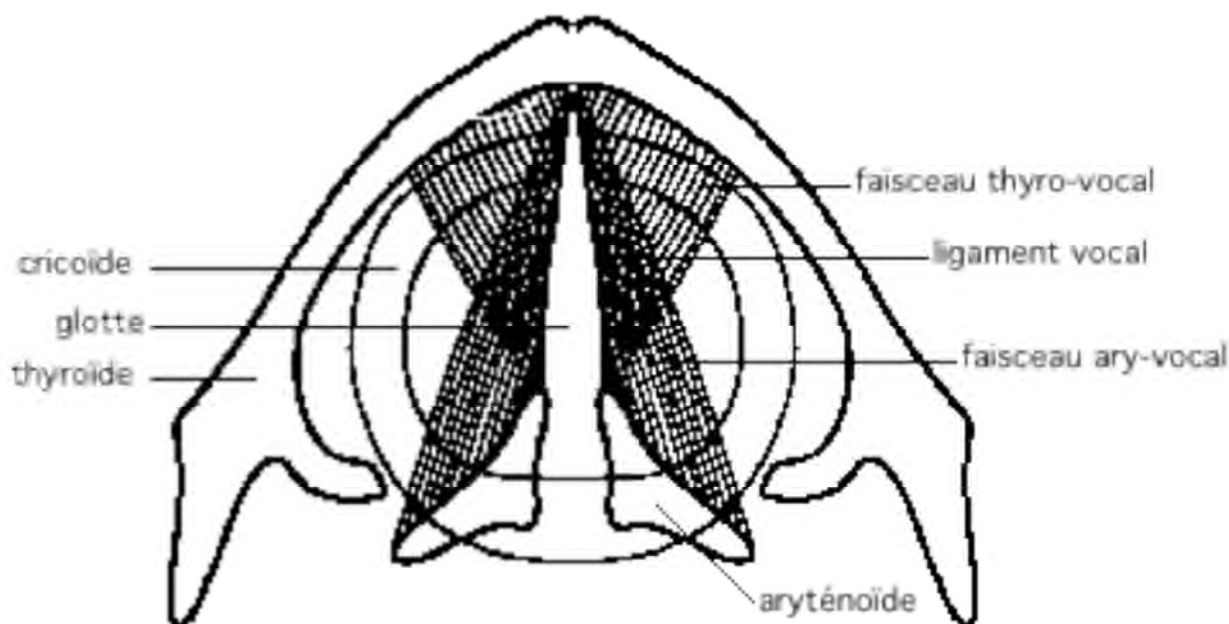


Figure 4 : Structure des cordes vocales

2. Muscles extrinsèque

De nombreux muscles interviennent pour mouvoir la taille ou la forme des multiples organes de la tête et du cou susceptibles de jouer un rôle plus ou moins direct en rapport avec la phonation. Citons seulement les principaux muscles, ceux dont l'action est primordiale dans les mécanismes du chant.

Les muscles sou-hyoïdiens, relient le larynx a la partie supérieure du thorax : ce sont principalement :

- le sterno-thyroïdien et le thyro-hyoïdien, dont la fonction est d'abaisser le larynx.
- Les muscles sus-hyoïdiens, rattachent le larynx a la base du crane et au maxillaire inférieur le plus important est le stylo-pharyngien, dont l'action est l'élévation du larynx (fonction opposée a celle du précédent).

Les pharyngo-staphylins, reliés à la paroi du pharynx et à la luette, abaissent le voile du palais, au contraire des périssaphylins internes qui le relèvent.

2.2. Les cordes vocales [6]

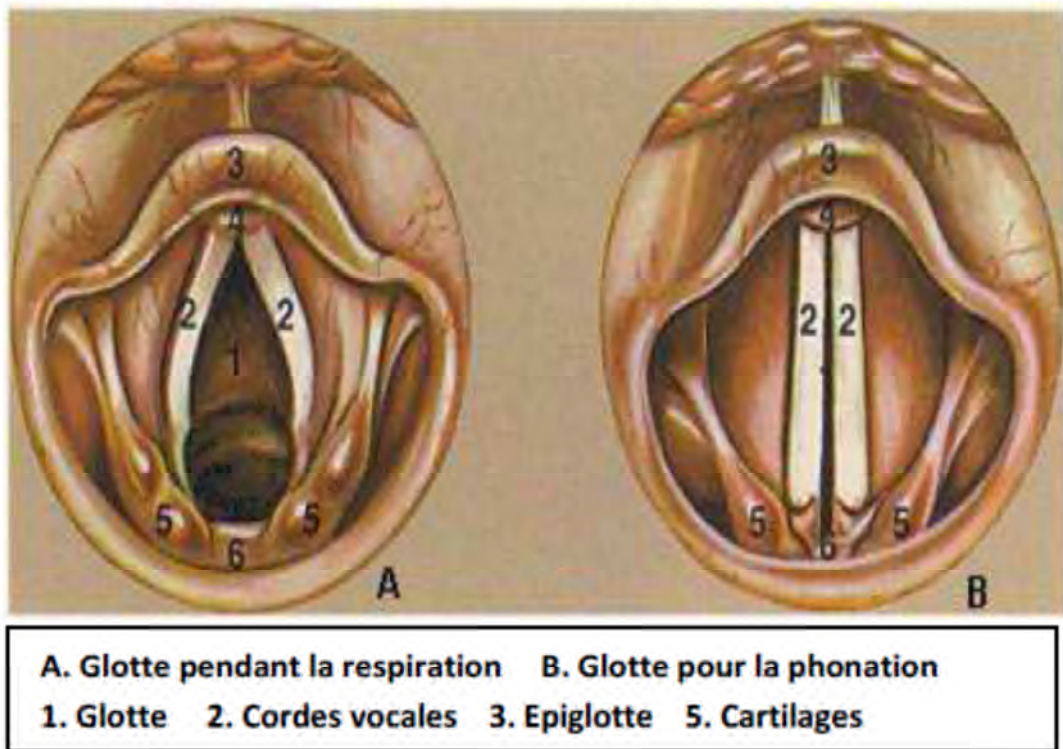


Figure 5 : Schéma des cordes vocales

Les cordes vocales sont formées par des ligaments vocaux, longés par des muscles sur lesquels on peut agir ; le tout est recouvert d'une muqueuse qui constitue la partie vibrante qui produit le son. Elles forment un clapet qui peut être ouvert ou fermé. elles sont tendues de l'angle rentrant du cartilage thyroïde à l'apophyse vocale des cartilages aryténoïdes. La glotte est l'espace plus ou moins grand entre les deux cordes vocales.



écartées - respiration



accolées - apnée



rapprochées - phonation

Les cordes vocales ont trois positions fondamentales :

- Soit, elles sont écartées : la glotte est ouverte et l'air circule librement. C'est la respiration. Lors d'une inspiration profonde, l'écartement est maximal, lors de la respiration normale, l'écartement est moyen.
- Soit, elles sont accolées : la glotte est alors fermée et l'air ne passe pas. C'est l'apnée.
- Soit, les cordes sont rapprochées : la glotte est variable. C'est la phonation ou le voisement.

3. L'appareil résonateur :

Le niveau supra glottique ou conduit vocal (les cavités résonateurs), formé des cavités orales (pharyngienne et buccale), à géométrie variable, en fonction des éléments articulatoires (langue, mâchoire inférieure, lèvres) et des cavités nasales, à géométrie fixe, pouvant être couplées aux cavités orales par abaissement du voile du palais.

3.1. Les cavités résonantes [6]

La majorité des sons du langage sont le fait du passage d'une colonne d'air venant des poumons, qui traverse un ou plusieurs résonateurs de l'appareil phonatoire.

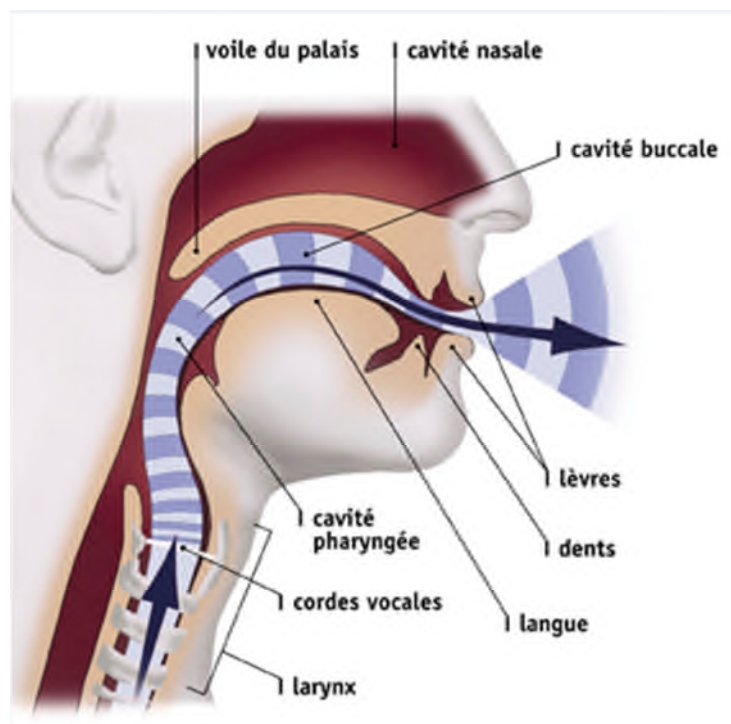


Figure 6 : Les cavités résonantes

3.1.1. Le pharynx

Le pharynx (ou cavité pharyngale) est un conduit musculo-membraneux situé entre la bouche et l'œsophage d'une part et entre les fosses nasales et le larynx d'autre part. La paroi du pharynx est constituée de muscles constricteurs. Effet d'une constriction : modification du diamètre du pharynx. La racine de la langue peut également reculer ou avancer et donc agir sur le volume de cette première cavité supra glottique.

3.1.2. La cavité buccale

La bouche (ou cavité buccale) est séparée des fosses nasales par une cloison appelée le palais. Dans cette cavité se situent des articulateurs, certains fixes, d'autres mobiles.

3.1.3. La cavité labiale

La cavité labiale est une cavité que l'on crée lorsqu'on projette en avant les lèvres.

3.1.4. Les fosses nasales

Les fosses nasales (ou cavités nasales) sont deux cavités séparées par une cloison verticale médiane et sont recouvertes de muqueuses. Une résonance nasale est très caractéristique (nasillement). L'air passe par le nez lorsque le voile du palais (prolongement musculaire du palais osseux) est rabaisé : passage oro-nasal ouvert.

3.1.5. Le Voile du palais

Le voile du palais est une cloison musculo-membraneuse mobile qui prolonge en arrière et en bas la voûte palatine.

Sa face antero-inférieure est concave (buccale), sa face postéro-supérieure est en continuité avec le plancher des fosses nasales.

Son bord postérieur présente un prolongement conique médian : la luette. De chaque côté de la luette, le bord postérieur présente 2 replis curvilignes : les piliers antérieur et postérieur du voile du palais. Entre les piliers se loge l'amygdale palatine.

Le voile du palais est constitué par une aponévrose (lame fibreuse) sur laquelle s'insèrent des muscles (5 paires), le tout recouvert d'une muqueuse.

Le voile du palais est une «porte» qui autorise ou pas le passage de l'air vers les cavités nasales.

Élevé et plaqué contre la paroi pharyngée postérieure, le voile oblige le son laryngé à transiter par la cavité buccale. En fonction de sa position plus ou moins élevée, le voile influence la taille du résonateur pharyngé et du résonateur buccal abaissé, le voile autorise le son laryngé à pénétrer dans les fosses nasales, permettant ainsi la nasalisation des sons.

Cliccours.com

II. Physiologie de la phonation

1. Définition de la physiologie de phonation

La physiologie de la phonation correspond à l'ensemble des mécanismes qui permettent l'apparition d'une vibration sur le bord libre des cordes vocales. Il s'agit du mécanisme sonore initial qui est ensuite soumis au filtrage du pharynx et de la cavité buccale pour être transformé en voyelles et en consonnes voisées. [1']

2. La physiologie des organes du système phonatoire

Les différents organes entrant en jeu dans la parole sont regroupés en 3 cavités jouant chacun un rôle spécifique dans la caractérisation des sons de la parole et dans les paramètres acoustiques (hauteur, amplitude, durée) [7]

L'appareil respiratoire fonctionne comme un soufflet en fournissant l'énergie de départ sous forme d'un souffle d'air. Les cordes vocales agissent comme un générateur de sons; pour la production des consonnes et les voyelles. La langue, les lèvres et les dents interviennent aussi et transforment ce souffle d'air en énergie sonore. Enfin, la cavité bucco-pharyngale, constituée du pharynx et de la bouche, a comme fonction d'amplifier cette énergie sonore (**Figures 1**). [7]

2.1. La cavité pulmonaire :

La soufflerie pulmonaire est considérée comme le moteur de la vibration des cordes vocales.

Elle fournit le flux d'air qui produit une pression appelée « pression sous-glottique » qui génère une énergie aérodynamique. Le système nerveux central y intervient afin de contrôler l'action des poumons et des muscles antagonistes expiratoires et inspiratoires nécessaires pour la phonation (**figure 09**). [9]

2.2. La cavité laryngée :

Situer sur le trajet des voies respiratoires et constituant un véritable carrefour entre les voies aériennes supérieures et les voies digestives le larynx est l'organe indispensable à la formation de la voix, pouvant s'articuler grâce à un ensemble de ligaments et de muscles.

- Le cartilage cricoïde : c'est le seul des cartilages laryngé qui est totalement fermé, il donne la taille des voies respiratoires et il est unit à la trachée.

- Cartilages aryténoïdes : ils sont des cartilages mobiles qui assurent l'essentiel de la fonction laryngée se sont leurs mouvements sur le cricoïde qui permettent la phonation.
- Cartilage thyroïde : il a une forme de livre ouvert posé verticalement dans la saillie cervicale sous le manteau dessine la pomme d'Adam.
- L'os hyoïde : est situé horizontalement toute en haut du cou sur cette os s'insert le larynx la base de la langue et certains muscles du voile du palais.
- Le cartilage épiglottique : quant à lui assure la fermeture du larynx lors de la déglutition il n'a pas de rôle directe dans la phonation, l'épiglotte est une hyoïde thyroïde.
- Les cordes vocales : À l'intérieur du larynx on trouve les deux cordes vocales, l'espace entre les deux cordes vocales s'appelle la glotte, les cordes vocales vibrent et s'écartent plus ou moins en fonction du son qu'on veut émettre ce sont les articulations entre les cartilages qui vont permettre que les cordes vocales se rapprochent ou s'éloignent on relève l'existence de deux articulation fondamentales du larynx d'une part l'articulation entre le cricoïde et les aryténoïde encore appelé articulation crico-aryténoïdienne, elle permet le rapprochement ou l'éloignement des cordes vocales. La seconde articulation fondamentale du larynx est celle entre le cricoïde et le thyroïde d'où son nom d'articulation crico-thyroïdienne, on observe un mouvement de bascule assuré par les muscles de crico-thyroïdien plus communément appelé tenseur des cordes vocales, ce mouvement de bascule allonge les cordes vocales et met en tension le ligament vocal cette articulation participe à l'émission des sons aigus.

2.3. La cavité supra-glottique ou supra-laryngée (résonateur) :

Elle est formée par des cavités résonantes supra-laryngées (pharynx, bouche, nez) où s'effectue l'articulation proprement dite par les changements de forme du tractus vocal. Ces changements résultent surtout des mouvements des lèvres, de la langue, du voile du palais (dont l'abaissement fait intervenir une cavité supplémentaire, les fosses nasales) et de la mâchoire inférieure. [7]

2.3.1. Le pharynx

Le pharynx (ou cavité pharyngale):sa constriction permet la modification de son diamètre et du diamètre du larynx. La racine de la langue peut également reculer ou avancer et donc agir sur le volume de cette première cavité supra- glottique. [7]

2.3.2. Les fosses nasales

Les fosses nasales sont deux cavités séparées l'une de l'autre constituant une partie des voies aériennes supérieures.

Les sinus sont des cavités supplémentaires des fosses nasales. On dit classiquement que ces cavités accomplissent une fonction de résonateurs pour amplifier le son émis dans la voix projetée et le chant. [7]

2.4.3. La bouche (cavité buccale)

La bouche est le résonateur et articulateur principal. Plusieurs organes la composent : la langue, la mandibule, les dents, les lèvres, les joues, le voile du palais. Ces organes interviennent dans la production des bruits et des sons dont ceux du langage. Le maxillaire inférieur (ou mandibule) intervient de façon importante dans l'articulation de la parole et le réglage du volume des cavités buccale et pharyngée au cours de la phonation. Le voile du palais est une cloison musculo-membraneuse mobile qui prolonge en arrière et en bas la voûte palatine. [8]

3.4.4. La langue

La langue est une structure frontière, appartenant à la fois à la cavité buccale pour sa partie dite mobile et au glosso-pharynx pour sa partie dite fixe.

La langue mobile a la forme d'une pyramide à faces arrondies, constituée d'une charpente musculaire, pouvant se rétracter ou s'étendre dans toutes les dimensions jusqu'à sa pointe et se tourner dans toutes les directions. [9]

Elle a de l'importance pour la phonation, sa posture plus au moins avancé ayant un effet direct sur le calibre lumineux du résonateur pharyngé. [2]

3.4.5. Les lèvres (cavité labiale) [9]

Elles possèdent une grande mobilité en raison des nombreux muscles impliqués dans leur contrôle. Les points de jonction des lèvres supérieure et inférieure s'appellent les commissures et jouent un grand rôle dans la diplomatie. Au point de vue acoustique, c'est l'espace inter-labial qui est important. On peut observer différents mouvements importants pour la phonation dont :

- l'occlusion (les lèvres sont fermées)
- la progression (les lèvres sont avancées vers l'avant)
- l'élévation et l'abaissement de la lèvre inférieure
- l'étirement, l'abaissement ou l'élévation des commissures

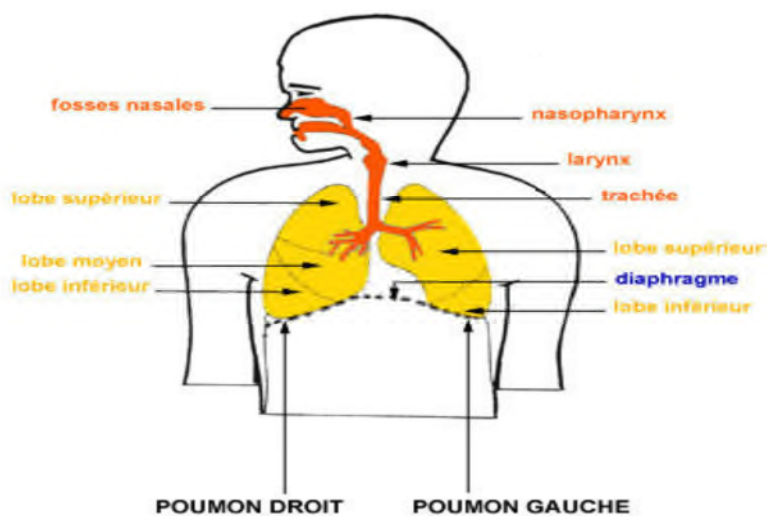


Figure 7 : Schéma de l'appareil phonatoire. L'air chasse par les poumons arrive par la trachée, traverse le larynx (partie entourée d'un cercle), puis le pharynx, et sort par la bouche ou par le nez si l'uvule (ou voile du palais) est abaissée.

3. le mécanisme de production de la parole

La parole apparaît physiquement comme une variation de la pression de l'air causée et émise par le système articulatoire. L'air des poumons est comprimé par l'action du diaphragme. Cet air sous pression arrive ensuite au niveau des cordes vocales. Si les cordes sont écartées, l'air passe librement et permet la production de bruit. Si elles sont fermées, la pression peut les mettre en vibration et l'on obtient un son quasi périodique.

L'air mis ou non en vibration poursuit son chemin à travers le conduit vocal et se propage ensuite dans l'atmosphère. La forme de ce conduit est déterminée par la position des articulateurs tels que la langue, la mâchoire, les lèvres ou le voile du palais, détermine le timbre des différents sons de la parole. Le conduit vocal est ainsi considéré comme un filtre pour les différentes sources de production de parole telles que les vibrations des cordes vocales ou les turbulences engendrées par le passage de l'air à travers les constriction du conduit vocal. Le son résultant peut être classé comme voisé ou non voisé selon que l'air émis a fait vibrer les cordes vocales ou non.

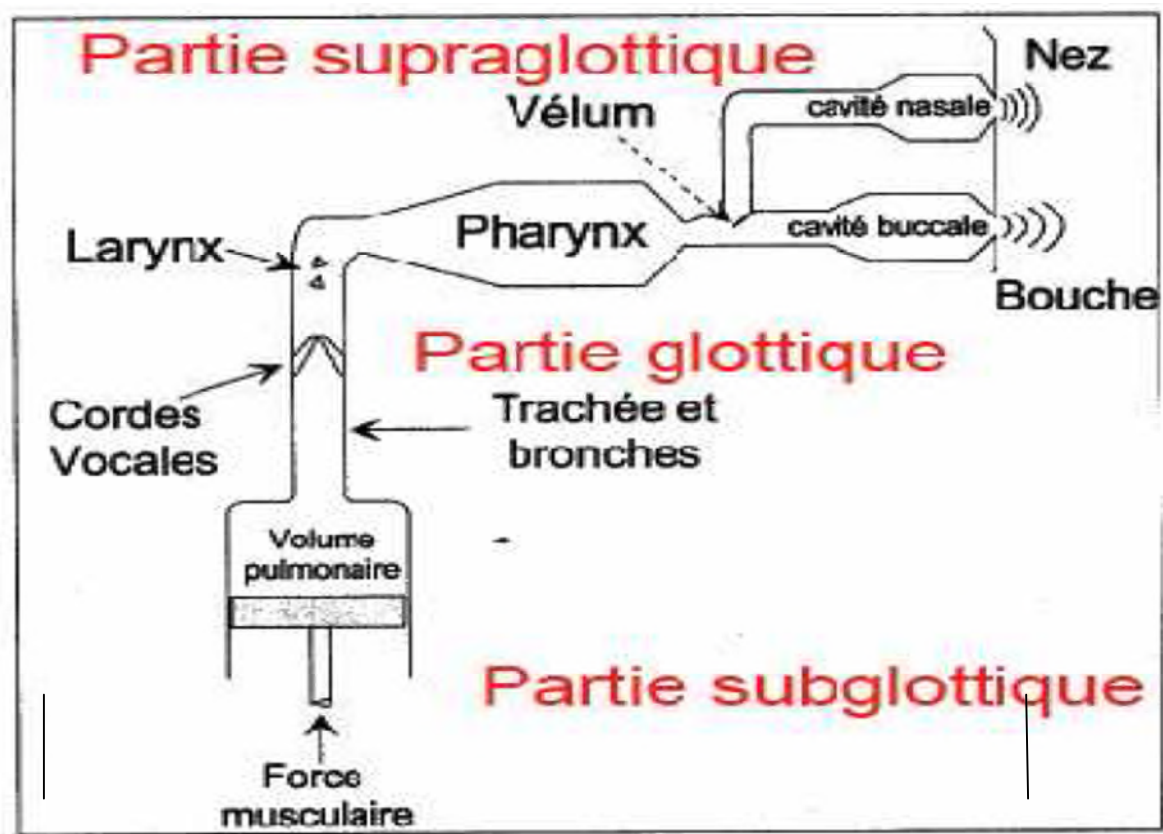


Figure 8 : Schéma fonctionnel de l'appareil phonatoire

4. Caractéristiques de la production de la parole [10]

Le processus de production de la parole présente certaines caractéristiques :

- **Continuité** : lorsqu'on écoute parler une personne, on perçoit une suite de mots que l'analyse de signal vocal sépare difficilement. Le même problème de segmentation se retrouve à l'intérieur du mot, perçu comme une suite de sons élémentaires (les phonèmes).
- **Variabilité** : a contenu phonétique égal, le signal vocal est très variable, tant pour différents individus que pour un même locuteur, en raison des différences anatomiques.
- **Le conduit vocal** : est un tuyau tridimensionnel qui est excité par une ou deux sources acoustiques. La source laryngienne peut être considérée comme quasi périodique, avec une fréquence pouvant évoluer très rapidement. La source génère du bruit de friction ou d'explosion (glotte, lèvre).
- **Encodage** : depuis l'idée jusqu'au signal sonore, interviennent plusieurs niveaux successifs de traitement : sémantique (concept), syntaxique (structure du langage), lexical (mots), morphologique, phonétique (phonèmes et leurs interactions). Le larynx est un lieu important pour les mécanismes phonatoires. La langue joue un rôle dans la phonation, car sa mobilité lui permet d'agir avec précision et rapidité sur la taille du conduit vocal. Les lèvres sont situées à l'extrémité du conduit vocal et c'est leur écartement (la variation de cet écartement) qui est important du point de vue acoustique.

5. Caractéristiques phonétiques [10]

La principale fonction des sons dans une langue est d'établir des distinctions entre des unités de signification, ce sont des phonèmes qui permettent cette distinction.

5.1. Définition du phonème :

C'est la plus petite unité présente dans la parole qui est susceptible par sa présence de changer la signification d'un mot par exemple pari/mari, pas/bas et mie/mes.

Cette définition ne tient compte que des caractéristiques qui sont pertinentes pour les distinctions de signification.

Les réalisations physiques d'un phonème peuvent donc varier considérablement en fonction du contexte du dialecte, du style du locuteur par exemple la langue française comprend 36 phonèmes.

5.2. Classification des phonèmes de la langue française :

Les phonèmes d'une langue ne forment pas une liste amorphe, se regroupent en catégories naturelles dont les éléments partagent des « trait distinctifs » la notion de trait exprime une similarité au niveau articulaire, acoustique ou perceptif. **La figure 10** donne une classification des phonèmes du français en traits distinctifs.

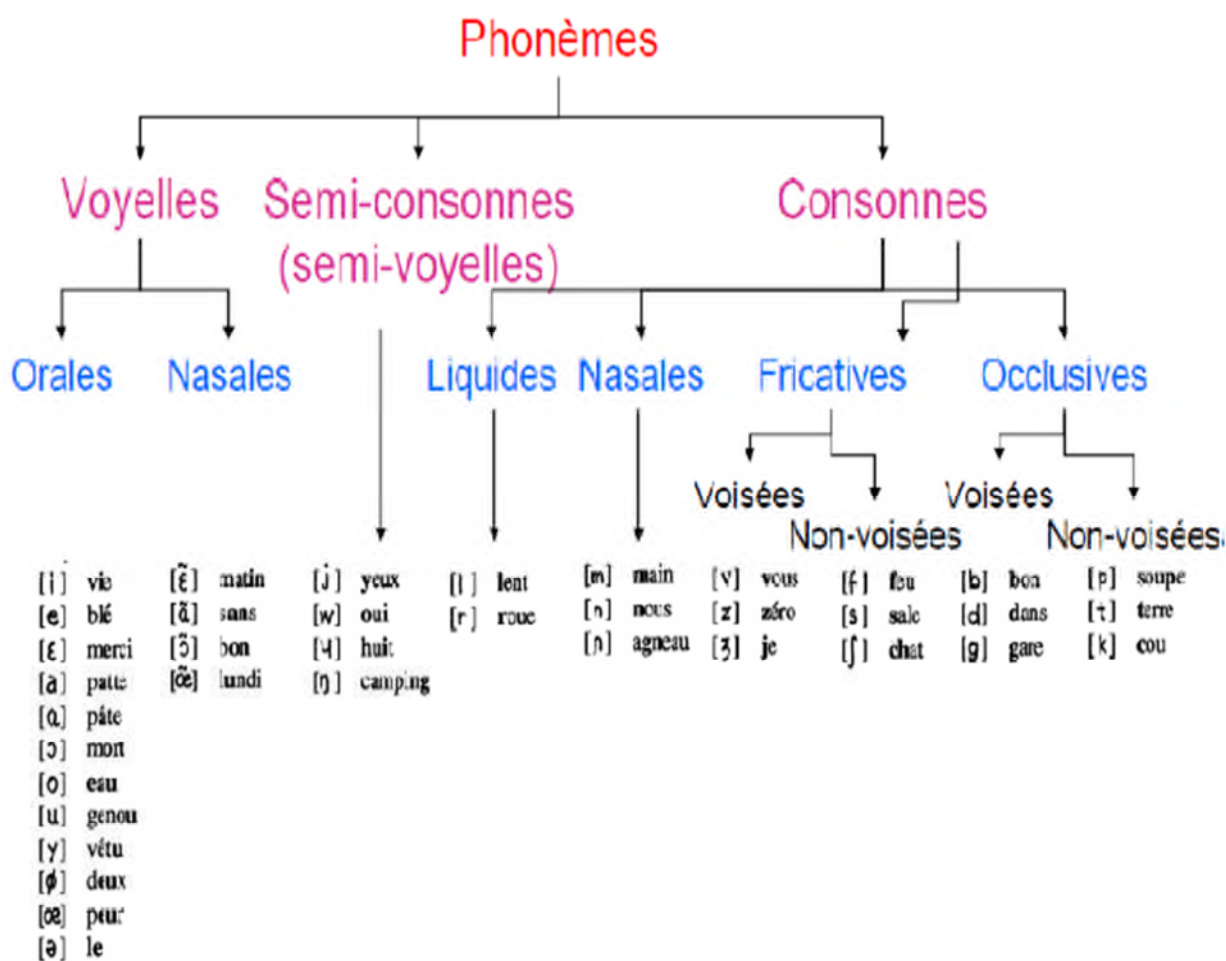


Figure 9 : Les phonèmes de la langue française

6. Description acoustique des sons de la parole [10]

6.1. Les voyelles

1. Définition

Les voyelles diffèrent de tous les autres sons par le degré d'ouverture du conduit vocal et par le degré d'activité des cordes vocales (excitation voisée), qui donnent au conduit vocal une configuration quasi-stable.

Dans la description des voyelles de la langue française, on peut distinguer deux dimensions. D'un côté, le mode d'articulation qui décrit la configuration générale des organes articulatoires dans la production d'une voyelle donnée. D'un autre côté, le lieu d'articulation : est le lieu où se produit une modification du diamètre du conduit vocal pendant la production du son.

2. Le mode d'articulation

En français, le mode d'articulation permet de distinguer quatre grandes classes de voyelles :

- Les voyelles orales : elles se prononcent avec le voile du palais, ce qui ferme le passage nasal, donc il y a absence de nasalité (exemple : i (lit), e(les)).
- Les voyelles nasales : Elles se prononcent avec le voile du palais abaissé, ce qui laisse passer de l'air par la bouche, et par le nez. En français on distingue quatre voyelles nasales (exemple (matin, plante, long, lundi))
- Les voyelles arrondies : On dit que la voyelle est arrondies si les lèvres sont arrondies exemple (lu, peu, loup).
- Les voyelles non-arrondies :

Les voyelles non arrondies si les lèvres sont ou bien écartées ou bien dans une position neutre (exemple : papa).

3. Lieu d'articulation :

Pour bien comprendre le lieu d'articulation, il faut imaginer la bouche comme un espace à deux dimensions, allant du haut vers le bas et de l'avant vers l'arrière de la bouche.

C'est dans l'espace ainsi défini que se situe le point de rétrécissement maximal qui détermine le lieu d'articulation.

_ Voyelles antérieures : dans ce cas le bout de la langue se déplace vers l'avant de la bouche (lait, lu).

_ Voyelle postérieures : Dans ce cas le dos de la langue descend dans la bouche et se trouve près du palais (exemple : **leur, peu**).

_ Voyelle ouvert : lors de la prononciation d'une voyelle ouverte la langue se trouve au fond de la bouche et le passage de l'air est ouvert (exemple : **bâton**).

6.2. Les consonnes

1. Définition

On a une consonne lorsque le passage de l'air venant des poumons est partiellement ou totalement obstrué. Elles peuvent être voisées ou non voisées suivant que les cordes vocales vibrent au passage de l'air ou non.

Comme c'était le cas pour les voyelles, on distingue un mode d'articulation et un lieu d'articulation.

2. Le mode d'articulation :

- Le voisement : Pour les consonnes on peut noter les consonnes voisées et les consonnes non voisées. Ce sont les cordes vocales qui font cette distinction, lorsqu'elles vibrent le son est voisé et la consonne correspondante est une consonne voisée ou sonore. Les consonnes sans vibration sont des consonnes non voisées ou sourdes.
- L'oralité et la nasalité : Dans les consonnes nasales, il y a la composante nasale qui s'ajoute à la composante buccale (l'air sort par le nez et la bouche), tandis que pour les consonnes orales ; l'air sort par la bouche seulement
- Les consonnes occlusives et fricatives : On appelle consonnes fricatives les consonnes qui n'ont pas de fermeture totale du passage de l'air. Par contre, les consonnes occlusives ferment totalement le passage de l'air.
- Les consonnes latérales et vibrantes : On dit consonne latérale, lorsque la langue se met contre les dents supérieures et laisse passer de l'air des deux côtés.

Pour les consonnes vibrantes la langue prend la même position précédente, mais produit un battement qui laisse passer de l'air.

Occlusives	Non-voisées	[p]pais	[t]taie	[k]quai
	Voisées	[b]baie	[d]dais	[g]gai
Nasales		[m]mais	[n]nez	[ŋ]gagner
Fricatives	Non-voisées	[f]fait	[s]sait	[ʃ]chez
	Voisées	[v]vais	[z]zéro	[ʒ]geai
Liquides			[l]lait	[R]raie

Tableau 1 : Les semi voyelle du français.

3. Lieu d'articulation :

- Consonnes labiales : on appelle une consonne labiale lorsque les deux lèvres ferment le passage de l'air [p], [b] et [m].
- Consonnes apico-dentales : Dans le cas où le bout de la langue (apex) s'appuie contre les dents Supérieures [t], [d] et [n].
- Consonnes dorso-vélaire : C'est lorsque le dos de la langue s'appuie contre le voile de palais [k], [g].
- Consonnes labiodentales : Lorsque les dents supérieures, entrent en contact avec la lèvre inférieure, pour fermer le passage partiellement on dit que c'est une consonne labiodentale [f] et [v].
- Consonnes pré-dorso-alvéolaires : Lorsque la partie antérieure du dos de la langue s'approche du palais dur on peut dire que la consonne est pré-dorso-alvéolaire [z].

6.3. Les semi voyelles :

Ce sont des sons qui ont la sonorité des voyelles mais l'absence de syllababilité des consonnes on peut les appeler aussi semi-consonnes. Pour résumer, les semi-voyelles ont le même lieu d'articulation que les voyelles, mais ne donnent pas de syllabe. Dans la langue française il y'a quatre semi-voyelles :

Symbole Exemple

[J]	Yeux
[W]	Oui
[ʏ]	Huit
[ŋ]	Camping

Tableau 2 : Les semi voyelle du français.

7. Les sons voisés et non-voisés

La structure du signal de la parole est complexe tantôt périodique tantôt aléatoire, ceci nous ramène à répartir les sons de la parole en deux catégories : les sons voisés et les sons non voisés.

1. Les sons voisés

Ils résultent d'une vibration périodique des cordes vocales et d'une configuration quasi-stable du conduit vocale, ce sont des signaux quasi-périodiques, exemple : les voyelle (a,i,...) et certaines consonnes (v,b,...) (**figure 10**)



Figure 10: exemple de son voisé

2. Les sons non-voisés

Ces signaux ne présentent pas une structure périodique en raison de la position écartée des cordes qui ne vibrent pas, exemple (f, p...) (**figure11**)



Figure 11 : Exemple de son non voisé

III. Les dysphonies

L'évaluation de la qualité de la voix et la perception des causes de sa dégradation à travers différents indices acoustiques a toujours été la préoccupation clinique principale des Phoniâtres. Comme dans les autres disciplines médicales, ils ont été attentifs à toutes les techniques qui seraient susceptibles de leur donner des informations complémentaires, pour aider au diagnostic et évaluer les effets des traitements chirurgicaux et médicamenteux ou les progrès des rééducations.

Cependant, la voix et la parole étant par essence faites pour être entendues, l'évaluation subjective « à l'écoute » par « l'oreille clinique » de l'expert, reste la référence face à des méthodes d'évaluation objective très variées, souvent mal fondées, peu ou pas normalisées.

Malgré le tableau général peu flatteur de ces évaluations, la nécessité de disposer de bilans objectifs dans le but de répondre à des expertises autant qu'aux attentes des patients, et les potentialités qu'elles démontrent en progressant, les imposent peu à peu en association avec les méthodes traditionnelles. [11]

1. Définition de la dysphonie

La dysphonie est une altération objective et/ou subjective du support sonore de la parole, se traduisant par l'atteinte isolée ou combinée des paramètres acoustiques de la voix : la hauteur, l'intensité, le timbre.

Les dysarthries des coordinations pneumo-phoniques et de la musculature intrinsèque du larynx provoquent des dégradations de la voix appelées dysphonies. Ces dysfonctionnements vocaux peuvent également être la conséquence de changements morphologiques de l'anatomie du larynx, essentiellement au niveau de la glotte, provoqués par des modifications de sa structure ; la génération d'un excès de tissus biologiques, ou à l'inverse, des manques anatomiques provoqués par des gestes chirurgicaux.

2. Les causes des dysphonies [12]

La production d'une voix normale est basée sur les paramètres acoustiques suivants : qualité, intensité, hauteur, débit et résonance. Une voix pathologique ou dysphonie présente une altération d'une ou plusieurs de ces paramètres. La pathologie vocale ou l'altération de la voix parlée a des causes multiples, on distingue ici :

1. Les laryngites chroniques [13]

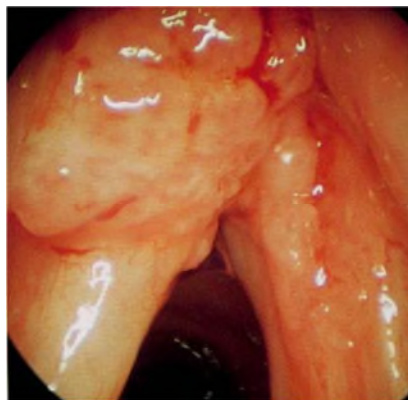
La dysphonie est souvent le seul signe clinique et les facteurs favorisants sont principalement l'intoxication tabagique, parfois les infections naso-sinusiennes. On distingue plusieurs types de laryngites chroniques :

- Laryngite catarrhale : rouge hyperhémique correspond par vue microscopique à une hyperplasie muqueuse sans kératinisation. Son traitement est médical et commence par l'éviction des facteurs favorisants.
- Laryngite pseudo-myxomateuse : est aussi dénommée œdème de Reinke. Elle se développe à la face supérieure des cordes vocales. Fréquente chez le fumeur, elle est souvent consécutive à un malmenage vocal.
- La laryngite chronique hypertrophique : blanche correspond par vue microscopique à une hyperplasie et une métaplasie muqueuse avec kératinisation. Ce type de laryngite correspond souvent à un état précancéreux.

2. Cancer du larynx [14]

Les cancers du larynx sont des cancers fréquents, secondaires au tabagisme chronique, et dont le suivis à 5 ans, toute tumeurs laryngées confondues, est environ de 50%.

Leur dépistage précoce à l'occasion d'une dysphonie autorise un traitement conservateur. La précocité du diagnostic permet d'améliorer la qualité de vie des malades. Le pronostic des lésions précoces est un des meilleurs des cancers des voies aéro-digestives supérieures.



**Figure 12 : Lésions tumorales (carcinome) vues au microscope opératoire.
Commissure antérieure du larynx**

3. Nodules

On rencontre les nodules chez deux types de sujets : les enfants et les femmes, surtout chanteuses en tessiture aigue. Ils sont le résultat d'une mauvaise utilisation du larynx dans la phonation des sons aigus. Pour le traitement tout dépend de l'ancienneté, de l'importance du nodule et des troubles vocaux qu'il occasionne. Chez l'enfant, le nodule qui apparait comme le résultat d'un malmenage vocal, ne doit jamais être traité chirurgicalement, mais uniquement à l'aide d'un traitement orthophonique qui consisterai à obtenir une respiration correcte pour une adaptation à une émission vocale équilibrée. Chez l'adulte; si le nodule est récemment apparu, le traitement orthophonique sera entrepris d'emblée pour deux raisons : un équilibre vocal normal constitue une sorte de massage thérapeutique qui suffit dans certains cas à faire disparaître les modifications de la muqueuse, ce traitement orthophonique constitue un exercice préparatoire et prophylactique pour une cicatrisation correcte dans les cas où la chirurgie pourrait devenir nécessaire. [11]

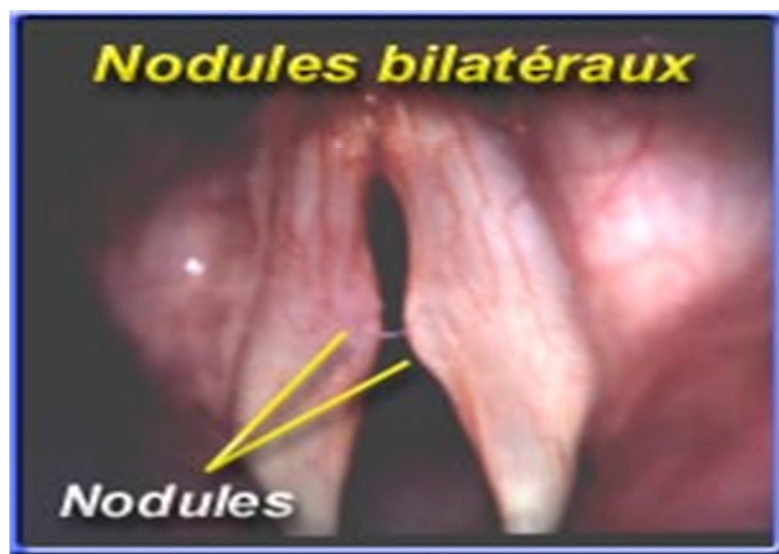


Figure 13 : Nodules bilatéraux

4. Polypes

Les polypes, petits bourgeons de la muqueuse, se distinguent du nodule par leur forme, leur unilatéralité et leur variété. La plupart du temps, c'est à partir d'un exsudat sous muqueux que l'irritation chronique ou l'allergie contribue à la formation du polype ; ou bien encore, il apparaît comme le reliquat de poussées aiguës de laryngite chronique œdémateuse inflammatoire qui ne rétrocedent qu'incomplètement, laissant au sujet un

simple enrouement. Il est important de reconnaître si la tumeur est bénigne, car elle peut être le départ d'une dégénérescence, ainsi l'examen histologique est nécessaire en complément de l'analyse spectro-temporelle du signal vocal acoustique. [11]



Figure 14 : photo d'un polype chordale

IV. État de l'art sur les méthodes d'exploration laryngée

1. Les moyens d'exploration laryngée [1], [15]

1.1. La laryngoscopie indirecte :

Elle nécessite l'utilisation de miroirs et d'une lumière froide, on peut utiliser un grossissement soit par des loupes binoculaires ou un microscope.

L'angle formé par le plan du miroir et de la tige est d'environ 120°. Les numéros 4 et 5 sont le plus souvent utilisés et le numéro 3 est utilisé chez l'enfant. Cette laryngoscopie se pratique en consultation à l'aide d'un miroir de trois manières :

- Patient assis : examinateur assis, permet de bien examiner les cordes vocales.
- Patient debout : examinateur assis, permet d'examiner le mur pharyngo-laryngée.
- Patient assis : examinateur debout, permet de bien voir la commissure antérieure.

La laryngoscopie indirecte donne le plus de renseignements (vision des reliefs, respect des couleurs), cependant, elle peut être rendue difficile lorsque le patient est nauséeux. L'anesthésie locale permet de supprimer les réflexes nauséeux.

Il est possible d'utiliser des lunettes loupes et un microscope pour grossir l'image obtenue.

On obtient l'image du larynx en phonation en demandant au patient d'émettre le son É. Dans certains cas, la laryngoscopie combinée avec une spatule autoscopique permet de dégager l'épiglotte par pression sur le ligament glosso-épiglottique.

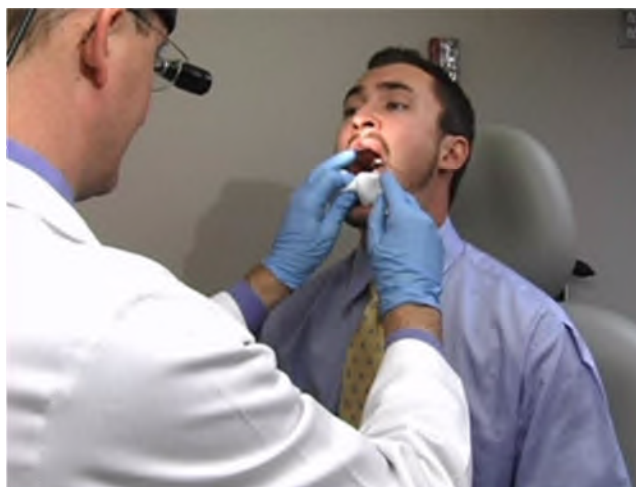


Figure 15 : Image de laryngoscopie indirecte

1.2. naso-fibroscopie :

C'est un geste de consultation utilisant une fibre souple. Elle est introduite par le nez après une anesthésie locale et permet de voir l'ensemble du pharynx, du larynx et du sphincter laryngé.

Ce naso-fibroscope nécessite une désinfection particulière.



Figure 16 : photo d'un examen naso-fibroscopie

1.3 La laryngoscopie directe :

Il est utilisé par voie buccale, permet d'explorer le larynx mais peu le pharynx ou l'ensemble de l'entonnoir pharyngo-laryngé. Cet appareil peut être branché à une caméra vidéo. Le laryngoscope rigide de Bercy-Ward est utilisé surtout avec une lumière stroboscopique pour réaliser un examen stroboscopique. Ce type d'examen est fait sous anesthésie générale.

1.4 Stroboscopie :

La technique d'examen est la même que celle de l'examen au miroir. Le patient, assis en face du médecin, a la langue tirée, respirant tranquillement par la bouche.

Elle permet d'étudier la morphologie des cordes vocales, leur mobilité et leur vibration sur les voyelles /é/ ou /i/ émises à différentes hauteurs tonales et à intensité confortable et forte, ce qui augmente la fermeture glottique.

On peut aussi regarder le larynx en respiration calme pour observer la couleur, la longueur, la régularité de la face supérieure et du bord libre des cordes vocales, les fausses cordes vocales ou bandes ventriculaires et les cartilages aryénoïdes, les commissures antérieure et postérieure.



Figure 17: Image de larynx prise d'une vidéo de stroboscopie

1.5. La glottographie : [16]

Elle 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. Un courant électrique de très faible intensité et de haute fréquence circule entre ces deux électrodes, d'autant mieux que les deux cordes vocales sont en contact étroit. Ce courant subit donc une résistance variée au cours de la vibration cordale. En analysant le signal, on peut obtenir indirectement une représentation de l'oscillation glottique.



Figure 18 : Image d'un examen glottographique

1.6 L'électromyographie laryngée (EMG) : [1]

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

Deux muscles sont étudiés lors de cet examen :

- le muscle vocal ou thyro-aryténoïdien, muscle adducteur (fermeture), innervé par le nerf récurrent.
- le muscle crico-aryténoïdien postérieur, muscle abducteur (ouverture).

Cet examen doit être réalisé par une équipe entraînée associant ORL et neurophysiologiste.

Les grandes indications de cette EMG sont les troubles de la mobilité laryngée uni ou bilatéraux et la dysphonie spasmodique ou dystonie laryngée. Le muscle thyro-aryténoïdien est étudié au repos, en respiration et en phonation.

L'enregistrement de l'activité électrique se fait au moyen d'une aiguille électrode par voie transcutanée en passant dans la membrane crico-thyroïdienne, jusqu'à la corde vocale. Différents types d'aiguille électrode peuvent être utilisés, notamment aiguille creuse permettant dans le même temps l'injection de toxine botulique dans les dystonies laryngées **figure19**.

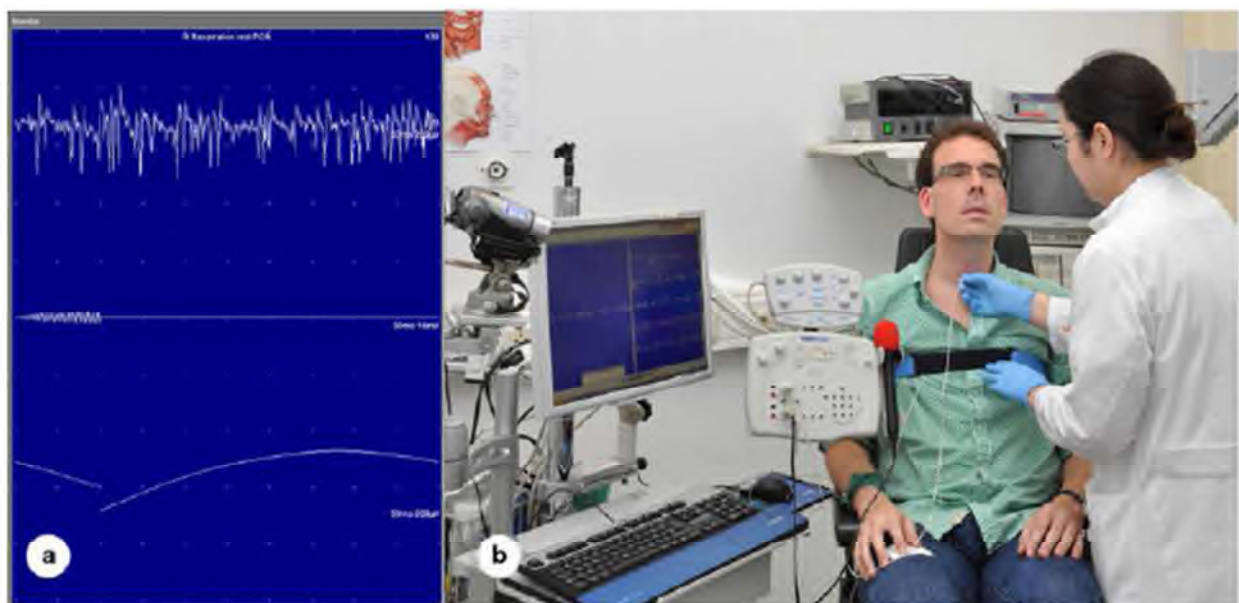


Figure 19: L'électromyographie laryngée

1.7. Les examens radiologiques: [1]

➤ **L'imagerie conventionnelle :**

L'imagerie classique du larynx sert le plus souvent à la recherche d'un corps étranger chez l'adulte ou chez l'enfant ou pour le diagnostic de l'épi-glottite ou pour le diagnostic de dyspnée laryngée chez l'enfant.

➤ **La tomodensitométrie TDM :**

Il reste l'examen de référence, permet des reconstructions en coupes sagittales, frontales et axiales, permet surtout une étude dynamique en phonation et en occlusion glottique.

D'autre part, l'injection d'un produit de contraste permet une visualisation correcte des parties molles. Peu utilisé dans la pathologie bénigne, il a toute sa place en cancérologie.

Il a également un grand intérêt dans le bilan des immobilités laryngées uni ou bilatérale. Ceci concerne tant la recherche étiologique que l'étude de l'articulation crico-aryténoïdienne.

➤ **Imagerie par Résonance Magnétique IRM : [16]**

L'IRM reste un examen de deuxième intention, principalement parce que les séquences de caractérisation tissulaire restent longues et les images obtenues ont des artéfacts par les mouvements de déglutition.

Cependant, la caractérisation tissulaire de l'IRM est supérieure à la tomodensitométrie (TDM) et les possibilités de coupes multidirectionnelles sont intéressantes. L'IRM doit être réalisée dans une antenne adaptée au cou, de surface, appelée antenne, «antenne cou » ou « antenne larynx».

La respiration doit être calme régulière, et il faut essayer de limiter au maximum les déglutitions pendant les acquisitions.

2. L'évaluation perceptuelle de la voix : [17]

Cette méthode d'évaluation permet de renseigner le phoniatre sur l'ampleur de l'altération fonctionnelle de la voix en demandant au patient de prononcer quelques mots ou syllabes.

La qualité vocale perçue associée à l'observation stroboscopique des cordes vocales pathologiques permet au chirurgien de décider le type d'intervention microchirurgicale à réaliser et de définir les progrès fonctionnels importants à atteindre.

L'échelle d'évaluation perceptuelle utilisée par les phoniatres pour faire le diagnostic sur l'altération de la voix a été développée par la Société Japonaise de Logopédie et de Phoniatrie : l'échelle GRBAS complétée du facteur I, introduit par Dejonckere (Morsomme D., 2001).

Cette échelle comprend 6 caractéristiques vocales :

Le grade (G) : l'importance de la dysphonie.

La raucité (R) : l'importance de l'irrégularité vocale.

Le souffle (B) : l'importance du souffle audible, par manque d'accolement glottique phonatoire.

L'asthénie (A) : l'importance de la faiblesse vocale, en terme d'intensité ou de timbre.

Le forçage (S) : l'importance du caractère hyper-kinétique vocal.

Le caractère instable (I) : l'importance de l'instabilité de l'émission vocale

Chaque caractéristique est évaluée comme :

0 : absente

1 : légère

2 : modérée

3 : sévère

L'évaluation est réalisée en fin de consultation, après avoir entendu le patient dans différentes tâches vocales comprenant des voyelles tenues, du langage spontané et de la lecture.

La méthode d'évaluation perceptuelle, serte est considérée comme un moyen d'exploration rapide et non-invasive mais elle reste une méthode d'exploration subjective et demande de l'expérience.

3. Analyse objective de la voix

3.1. L'analyse acoustique : [2']

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.

3.2. L'analyse aérodynamique : [17], [18]

Elle permet d'apprécier l'utilisation laryngée de l'air pulmonaire pour la production de la voix on mesure plusieurs paramètres dans cette analyse :

- Temps Maximum de Phonation :

C'est un test simple, il permet de quantifier l'utilisation de l'air pulmonaire dans la phonation (dépend de la capacité vitale pulmonaire).le TMP correspond inspiration profonde et émission d'une voyelle tenue (/a/) en phonation confortable le plus longtemps possible.

Pour quelqu'un qui est normale le temps maximum qu'on peut tenir et entre 25-35secondes pour l'homme et entre 15-25 secondes pour une femme.

- 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.

- Débit moyen aérien phonatoire :

Le débit d'air réellement utilisé durant une tenue vocalique est aisément mesuré par un pneumotachographe monté sur un masque facial. L'appareil calcule le débit en mesurant la chute de pression induite par le passage de l'air au travers d'un filtre de résistance connue.

- mesure indirecte de pression sous-glottique :

C'est la mesure de la pression intra-orale pendant la production d'une syllabe répétée comportant une voyelle et une consonne occlusive non voisée (/p/), pendant la production de la

consonne, les plis vocaux sont en abduction, donc la pression s'équilibre entre la sous-glote et le conduit vocal. Donc la pression mesurée en cavité orale est égale à celle du conduit vocal qui est la pression sous-glottique.

On a la pression intra-orale normale en phonation confortable = 4.9 à 8.8 cm H₂O. Cette pression s'élève après chirurgie laryngée pour cancer. Plus les structures anatomiques sont rééquippées, plus la pression intra-orale phonatoire augmente.

Conclusion

La compréhension des processus physiologiques au développement de la voix et la parole ainsi que les recherches faites dans ce domaine ont fourni un éclairage pertinent sur les mécanismes de production de la parole et du traitement analytique du signal vocal acoustique.

Dans ce chapitre nous avons consacré la première partie à la présentation de quelques notions fondamentales sur l'anatomie et la physiopathologie de l'appareil phonatoire en vue de prévenir, de traiter et de surveiller les dysfonctionnements chroniques de celui-ci dénommés dysphonies.

Nous avons consacré la deuxième partie à la présentation de l'état de l'art des différentes méthodes utilisées pour faire l'exploration laryngée. Ce qui nous a permis de constater que la plus part des méthodes d'exploration sont invasives et intrusive, en raison de la position du larynx.

De ce fait il existe des méthodes d'exploration laryngée qui ne sont pas invasives et qui sont facile à utiliser. Ces méthodes ont fait le but de notre travail qui s'inscrit dans le cadre de l'analyse de la morphologie temporelle du signal vocal acoustique ainsi que de l'évaluation de sa fonction d'auto-corrélation et du coefficient d'atténuation qui caractérise cette dernière. Cette approche analytique objective et non invasive sera développée dans les chapitres qui suivent.

Chapitre 2 :

Traitement numérique du signal vocal acoustique

Introduction

Grâce aux techniques du traitement du signal, il est possible d'aborder l'analyse des signaux acoustiques de manière simple et fiable afin de faciliter au praticien son diagnostic et de guider sa thérapeutique. Ce travail vise donc à implémenter des méthodes de traitement numérique du signal acoustique par analyse temporelle et corrélative de ces signaux.

Ce qui permettra aux médecins d'évaluer le pronostic et de suivre l'évolution de la maladie avant et après traitement.

Nous avons utilisé un plateau technique hardware et software capable de faire l'analyse objective du signal vocal acoustique sur un corpus de sujets sains et de sujets pathologiques, l'objectif étant d'établir un diagnostic le plus précoce possible des dysphonies vocales chroniques et surtout avec possibilité de distinction entre un syndrome inflammatoire et un syndrome tumoral malin.

I. Classification des Signaux :

On distingue plusieurs classifications des signaux, dans notre cas on s'intéresse à :

1. Classification phénoménologique

On considère la nature de l'évolution du signal en fonction du temps. Il apparaît deux types de signaux :

1.1 Signaux Déterministes

Leur évolution en fonction du temps peut être parfaitement modélisée par une fonction mathématique tel :

- Les signaux périodiques dont l'expression mathématique analytique est connue.
- Les signaux pseudo-aléatoires sont des signaux périodiques mais à l'intérieur de la période, ils ont un comportement aléatoire.
- Les signaux quasi-périodiques sont le résultat d'une somme de sinusoides dont le rapport des périodes n'est pas rationnel.
- Les signaux non périodiques ; ils sont essentiellement représentés par des signaux transitoires dont l'existence est éphémère.

1.2. Signaux Aléatoires

Leur comportement temporel est imprévisible. Il faut faire appel à leurs propriétés statistiques pour les décrire. Si leurs propriétés statistiques sont invariantes dans le temps, on dit qu'ils sont stationnaires. On peut citer :

- Les signaux stationnaires dont les caractéristiques statistiques ne changent pas au cours du temps.
- Les signaux non-stationnaires dont le comportement statistique évolue au cours du temps (Ex : signal vocal pathologique).

2. Classification morphologique

On distingue les signaux à évolution temporelle continue et des signaux à évolution temporelle discrète.

II. L'analyse temporelle du signal vocal acoustique :

L'analyse temporelle permet par un simple traitement numérique de donner beaucoup d'informations sur le signal vocal acoustique.

1. Étude morphologique du signal acoustique

Le tracé temporel du signal vocal acoustique et l'étude de sa morphologie donnent des informations permettant la distinction entre un signal physiologique et un signal pathologique.

2. Analyse corrélative [19]

2.1. Définition de l'auto-corrélation

L'auto-corrélation d'un signal mesure les dépendances internes de ce signal.

2.2. La fonction d'auto-corrélation

La fonction d'auto-corrélation d'un signal aléatoire $x(t)$ est définie par :

$$K_x(\tau) = E(x(t) \cdot x^*(t - \tau)) \quad (I)$$

En pratique, le signal est fini : $\{x(i)\}$ pour $0 \leq i \leq N$ et réel : $x^* = x$.

Nous sommes donc amenés à estimer la fonction d'auto-corrélation à partir des échantillons qui sont à notre disposition.

2.3. Les propriétés mathématiques de la fonction d'auto-corrélation

Nous pouvons remarquer la simplicité mathématique de la fonction d'auto-corrélation :

- Elle admet un maximum global à l'origine.
- Si elle admet un maximum local en un autre point différent de l'origine, elle est périodique et admet une infinité de maximums.

2.4. La fonction d'auto-corrélation temporelle

Cette fonction est définie par :

$$K_X(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_T x(t) \cdot x(t - \tau) dt \quad (\text{II})$$

Soit pour une séquence temporelle discrète:

$$K_X(\tau) = \frac{1}{2^q} \sum_{i=1}^{2^q} X_i (X_i - \tau) \quad \tau = 1, 2, 3 \dots N \quad (\text{III})$$

Pour τ variant de 1 à $N=2^q$ où q est l'ordre de la fonction d'auto-corrélation.

3. Le coefficient d'atténuation

3.1. Définition

L'atténuation ou affaiblissement est la diminution de l'amplitude ou de la puissance d'une onde ou d'un signal au cours de sa transmission.

Beaucoup de modèles ont montré que le coefficient d'atténuation dépend de la fréquence.

3.2. Le calcul du coefficient d'atténuation

On calcule le coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation par la différence entre sa valeur à l'origine $K_X(0)$ et sa valeur à l'infini $K_X(\infty)$.

Pour un signal stationnaire au second ordre la valeur de $K_X(\tau)$ est théoriquement maximale à l'origine et nulle à l'infini.

Donc le coefficient d'atténuation est :

$$\alpha = K_X(0) - K_X(\infty)$$

III. Analyse spectrale du signal vocal acoustique

Dans notre approche analytique sur le signal vocal acoustique nous utilisons l'analyse temporelle, mais on peut aussi mettre en œuvre l'analyse spectrale pour l'évaluation objective des dysfonctionnements de l'appareil phonatoire et plus particulièrement le larynx. L'analyse spectrale a pour objet d'améliorer la connaissance d'un signal en s'intéressant à sa variation dans le domaine fréquentiel.

L'analyse acoustique est indispensable à l'évaluation du changement vocal. De nombreux paramètres peuvent rendre compte de ce changement ; nous présentons à titre indicatif quelques uns de ces paramètres :

1. L'intensité sonore

L'intensité d'un son, appelée aussi volume, permet de distinguer un son fort d'un son faible. Elle correspond à l'amplitude de l'onde. L'amplitude est donnée par l'écart maximal de la grandeur qui caractérise l'onde. Pour le son cette grandeur est la pression, l'amplitude sera donc donnée par l'écart entre la pression la plus forte et la plus faible exercée par l'onde acoustique.

Lorsque l'amplitude de l'onde est grande, l'intensité est grande et donc le son est plus fort. L'intensité du son se mesure en décibels (dB). Donc elle correspond à l'amplitude, ou hauteur, des crêtes de l'onde sinusoïdale. C'est-à-dire aux différences de pression entre les zones de compression et ses zones de raréfaction. [20]

2. La durée

La durée d'un son est le temps que dure le son. Elle peut se mesurer sur la représentation temporelle d'un son.

3. Le timbre

Chaque son est formé d'une fréquence fondamentale et de fréquences « harmoniques ». On dit qu'un son est riche, agréable à entendre, lorsqu'il contient de nombreuses harmoniques. Un son pauvre en harmoniques paraîtra terne à notre oreille. Un son ne comprenant qu'une seule fréquence est appelé "son pur" (extrêmement rare dans notre environnement quotidien). Les sons produits par l'appareil phonatoire sont des "sons complexes", mélanges de sons graves et aigus. Ainsi un signal acoustique est la superposition d'un son fondamental et d'harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale. Ce sont

celles-ci qui constituent le timbre du signal vocal acoustique et qui caractérisent chaque individu. [20]

4. La fréquence fondamentale F0 :

$F_0(t)$ est la fréquence fondamentale du signal vocal voisé à l'instant t . Cette fréquence fondamentale nous donne un indice sur le Pitch du signal vocal. Le Pitch étant la fréquence fondamentale perçue par l'oreille.

Ce Pitch est porteur de différentes informations.

D'abord, c'est grâce à lui que l'on discerne une voix masculine d'une voix féminine.

C'est grâce au pitch on distingue une affirmation d'une interrogation ou d'un ordre.

Il est également l'indice de la mélodie de la voix, c'est grâce à lui que la voix paraît naturelle. C'est un des paramètres sur lequel on peut agir dans certains cas pour donner du naturel aux voix pathologiques. [20]

5. Le jitter (la perturbation):

Le jitter est la variation de la période du cycle vibratoire, mesurée d'un cycle à l'autre (autrement dit, cycle-à-cycle).

Chez le sujet sain, cette variation cyclique est physiologique et inévitable en raison de petites irrégularités mécaniques, tissulaires et fonctionnelles (force et pression légèrement différentes d'un cycle à l'autre, par exemple).

Le jitter est qualifié de « mesure de perturbation à court terme », de la période du cycle. Le terme « perturbation » fait référence à une irrégularité minime du phénomène étudié. « A court terme » fait référence à la comparaison réalisée d'un cycle à l'autre.

La période vibratoire normale est d'environ 10 millisecondes chez un homme et de 5 millisecondes chez la femme. Le jitter absolu peut être mesuré en millisecondes et au départ été défini comme étant le pourcentage des perturbations égales ou supérieures à 0.5 millisecondes.

Le jitter est plus grand si la période est plus longue (et donc si la fréquence de la voix est plus basse). Il est donc plus intéressant d'utiliser un jitter « relatif » en divisant la valeur moyenne de la perturbation par la période moyenne.

Le Jitter est donnée par l'expression (IV) :

$$jitt = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{l=1}^{N-1} |T_0^{(l)} - T_0^{(l+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{l=1}^N T_0^{(l)}} \quad (IV)$$

Cette relation nous servira à implémenter par la suite l'algorithme de calcul du Jitter qui est l'un des paramètres que nous utilisons dans le cadre de l'analyse spectro-temporelle du signal vocal acoustique.

6. Le Shimmer :

Le Shimmer est la mesure de stabilité de l'intensité et correspond à la mesure du jitter réalisée pour l'évaluation de la stabilité fréquentielle.

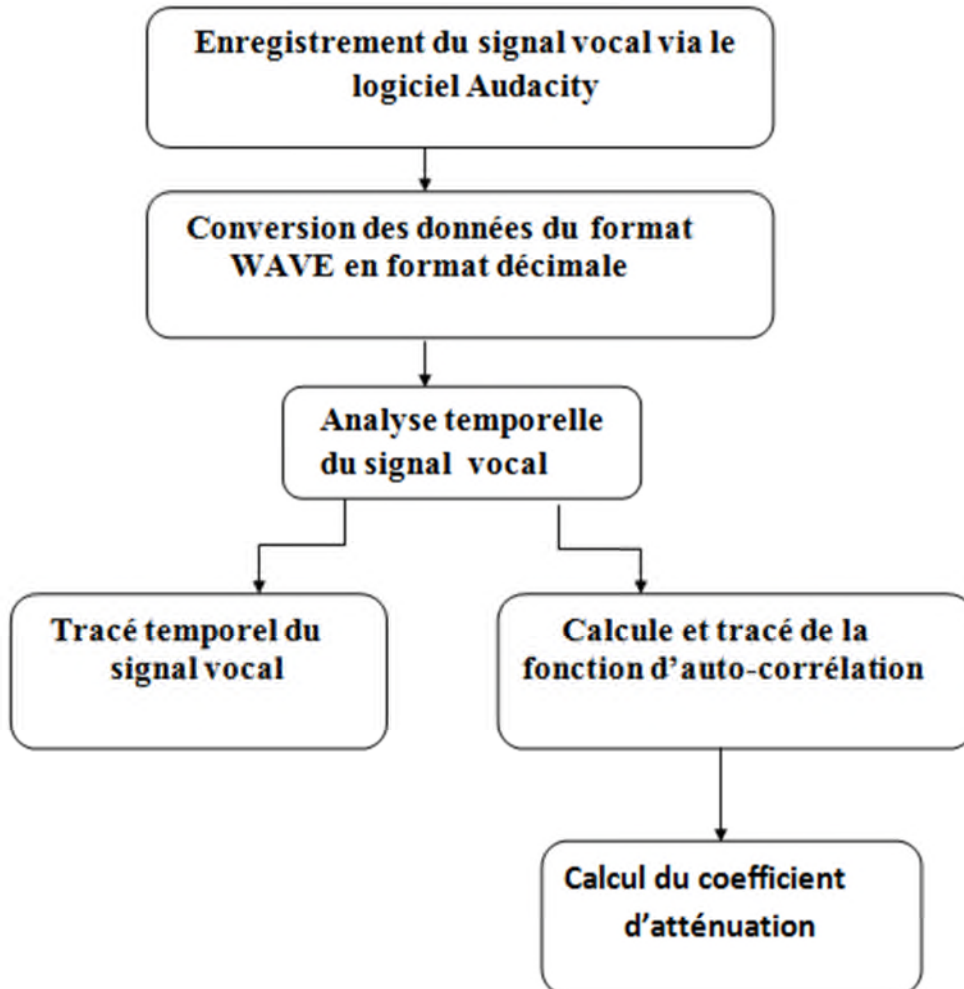
Le Shimmer est une mesure de perturbation à court terme de l'amplitude du cycle vibratoire : c'est la différence d'amplitude de cycle à cycle.

Le Shimmer est donné par l'expression (V)

$$shim = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{l=1}^{N-1} |A^{(l)} - A^{(l+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{l=1}^N A^{(l)}} \quad (V)$$

$A(i), i=1,2,\dots,N$ (données d'amplitude crête à crête).

IV. Présentation de l'organigramme de notre application :



Conclusion

Ce chapitre a été pour nous l'occasion de présenter les différents paramètres spectro temporels représentatifs du signal vocal acoustique et permettant de faire une évaluation objective des dysphonies chroniques d'origine laryngée.

Ce qui nous a permis de faire le choix de trois paramètres temporels pour lesquelles nous avons implémentés des algorithmes de calcul qui nous permettrons d'évaluer leurs pertinences. Ces paramètres sont en l'occurrence :

- L'aspect morphologique du signal vocal acoustique
- La fonction d'auto corrélation de celui-ci
- Les coefficients d'atténuation de celle-ci

Chapitre 3 :

**Techniques et méthodes
d'acquisition et du
traitement du signal vocal
acoustique**

Introduction

Pour pouvoir manipuler et traiter le signal vocal il faut d'abord penser à acquérir le signal vocal. Dans ce chapitre nous avons parlé de logiciel d'acquisition de signal vocal qui est faite par un logiciels d'enregistrement (Audacity), et un logiciel de conversion (Watex) , et le format WAVE du signal.

I. Un microphone

Un microphone est un transducteur électroacoustique, capable de convertir un signal acoustique en signal électrique.

II. La carte son

Carte d'extension permettant à l'ordinateur de numériser, de reproduire ou même d'enregistrer des sons. Aujourd'hui toutes les cartes mère possèdent une carte son intégré, elle ne sert plus que pour un usage professionnel du son.

La carte son permet de gérer les entrées et les sorties sonores. Elle se connecte dans un connecteur, ISA, PCI, PCI-X ou encore PCIE.

Utilisée pour brancher un microphone.

III. Audacity [21]

Audacity est un logiciel de traitement sonore, développé par une équipe de bénévoles. Il permet d'enregistrer, de jouer, d'importer et d'exporter des données en plusieurs formats dont WAV, AIFF et MP3. Vous pourrez traiter vos sons avec les commandes coupes, copies et coller (avec annulations illimitées), combiner les pistes et ajouter des effets à vos enregistrements. Le logiciel intègre certains effets spéciaux tels l'amplification des basses, le compresseur ...

➤ Vue générale a l'ouverture

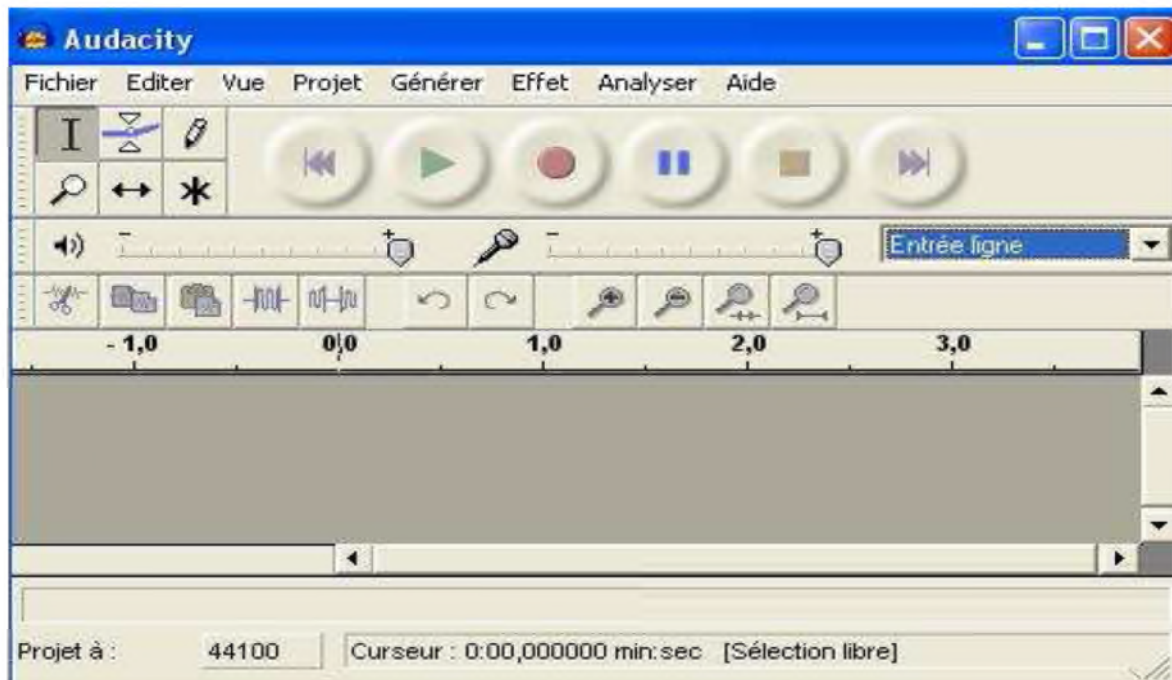
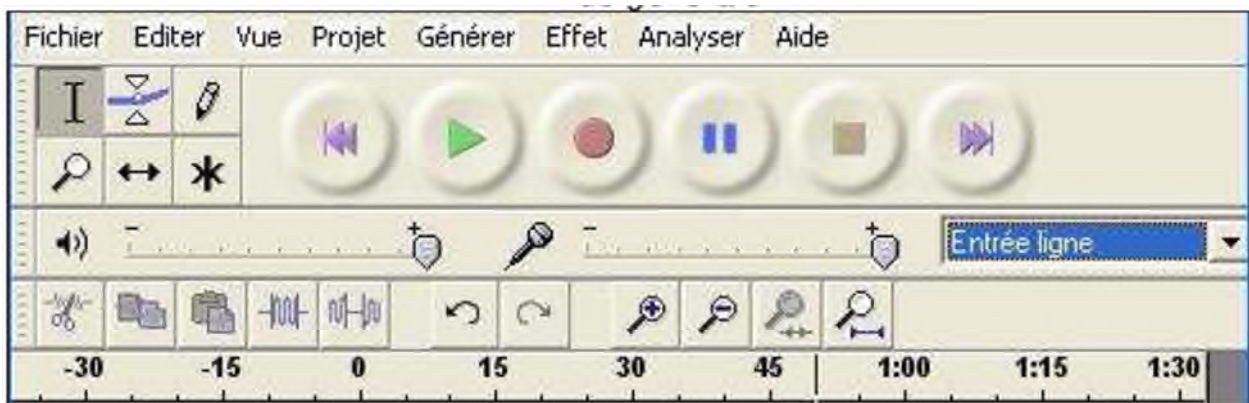


Figure 20 : Capture d'écran de l'environnement Audacity

➤ Les commandes



➤ Les outils de montage sonore





Outils de sélection : permet de sélectionner une partie de la bande son.



Outil de niveau : permet d'augmenter ou de diminuer le niveau sonore, à l'aide de points de cassures modulables



Outil de crayon : permet de nettoyer un craquement.



Zoom : quand l'outil est sélectionné, zoom avant=clic gauche, zoom arrière=clic droit.



Outil d'ajustement temporel : permet de déplacer une partie sélectionnée par le curseur.



Mode multi outils : les 5 outils mélangés.

➤ **le lecture** :



➤ les raccourcis des commandes :



IV. Watex

Watex est un logiciel de conversion de signal vocal du format WAVE au format DECIMALE.

➤ L'interface de watex :



Figure 21 : capture d'écran de l'environnement Watex

V. Le format wave [10]

Le format PCM : C'est le format de fichier "standard" pour les samples (les enregistrements de sons), car les données sont brutes, c'est-à-dire qu'elles ne sont ni modifiées, ni compressées. Le fichier possède un en-tête de 44 octets (en tout cas en général), permettant de connaître le type du sample: Son format, sa fréquence, le nombre de voies, etc...

Cet en-tête (« header » en anglais) peut, dans certaines variantes du format PCM, avoir une taille supérieure à 44 octets. Mais voyons d'abord le format le plus standard :

- On trouve d'abord la mention « RIFF » dans les 4 premiers octets du fichier (\$52, \$49,\$42, \$42 en hexadécimal. Ce sont les codes ASCII des lettres R, I, F,F).
- On trouve ensuite la taille TOTALE du fichier codée sous la forme d'un entier long (4octets, donc)
- On trouve ensuite la mention « WAVE» soit 4 caractères ce qui nous donne en hexadécimal : \$57,\$41,\$56,\$45.

VI. Logiciel Visual Basic.6 [22]

Visual Basic de Microsoft est un outil utilisé pour créer les applications Microsoft Windows. Le mot «Visual » fait référence à la méthode utilisée pour créer l'interface graphique utilisateur GUI (Graphical User Interface) et le mot «Basic » fait référence au langage BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code).

C'est un langage de programmation existant actuellement en trois versions (Learning Professional, Entreprise). Les programmes (aussi appelées applications) sont créés dans un environnement de développement intégré (Integrated Development Environment - IDE), ceci dans le but de créer, exécuter et déboguer les programmes d'une manière efficace. Ce langage est réputé pour permettre un développement rapide d'applications. Outre une interface utilisateur graphique, il dispose de caractéristiques telles que la manipulation d'évènements, un accès à Win32 API, la programmation orientée objet, la gestion d'erreurs, la programmation structurée. C'est un langage interprété, notons que les éditions Professional et Entreprise permettent une compilation en code natif (code machine). [15]

a. **Présentation de l'Environnement de Développement Intégré (EDI) :**

Au démarrage de Visual Basic, la boîte de dialogue suivante **Figure 22**, intitulée Nouveau projet (cf. barre de titre), s'affiche. Elle permet de choisir le type de projet que l'on souhaite créer.



Figure 22 : la boîte de dialogue au démarrage de l'Environnement de Développement Intégré

b. **Interface de Visual Basic :**

Double-cliquer sur l'option EXE Standard (surlignée par défaut) de l'onglet Nouveau afin de créer un projet (ensemble de fichiers permettant de créer une application Windows). L'interface de l'EDI de Visual Basic s'affiche (voir la figure suivante).

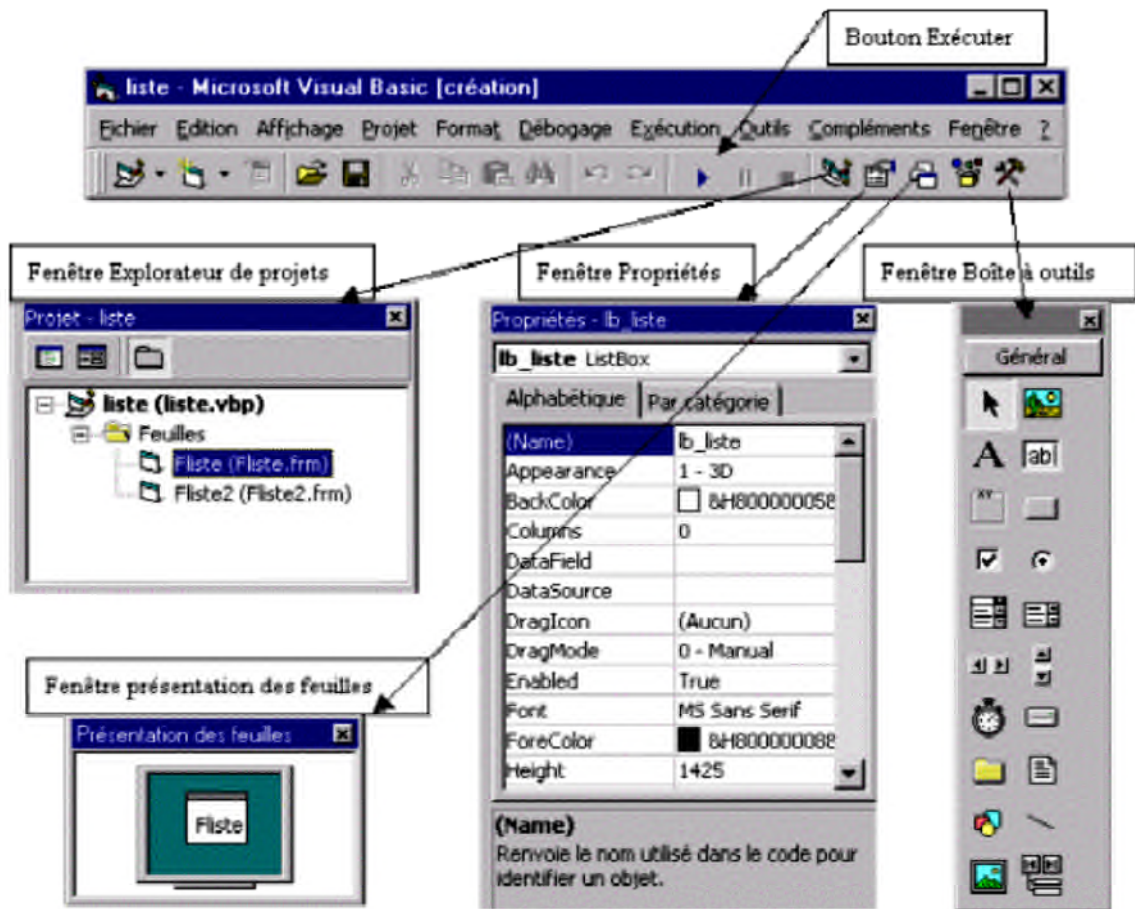


Figure 23 : Capture d'écran de l'environnement Visual Basic.6

- La partie supérieure de la fenêtre est formé **du système de menus** et d'une **barre d'outils** tout comme d'autres logiciels (Office, Lotus,...).
- La partie de gauche est constitué de la boîte à outils.

La barre d'outils est une version simplifiée du système de menus. Elle permet d'accéder plus rapidement aux sous-commandes du système de menus.) Quant à la **boîte à outils**, elle permet de sélectionner les contrôles (ou "objets"), puis ensuite de les placer sur la partie centrale de la fenêtre.

- La feuille située au centre, n'est autre que la future **interface graphique** de notre application (appelé aussi "interface utilisateur").
- Enfin, la partie de droite est constituée de 3 boîtes de dialogue :

1. La 1ère est la **boîte de dialogue "Projet"** qui donne la liste de toutes les feuilles qui constituent notre future application.

2. La 2ème est la **boîte de dialogue "Propriétés"**. Elle donne accès aux propriétés du contrôle sélectionné.

3. Enfin, la 3ème est la **boîte de dialogue "Présentation des feuilles"**. Elle permet de modifier la position de la feuille du travail sélectionnée.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudiés les différentes techniques et méthodes qu'on doit effectuer pour avoir une information utile de notre signale c'est à dire l'enregistrement de la voix par le logiciel Audacity et la conversion de ceci par watex_1 pour avoir le format hexadécimale quelle doit être utiliser directement dans le traitement de notre signal.

Chapitre 4 :

Interprétation et discussion des résultats

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'interface de traitement numérique du signal vocal acoustique par des techniques différentes telles que la fonction d'auto-corrélation et le calcul du coefficient d'atténuation pour des sujets sains et des sujets malades avec discussion et interprétation des résultats.

Ces techniques aident le médecin dans l'établissement de son diagnostic et la classification de la pathologie.

I. Présentation de l'interface de traitement numérique du signal vocal acoustique :

L'interface graphique que nous avons implémentée sous environnement Visual Basic (**figure24**) est composée d'une barre de menu permettant : l'enregistrement, l'affichage et l'analyse du signal vocal acoustique.

Cette interface est composée d'un espace tracé du signal et d'une barre de menu qui comprend les options suivantes :

- ✓ Le menu Audacity offre la possibilité de l'acquisition du signal sous format WAVE.
- ✓ Le menu Watex offre la possibilité de la conversion WAVE-DECIMAL.
- ✓ Le menu tracé temporel offre la possibilité de tracer le signal vocal acoustique.
- ✓ Le menu fonction d'auto-corrélation permet
 - 1) le calcul de cette fonction
 - 2) son tracé
 - 3) La détection des ses maximums
 - 4) le calcul du coefficient d'atténuation.

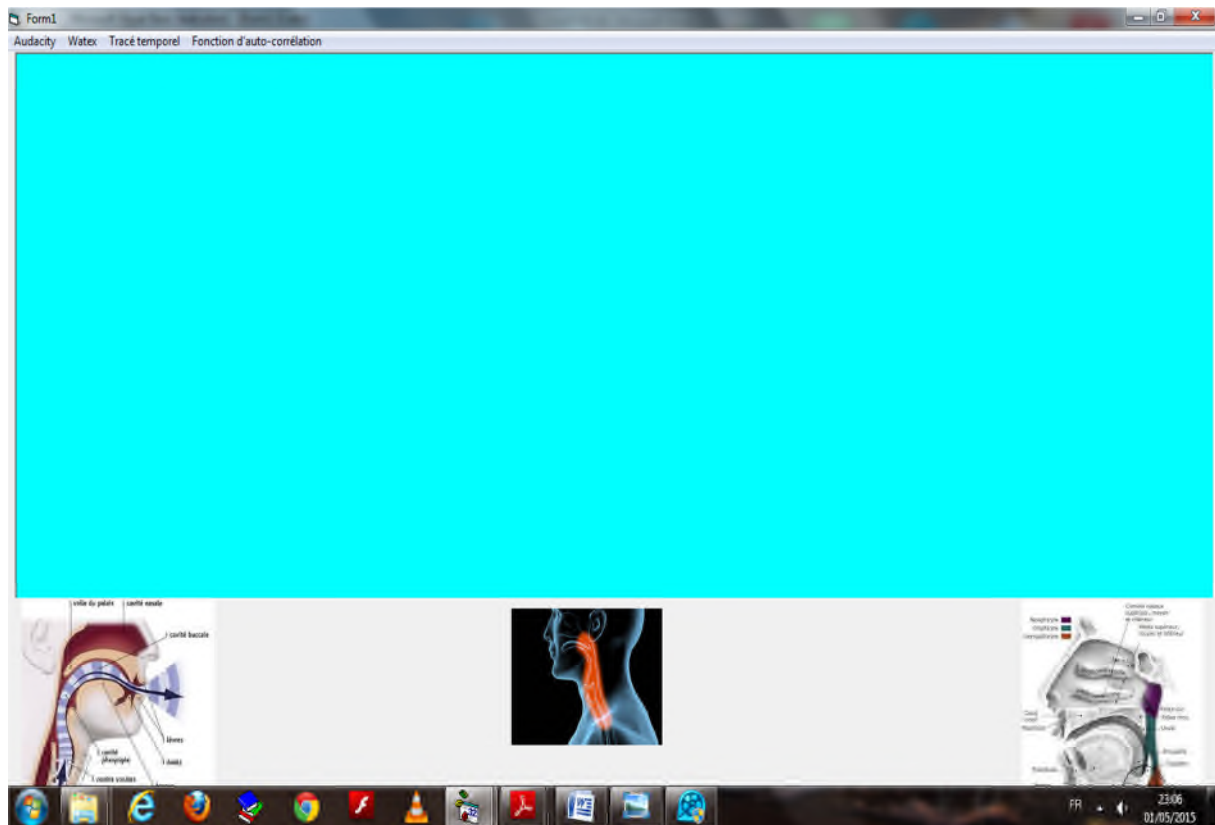


Figure 24 : Capture d'écran de l'interface de traitement numérique du signal vocal acoustique.

II. Analyse clinique de quelques exemples de sujet sain et malade :

En vue d'élaborer une classification des pathologies laryngées selon le type inflammatoire ou tumoral pour faire un dépistage précoce du cancer du larynx et sa prévention par l'étude épidémiologique des facteurs favorisants nous avons effectué 20 enregistrements (six sujets sains et quatorze sujets malades au niveau du service ORL du CHU de Tlemcen. Ces enregistrements nous ont permis de faire une distinction entre les sujets sains, sujets atteints d'une inflammation des cordes vocales (polype ou laryngite chronique) et sujets atteints d'un cancer.

Nous avons fait en premier lieu une étude de la morphologie temporelle du signal vocal acoustique ainsi le calcul de sa fonction d'auto corrélation pour des sujets sains et pathologique. Nous présentons dans ce qui suit les résultats obtenus :

1. Sujet sain

1. Tracé temporel du signal vocal :

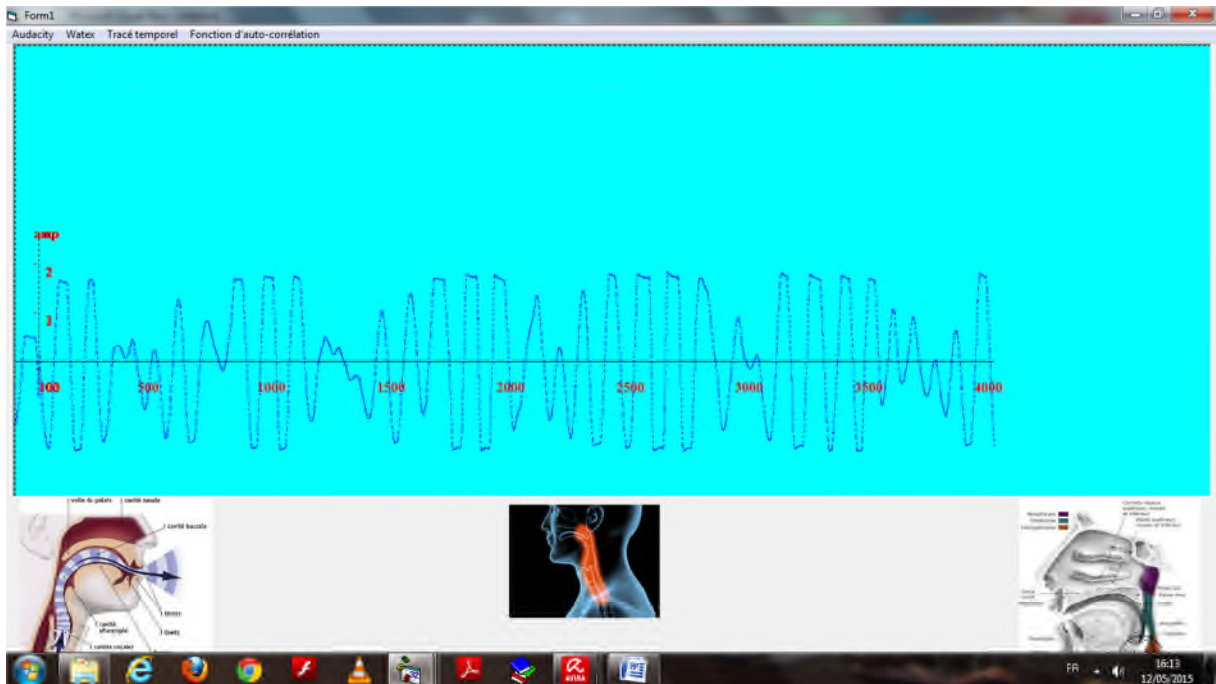


Figure 25 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet sain.

2. Tracé de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :

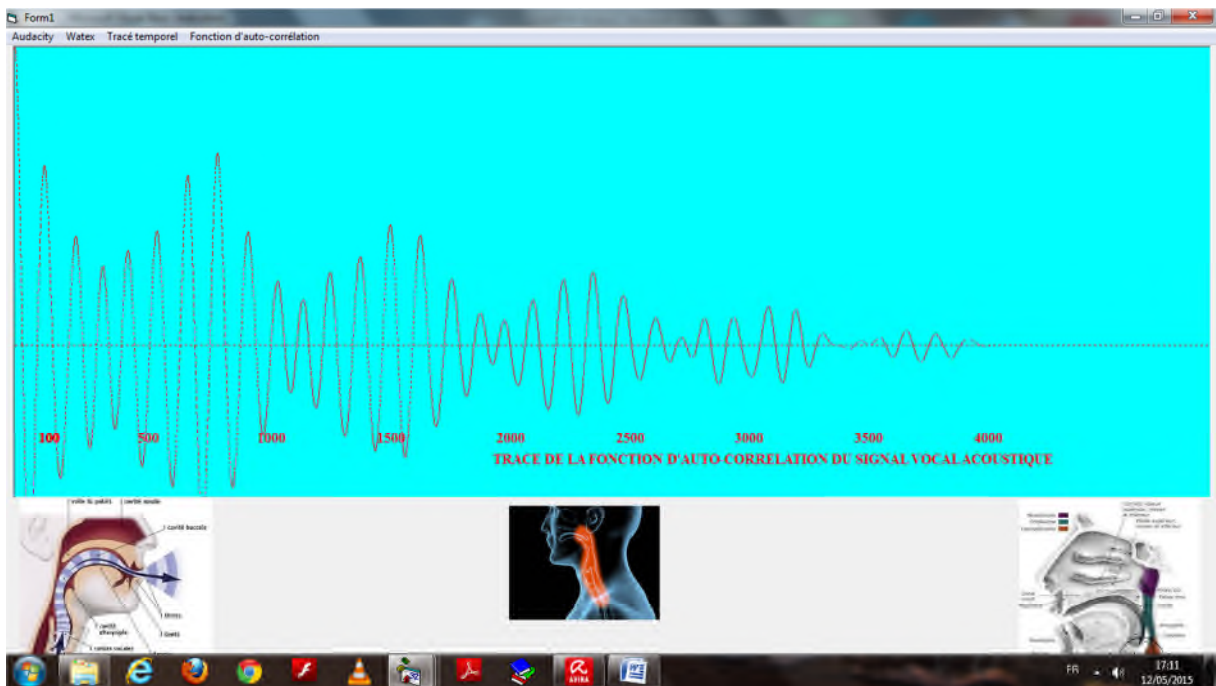


Figure 26 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet sain.

3. Tracé des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :



Figure 27 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet sain.

4. Analyse du signal :

L'examen ORL du patient montre que la filière laryngée est strictement normale avec une bonne mobilité des cordes vocales.

Le tracé temporel est quasi-périodique. L'enveloppe de sa fonction d'auto-corrélation a la forme d'un sinus cardinal, elle est maximale à l'origine et contient plusieurs maximums locaux avec une morphologie périodique résultant de la périodicité du signal vocal acoustique.

2. Sujets malades (masculin) atteint d'un cancer du larynx

1. Tracé temporel du signal vocal :



Figure 28: Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

2. Tracé de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :



Figure 29 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

3. Tracé des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal pour un sujet cancéreux:

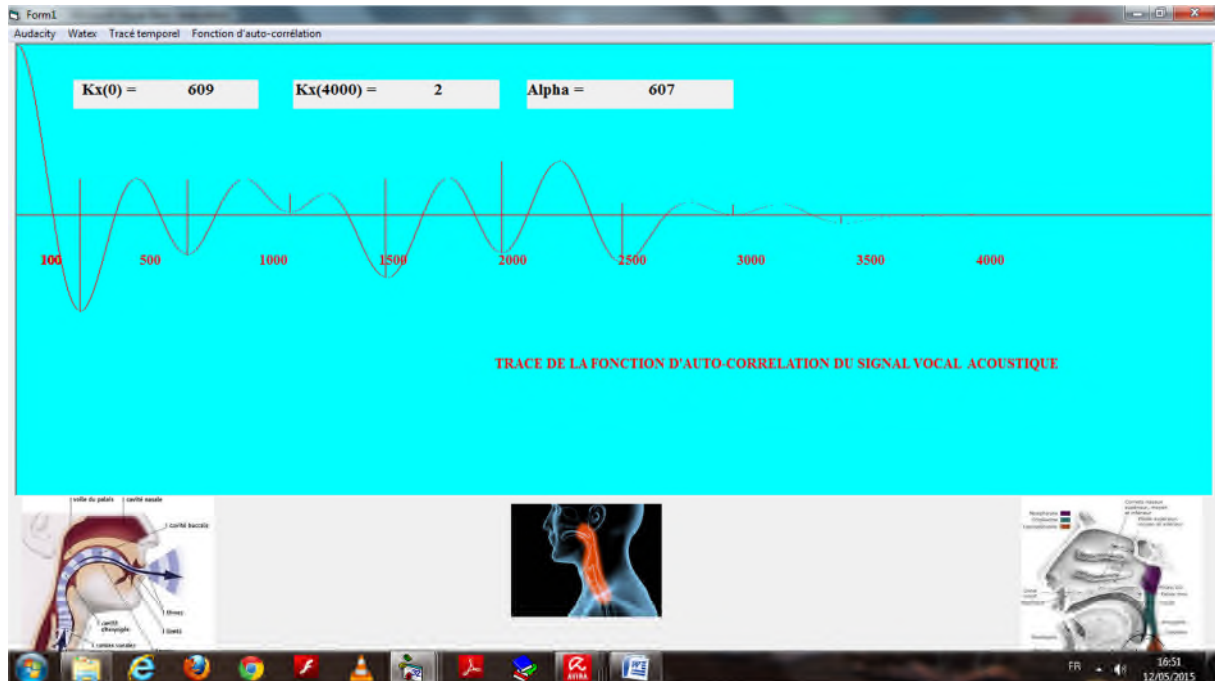


Figure 30 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

4. Analyse du signal :

Patient âgé de 65 ans pêcheur de profession, tabagique chronique (25 paquets par mois) venant consulter pour une dysphonie chronique avec dyspnée et dont le bilan ORL révèle un cancer du larynx à un stade avancé nécessitant un traitement chirurgical radical.

Son tracé temporel est irrégulier (aléatoire) et l'intensité (amplitude du signal) a diminué à cause de la réduction importante voir l'absence totale des vibrations des cordes vocales. Le coefficient d'atténuation a aussi diminué. L'amplitude de la fonction d'auto-corrélation diminue fortement à l'origine et ne présente plus de maximums locaux et perd toute ses caractéristiques de périodicité ainsi que son enveloppe en sinus cardinal.

3. Sujet malade (masculin) atteint d'un polype inflammatoire

1. Tracé temporel du signal vocal :



Figure 31 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

2. Tracé de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :

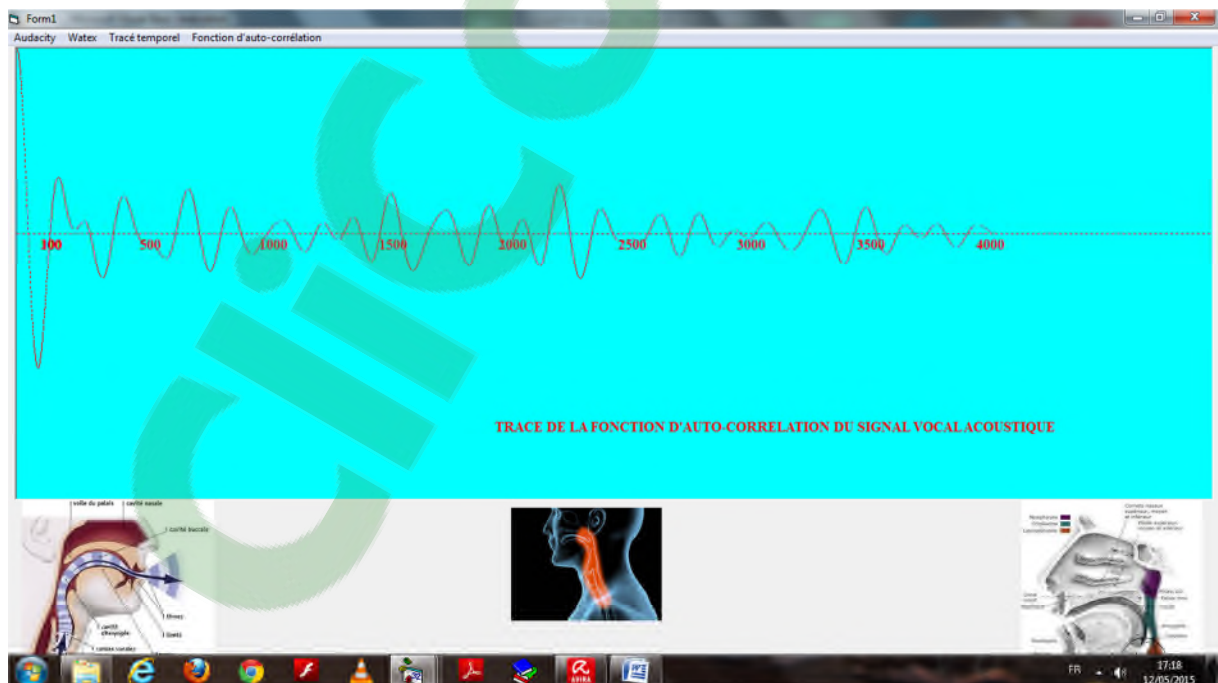


Figure 32 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

3. Tracé des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :

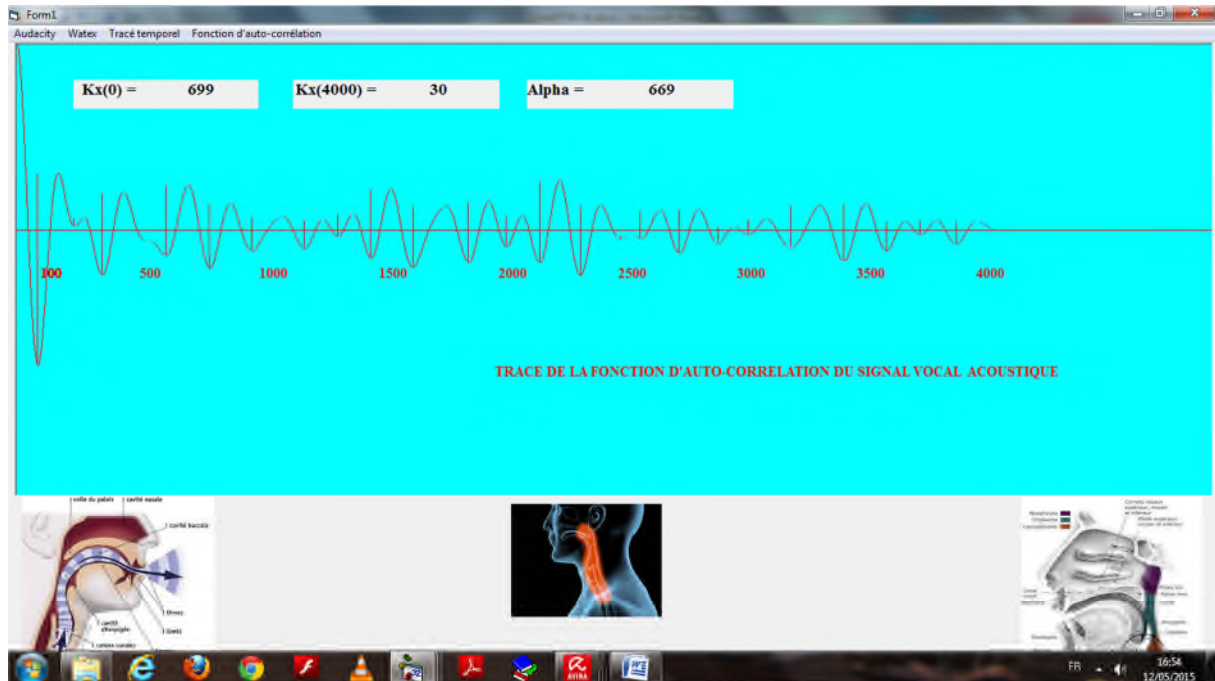


Figure 33 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

4. Analyse du signal :

Son tracé temporel contient une certaine irrégularité mais présente aussi une similarité par rapport au tracé temporel des patients sains. La fonction d'auto-corrélation contient de la même manière que le signal temporel une certaine irrégularité avec aussi une similarité par rapport aux sujets sains.

5. Sujets malades (masculin) atteint d'une laryngite chronique

1. Tracé temporel du signal vocal :

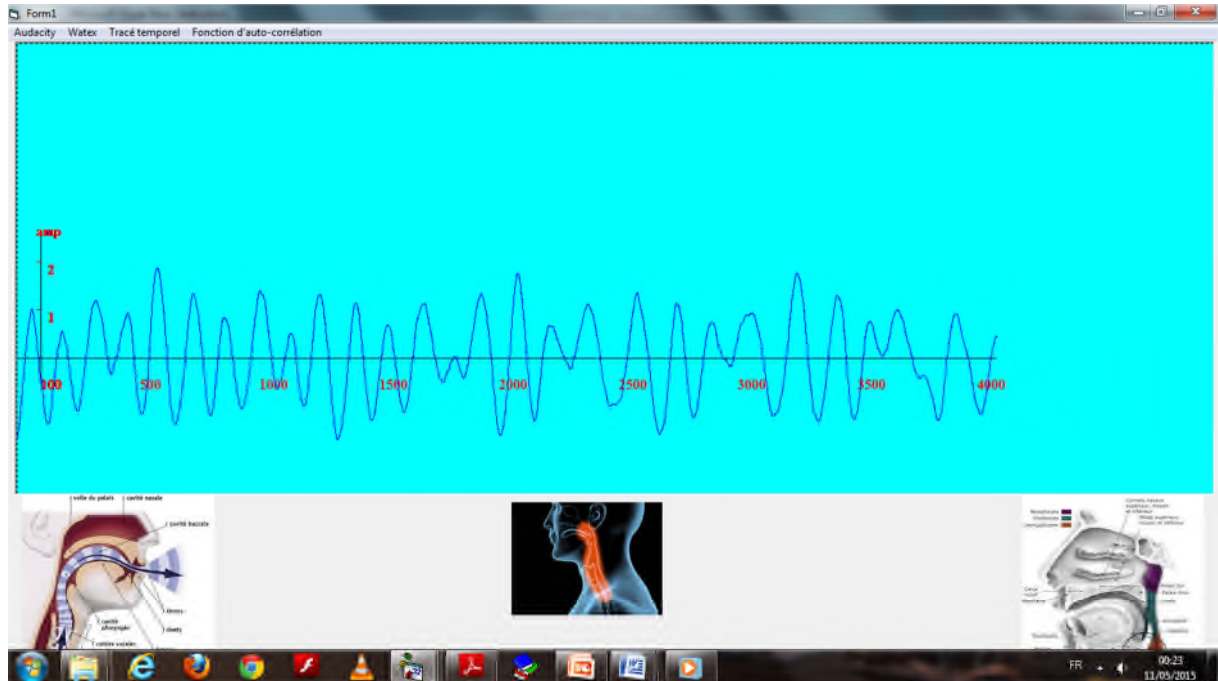


Figure 34 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'une laryngite chronique.

2. Tracé de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :

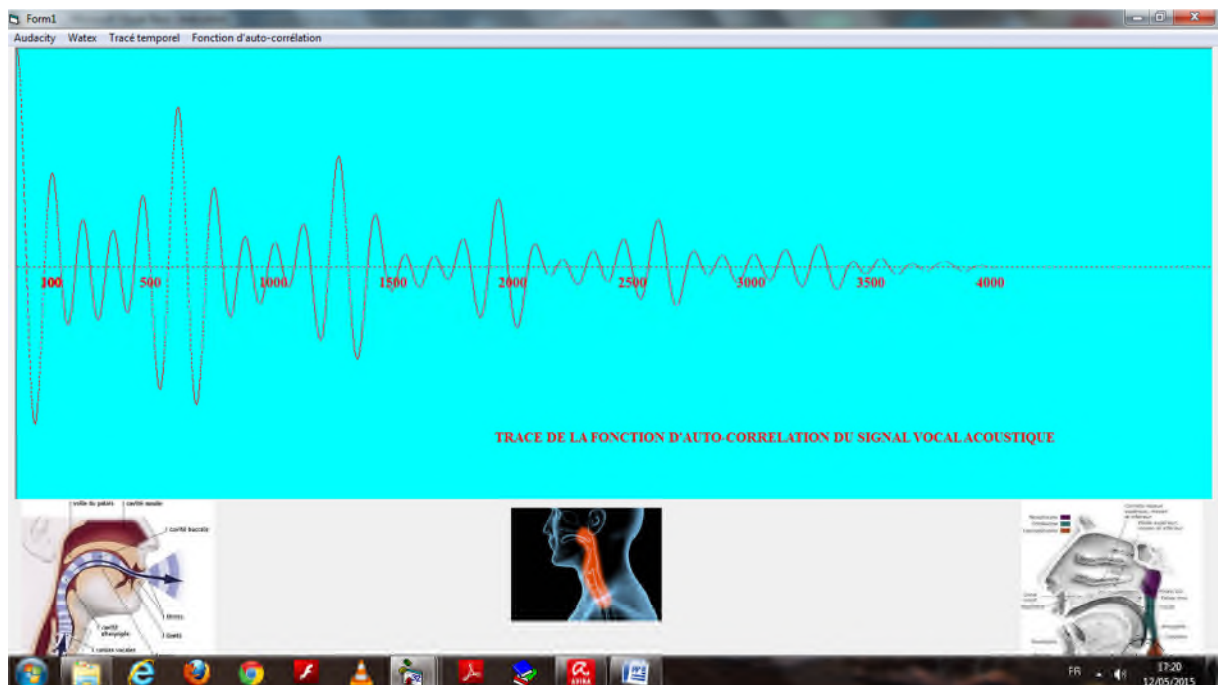


Figure 35 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'une laryngite chronique.

3. Tracé des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal :



Figure 36 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

4. Analyse du signal :

Son tracé temporel contient une certaine irrégularité avec une similarité plus prononcée par rapport au tracé temporel des patients sains. La fonction d'auto-corrélation présente une grande similarité avec les sujets sains avec des maximums locaux.

III. Calcul du coefficient d'atténuation

✓ Le coefficient d'atténuation pour des sujets sains :

	Valeur à l'origine	Valeur à l'infini	Coefficient d'atténuation	La moyenne de (α)
1 ^{er} sujet	1959	34	1924	2299.5
2 ^{ème} sujet	2465	48	2417	
3 ^{ème} sujet	2585	29	2555	
4 ^{ème} sujet	2792	49	2742	
5 ^{ème} sujet	2568	43	2525	
6 ^{ème} sujet	1651	17	1634	

Tableau 3 : Valeurs du coefficient d'atténuation pour des sujets sains

❖ Calcul de la moyenne du coefficient d'atténuation pour :

$$\alpha_{\text{Moy}} = \sum_{i=1}^6 \frac{Kxi}{6}$$

AN:

$$\alpha_{\text{Moy}} = \frac{1924+2417+2555+2742+2525+1634}{6}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = 2299.5$$

✓ Le coefficient d'atténuation pour des sujets malades :

Les cas pathologiques	Les sujets	La valeur maximale à l'origine	La valeur minimale	Le coefficient d'atténuation (α)	La moyenne de (α)
cancer	1 ^{er} sujet	727	1	726	599.5
	2 ^{ème} sujet	609	2	607	
	3 ^{ème} sujet	538	0	538	
	4 ^{ème} sujet	770	2	768	
	5 ^{ème} sujet	598	4	594	
	6 ^{ème} sujet	374	10	364	
polype	7 ^{ème} sujet	429	2	547	637.2
	8 ^{ème} sujet	411	3	502	
	9 ^{ème} sujet	901	5	896	
	10 ^{ème} sujet	699	30	669	
	11 ^{ème} sujet	582	10	572	
Inflammation laryngite	12 ^{ème} sujet	744	10	734	852
	13 ^{ème} sujet	900	14	886	
	14 ^{ème} sujet	938	2	936	

Tableau 4 : les valeurs du coefficient d'atténuation pour des sujets pathologique

❖ **Calcul de la moyenne du coefficient d'atténuation :**

- **Pour les sujets atteints d'un cancer :**

$$\alpha_{\text{Moy}} = \sum_{i=1}^6 \frac{Kxi}{6}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = \frac{726+607+538+768+594+364}{6}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = 599.5$$

- **Pour les sujets atteints d'un un polype :**

$$\alpha_{\text{Moy}} = \sum_{i=1}^5 \frac{Kxi}{5}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = \frac{547+502+896+669+572}{5}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = 637.2$$

- **Pour les sujets atteints d'une inflammation laryngite :**

$$\alpha_{\text{Moy}} = \sum_{i=1}^3 \frac{Kxi}{3}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = \frac{734+886+936}{3}$$

$$\alpha_{\text{Moy}} = 852$$

IV. **Interprétation des résultats obtenus par le coefficient d'atténuation :**

Dans cette partie nous avons calculé le coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation pour des sujets sains et pathologiques :

- Nous avons trouvé que le coefficient d'atténuation pour des sujets sains est plus grand par rapport aux sujets pathologiques et la différence entre eux est remarquable. De ce fait le coefficient d'atténuation est un paramètre pertinent pour faire une évaluation objective des dysphonies chroniques d'origine laryngée.
- Le calcul du coefficient d'atténuation nous a permis de faire une différence entre les sujets sains et ceux atteints d'une laryngite chronique mais on a trouvé une difficulté de faire la séparation entre les sujets atteints d'un polype et ceux atteints d'un cancer car la taille actuelle du corpus ne permet pas de faire cette distinction.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons en premier, fait la présentation de notre interface graphique que nous avons développée sous environnement Visual basic.

Puis nous avons fait une interprétation des résultats obtenus à partir du tracé temporel du signal vocal ainsi que de sa fonction d'auto corrélation. Ceci à été l'occasion pour nous d'effectuer l'évaluation clinique de ces résultats en engageant une discussion interprétative de ces derniers. Ce qui nous a permis d'élaborer une séparation entre un sujet sain, un sujet atteint d'une inflammation des cordes vocales (polype ou laryngite) et sujet atteint d'un cancer du larynx.

Enfin nous avons calculé le coefficient d'atténuation à partir de la différence entre la première valeur $Kx(0)$ et la dernière valeur $Kx(\infty)$ de la fonction d'auto corrélation qui nous a permis de faire une séparation entre un sujet sain et pathologique. Par conséquent le coefficient d'atténuation semble être un paramètre pertinent pour la classification des dysphonies chroniques d'origine laryngée.

Conclusion générale

L'importance du traitement du signal vocal acoustique, dans le cadre le plus général, s'explique par la position privilégiée de la parole comme vecteur d'information dans notre société humaine, ainsi que comme aide au diagnostic médical.

L'objectif de notre travail est l'évaluation objective des dysphonies chroniques d'origine laryngée par l'analyse temporelle du signal vocal acoustique.

Ce travail a consisté en :

- ✓ L'acquisition du signal vocal acoustique à l'aide d'une carte son sur le plan hardware et l'environnement Audacity sur le plan software permettant l'enregistrement du signal vocal sous format Wave.
- ✓ La conversion du Format WAVE en format HEXADECIMAL.
- ✓ Implémentation d'une interface de traitement numérique du signal vocal acoustique sous environnement Visual Basic.

Dans ce travail, nous avons fait bénéficier le signal acoustique d'un traitement, en mettant en œuvre une analyse temporelle de celui-ci.

Cette analyse comprend :

- Le tracé temporel du signal vocal acoustique.
- Le calcul de la fonction d'auto-corrélation.
- Le calcul du coefficient d'atténuation du signal objet de notre étude.

Les résultats obtenus montrent une variabilité des caractéristiques temporelles entre sujets sains et sujets pathologiques notamment en ce qui concerne la morphologie du signal vocal acoustique ainsi que sa fonction d'auto-Corrélation et le coefficient d'atténuation du signal visé.

Les perspectives :

- ✓ Développer tous les algorithmes relatifs à la caractérisation objective des dysphonies d'origine laryngée au niveau du traitement numérique du signal vocal acoustique.
- ✓ Investiguer les différents modèles de production de la parole en vue d'améliorer et de développer d'autres protocoles d'exploration de la voix.

Bibliographie et Neto-graphie

Bibliographie

[1] : Élisabeth Fresne (Phoniatre, Fondation A. de Rothschild – Paris, Hôpital Américain de Paris), Stéphane Corbiere (O.R.L, Hôpital Américain de Paris, Membre Associé, de l'Académie Nationale de Chirurgie) et Charles Freche (O.R.L., Professeur des Universités, Hôpital Américain de Paris, Membre Associé de l'Académie Nationale de Chirurgie); << La voix : la corde vocale et sa pathologie >>.

[2] : Julien Cisonni. <<Modélisation et inversion d'un système complexe de production de signaux acoustiques. Application à la voix et aux pathologies >>. Physics. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2008. French. <tel-00363714>

[3] : Lucie BAILLY ; << Interaction entre cordes vocales et bandes ventriculaires en phonation : exploration in-vivo, modélisation physique, validation in-vitro. >> Thèse de doctorat , ÉCOLE DOCTORALE DE L'UNIVERSITÉ DU MAINE Le Mans, France 2009.

[4] : <<Anatomie générale de l'appareil respiratoire.>>
http://coursenligne.u-picardie.fr/ines/foadF/paes/16729/Appareil_respiratoire.pdf

[5] : Gilles Léothaud. << Théorie de la phonation >>. cours de DEUG 2^e année DMU3D1B. Année universitaire 2004-2005.

[6] : Pr Vitte <<Anatomie cours 13- larynx, pharynx >>. [Www.tsp7.net](http://www.tsp7.net)

[7] : Elisabeth Lhote ; « La parole et la voix » PDF

[8] : Harold Andrés Guerrero Lopez. <<Caractérisation de la voix de l'enfant sourd appareillé et implanté cochléaire: approches acoustique et perceptuelle et proposition de modélisation. Linguistics.>> Université Paul Valéry - Montpellier III, 2010. French

[9] : Gaël RICHARD <<Eléments de Reconnaissance de la Parole >>.pour PACT Télécom Paris Tech Extraits du poly de cours de l'UE SI340 .30 novembre 2012

[10] : Abdelouahed Sara ;<<Analyse spectro-temporelle du signal vocal en vue dépistage et du suivie des dysphonies chroniques >> Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en Signaux et Images en médecine, Université ABOU BEKER BELKIAD TELEMENEN ,2011-2012.

[11] : Bernard Teston ; <<L'évaluation objective des dysphonies : État actuel et perspectives d'évolution >>

[12] : Maalem Habiba ;<< Les Statistiques d'Ordre Supérieur: Application au Traitement du Signal Parole Pathologique (Patients à Audition Déficente – Patients Trachéotomisés)>> UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR DEPARTEMENT DE L'ELECTRONIQUE, 2007.

[13] : Professeur Emile Reyt ;<<diagnostic d'une dysphonie>>Février2002.

[14] :P.Tran Ba Huy<<O.R.L>>.Universités Francophones. ELLIPSES, AUPELF/UREF.

[15] : Thomas HÉZARD<<Production de la voix : exploration, modèles et analyse/synthèse>>These dirigee et encadree par Thomas Hélie, Rene Caussé et Boris Doval,, préparée à l'Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique, CNRS UMR 9912 Sciences et Technologies de la Musique et du Son. Date prévisionnelle de soutenance : 9 décembre 2013.

[16] : BELARBI Med Kamel;<<Cancer du larynx >>.

[17] : Dr Camille Finck <<Chapitre V L'évaluation fonctionnelle>>, Service d'Oto-Rhino-Laryngologie,CHU Sart Tilman, Université de Liège, Liège, Belgium

[18] : <<TECHNIQUES D'EXPLORATIONS DE LA VOIX ET LEURS INDICATIONS>>; université d'Anger.

[19] : Rerbal Souhila <<TRAITEMENT NUMERIQUE DU SIGNAL PHYSIOLOGIQUE EN TELEMEDECINE>> Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de doctorat en Signaux et Images en médecine, Université ABOU BEKER BELKIAD TELEMEN ,2014.

[20] : Abdelouahed Sara ;<<Analyse spectro-temporelle du signal vocal en vue dépistage et du suivie des dysphonies chroniques >> Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de doctorat en Signaux et Images en médecine, Université ABOU BEKER BELKIAD TELEMEN ,2015.

[21] : Audacity - mode d'emploi-. PDF

[22] : bibliothèque de Visual Basic.6

Neto-graphie

[1'] : www.em-consulte.com/article/19333/physiologie-de-la-phonation

[2'] : http://www.edimark.fr/phototheque/galerie_detail.php?id_galerie=998.

Liste des Figures

Figure 1 : Schéma de l'appareil vocal.

Figure 2 : Schéma des cartilages et les ligaments de larynx.

Figure 3 : Les crico-thyroïdiens.

Figure 4 : Structure des cordes vocales.

Figure 5 : Schéma des cordes vocales.

Figure 6 : Les cavités de résonances.

Figure 7 : Schéma de l'appareil phonatoire.

Figure 8 : Schéma fonctionnel de l'appareil phonatoire.

Figure 9 : Schéma des phonèmes de la langue française.

Figure 10: Exemple d'un son voisé

Figure 11 : Exemple d'un son non voisé

Figure 12 : Image des lésions tumorales (carcinome) vues au microscope opératoire.

Figure 13 : Image des nodules bilatéraux.

Figure 14 : photo d'un polype chordale.

Figure 15 : Image de laryngoscopie indirecte.

Figure 16 : photo d'un examen naso-fibroscopique.

Figure 17: Image du larynx prise d'une vidéo de stroboscopie.

Figure 18 : Image d'un examen de glottographie.

Figure 19: L'électromyographie laryngée.

Figure 20 : Capture d'écran de l'environnement Audacity.

Figure 21 : Capture d'écran de l'environnement Watex.

Figure 22 : La boîte de dialogue au démarrage de l'Environnement de Développement Intégré.

Figure 23 : Capture d'écran de l'environnement Visual Basic.6

Figure 24 : Capture d'écran de l'interface de traitement numérique du signal vocal acoustique.

Figure 25 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet sain.

Figure 26 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet sain.

Figure 27 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet sain.

Figure 28: Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

Figure 29 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

Figure 30 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un cancer du larynx.

Figure 31 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

Figure 32 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

Figure 33 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire.

Figure 34 : Capture d'écran du tracé temporel du signal vocal d'un sujet atteint d'une laryngite chronique.

Figure 35 : Capture d'écran de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'une laryngite chronique.

Figure 26 : Capture d'écran des pics et le calcul du coefficient d'atténuation de la fonction d'auto-corrélation du signal vocal d'un sujet atteint d'un polype inflammatoire

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau des consonnes de la langue française.

Tableau 2 : Tableau des semi voyelle du français.

Tableau 3 : Tableau des valeurs du coefficient d'atténuation pour des sujets sains.

Tableau 4 : Tableau des valeurs du coefficient d'atténuation pour des sujets pathologique.

Résumé

Dans le cadre de la réalisation du projet de fin d'études, nous avons développé une plateforme destinée à l'évaluation objective des dysphonies chroniques d'origine laryngée par l'analyse temporelle du signal vocal acoustique, et cela en vue d'apporter notre contribution à prévenir, traiter et surveiller les dysfonctionnements chroniques du système phonatoire. Pour cela nous mettons à profit, dans un premier temps, l'enregistrement et l'archivage du signal vocal acoustique au moyen de l'environnement logiciel Audacity qui permet de délivrer un signal temporel sous le format WAVE. Notre contribution consiste en l'implémentation sous environnement Visual Basic d'un algorithme permettant de réaliser l'analyse temporelle d'un signal vocal acoustique voisé en l'occurrence un « a » soutenu pendant trois secondes. Ce plateau technique mettra à la disposition du clinicien ORL des indices complémentaires pertinents comme la morphologie du signal vocal acoustique, la fonction d'auto corrélation de celui-ci et le coefficient d'atténuation de cette dernière permettant une évaluation objective des dysphonies chroniques laryngées et leur classification en syndrome d'origine inflammatoire ou tumorale (cancer du larynx, polype de type inflammatoire des cordes vocales, laryngite chronique). Les résultats obtenus montrent une variabilité des caractéristiques temporelles entre sujets sains et sujets pathologiques.

Mots clés : dysphonies vocales, sons voisés, fonction d'auto-corrélation, coefficient d'atténuation, Visual Basic, Audacity.

Abstract

As part of the project graduation, we have developed a platform for objective evaluation of laryngeal chronic dysphonia by temporal analysis of acoustic voice signal, in order to prevent, treat and monitor chronic dysfunctions of phonatory system. For that we recorded and archived an acoustic voice signal using the Audacity software environment which can deliver a temporal signal in the WAVE format. Our work is based on the implementation of an algorithm in a Visual Basic environment in order to perform a temporal analysis of acoustic voice signal by voicing the "a" letter for three seconds. This technical platform will provide to the clinician additional relevant indices like the morphology of the temporal signal, autocorrelation function of it and the coefficient of the autocorrelation function for the objective evaluation of chronic dysphonia and their syndrome classification of inflammatory or tumoral origin (laryngeal cancer, inflammatory polyp of vocal cord, chronic laryngitis). The results obtained show variability in the temporal characteristics between healthy subjects and pathological subjects.

Keywords: voice dysphonia, voiced sounds, autocorrelation function, attenuation coefficient, Visual Basic, Audacity.

ملخص

في إطار إعداد هذه الأطروحة هدفنا هو تطوير قاعدة تقنية من أجل التقييم الموضوعي و رصد خلل مزمن في الحنجرة التي عبرها نقوم بتحليل الطيف الزمني للإشارات الصوتية و ذلك بتسجيل الطيف الصوتي عبر البرنامج Audacity الذي يسمح لنا بتحويل الطيف الصوتي إلى Wave. عملنا هو تطوير قاعدة تقنية عبر لغة البرمجة Visual Basic الذي ينفذ عدة خوارزميات لمعالجة الإشارة الصوتية لتقييم المعايير ذات الصلة بخصائص وظيفة الجهاز الصوتي و ذلك بنطق حرف « a » لمدة ثلاثة ثواني. هذه القاعدة التقنية سوف تقدم للطبيب المختص في طب الأذن الحنجرة و الأنف: مؤشرات إضافية ذات صلة مثل شكل الطيف الزمني الصوتي، وظيفة الارتباط الذاتي الخاصة به و معامل التناقص لوظيفة الارتباط الذاتي التي تساعد على التقييم الموضوعي لأي خلل في الحنجرة و تصنيفها إلى التهابات أو أورام (سرطان الحنجرة ، ورم التهاب الحبال الصوتية، التهاب الحنجرة المزمن). النتائج المتحصل عليها تبين اختلاف بين الخصائص الزمنية بين الشخص السليم والشخص المريض.

كلمات مفتاحية : خلل في الصوت، صوت حلق، وظيفة الارتباط الذاتي، معامل التناقص، Visual Basic ، Audacity .