



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

Par

LALOT Anna
REYT Sylvain

ETUDE COMPARATIVE DE
LA PRODUCTION DES VOYELLES ENTRE
LOCUTEURS SAINS ET DYSPHONIQUES :

Effet du contexte de réalisation
et de la composante de souffle

Maître de Mémoire

AL-TAMIMI Jalal

Membres du Jury

BALDY Florence
BRIGNONE-RAULIN Sylvie
DE CHASSEY Juliette

Date de Soutenance

3 juillet 2008

ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION DES VOYELLES ENTRE LOCUTEURS SAINS ET DYSPHONIQUES : Effet du contexte de réalisation et de la composante de souffle

ERRATA :

En souligné : corrections

Page 27 :

- **variation de la fréquence fondamentale :**

On pourra calculer le fondamental usuel (c'est-à-dire la fréquence fondamentale la plus utilisée par le sujet) et l'étendue vocale qui est d'environ une octave en voix parlée.

L'étude des jitters consiste en l'étude des variations à court terme de la fréquence et renseigne sur l'apériodicité de la voix. La pathologie vocale peut parfois entraîner une perturbation de la régularité du mouvement glottique : la voix devient alors apériodique.

Page 57 :

Les résultats sont tout à fait cohérents avec l'analyse précédente : chaque formant varie selon le degré de pathologie. Celle-ci entraîne une ouverture (augmentation de F1) et une antériorisation (augmentation de F2) du /u/.

Page 60 :

2.1. Effet du contexte de réalisation

- Durée : en pathologie, la durée en contexte mot est inférieure à la durée en contextes syllabe et isolé. Chez les témoins, on fait le même constat. Cependant, chez ces derniers, syllabe et isolé ne se différencient pas.
- f_0 : pour les 2 populations, la f_0 est plus basse en contexte mot qu'en isolation. Les contextes mot et syllabe ne se différencient pas.

ORGANIGRAMMES

1. Université Claude Bernard Lyon1

Président
Pr. COLLET Lionel

Vice-président CEVU
Pr. SIMON Daniel

Vice-président CA
Pr. LIETO Joseph

Vice-président CS
Pr. MORNEX Jean-François

Secrétaire Général
M. GAY Gilles

1.1. Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Grange
Blanche
Directeur
Pr. MARTIN Xavier

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. ROBIN Olivier

U.F.R de Médecine Lyon R.T.H.
Laennec
Directeur
Pr. COCHAT Pierre

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur
Pr. LOCHER François

U.F.R de Médecine Lyon-Nord
Directeur
Pr. ETIENNE Jérôme

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Pr. MATILLON Yves

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Directeur
Pr. GILLY François Noël

Département de Formation et Centre
de Recherche en Biologie Humaine
Directeur
Pr. FARGE Pierre

1.2. Secteur Sciences :

Centre de Recherche
Astronomique de Lyon -
Observatoire de Lyon
Directeur
M. GUIDERDONI Bruno

I.S.F.A. (Institut de Science Financière
et D'assurances)
Directeur
Pr. AUGROS Jean-Claude

U.F.R. Des Sciences et
Techniques des Activités
Physiques et Sportives
Directeur
Pr. COLLIGNON Claude

U.F.R. de Génie Electrique et des
Procédés
Directeur
Pr. CLERC Guy

U.F.R. de Physique
Directeur
Mme FLECK Sonia

U.F.R. de Chimie et Biochimie
Directeur
Pr. PARROT Hélène

U.F.R. de Biologie
Directeur
Pr. PINON Hubert

U.F.R. des Sciences de la Terre
Directeur
Pr. HANTZPERGUE Pierre

I.U.T. A
Directeur
Pr. COULET Christian

I.U.F.M
Directeur
M. BERNARD Régis

I.U.T. B
Directeur
Pr. LAMARTINE Roger

Institut des Sciences et des
Techniques de l'Ingénieur de Lyon
Directeur
Pr. LIETO Joseph

U.F.R. De Mécanique
Directeur
Pr. BEN HADID Hamda

U.F.R. De Mathématiques
Directeur
M. GOLDMAN André

U.F.R. D'informatique
Directeur
Pr. AKKOUCHE Samir

2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE

Directeur ISTR
Pr. MATILLON Yves

Directeur de la formation
Pr. TRUY Eric

Directeur des études
BO Agnès

Directeur de la recherche
Dr. WITKO Agnès

Responsables de la formation clinique
PERDRIX Renaud
MORIN Elodie

Chargée du concours d'entrée
PEILLON Anne

Secrétariat de direction et de scolarité
BADIOU Stéphanie
CLERC Denise

REMERCIEMENTS

Nous tenons ici à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire :

Jalal Al-Tamimi, docteur en sciences du langage, qui nous a suivis, conseillés et dirigés tout au long de ce travail.

Le docteur Bruno Coulombeau, phoniatre, pour sa disponibilité, ses conseils et sa participation active à une partie des enregistrements des patients de notre expérimentation.

Le docteur Jean-Blaise Roch, phoniatre, pour ses conseils et ses connaissances sur la voix et l'analyse vocale.

Les orthophonistes, qui ont pris sur leur temps pour nous recevoir et qui nous ont adressé des patients pour les enregistrements vocaux.

Les patients et les personnes du groupe témoin, pour avoir accepté d'être enregistrés.

Nous adressons un grand merci à nos familles et à nos amis pour leur soutien et l'intérêt porté à notre travail.

Enfin, nous remercions de tout cœur nos conjoints pour leur soutien et leur patience, pour le choix du titre (merci Cécile !) et pour l'analyse des statistiques (merci Aurélien !).

SOMMAIRE

ORGANIGRAMMES	2
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	6
INTRODUCTION	8
PARTIE THEORIQUE	10
I. RAPPEL ANATOMIQUE SUR L'APPAREIL PHONATOIRE.....	11
II. RAPPEL PHYSIOLOGIQUE DE L'APPAREIL PHONATOIRE	13
III. PRODUCTION DE LA PAROLE : ELEMENTS DE PHONETIQUE ACOUSTIQUE	15
IV. LES PATHOLOGIES VOCALES	22
V. LES METHODES D'ANALYSE DE LA VOIX	24
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	28
I. PROBLEMATIQUE.....	29
II. HYPOTHESES	30
PARTIE EXPERIMENTALE	32
I. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	33
II. CREATION DU CORPUS DES 81 MOTS	33
III. CHOIX DES DEUX POPULATIONS	34
IV. LES ENREGISTREMENTS ET LE MATERIEL UTILISE.....	37
V. LE TRAITEMENT DES DONNEES	38
VI. LE TRAITEMENT STATISTIQUE.....	45
PRESENTATION DES RESULTATS	47
I. MESURES OBJECTIVES	48
II. CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES NORMALES ET PATHOLOGIQUES.....	51
III. CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES EN FONCTION DE LEUR CONTEXTE DE REALISATION	59
DISCUSSION DES RESULTATS	65
I. ANALYSE DES RESULTATS.....	66

II. RETOUR SUR L'EXPERIMENTATION	77
CONCLUSION.....	81
BIBLIOGRAPHIE.....	83
ANNEXES	87
ANNEXE I : PROTOCOLE (CORPUS DES 81 ITEMS)	88
ANNEXE II : VUES DU LARYNX	89
ANNEXE III : CORRELATION ENTRE REMPLACEMENT DES HARMONIQUES ET HPR DES GROUPES « PEU SOUFFLES » ET « SOUFFLES » :	90
ANNEXE IV : MOYENNE DES MESURES OBJECTIVES ET DES CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DE CHAQUE LOCUTEUR :	91
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	94
TABLE DES MATIERES	96

INTRODUCTION

La parole, instrument de communication orale et auditive, repose sur un ensemble complexe et organisé de caractéristiques anatomo-physiologiques, sensorielles ou encore cognitives. Lorsqu'un élément constitutif de cet ensemble dysfonctionne, on entre alors dans le champ de la pathologie. L'orthophoniste peut alors avoir à évaluer et prendre en charge des pathologies aussi multiples que peuvent l'être les étiologies.

Dans cette étude ce sont les perturbations de la vibration des cordes vocales qui sont étudiées. Ces perturbations sont connues sous le nom de dysphonie ou pathologie vocale. Les conditions anatomo-physiologiques normales dans lesquelles la parole est produite s'en trouvent modifiées. Les répercussions touchent la qualité de la voix et donc les valeurs acoustiques qui la caractérisent. Les pathologies que nous avons sélectionnées sont décrites comme occasionnant un timbre voilé ou soufflé. Le terme « voilé » est utilisé pour définir une voix comportant un bruit de souffle faible et le terme « soufflé » pour une voix caractérisée par un bruit de souffle élevé. Comme nous le verrons plus loin, une perte d'air lors de la phonation peut entraîner ce type de voix, avec notamment une atténuation plus ou moins forte des harmoniques dans les hautes fréquences (Pruszevicz & coll., 1991 ; Dejonckere, 1990 ; Remacle & coll., 1990). Ainsi, le timbre de la voyelle est altéré, tant sur le plan perceptif qu'acoustique. Les voix que nous avons enregistrées seront évaluées et classifiées à partir de mesures objectivant certaines composantes pathologiques, dont le bruit de souffle. Nous étudierons l'impact de cette composante sur les caractéristiques acoustiques de la voyelle à travers la durée, la fréquence fondamentale, l'intensité, les trois premiers formants vocaliques et l'espace vocalique.

D'autre part, nous ferons référence aux travaux qui ont été réalisés sur la production des voyelles en phonétique acoustique. La programmation d'un son à partir de sa représentation phonologique peut être tout à fait différente de la réalité acoustique du son produit. De plus, un même phonème peut avoir des réalisations tout à fait différentes. Si l'on prend l'exemple d'une voyelle, sa réalisation acoustique, notamment sur le plan formantique, pourra varier selon qu'elle est produite isolément, dans un mot ou dans un discours... ou qu'elle se situe dans un entourage consonantique qui peut être vélaire, sourd ou encore occlusif... La littérature (Liberman & coll., 1967 ; Fowler, 1984) a en

effet produit de nombreuses études qui ont mis en évidence dans plusieurs situations de parole des phénomènes de coarticulation et d'interinfluence des sons entre eux.

La particularité de cette étude résidera dans la caractérisation de la voyelle considérée ici comme une unité phonétique intégrée à la chaîne parlée. Notre protocole expérimental nous permettra d'analyser plusieurs conditions de production de la voyelle. Ces conditions pourront être soumises à des variations relatives au sexe du locuteur et au contexte consonantique, ainsi qu'au contexte de réalisation et au caractère pathologique de la voix. Ce sont sur ces derniers que nous mettrons plus particulièrement l'accent. Les résultats obtenus permettront de répertorier les modifications acoustiques et d'évaluer une éventuelle réduction de l'espace vocalique (Lindblom, 1963 ; Fourakis, 1991), représenté par un triangle vocalique issu des valeurs formantiques de /a/, /i/ et /u/. Une centralisation des voyelles sur ce triangle pourra indiquer que leurs valeurs prototypiques (qui correspondent à une réalisation stable et « idéale » de la voyelle) ne sont pas atteintes, et donc que leur qualité n'est pas optimale. Nous tenterons donc de vérifier que la qualité des voyelles dépend des contraintes liées à la chaîne parlée et nous évaluerons plus précisément quels sont les facteurs qui en sont à l'origine.

Il s'agit donc d'analyser la production des voyelles /i/ /a/ /u/ du français produites par des locuteurs présentant une voix voilée ou soufflée. Nous tenterons de mettre en évidence l'influence du souffle sur les caractéristiques acoustiques de ces trois voyelles (fréquence fondamentale, durée, intensité et formants). Nous étudierons également ces trois voyelles chez des locuteurs présentant une voix normale.

Pour cela, nous emploierons des analyses statistiques dont nous présenterons les résultats afin de les confronter à nos hypothèses. Nous en viendrons ensuite à la discussion de ces résultats et à leur interprétation à l'aide d'éléments issus de la littérature. Nous ferons notamment appel aux études consacrées à l'altération de la voix dans les pathologies vocales et à la caractérisation des voyelles dans production de la parole. Pour terminer, nous établirons une conclusion dans laquelle nous synthétiserons notre travail et nos résultats.

Chapitre I
PARTIE THEORIQUE

I. RAPPEL ANATOMIQUE SUR L'APPAREIL PHONATOIRE

L'anatomie et la physiologie de l'appareil phonatoire ont déjà été présentées de façon détaillée par de nombreux auteurs (Le Huche et Allali, 1991 ; Cornut, 2004 ; Dinville, 1993), nous avons donc choisi volontairement d'en faire une présentation rapide.

L'appareil phonatoire est un système complexe qui permet à l'Homme de produire des sons, des vocalisations. La voix créée par cet appareil reflète la personnalité, le caractère, les émotions. C'est un outil majeur dans la communication. Il met en jeu trois niveaux :

- la soufflerie pulmonaire : l'appareil respiratoire
- le vibreur : le larynx
- les résonateurs : le pharynx, la cavité buccale et les fosses nasales.

1. La soufflerie pulmonaire

Le thorax, formé des côtes, du sternum et des vertèbres cervico-dorsales constitue la structure qui permet de produire l'énergie sans laquelle la voix ne pourrait être produite, c'est-à-dire le souffle pulmonaire. Le thorax est mis en mouvement par deux types de muscles respiratoires :

Les muscles inspireurs :

- les éleveurs du thorax : le scalène et le sterno-cléido-mastoïdien
- les intercostaux externes
- le diaphragme

Les muscles expirateurs :

- les abdominaux obliques et transverses
- les intercostaux internes

2. Le vibreur

Le larynx est un organe extrêmement complexe qui remplit 4 fonctions : respiration, phonation (la fonction qui nous intéresse ici), aide à l'effort musculaire et déglutition. Il est composé de cartilages et de muscles qui s'insèrent le plus souvent sur l'os hyoïde, seul os laryngé.

2.1. Les cartilages

L'épiglotte, qui surplombe le larynx est mince et souple et est souvent décrite comme ayant la forme d'un pétale. Elle bascule en arrière lors de la déglutition afin de protéger l'orifice laryngé et les voies aériennes supérieures (trachée, poumons).

Le cartilage thyroïde, aussi appelé pomme d'Adam, est décrit comme un livre ouvert. Son angle rentrant est plus saillant chez l'homme que chez la femme. La proéminence de ce cartilage forme ce que l'on appelle la pomme d'Adam.

Vers le bas, le cartilage cricoïde fait suite au cartilage thyroïde. Il a la forme d'une chevalière dont le chaton (la partie la plus large) est vers l'arrière. Il se prolonge vers le bas par le premier anneau trachéal.

Vers l'arrière, les deux cartilages aryténoïdes s'articulent sur le chaton cricoïdien constituant ainsi de chaque côté une unité crico-aryténoïdienne mobile. Cette configuration permet les mouvements d'ouverture et de fermeture des cordes vocales, conférant ainsi à ces deux cartilages un rôle physiologique central dans le mécanisme de la phonation (Cf. annexe 2).

2.2. Les muscles

Les muscles extrinsèques forment le système suspendu du larynx et permettent les mouvements laryngés de haut en bas et d'avant en arrière.

Les muscles intrinsèques entraînent les mouvements des cordes vocales. On distingue :

- le tenseur des cordes vocales : le crico-thyroïdien
- le dilatateur de la glotte : le crico-aryténoïdien postérieur
- les adducteurs : l'aryténoïdien latéral, l'inter-aryténoïdien, le thyro-aryténoïdien inférieur et supérieur.

À l'intérieur de cette structure fibro-cartilagineuse se trouvent les cordes vocales, appelées également plis vocaux. Elles se présentent sous la forme de deux rubans, insérés en avant dans l'angle rentrant du cartilage thyroïde, et en arrière sur l'apophyse vocale de l'aryténoïde. Elles sont constituées du muscle vocal recouvert du ligament vocal puis de la muqueuse. L'espace entre la muqueuse et le ligament est appelé l'espace de Reinke.

Au-dessus et en dehors des cordes vocales, il existe deux bandes ventriculaires ou bourrelets latéraux. Ce sont de fausses cordes vocales qui ne jouent aucun rôle dans la production vocale normale (Cornut, 2004).

3. Les résonateurs

Une fois produit par le larynx, le son passe par des cavités appelées résonateurs.

3.1. Le pharynx ou carrefour aéro-digestif

C'est une cavité musculaire, divisée en trois parties avec de haut en bas : le rhinopharynx, l'oropharynx et l'hypopharynx. Elle est située en arrière de la langue. Son volume varie, parfois de manière assez importante, en fonction des mouvements de montée et de descente du larynx, et ce lors de l'articulation des voyelles notamment.

3.2. La bouche

C'est le résonateur et articulateur principal. Les éléments anatomiques qui la composent – la langue, les lèvres et les mâchoires – interviennent dans la production des sons.

3.3. Les fosses nasales

Parmi les voyelles du français, certaines sont oro-nasales. L'air doit passer à la fois par la bouche et par l'hypopharynx puis par les narines, grâce au voile du palais qui est en position basse. Si le voile du palais est relevé, il interrompt le passage de l'air par le nez et la voyelle est orale.

II. RAPPEL PHYSIOLOGIQUE DE L'APPAREIL PHONATOIRE

Toute rééducation vocale s'appuie sur des bases théoriques relatives au fonctionnement supposé normal de l'appareil phonatoire. Dans le but de comprendre ses dysfonctionnements, nous allons faire une présentation rapide de la réalisation du geste vocal pour une voix dite « normale ».

1. La respiration

La première fonction du larynx est vitale : c'est la respiration. Elle permet entre autre l'oxygénation du sang. Elle se déroule en deux temps : inspiration puis expiration. Lors de l'activité respiratoire simple et non pathologique, seule l'inspiration est active. L'expiration le devient uniquement lors de la phonation. Talma cité par Le Huche (1991, p.31) dit qu'elle « *perd sa qualité de vent pour prendre sa qualité de son* ».

Plusieurs groupes musculaires entrent en jeu pendant la respiration. Le diaphragme est le muscle inspireur principal. En forme de voûte, il sépare la cage thoracique de l'abdomen. Au cours de l'inspiration, il se contracte et descend en abaissant les viscères avec l'aide des autres muscles. Cela permet de libérer de l'espace pour que la cage thoracique puisse se gonfler de manière suffisante. Pendant l'expiration, les muscles intercostaux diminuent cet espace, le diaphragme remonte. Ainsi, il peut réguler le souffle phonatoire si besoin.

2. La phonation

C'est Ferrein qui, en 1741 à l'aide d'autopsies, fut le premier à montrer que la voix était produite par la vibration des cordes vocales grâce à l'air expiré. La formation de cette vibration laryngée peut être principalement expliquée par la théorie myo-élastique, présentée par Ewald en 1898 et décrite par Le Huche & Allali (1991). La voix naît, selon cette théorie, d'une expiration pulmonaire qui fournit l'énergie indispensable à la vibration des éléments laryngés et supra-laryngés.

Cette théorie se caractérise par deux notions importantes :

- la vibration des cordes vocales se fait passivement sous l'action de l'air expiré,
- les caractéristiques du son émis dépendent exclusivement de la pression sous-glottiques et de la tension des cordes vocales.

D'autres théories sont venues la compléter, notamment la théorie impédancielle de Dejonckere (1981), qui complète les théories de Ewald et de Cornut & Lafon (1960) en admettant que le larynx est un oscillateur complexe prenant en compte la muqueuse et le muscle vocal.

Aujourd'hui, c'est la théorie myo-élastique complétée ou myo-élastique aérodynamique qui semble la plus admise. Le larynx transforme l'air expiré en son primaire. C'est la fréquence fondamentale du son laryngé. Ce son, composé d'une onde glottique, passe

ensuite par les différentes cavités supra-glottiques et se trouve modifié par les articulateurs (langue, voile du palais et lèvres). Le son, ainsi modifié, se compose alors d'une onde glottique (f_0) et de formants (F1, F2, F3).

III. PRODUCTION DE LA PAROLE : ELEMENTS DE PHONETIQUE ACOUSTIQUE

1. Caractérisation acoustique et articulatoire des sons

Les sons de la parole sont constitués de traits phonétiques. Les traits phonétiques correspondent à la fois aux traits acoustiques, c'est-à-dire aux caractéristiques acoustiques du son, et aux traits articulatoires, c'est-à-dire à l'exécution d'un mouvement articulatoire.

1.1. Les consonnes

On distingue 5 modes d'articulation selon la largeur et la fermeture du conduit vocal : les occlusives, les nasales, les vibrantes, les fricatives et les approximantes (Argot-Dutard, 1996).

Nous décrivons ici les occlusives car ce sont les seules consonnes présentes dans notre expérimentation. Comme leur nom l'indique, ces consonnes sont réalisées à partir d'une occlusion complète du conduit vocal grâce à l'entrée en contact de deux articulateurs. L'occlusion se décompose en 3 étapes : la fermeture complète du conduit, caractérisée par la tenue silencieuse, l'explosion et enfin le relâchement qui permet de libérer l'air accumulé.

Les consonnes présentes dans notre protocole sont des occlusives non voisées (les cordes vocales n'entrent pas en vibration) orales (le voile du palais est relevé). Elles se différencient par leur lieu d'articulation et leur fréquence. Comme nous le verrons plus bas, cette dernière joue un rôle dans les transitions formantiques.

/p/ est une consonne bilabiale et de basse fréquence (concentration d'énergie dans la barre d'explosion vers 500 Hz).

/t/ est une consonne dentale (contact entre apex de la langue et dents) et de haute fréquence (concentration d'énergie dans la barre d'explosion vers 4000-5000 Hz).

/k/ est une consonne vélaire (contact dos de la langue contre palais mou) et de fréquence moyenne (concentration d'énergie dans la barre d'explosion entre les 500 et 4000 Hz).

	F1	F2	F3
i	250	2300	3200
ε	350	2200	2750
E	500	2000	2750
a	750	1300	2300
A	800	1200	2400

	F1	F2	F3
ψ	250	1800	2300
O	350	1600	2250
↔	500	1500	2500
↵	570	1560	2560

	F1	F2	F3
υ	250	800	2200
o	350	900	2500
□	500	1000	2500

Tableau 1 : Fréquences (Hz) des formants des voyelles orales du français

1.2. Les voyelles

Contrairement aux consonnes, le passage de l'air n'est pas bloqué pour les voyelles. D'un point de vue articulatoire, elles peuvent être classées selon 4 critères :

- le degré d'aperture de la bouche : voyelles fermées / semi-fermées / semi-ouvertes / ouvertes,
- le lieu d'articulation : voyelles antérieures / intermédiaires / postérieures,
- la position et la forme des lèvres : voyelles arrondies / non arrondies,
- la nasalité : voyelles orales / nasales.

Le /a/ est antérieur, ouvert et oral.

Le /i/ est antérieur, fermé, non arrondi et oral.

Le /u/ est postérieur, fermé, arrondi et oral.

1.2.1. Formants vocaliques

Le français comporte 16 voyelles orales et nasales comptant plusieurs formants (Chiss, Filliollet & Maingueneau, 1983). Classiquement, on utilise les 3 premiers formants pour décrire les voyelles.

Le 1^{er} formant (F1) correspond au degré d'aperture et se situe entre 250 et 800 Hz. Le 2^{ème} formant (F2) correspond au lieu d'articulation et se situe entre 800 et 2500 Hz. Le 3^{ème} formant (F3) correspond à l'arrondissement des lèvres et se situe entre 2200 et 3200 Hz. On peut caractériser chaque voyelle par une valeur précise de F1, F2 et F3. Nous rapportons les valeurs des trois premiers formants de ces voyelles orales dans le tableau 1 (Cf. verso). Cependant ces valeurs sont seulement valables pour les hommes. Comme la taille et le volume du conduit vocal sont différents en fonction du sexe et de l'âge (environ 17.5 cm chez l'homme, 15 cm chez la femme et 8.5 chez l'enfant), on observe des différences de fréquences formantiques. Les hommes ont les fréquences les plus basses et les enfants les plus élevées. Ces valeurs diffèrent selon la taille des résonateurs (plus larges pour les hommes). Les valeurs formantiques des voix masculines sont donc moins élevées que celles des voix féminines (Tubach, 1989).

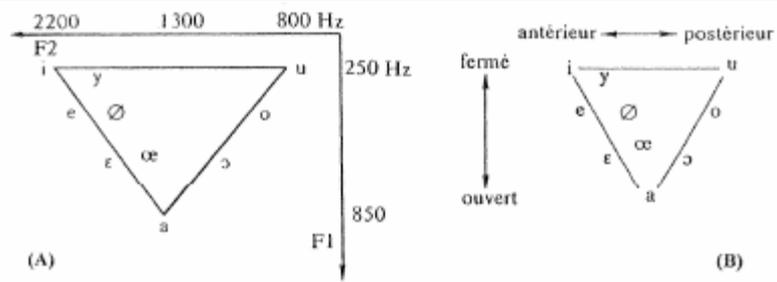


Figure 1 : Triangle des voyelles du point de vue acoustique (A) et articuloire (B)

D'après Straka, 1965.

D'un point de vue acoustique, un son vocalique est considéré comme grave quand il y a concentration de l'énergie dans les basses fréquences du spectre.

Il est considéré comme aigu si cette concentration se situe dans les hautes fréquences du spectre. Ainsi, on dit que [i], [ε], [E], [a] sont aiguës et [υ], [o], [□] sont graves.

De même, un son est qualifié de compact s'il y a compensation d'énergie dans une région particulièrement étroite et centrale du spectre ; il est diffus lorsque F1 et F2 sont plus éloignés l'un de l'autre. [i], [ε] et [E] sont dites diffuses et [υ], [o] et [□] compactes.

1.2.2. Triangle vocalique

En fonction de la fréquence F1 et F2, les 16 voyelles se répartissent sur le triangle vocalique (Chiss & coll., 1983). /a/, /i/ et /u/ délimitent le triangle vocalique (Cf. verso figure 1). Une augmentation de F1 de la voyelle signifie qu'il y a un accroissement de l'ouverture de la bouche. Une augmentation de F2 signifie que l'articulation de la voyelle est antériorisée.

2. Les sons dans la parole

Les sons de la chaîne parlée subissent de nombreuses modifications phonétiques. Ces modifications peuvent aller de la simple variation formantique jusqu'à l'élimination d'un son en passant par l'assimilation (acquisition d'un trait phonétique par un son à partir d'un son immédiatement voisin). Ces éléments nous conduiront à considérer la chaîne parlée non pas comme une succession de productions de phonèmes mises bout à bout, mais comme une chaîne dans laquelle les interactions entre segments sont nombreuses.

2.1. La coarticulation

La parole peut être segmentée en une suite d'unités sonores, chacune de ces unités faisant intervenir un certain nombre d'articulateurs. Mais, comme le fait remarquer Monin (1974, p.70), « *les caractéristiques articulatoires (mouvements des lèvres, abaissement et relèvement du voile, rapprochement ou éloignement des cordes vocales) sont observables sur des segments appartenant à d'autres éléments contigus dans la chaîne parlée* ».

En segmentant le signal de parole, Liberman, Cooper, Shankweiler, & Studert-Kennedy, (1967) ont mis en évidence une certaine variabilité acoustique des phonèmes, consécutive à la variabilité articulatoire.

« The speech signal typically does not contain segments corresponding to the discrete and commutable phonemes [...] We cannot cut either the /di/ or the /du/ pattern in such a way as to obtain some pieces that will produce /d/ alone.

If we cut progressively into the syllable from the right-hand end we hear /d/ plus a vowel or a nonsense sound; at no point will we hear only /d/ ». (Liberman & coll., 1967 : p. 436).

L'idée d'une invariance acoustique des phonèmes est donc mise à mal. Les sons de la parole ne correspondent pas à un phonème précis, au contraire, les différents segments se chevauchent dans le temps (voir Fowler, 1984) et interagissent acoustiquement les uns sur les autres.

2.1.1. Théorie H & H

Lindblom, dans sa théorie H & H (Lindblom, 1990) récuse également l'existence d'une éventuelle invariance. Ses travaux ont porté sur les phénomènes de réduction vocalique et de coarticulation des segments de la parole. Il considère que les caractéristiques acoustiques des voyelles varient en fonction de leur contexte. Lindblom avance également que le locuteur fait varier la qualité de son articulation selon les besoins de la situation communicationnelle. Il s'agit du phénomène de « plasticité ». Par exemple, l'articulation d'une voyelle ne sera pas aussi précise selon qu'elle est articulée en isolation, dans un mot ou dans une phrase. Lindblom parle aussi du phénomène d'« économie » : en général, le locuteur tend à réduire autant que possible la qualité de son articulation.

Selon lui, une voyelle produite en isolation, aurait une forme « hyperarticulée », qui correspondrait approximativement au prototype acoustique de cette voyelle. À l'inverse, une voyelle produite en parole spontanée, se rapproche alors d'une forme « hypoarticulée », s'éloignerait de ce prototype.

2.1.2. Réduction vocalique

Ce terme est employé pour définir la production d'une voyelle dont les valeurs cibles n'ont pas été atteintes (Lindblom, 1963). Les voyelles se centralisent alors sur les deux axes F1 et F2. On sait également par Fourakis (Fourakis, 1991) que le contexte affecte les valeurs centrales des formants, et génère par conséquent une réduction vocalique. Dans le même sens, Al-Tamimi (2007), qui rapporte les travaux de Stevens & House (1963), indique que « le système de production des voyelles est dérivé d'un modèle de cible vocalique correspondant à des postures articulatoires précises dans un environnement nul, tandis qu'en contexte consonantique, la cible vocalique idéale n'est pas réalisée à cause de contraintes d'inertie ». Ses résultats en contexte ont montré que la coarticulation touchait de manière croissante /i/, /u/ et /a/ sur l'axe F1 et /i/, /a/ et /u/ sur l'axe F2. Ceci montre que « la voyelle /u/, sur l'axe F2, et la voyelle /a/, sur l'axe F1, subissent le maximum de réduction vocalique ». De plus, « l'étude des effets consonantiques sur les voyelles montrent que la consonne /k/ affecte largement la voyelle /a/ sur l'axe F1 et la consonne /d/ réduit davantage les voyelles /i/ et /u/, sur l'axe F2 » (Al-Tamimi (2007)).

Durand (1985), en mesurant les valeurs formantiques de voyelles du français situées dans différents contextes, obtient des résultats un peu divergents. En contexte bilabial, F1 connaît le plus de variations pour /i/ et F2 pour /u/. En contexte dental, F1 varie surtout pour /u/ et F2 pour /a/. En contexte vélaire, pour lequel les variations relevées sont ici aussi les plus importantes, F1 varie surtout pour /u/ et F2 pour /a/.

Ces différents travaux nous conduisent à penser que le contrôle moteur de la parole, qui se réfère aux représentations phonologiques discrètes et invariantes, ne se superpose pas à la production en sortie, qui correspondrait plutôt à un continuum acoustique et articulatoire. Nguyen (2001) résume la coarticulation ainsi : « *chaque portion du signal est le plus souvent à mettre en relation avec plusieurs traits phonétiques à la fois* » et réciproquement « *chaque unité phonétique se matérialise par des indices acoustiques distribués en différents points de ce signal* ».

2.2. La parole et les pathologies vocales

Nous présentons ici les résultats des recherches qui ont tenté d'établir une description acoustique des voyelles produites par des patients dysphoniques.

2.2.1. Composante de souffle

Kwang-Moon, Yuki et Minoru (1982) ont décrit chez des patients atteints de paralysie récurrentielle une voix caractérisée par un haut niveau de bruit de souffle expliqué par une fermeture incomplète des cordes vocales. Dans une autre étude (Gauffin & Hammarberg, 1992), le qualificatif « soufflé » a été mis en correspondance avec un niveau spectral réduit pour les formants les plus élevés.

Des analyses des harmoniques (Pruszevicz & coll., 1991) ont également été pratiquées pour étudier les différences entre pathologies organiques et fonctionnelles. La structure des harmoniques est à peu près normale pour une dysphonie fonctionnelle (s'élevant jusqu'à 2600 Hz) mais pas pour une dysphonie organique (seulement jusqu'à 1600 Hz). Dans ce sens, Dejonckere (1990) indique que la composante de souffle « *émerge principalement au niveau des fréquences aiguës* ».

2.2.2. Modifications de la fréquence fondamentale (f_0)

La valeur moyenne de la f_0 est inférieure chez les sujets dysphoniques (Le Huche & Allali, 1991). De plus, Pruszevicz & coll. (1991) ont montré que les variations à court terme (jitter) de la f_0 étaient supérieures pour les personnes présentant une dysphonie organique que pour les personnes présentant une dysphonie fonctionnelle.

2.2.3. Modifications formantiques

L'étude de Kwang-Moon & coll. (1982) a aussi abouti à la mise en évidence d'une baisse du $F1$ chez des patients atteints de paralysie récurrentielle. Cette baisse est liée à un mouvement musculaire anormal pendant la phonation, ce qui entraîne l'abaissement du larynx. Ce fait a été généralisé aux autres formants et à plusieurs autres pathologies par Choi & coll. (1980).

Pour résumer, nous reprendrons l'étude de Remacle & coll. (1990) qui aboutit à définir 4 éléments permettant de différencier voix normale et pathologique :

- une absence ou une faible intensité de la f_0 ont été repérées chez des patients dysphoniques
- une absence d'harmoniques
- une présence de bruits surajoutés

- une encoche ou un élargissement des pics de la fréquence fondamentale et des harmoniques.

IV. LES PATHOLOGIES VOCALES

Dans certaines pathologies, les cordes vocales ne s'accrochent pas complètement et le sujet doit compenser en maintenant un débit d'air plus important. Un phénomène de turbulence plus ou moins important donnant une émission vocale plus ou moins soufflée se crée donc dans le rétrécissement glottique. Lorsque l'on écoute une voix qualifiée de soufflée, on entend nettement la superposition d'un bruit de souffle à la vibration anormale des cordes vocales. Notre recherche porte sur l'étude de la composante de souffle occasionnée par ces pathologies vocales. Elles ont été largement traitées dans la littérature. Nous empruntons ici quelques descriptions à Le Huche & Allali (1991).

1. La paralysie récurrentielle

On assimile la paralysie récurrentielle à toute symptomatologie qui donne une immobilité de l'une ou des deux cordes vocales. Cette immobilité, unilatérale et plus rarement bilatérale, est le plus souvent due à l'atteinte du nerf récurrent.

Nous ne décrivons que la paralysie unilatérale en abduction ou en adduction car c'est la seule qui concerne notre travail. En effet, lors de notre recherche de patients pour la constitution de notre population de dysphoniques, nous n'avons été confrontés qu'à des patients atteints de paralysies récurrentielles unilatérales. En voix parlée, le patient présente une voix détimbrée, éraillée voire bitonale avec une très forte déperdition d'air le plus souvent. La voix de l'homme est généralement plus aiguë qu'avant alors que celle de la femme a tendance à s'abaisser. L'examen laryngé met en évidence l'immobilité de l'une ou des deux cordes vocales. La corde vocale paralysée, arquée et atrophique peut se trouver en position médiane (c'est-à-dire en position normale), paramédiane ou intermédiaire. Les troubles vocaux seront d'autant plus importants que la corde paralysée sera située dans une position éloignée de la ligne médiane.

La paralysie récurrentielle unilatérale peut avoir pour origine une névrite (atteinte du nerf récurrent lui-même), un traumatisme ou la compression du nerf.

Le traitement d'une paralysie récurrentielle unilatérale peut se limiter à une rééducation orthophonique qui consistera à modifier l'activité musculaire du larynx. Si la paralysie

demeure après un an, une intervention chirurgicale est nécessaire avec toutefois de la rééducation orthophonique en pré et en post-opératoire.

2. La vergeture

La vergeture peut entraîner une dysphonie chronique avec un timbre voilé et aigu. On note la présence d'un sillon atrophique sur le bord de la corde vocale, qui est caractérisée par une muqueuse mince et atrophique. Il existe une adhérence entre cette muqueuse et le ligament vocal. Celui-ci est parfois inexistant, ce qui entraîne une adhérence directe de la muqueuse au muscle vocal, supprimant de ce fait l'espace de Reinke. Le défaut d'accolement des cordes vocales peut entraîner une déperdition d'air, d'où le timbre voilé. Cette pathologie laryngée est d'origine congénitale.

3. La papillomatose laryngée

La papillomatose laryngée est une tumeur bénigne caractérisée par un amas verruqueux, non spécifique aux cordes vocales, en ce sens qu'elle peut se situer à distance de celles-ci. Elle est d'origine virale et se trouve le plus fréquemment chez l'enfant et chez le jeune adulte. C'est une pathologie assez rare dont le signe d'appel chez l'adulte est le plus souvent la dysphonie. Selon Le Huche & Allali (2001), la dysphonie consécutive à la papillomatose laryngée diminue l'intensité vocale, abaisse la fréquence fondamentale et donne une voix globalement assourdie. La papillomatose laryngée a pour origine le papillomavirus humain ou virus HPV. Elle est traitée par la micro-chirurgie. Elle nécessite souvent plusieurs interventions et peut récidiver. La rééducation vocale permettra d'aider le patient à mobiliser les structures vocales pour produire une phonation la moins fatigante possible. Le thérapeute aura également un rôle de soutien important car c'est une pathologie qui récidive fréquemment.

4. Les laryngectomies partielle supracricoidiennes avec reconstruction par crico-hyoïdo-épiglottopexie

Souvent appelées subtotaux, elles sont très mutilantes. C'est la conservation du cartilage cricoïde et d'un ou des cartilages aryénoïdes avec leurs muscles, nerfs et vascularisations respectives qui les différencient, entre autres, des laryngectomies totales. Le chirurgien résèque entièrement le cartilage thyroïde, les deux cordes vocales, les bandes ventriculaires et l'épiglotte sous-hyoïdienne. Il conserve un voire deux aryénoïdes afin

d'avoir au minimum une unité crico-aryténoïdienne mobile. Il procède enfin à une « pexie » (= une suture) du cartilage cricoïde à l'os hyoïde et au morceau d'épiglotte restant.

Le chirurgien résèque le vibrateur et crée une néoglote constituée en avant de l'épiglotte et de la base de langue et d'un ou des aryténoïdes en arrière.

La voix après chirurgie est dite de substitution car elle est produite par la néoglote. Par conséquent, la répartition de la pression de l'air est modifiée à tous les étages du larynx. La vibration est partiellement possible grâce à la muqueuse du ou des aryténoïdes, mais cette vibration est irrégulière et asymétrique.

L'orthophoniste et le patient chercheront les meilleures techniques et positions afin de faire descendre la base de langue avec l'épiglotte pour que ces deux structures conservées entrent en vibration avec l'un ou les deux aryténoïdes qui basculent vers l'avant et qui vibrent eux-mêmes entre eux. Cela crée plusieurs pôles de vibration.

5. Le tabagisme actif

Le tabac est responsable dans 80% des cas des broncho-pneumopathies chroniques obstructives et a un retentissement très important sur la sphère O.R.L. (bouche, larynx et pharynx). On dénombre de nombreuses altérations à ce niveau (goût, odorat). Au niveau laryngé, les laryngites chroniques sont fréquentes et peuvent se traduire par une dysphonie avec raucité de la voix. À un stade plus avancé, l'œdème de Reinke est une affection chronique le plus souvent liée au tabagisme actif qui aggrave perceptiblement le fondamental laryngé (f_0).

V. LES METHODES D'ANALYSE DE LA VOIX

Plusieurs méthodes complémentaires permettent l'évaluation de la qualité vocale : on distingue l'analyse subjective de l'analyse objective.

1. La méthode subjective : analyse perceptuelle

L'analyse est couramment pratiquée de façon subjective par le phoniatre et / ou l'orthophoniste dont l'oreille exercée peut apprécier la hauteur tonale, l'intensité et le timbre. Généralement, la voix de chaque patient est enregistrée afin de suivre l'évolution

de chacun des paramètres analysés (fréquence, intensité, timbre) au cours des différentes consultations et de la rééducation. Il semble nécessaire d'avoir également l'avis du patient par rapport à sa voix. En effet, selon la situation professionnelle, personnelle et sociale du patient, le ressenti sera différent (Giovanni, 2004). Il est donc nécessaire d'ajouter un questionnaire comme le *Voice Handicap Index* (Jacobson & coll., 1997) auquel le patient devra répondre lors de l'entretien. Le *Voice Handicap Index* permet d'apprécier la façon dont le patient perçoit sa voix et de mesurer le retentissement de la dysphonie sur la vie du patient (retentissement émotionnel, physique et fonctionnel).

2. La méthode objective : analyse acoustique

Il s'agit d'objectiver les paramètres acoustiques de la voix et de la parole. Malgré de nombreux progrès dans ce domaine, c'est une méthode qui reste peu normalisée. D'un praticien à l'autre, le matériel utilisé change ce qui crée un manque de consensus au niveau de l'utilisation de cette mesure objective. C'est dans ce sens que cette méthode reste encore critiquée à l'heure actuelle.

Pour chacun des paramètres acoustiques analysés (fréquence, timbre, intensité), l'analyse objective permet de donner des valeurs propres à chaque voix analysée. Plusieurs types de qualification sont utilisés pour nommer les différentes méthodes d'analyse objective de la voix :

Les méthodes classiques, encore appelées méthodes analogiques, sont de moins en moins utilisées. Elles permettent d'analyser l'intensité (sonomètre, phonétogramme), la fréquence fondamentale (électroglottographie décrite par Dalleas & coll., 1987, voiscopie), le timbre (sonagraphe, Long Time Average Spectrum présenté par Dejonckere, 1986).

Les méthodes avancées aussi appelées méthodes numériques :

Le traitement du signal s'effectue de plus en plus sur support informatique : avec les méthodes spectrales, la discrimination entre voix pathologiques et voix normales apparaît autour d'une valeur frontière.

2.1. Les analyses acoustiques de la qualité de la voix

Nous présentons ici les trois analyses acoustiques les plus utilisées dans la recherche pour détecter et décrire les anomalies vocales.

- variation de la fréquence fondamentale :

On pourra calculer le fondamental usuel (c'est-à-dire la fréquence fondamentale la plus utilisée par le sujet) et l'étendue vocale qui est d'environ un octave en voix parlée.

L'étude des jitters consiste en l'étude des variations à court terme de la fréquence et renseigne sur l'apériodicité de la voix. La pathologie vocale peut parfois entraîner une perturbation de la régularité du mouvement glottique : la voix devient alors apériodique.

- variation de l'amplitude :

L'étude du shimmer (variation à court terme de l'amplitude de l'onde sonore) permet de l'objectiver.

- rapport harmonique/bruit :

Il est mesuré dans les cas de dysphonies pour quantifier l'instabilité du vibrateur laryngien, cause principale de ces pathologies. Cette méthode, proposée par Yumoto & Gould (1982) permet de « *mesurer la partie apériodique du signal vocal* » (Teston, 2004, p.120). Cette méthode a été retravaillée par Qi, Bi, & Hess (1995) pour pouvoir mieux objectiver la composante de souffle.

2.2. Les analyses aérodynamiques

Ce sont les mouvements des organes de la phonation qui produisent la voix et la parole. Sont alors créés 4 phénomènes aérodynamiques : la pression sous-glottique et intra-orale et les débits d'air nasal et oral. Pour évaluer les troubles vocaux comme la dysphonie, seule la mesure du débit d'air oral et la pression intra-orale sont utilisées. Lorsque l'on mesure le débit d'air oral, il est important d'utiliser du matériel adapté à la phonation (et non à la respiration). Associé aux paramètres acoustiques, le débit d'air oral permet de voir l'efficacité laryngienne. Ainsi, on peut voir s'il y a présence ou non de déperdition d'air du à un mauvais accolement des cordes vocales éventuel et par conséquent d'un bruit de souffle. L'association de ces deux techniques permet d'avoir une vision globale

du mécanisme de phonation de chaque patient. Cela évite d'attribuer les difficultés vocales à un seul paramètre. (Yu, 2001)

Chapitre II
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

I. PROBLEMATIQUE

Dans la parole, les sons produits connaissent une grande variabilité et sont loin de correspondre trait pour trait à la représentation phonologique sur lequel le locuteur s'appuie pour reproduire ces mêmes sons. De nombreux travaux en phonétique acoustique (Lieberman et coll., 1967 ; Fowler, 1984 ; Lindblom, 1990) ont porté sur les phénomènes d'inter-influence des sons entre eux. Par exemple, dans une syllabe de type Consonne - Voyelle comme /pa/, les caractéristiques acoustiques associées à la consonne et à la voyelle sont partiellement superposées. Dans notre étude, nous nous intéresserons aux caractéristiques de la voyelle et surtout à ses variations, dues aux contextes de réalisation et à la présence ou l'absence de dysphonie. Comme Lindblom a pu le montrer, une voyelle subit plus ou moins de détérioration acoustique par rapport à sa valeur prototypique selon qu'elle est produite de manière isolée ou en contexte de parole ou selon son type d'entourage consonantique. Ainsi, le triangle vocalique, que l'on trace à partir de valeurs acoustiques (fréquences formantiques) et de leurs pendants articulatoires (ouverture et lieu d'articulation), peut voir son espace réduit quand la coarticulation avec les segments phonétiques contigus est importante. La pathologie vocale, et notamment lorsqu'elle se traduit par la présence d'une composante de souffle dans la voix, aura des répercussions sur les valeurs acoustiques de la voyelle. Une baisse de la structure des harmoniques (Pruszevicz et coll., 1991), une diminution de la f_0 (Le Huche et Allali, 1991) et du F1 (Kwang-Moon et coll., 1982) ont pu être mis en évidence. Il sera donc intéressant de comparer ces résultats à ceux que nous aurons obtenus dans notre étude, et d'observer leurs éventuels effets sur l'espace vocalique.

À partir de ce constat, nous évaluerons la voix de patients atteints de dysphonies décrites comme voilées ou soufflées et dues à des pathologies diverses.

L'influence de la composante de souffle sera étudiée à partir des paramètres acoustiques des voyelles /i a u/ en fonction de leur contexte de réalisation (mot, syllabe et isolation) et de leur entourage articulatoire. Ces trois voyelles sont les plus extrêmes. Elles déterminent le triangle vocalique. L'entourage articulatoire choisi sera bilabial, dental ou vélaire. Les paramètres acoustiques étudiés seront la fréquence fondamentale, l'intensité, les trois premiers formants et la durée des voyelles. Nous étudierons tous les /a/ en fonction de leur entourage consonantique ainsi qu'en fonction de leur contexte de réalisation (i.e. mot, syllabe ou isolation) et nous procéderons de manière identique pour /i/ et /u/.

Nous confronterons ensuite toutes les données d'une population pathologique aux données recueillies pour une population témoin.

Enfin, nous déterminerons l'impact de la composante de souffle, mesurée à partir d'analyses objectives, sur la fréquence fondamentale, les formants (F1, F2, F3), la durée et l'intensité des voyelles.

II. HYPOTHESES

Nous nous attendons principalement à observer une modification des 6 paramètres acoustiques décrits précédemment, à savoir la f_0 , le timbre (F1, F2, F3) ainsi que la durée, l'intensité et la hauteur.

Des modifications du timbre des voyelles produites en pathologie devraient être observées. Dues au remplacement de certaines fréquences par du souffle elles varieront en fonction de la sévérité de la pathologie. Plus la composante de souffle sera importante dans la voix, plus les valeurs des formants, de la durée, de l'intensité et de la f_0 seront différentes de celles des voix normales.

La durée des voyelles pourrait diminuer chez des locuteurs pathologiques. La fermeture glottique pouvant être incomplète et donc soumise à une perte d'air, les productions pourraient être plus brèves.

Au niveau de la f_0 et de l'intensité, il est probable que la moyenne soit abaissée pour des voix pathologiques en raison du manque de fermeture glottique et de pression sous-glottique. Dans le cas des plus pathologiques, on peut même s'attendre à ce que la f_0 soit absente.

En ce qui concerne les formants, on peut s'attendre à une réduction de l'espace vocalique pour des voix pathologiques, ou à une centralisation des voyelles, du fait de l'abaissement de F1 (axe voyelles ouvertes/fermées) et de F2 (axe antérieur/postérieur). Quant à F3, il ne devrait pas être directement influencé par le souffle. Il pourra en revanche être affecté par la structure différente des harmoniques. Nous nous attendons donc à observer des variations au niveau de F3 entre les deux populations.

Chez tous les locuteurs (pathologiques et témoins), il est probable que le triangle vocalique soit d'autant plus concentré que la voyelle est soumise à l'influence du contexte de réalisation. Nous nous attendons donc à vérifier la théorie H & H pour des locuteurs

pathologiques comme pour des locuteurs sains. Les voyelles produites en isolation devraient donc être les moins réduites et les voyelles produites en mot devraient être les plus affectées. De plus, les autres paramètres acoustiques (durée, f_0 , intensité) devraient se modifier en fonction du contexte.

Chapitre III
PARTIE EXPERIMENTALE

I. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude a pour but d'analyser la production des voyelles /i/, /a/ et /u/ du français par des locuteurs présentant des pathologies vocales entraînant une composante de souffle dans la voix. Nous cherchons à mettre en évidence l'influence du souffle sur les caractéristiques acoustiques de ces trois voyelles (fréquence fondamentale, durée, intensité et formants). Nous étudions en parallèle la production de ces mêmes voyelles chez des locuteurs sains, c'est-à-dire ne présentant pas de pathologie vocale et/ou n'en ayant jamais présenté auparavant.

Nous recueillons les échantillons de voix grâce à un corpus de 81 mots, syllabes et sons lus par les deux populations (pathologie et témoin).

II. CREATION DU CORPUS DES 81 MOTS

Notre choix s'est donc porté sur l'étude des voyelles /i a u/ qui déterminent le triangle vocalique. Ces voyelles sont étudiées au niveau de leurs paramètres acoustiques (fréquence fondamentale, formants et intensité), au niveau de leur durée, selon leur contexte de production (dans un mot, dans une syllabe et en isolation) afin de mesurer l'impact du contexte de réalisation et selon leur entourage consonantique (bilabial, dental et vélaire). Nous avons choisi ces trois contextes consonantiques d'une part pour pouvoir valider nos résultats sur plusieurs contextes. De plus, nous savons que chaque lieu consonantique affecte différemment les voyelles. Ainsi, le contexte dental sera le contexte qui réduira le plus l'espace vocalique et les contextes bilabial et vélaire le réduiront beaucoup moins. C'est pourquoi nous avons créé un corpus dans lequel chacune des voyelles est produite dans les trois contextes et dans trois entourages consonantiques différents :

	/i/	/a/	/u/
Bilabial	pipe /pip/	pape /pap/	poupe /pup/
Dental	titi /titi/	tâte /tat/	toute /tut/
Vélaire	kiki /kiki/	caque /kak/	couque /kuk/

Tableau 2 : Items « mots » du corpus

Si on prend l'exemple de « pape », le locuteur est amené à lire :

- « pape » dans le contexte du mot, c'est-à-dire en lisant l'ensemble du mot porteur,
- « pa » dans le contexte syllabique, c'est-à-dire sans lire le reste du mot porteur,
- « a » dans le contexte isolé, c'est-à-dire sans lire le reste du mot porteur.

De cette manière, nous parvenons à un corpus de 27 items, c'est-à-dire les trois voyelles produites dans trois contextes et trois entourages consonantiques différents. Ces 27 items sont présentés 3 fois et de manière aléatoire. Le corpus est finalement composé de 81 items (cf. annexe n°1), soit 81 voyelles par locuteur à analyser par la suite.

III. CHOIX DES DEUX POPULATIONS

1. La population pathologique

1.1. Les critères d'inclusion

Notre objectif initial était de récolter un ensemble de voix définies exclusivement par leur forte composante de souffle. Nous avons fait le choix de sélectionner des voix très pathologiques, afin d'augmenter les probabilités de faire apparaître une différence acoustique de production vocalique entre population pathologique et population témoin. Pour ne conserver que les voix à caractère très pathologique, nous nous sommes appuyés sur la distinction entre composante de souffle et « composante de voile ». Cette première composante est entraînée par une perte d'air due à une fermeture glottique incomplète. Contrairement à la deuxième, elle peut être facilement identifiée tant visuellement sur le spectrogramme, par exemple par un abaissement de la structure harmonique (Pruszevicz et coll., 1991) ou par un haut niveau de bruit (Kwang-Moon & coll., 1982), que perceptuellement par la présence du souffle. La différence entre souffle et voile se pose donc en termes de graduation objective et subjective de l'altération acoustique.

Cependant, nous avons rencontré plusieurs difficultés pour atteindre notre objectif. La première a été de ne pas pouvoir récolter en nombre suffisant des patients avec une voix soufflée. En effet, il est très vraisemblable que ce type de voix soit assez rare, que ce soit en cabinets phoniatrique ou orthophonique ou en service hospitalier d'O.R.L. La seconde, liée à la première, concerne la terminologie : le caractère « soufflé » est assez proche du caractère « voilé ». Pour beaucoup d'orthophonistes, la distinction entre les deux est assez fine et leur représentation de ces termes ne s'est donc pas toujours superposée à la nôtre. Devant ces deux difficultés, nous avons choisi d'élargir notre champ d'expérimentation aux voix décrites comme voilées.

Au final, nous avons sélectionné 12 adultes résidant en Rhône-Alpes ou en Auvergne, présentant une voix voilée à soufflée. Pour les sélectionner, nous avons prospecté dans différents lieux (cabinets orthophonique ou phoniatrique, services O.R.L.). Chacune des orthophonistes que nous avons contactées avait à sa disposition les critères précis de sélection des patients, dont le critère de voix voilée ou soufflée. Chacun s'est vu préciser que la pathologie entraînant la voix soufflée n'était pas le critère d'inclusion de départ mais bien le critère de souffle dans la voix que l'on perçoit à l'oreille. Le critère de souffle a donc été mis en évidence soit par le phoniatre, soit par l'orthophoniste. Nous avons ensuite décidé de sélectionner les enregistrements qui répondaient le plus à ce critère, en fonction de leur aspect perceptif (subjectif) et visuel (spectrographique). Voici la répartition des patients par pathologies :

- 5 patients sont atteints de paralysie récurrentielle
- 3 patients ont subi une chirurgie partielle du larynx avec reconstruction par crico-hyoïdo-épiglottopexie
- 1 patient est atteint de papillomatose laryngée
- 1 patient est atteint de vergetures bilatérales
- 2 patients n'ont pas de pathologie organique mais sont des fumeurs actifs.

1.2. Les critères d'exclusion

Nous avons enregistré de nombreux patients atteints de pathologies vocales diverses. Tous ceux que nous avons enregistrés n'ont pas tous été retenus pour différentes raisons. Nous avons par exemple eu affaire à des orthophonistes nous adressant des patients qui avaient pu avoir une voix soufflée en début de rééducation mais qui, au moment où nous enregistrons ces patients, ne présentaient plus de voix réellement soufflée. Cette difficulté a eu un bon impact sur notre démarche de prospection car cela nous a permis de mieux réfléchir à cette notion de souffle. Ainsi, nous avons pu mieux la définir et davantage recentrer nos explications lorsque nous téléphonions à une nouvelle orthophoniste pour lui expliquer l'objet de notre travail. Par la suite, nous avons eu moins de difficultés à trouver des patients convenant à notre protocole.

2. La population témoin

2.1. Les critères d'inclusion

Nous avons sélectionné 12 adultes résidant en Rhône-Alpes ou en Auvergne pour constituer notre population normative. Nous les avons choisis en fonction de leur âge et de leur sexe.

2.2. Les critères d'exclusion

Nous avons exclu les personnes ne sachant pas lire et ayant un accent régional ou étranger audible, ou ayant tout autre trouble pouvant entraver la « normalité » de leurs productions lors des enregistrements (surdité, trouble articulaire audible). Nous nous sommes assurés que ces personnes ne présentaient pas à l'heure actuelle et/ou n'avaient jamais présenté de pathologies vocales durables (cf. Tableau 1).

3. La répartition des deux populations

La population « pathologie » et la population témoin sont chacune composées de 12 locuteurs. Elles sont appariées en sexe et en tranches d'âge et sont ainsi réparties :

	Tranches d'âge	Témoin	Pathologie
6 femmes	20/30 ans	1	1
	40/50 ans	2	2
	TOTAL par sexe	3	3
	TOTAL	6	
18 hommes	20/30 ans	2	2
	40/50 ans	2	2
	50/60 ans	3	3
	70/80 ans	2	2
	TOTAL par sexe	9	9
	TOTAL	18	

Tableau 3 : Répartition des 2 populations en fonction du sexe et de l'âge.

IV. LES ENREGISTREMENTS ET LE MATERIEL UTILISE

1. Pour la population « pathologique » :

Les enregistrements du corpus des 81 items détaillés précédemment se sont faits de deux manières différentes concernant la population « pathologie » :

- Certains patients ont été enregistrés directement par le phoniatre lors de la consultation du patient à son cabinet lorsque la voix était jugée suffisamment voilée ou soufflée pour convenir à ce protocole. Il a été enregistré à l'aide d'un microphone AKG C 525 S, et sur un ordinateur de type PC Sony VAIO avec le logiciel SoundForge 4.5.
- Les autres patients ont été enregistrés par nous-mêmes, suite aux différentes prospections menées chez les orthophonistes en cabinet libéral. Nous allions à la consultation du patient, munis d'un ordinateur portable et d'un microphone et nous procédions à l'enregistrement en essayant de respecter le silence complet (choix d'une salle silencieuse avec le moins de personnes à l'intérieur pour éviter tous bruits parasites). Nous avons enregistré en dirigeant le microphone unidirectionnel en face de la bouche du sujet, à une distance de 20 à 30 cm. Il s'agit d'un microphone AIWA stereo condenser CM-S32. Nous avons utilisé le « SoundRecorder » du logiciel PRAAT, qui permet, entre autres, l'enregistrement du signal, en réglant le « sampling frequency » ou taux d'échantillonnage à 44100 Hz et 16 Bits. Nous avons enregistré en MonoSound.

2. Pour la population témoin :

Concernant les témoins, nous les avons tous enregistrés nous-mêmes dans différents lieux, les plus calmes possibles et comportant le moins de source de bruits éventuels, à l'aide du même matériel utilisé dans les cabinets libéraux d'orthophonie (ordinateur portable et microphone).

V. LE TRAITEMENT DES DONNEES

1. Le logiciel PRAAT :

1.1. Présentation générale de PRAAT

Nous avons utilisé la version 5.0.03 (2008) du logiciel PRAAT. C'est un logiciel gratuit et libre d'accès créé et mis à jour régulièrement à l'université d'Amsterdam par Boersma et Weenink. Il peut être téléchargé à l'adresse suivante :

- <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

Il est essentiellement destiné à la recherche et permet à ses utilisateurs de faire une étude acoustique précise de la voix. Ses différentes fonctions sont :

- Enregistrement de signaux sous différents formats (dont le .wav que nous avons utilisé)
- Exploitation de signaux enregistrés avec d'autres logiciels
- Visualisation des différentes caractéristiques d'un son : fréquence fondamentale, formants, intensité
- Segmentation des différentes unités constitutives de la chaîne parlée
- Extraction de paramètres acoustiques (ici : durée, fréquence fondamentale, intensité, formants, jitter local, shimmer local, Harmonics Noise Ratio)
- Etc...

1.2. PRAAT dans notre étude

Comme nous l'avons mentionné précédemment, PRAAT nous a permis d'enregistrer certains des signaux (ceux que nous avons enregistrés nous-mêmes). Une fois tous les signaux récupérés (les nôtres et ceux du Dr Coulombeau, phoniatre à Lyon qui nous a permis de réunir un certain nombre d'échantillons de voix), tous les fichiers sons ont été analysés avec PRAAT. Nous avons en premier lieu procédé à la segmentation. Puis, nous avons extrait les différentes valeurs sélectionnées et les avons retranscrites sous forme de tableau (à l'aide d'un tableur) pour effectuer notre traitement statistique. Enfin, nous avons essayé de quantifier le souffle pour chacun des locuteurs de la population pathologique, afin de construire une échelle de souffle (du locuteur ayant la voix la moins soufflée au locuteur ayant la voix la plus soufflée) qui sera également analysée comme

variable dans le traitement statistique. Ainsi, nous avons créé trois groupes de locuteurs en fonction de cette échelle : les locuteurs du groupe « normal », les locuteurs du groupe « peu soufflé » et du groupe « soufflé ».

2. La segmentation des signaux

Cette étape nous a permis d'isoler les 3 voyelles /i/, /a/ et /u/ dans leurs 3 entourages consonantiques et leurs 3 contextes différents. Nous avons donc obtenu, au final, 81 voyelles différentes pour chaque locuteur. Il est important de noter que nous avons décidé que toutes les segmentations devaient être faites par un seul d'entre nous. En effet, si nous nous étions partagés le travail à ce niveau, il y aurait eu des biais liés aux différences de jugement, au niveau du placement des frontières notamment. Celui qui s'est chargé de segmenter a donc employé toujours les mêmes points de repères pour placer les frontières.

2.1. Premier niveau de segmentation : « orthographe »

Ce niveau de segmentation correspond, pour chacun des 81 items, à la pose d'une frontière au début et à la fin de l'item, quel que soit le contexte de production (mot, syllabe ou isolation). Il s'agit en fait d'isoler l'item entièrement. Ainsi, pour la voyelle /a/ produite dans le contexte mot avec l'entourage consonantique bilabial, nous avons posé une frontière avant la barre d'explosion du premier /p/ et après la barre d'explosion du deuxième /p/. Nous avons inscrit l'orthographe du mot correspondant, ici « pape ». (cf. fig. 2)

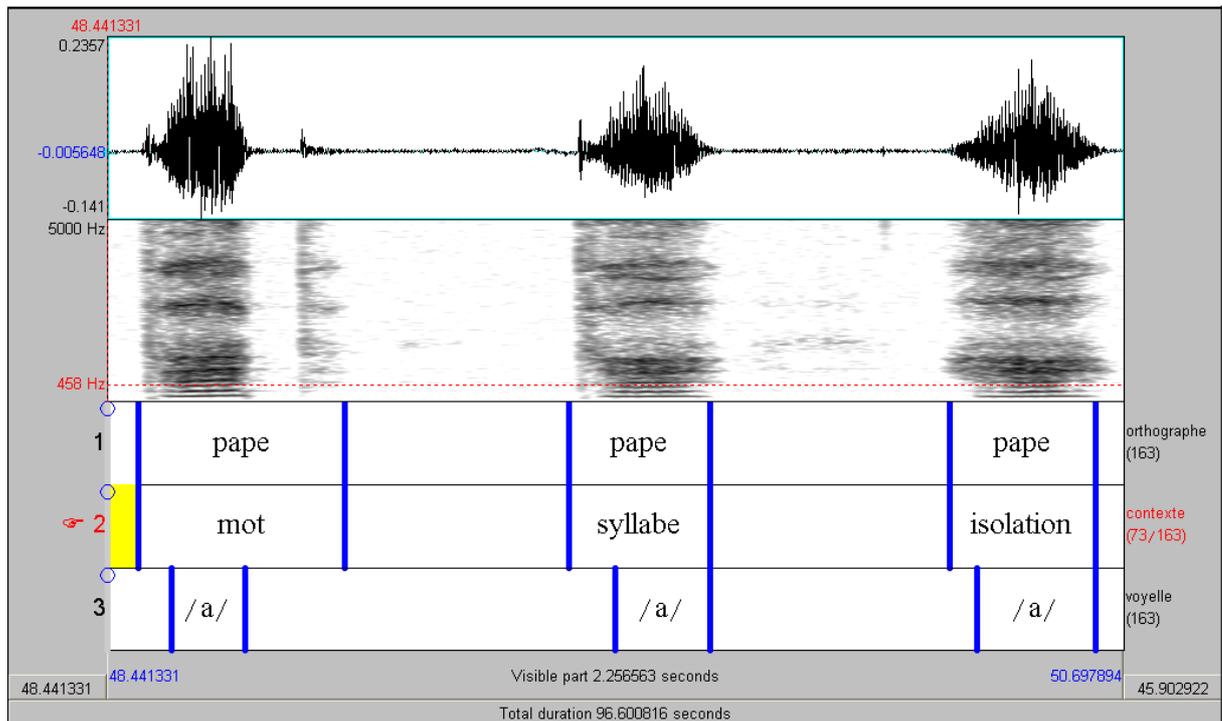


Figure 2 : environnement de travail de PRAAT : exemple de segmentation pour un patient de 23 ans atteint de paralysie récurrentielle

2.2. Deuxième niveau de segmentation : « contexte »

Ce niveau de segmentation correspond, pour chacun des 81 items, à la pose d'une frontière au début et à la fin de l'item produit. Il suit les frontières du niveau précédent (« orthographe »). Il s'agit aussi d'isoler l'item entièrement. L'objectif est ici de préciser le nom du contexte dans lequel le mot « pape », dont nous avons décrit le premier niveau de segmentation dans la partie précédente, a été produit. Dans ce cas précis, nous avons écrit « mot » entre les frontières. (cf. fig. 2)

2.3. Troisième niveau de segmentation : « voyelle »

Ce niveau de segmentation correspond, pour chacun des 81 items, à la pose d'une frontière au début et à la fin du segment vocalique. Il s'agit ici d'extraire la voyelle, en éliminant l'explosion de l'occlusive qui la précède et qui la suit lorsqu'elle se trouve en contexte mot ou syllabe, comme dans l'exemple « pape ». En isolation, il faut également être vigilant à séparer de la voyelle le son consonantique occasionné par le coup de glotte. Nous inscrivons le nom de la voyelle en caractères phonétiques entre les deux frontières. (cf. fig. 2)

3. Extraction des valeurs pour notre étude

Toutes les valeurs ont été extraites à partir des voyelles segmentées (i.e. dans le niveau 3). Les valeurs de durée, de f_0 , d'intensité et de formants ont été extraites automatiquement à l'aide d'un script. Elles ont toutes été vérifiées manuellement et corrigées en cas d'erreur d'extraction. Les valeurs des mesures de souffle ont été extraites manuellement.

3.1. La durée

La durée est calculée en millisecondes à partir des limites de début et de fin des voyelles segmentées.

3.2. La fréquence fondamentale

La fréquence fondamentale (f_0) a été extraite à partir d'une gamme de fréquence (« pitch range ») de 50 à 600 Hertz. PRAAT utilise un algorithme permettant de détecter une périodicité acoustique à l'aide d'une méthode d'analyse vocale de « cross-correlation ».

3.3. Les formants

PRAAT opère une analyse spectrale à court terme pour mesurer les valeurs des formants. Nous avons configuré PRAAT de manière à ce qu'il détecte un maximum de 4 formants (« maximum number of formants ») sur la durée effective (en secondes) de la fenêtre d'analyse (« window length »). L'étendue de la recherche de formants a été délimitée à l'aide d'un plafond (« maximum formant ») fixé à 4700 Hz pour les femmes et 4200 Hz pour les hommes, afin de correspondre aux différences acoustiques de répartition formantique selon le sexe.

3.4. Les mesures de souffle

Classiquement, les mesures acoustiques sont effectuées à partir d'un extrait de l'enregistrement d'un /a/ tenu (d'environ une seconde). Cependant nous n'avons pas pu réaliser ce type d'enregistrement et ne disposons pas d'extraits aussi longs. Nous avons donc effectué nos mesures à partir des éléments de notre corpus. Nous avons sélectionné chaque voyelle /a/ émise en isolation pour pratiquer ces mesures. Afin d'écartier systématiquement l'attaque et la chute de la voyelle et de ne conserver que la partie la

plus stable possible, nous avons sélectionné les 12 périodes les plus centrales au niveau temporel. Pour cela, nous sommes partis du milieu temporel et avons sélectionné les 6 périodes qui le précèdent et le succèdent. Nous avons établi ce nombre fixe de 12 périodes car chaque /a/ isolé comprend ces 12 périodes et parce qu'il nous a permis d'écarter systématiquement l'attaque et la chute. Ainsi, les mesures effectuées obéissent toutes aux mêmes critères d'extraction et respectent l'homogénéité nécessaire.

Bien sûr, ces mesures ne sont pas aussi fiables que si elles avaient été pratiquées sur un /a/ tenu, qui bénéficie d'une durée de stabilité plus longue. Ces mesures n'auront donc pas pour objectif d'établir une analyse objective de la voix mais plutôt d'obtenir une quantification du souffle pour classifier les locuteurs et voir s'il existe une corrélation entre niveau de souffle et réduction de l'espace vocalique.

Les mesures que nous utilisons dans notre mémoire sont celles qui sont le plus souvent proposées dans la littérature. Avant d'expliquer davantage les raisons de nos choix, nous allons les décrire un peu plus en détail. Le jitter local, le shimmer local et le Harmonics Noise Ratio (HNR) peuvent être extraits de l'onglet « voice report » de PRAAT. Le High-frequency Power Ratio peut être obtenu à partir d'un spectre en calculant la différence d'énergie acoustique entre deux bandes de fréquences. Nous reprendrons notamment les explications présentées par l'aide de PRAAT.

3.4.1. Jitter

Le jitter recouvre différentes mesures des variations à court terme, d'une période à l'autre, de la fréquence fondamentale. Le jitter local est l'une d'elles. C'est la différence moyenne en valeur absolue entre les périodes successives, divisée par la période moyenne. Smith et Liberman (1963) (cités par Beckett, 1969), ont montré que la périodicité du signal vocal subissait de subtiles variations d'un cycle vibratoire à l'autre, y compris chez les individus dont la voix est normale. Plusieurs auteurs, comme Beckett (1969), ont rapporté l'existence d'une corrélation entre les perturbations des variations d'un cycle vibratoire à un autre et la dysphonie estimée à l'oreille. Le jitter mesure la périodicité, on peut donc s'attendre à ce que sa valeur augmente en cas de pathologie vocale. PRAAT place la valeur seuil de la normalité à 1,04 %. Au-delà, le logiciel considère que c'est une valeur pathologique.

3.4.2. Shimmer

Avec le shimmer, on calcule également différentes mesures des variations à court terme, non plus de la fréquence fondamentale, mais de l'intensité du signal, d'une période à l'autre. Le shimmer local est la différence moyenne en valeur absolue entre les amplitudes des périodes successives. Les études qui ont été menées sur les liens entre analyses acoustique et perceptive n'ont pas abouti à des résultats complètement concordants. Hirano et coll. (1988) ont par exemple rattaché cette mesure au paramètre « roughness » (raucité) de l'échelle GRBAS d'évaluation perceptive du timbre, et dans une moindre mesure au paramètre « breathiness » (souffle). Alors que pour Dejonckere et coll. (1998), le shimmer était rattaché au paramètre « breathiness ». Bien qu'elle soit difficile à interpréter, il apparaît au moins que cette mesure s'élève en cas de pathologie vocale et plus particulièrement lorsque la voix contient du souffle. PRAAT indique qu'au-delà de 3,81 %, il s'agit d'une voix qui contient beaucoup de souffle.

3.4.3. Rapport harmoniques / bruit (« Harmonics to Noise Ratio » ou HNR)

Cette mesure a pour but d'évaluer le degré de périodicité acoustique. Elle calcule l'énergie de l'enveloppe de chaque période du signal (qui contient la composante harmonique et la composante de bruit) et de l'enveloppe de la moyenne des périodes du signal (qui ne contient que la composante harmonique). Ensuite elle soustrait la deuxième enveloppe à la première pour obtenir la composante de bruit. Enfin, elle calcule un rapport entre l'énergie de la composante harmonique et l'énergie de la composante de bruit et elle exprime le résultat en décibels (dB) grâce à un logarithme.

Yumoto, cité par Roublot (2003) présente le rapport harmoniques/bruit comme un outil d'évaluation objective du degré de dysphonie. De plus, plusieurs auteurs comme Giovanni et coll. (1996), Hartl & coll. (2001), ou encore Hirano & coll. (1988) ont relié dans leurs travaux cette mesure à la présence de souffle. Bien que cette mesure ne soit pas complètement indépendante des variations à court terme de la fréquence et donc de l'apériodicité (lire Roublot, 2003, p.151), il semble qu'elle soit surtout sensible à la composante de souffle. PRAAT estime qu'en-dessous de 20 dB, il s'agit d'une voix pathologique présentant une forte quantité de souffle.

Contrairement à ce que nous avons pu indiquer plus haut, ces trois mesures ne se limitent pas à l'évaluation de la composante de souffle. En effet, les valeurs du jitter et du shimmer sont très liées à la composante d'apériodicité de la voix. Seule celle du HNR

semble être assez bien représentative du niveau du souffle. Mais limiter le classement des locuteurs en fonction de la sévérité de la dysphonie, et plus particulièrement du niveau de souffle, à une seule mesure, ne permettrait pas d'obtenir des résultats suffisamment fiables. Nous garderons donc à l'idée que le HNR est certainement un des paramètres les plus pertinents. Pour autant, afin d'exprimer globalement le caractère pathologique de la voix, nous avons jugé judicieux de l'inscrire parmi d'autres paramètres. D'autant plus que, comme le montre bien la spectrographie, « si le niveau de souffle augmente, sur un spectre d'amplitude, les harmoniques apparaîtront proportionnellement moins hauts, même si leur énergie acoustique est élevée. D'autre part, si la fréquence fondamentale est instable, sur un spectre d'amplitude moyenné, les pics harmoniques moyens seront moins hauts et plus larges, donc émergeront moins bien du bruit » (Roublot, 2003, p. 151).

3.4.4. High-Frequency Power Ratio (ou HPR)

C'est une mesure qui a été introduite par Shoji & coll. (1992). Le HPR permet une comparaison de l'énergie totale de la bande de fréquence 0-6000 Hz à celle de la bande de fréquence 6000-20000 Hz. Ces auteurs ont montré que le seuil de 6000 Hz permet de différencier de manière fiable une voix normale d'une voix soufflée. Cette mesure s'appuie sur les travaux de Baken (1991, p.36) qui explique que sur le spectrogramme d'une voix produite par un locuteur sain, on constate une diminution progressive de l'énergie des harmoniques au fur et à mesure que l'on monte dans les fréquences. Or on sait aussi que le souffle se répartit sur toutes les fréquences, qu'elles soient basses ou hautes. L'énergie de la composante de souffle apparaîtra donc mieux dans les aigus. C'est pourquoi, selon Roublot (2003) on n'observe pas de diminution progressive chez les locuteurs avec voix soufflée, mais plutôt une nette prédominance du souffle sur les harmoniques à partir de 6000 Hz.

Le HPR est exprimé en dB grâce à une transformation logarithmique. Sa valeur est pathologique quand elle est supérieure à -30 dB.

Nous avons utilisé cette mesure pour pouvoir partager nos populations (témoin et pathologique) en trois groupes que nous avons déjà mentionnés plus haut : « normal », « peu soufflé » et « soufflé » et pour établir un classement selon le niveau de souffle. Voici la répartition de l'ensemble de notre population (les numéros entre parenthèses correspondent au degré de pathologie des locuteurs selon le classement effectué à l'aide du HPR) :

- 5 patients atteints de paralysie récurrentielle (n° 23, 22, 21, 18 et 14),
- 3 patients ayant subi une chirurgie partielle du larynx avec reconstruction par crico-hyoïdo-épiglottopexie (n° 24, 20 et 19),
- 1 patient atteint de papillomatose laryngée (n° 17),
- 1 patient atteint de vergetures bilatérales (n° 12),
- 2 patients sans pathologie organique mais fumeurs actifs (n° 16 et 15),
- 12 témoins (n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13).

Le n° 24 correspond au locuteur ayant la voix la plus pathologique (i.e. très soufflée) et le n° 1 au locuteur ayant la voix la plus proche de la norme (i.e. peu soufflé). Le groupe «soufflé » comprend les locuteurs n° 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18 et 17 ; le groupe « peu soufflé » les n° 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10 et 9 ; le groupe « normal » les n° 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 et 1. Il est à noter qu'un des locuteurs de la population témoin a une voix plus pathologique qu'un des patients. Enfin, avec cette classification en 3 groupes, certains locuteurs témoins sont inclus dans le groupe « peu soufflé », groupe qui est à la frontière entre les deux populations (témoin et pathologique).

VI. LE TRAITEMENT STATISTIQUE

1. Constitution des bases de données

1.1. De l'ANOVA

Elle a été faite grâce au tableur EXCEL. Nous avons créé deux feuilles, l'une pour la variable « modalité » ou « modality » (i.e. les deux populations, témoin et pathologie), et l'autre pour la variable « groupe » (i.e. les trois groupes, normal, pathologique et très pathologique). Nous avons précisé dans des colonnes différentes pour chaque locuteur le sexe, l'âge et son appartenance à tel groupe ou à telle population selon la feuille. Puis nous avons rentré, toujours dans des colonnes différentes, les lieux d'articulation, les contextes de réalisation, les voyelles et enfin les variables durée, f_0 , intensité, FI, F2, F3 et les mesures de souffle (jitter, shimmer, HNR, HPR).

1.2. De la MANOVA

Elle a été faite à partir de la base de données de l'ANOVA. Pour pouvoir croiser plusieurs facteurs pour les différentes variables, nous avons réalisé des concaténations de cellules, grâce à la fonction prévue à cet effet sur EXCEL. Sur une première feuille, pour le facteur

groupe (pathologique, très pathologique et normal), dans la première colonne, nous avons concaténé le facteur groupe avec le contexte de réalisation. Dans la deuxième colonne, nous avons concaténé le facteur groupe avec le contexte de réalisation et avec le lieu d'articulation. Dans la troisième colonne, nous avons concaténé le facteur groupe avec le contexte de réalisation, le lieu d'articulation et le sexe. Puis nous avons remis la colonne voyelle et ensuite les différentes colonnes avec les variables citées ci-dessus. Nous avons procédé de la même façon sur une autre feuille pour le facteur modalité (pour les deux populations).

2. ANOVA (« Analysis Of Variance »)

Cette analyse, tout comme celle de la MANOVA a été faite avec le logiciel SPSS® (version 15). Il s'agit d'une technique statistique qui permet de faire une comparaison des moyennes de plusieurs populations et de classer des données. C'est l'équivalent de ce qu'on appelle « régression linéaire » lorsque ce sont des variables qualitatives. Une fois que les différences de moyennes observées sur les différentes populations sont faites, on utilise des mesures de variance afin de déterminer si les différences sont significatives ou non. Finalement, l'ANOVA permet de faire, pour un nombre X de populations, une comparaison des moyennes de ces échantillons. Dans ce travail, l'ANOVA est le moyen que nous avons utilisé pour tester la pertinence de nos résultats.

3. MANOVA (« Multivariate Analysis Of Variance »)

Il s'agit d'une analyse très proche de l'analyse de variance qui permet d'avoir une vue d'ensemble de toutes les données et de voir si c'est pertinent de manière globale. Elle a pour but d'observer s'il y a des interactions entre les facteurs (ici sexe, groupe, modalité, contexte de réalisation et lieu d'articulation) et si cela a une influence sur l'ensemble des variables (ici durée, intensité, f0, F1, F2, F3). Plusieurs variables sont analysées en même temps et c'est ce qui différencie la MANOVA de l'ANOVA.

Chapitre IV
PRESENTATION DES RESULTATS

L'analyse des résultats a été réalisée à partir d'analyses de variance (ANOVA et MANOVA). Elle permet de déterminer s'il existe une différence significative (DS) ou non (NS) entre les données étudiées.

I. MESURES OBJECTIVES

1. Des deux populations (témoins / pathologiques)

Afin de confirmer objectivement le caractère pathologique des voix de la population « pathologie », nous avons utilisé les mesures suivantes : le jitter (seuil de pathologie quand $x > 1,04\%$), le shimmer (seuil de pathologie quand $x > 3,81\%$), le HNR (seuil de pathologie quand $x > 20\text{ dB}$) et le HPR (seuil de pathologie quand $x > -30\text{ dB}$). Une voix est considérée comme pathologique lorsque les valeurs d'une mesure sont égales ou dépassent le seuil de pathologie. Il est à noter que le jitter, le shimmer et le HNR n'ont pas pu être extraits pour trois patients (n° 3, 5 et 11) de la population pathologique (et du groupe « soufflé ») car leur voix était dénuée de f_0 . Ces trois voix étant extrêmement pathologiques, on peut d'ores et déjà penser que les résultats de la population pathologique (et du groupe « soufflé ») ne rendront pas exactement compte de l'ampleur de l'altération acoustique.

Il est attendu que : le jitter et le shimmer augmentent en pathologie et que le HNR et le HPR diminuent. Pour ce dernier, il est à noter que le résultat obtenu donne des valeurs négatives.

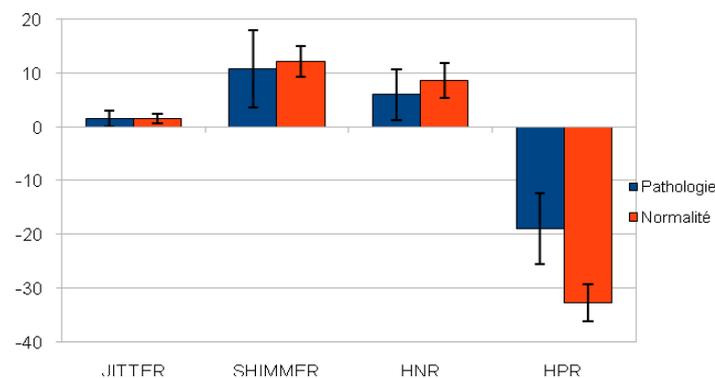


Figure 3 : Mesures objectives de chaque population

Seules les 3 dernières aboutissent à une différence significative :

Jitter	shimmer	HNR	HPR
NS	DS (p<0,01) Pathologiques > témoins	DS (p<0,001) Pathologiques < témoins	DS (p<0,001) Pathologiques > témoins

Tableau 4 : Analyse statistique des mesures objectives de chaque population

Toutes les DS mises en évidence vont dans le sens d’une détérioration du signal vocal chez les patients dysphoniques.

On peut également remarquer que le HNR et le HPR sont les mesures les plus discriminantes et qu’elles rendent compte principalement de la composante de souffle, contrairement aux deux autres.

2. Pour les trois groupes (normaux / peu soufflés /

3. soufflés)

Si l’on compare maintenant les trois groupes (établis à partir de l’ensemble des locuteurs) que nous avons établis pour obtenir une gradation du caractère pathologique de la voix, on obtient :

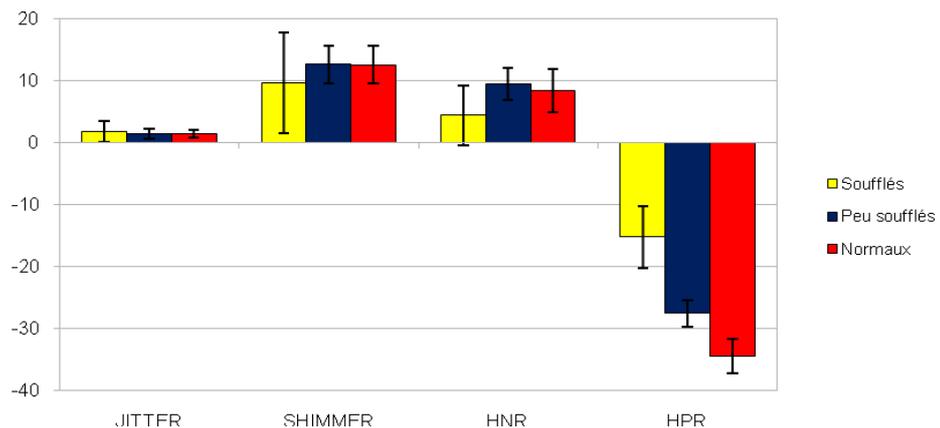


Figure 4 : Mesures objectives de chaque groupe

Jitter	shimmer	HNR	HPR
<p>DS (p<0,001) soufflés > peu soufflés : DS normal < soufflés : DS peu soufflés / normal : NS</p>	<p>DS (p<0,001) soufflés > peu soufflés : DS normal < soufflés : DS peu soufflés / normal : NS</p>	<p>DS (p<0,001) Les 3 groupes se différencient entre eux.</p>	<p>DS (p<0,001) Les 3 groupes se différencient entre eux.</p>

Tableau 5 : Analyse statistique des mesures objectives de chaque groupe

Nous rappelons que ces trois groupes (« normal », « peu soufflé » et « soufflé ») ont été constitués sur la base des valeurs de chaque locuteur à partir du HPR. Ces résultats confirment la pertinence de ce choix : les quatre mesures montrent une DS qui va dans le sens d'une altération du signal croissante selon le degré de pathologie.

4. Analyse de corrélation entre HPR et remplacement des harmoniques

Un de nos objectifs consiste à étudier la relation entre le niveau de souffle, mesuré à partir du HPR, et la réduction vocalique. De plus, il se trouve que les valeurs du HPR dépendent de la répartition fréquentielle des harmoniques et du souffle. Or, Pruszevicz & coll. (1991) ont montré qu'on pouvait observer un remplacement des harmoniques par du souffle à partir de 2600 voire de 1600 Hz. Nous avons donc voulu en savoir plus sur une éventuelle corrélation entre le remplacement des harmoniques sur le spectrogramme et le HPR. Nous avons déterminé la fréquence à partir de laquelle les harmoniques ne sont plus visibles sur le spectrogramme pour tous les /a/ isolés des locuteurs pathologiques. L'analyse de corrélation a été effectuée à l'aide du logiciel Excel (Cf. annexe II). À l'analyse de corrélation entre HPR et remplacement des harmoniques (cf. annexe II), nous obtenons un coefficient de -0,54 pour le groupe « peu soufflé » et de -0,66 pour le groupe « soufflé ». Le seuil de signification est 0,45. On observe donc une corrélation d'intensité moyenne (car $0,5 < r < 0,2$, une corrélation étant considérée comme parfaite si $r = 1$) pour les deux groupes.

II. CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES NORMALES ET PATHOLOGIQUES

1. Pour les deux populations (témoins/pathologiques)

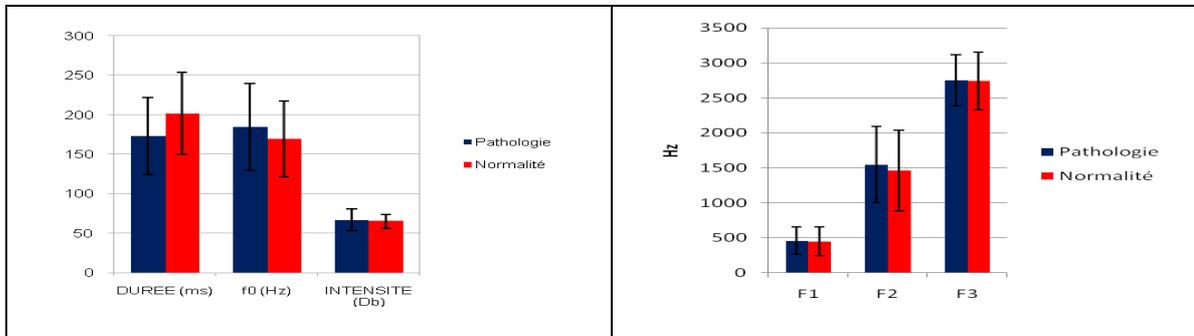


Figure 5 : Caractéristiques acoustiques de chaque population

Nous comparons ici les deux populations toutes voyelles confondues au niveau de leur durée, leur f_0 , leur intensité et leurs formants. Seuls la durée, la f_0 et F2 sont significativement différents ($p < 0,0001$) selon la population. Conformément à nos hypothèses, la durée est réduite et F2 varie chez les locuteurs atteints d'une pathologie vocale. Nous ne validons pas nos hypothèses en ce qui concerne les autres caractéristiques. La f_0 va même dans le sens d'une augmentation, elle est donc plus aigüe.

1.1. Effet de la population et du contexte de réalisation

- Durée : les locuteurs témoins produisent des voyelles plus courtes que les locuteurs pathologiques, et ce dans tous les contextes (isolé, syllabe, mot).
- f_0 : témoins < pathologiques, dans tous les contextes
- Intensité : comme précédemment, aucune DS entre les groupes
- F1 et F3 : aucune DS
- F2 : témoins < pathologiques seulement pour le contexte syllabe

	mot		Syllabe		Isolé	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
bilabial	Témoins > pathologiques	Aucune DS				
dental	Témoins > pathologiques	Aucune DS				
vélaire	Témoins > pathologiques	Témoins > pathologiques	Aucune DS	Témoins > pathologiques	Témoins > pathologiques	Aucune DS

Tableau 6 : Analyse statistique de la durée en fonction de la population, du contexte, du lieu et du sexe.

			/u/	/i/	/a/
Durée	mot		témoins > pathologiques	témoins > pathologiques	témoins > pathologiques
	syllabe		témoins > pathologiques	témoins > pathologiques	témoins > pathologiques
	isolé		témoins > pathologiques	Aucune DS	Aucune DS
f0	mot		Aucune DS	témoins < pathologiques	témoins < pathologiques
	syllabe		témoins < pathologiques	Aucune DS	Aucune DS
	isolé		témoins < pathologiques	témoins < pathologiques	témoins < pathologiques
Intensité	mot		Aucune DS		
	syllabe				
	isolé				
F1	mot		Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS
	syllabe		Aucune DS	Aucune DS	Témoins > pathologiques
	isolé		Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS
F2	mot		Témoins < pathologiques	Aucune DS	Témoins < pathologiques
	syllabe		Témoins < pathologiques	Aucune DS	Aucune DS
	isolé		Témoins < pathologiques	Aucune DS	Aucune DS
F3	mot		Aucune DS	Aucune DS	Témoins < pathologiques
	syllabe		Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS
	isolé		Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS

Tableau 7 : Analyse statistique en fonction de la population, du contexte et de la voyelle.

1.2. Effet de la population, du contexte de réalisation et du lieu d'articulation

- Durée : témoins < pathologiques, en mot et syllabe, pour tous les lieux d'articulation (bilabial, dental et vélaire). En isolé, on observe également témoins < pathologiques, mais seulement pour le lieu bilabial.
- f_0 : témoins < pathologiques, sauf en contexte de syllabes bilabiale et dentale
- Intensité : aucune DS
- F1 et F3 : aucune DS
- F2 : les DS relevées plus haut n'apparaissent plus ici.

1.3. Effet de la population, du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe

Seuls la durée et F1 (cf. verso tableau 6) sont analysés ici car ce sont les seuls pour lesquels un effet de sexe a pu être mis en évidence (la durée et F1 augmentent chez les femmes).

Les statistiques sur l'effet de la population, du contexte, du lieu et du sexe n'ont montré aucune DS pour F1 entre les populations (ce dernier n'est donc pas présenté).

En isolé, les productions vocaliques des hommes ne se différencient pas selon le caractère pathologique de la voix.

1.4. Effet de la population, du contexte et de la voyelle

Comme on l'a déjà remarqué dans l'analyse mesurant l'effet du contexte de réalisation et du lieu d'articulation, les DS entre populations apparaissent davantage en contextes mot et syllabe qu'en isolé (cf. verso tableau 7).

Seule la voyelle /a/ en syllabe permet de montrer une DS pour F1 entre locuteurs témoins et pathologiques.

Pour F2, la voyelle /u/, et de façon moindre le /a/, sont sensibles à l'influence de la pathologie vocale.

La durée et la f_0 , et non l'intensité, sont sensibles au caractère pathologique. Au niveau des formants, les voyelles varient assez peu en fonction du caractère pathologique (hormis l'augmentation nette, et donc l'antériorisation, du F2 de /u/ en pathologie).

On remarque enfin que le /a/ a légèrement tendance à se fermer (contexte syllabe) et à s'antérioriser (contexte mot) en pathologie.

2. Des trois groupes (normal / peu soufflé / soufflé)

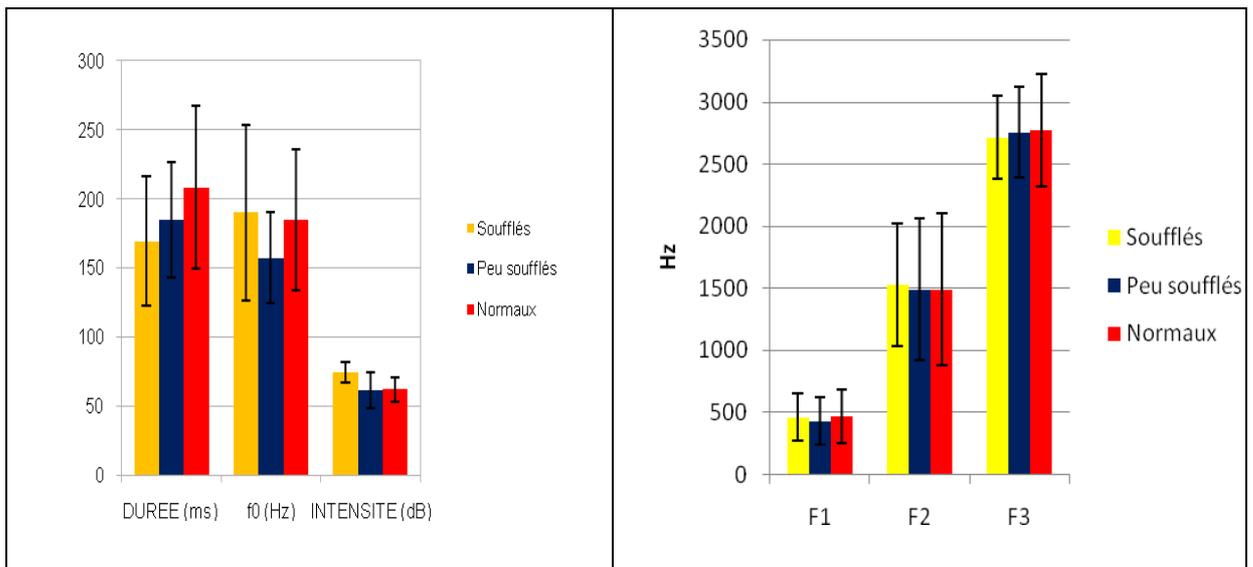


Figure 6 : Caractéristiques acoustiques de chaque groupe

Les résultats obtenus pour les trois groupes montrent une DS très nette pour la durée ($p < 0,0001$), la f_0 ($p < 0,0001$), l'intensité ($p < 0,0001$) et un peu moins nette pour F1 ($p < 0,05$) et F3 ($p < 0,05$).

Plus précisément :

- la durée permet de différencier les 3 groupes entre eux, et va dans le sens d'une réduction en pathologie
- la f_0 ne permet pas de différencier les « soufflés » des « normaux ». En revanche, on obtient : « soufflés » > « normaux » ainsi que « peu soufflés » < « normaux ».
- l'intensité ne permet pas de différencier les « peu soufflés » des « normaux » mais permet de différencier les « soufflés » des « normaux » et des « peu soufflés ». À noter que ce sont les « soufflés » qui parlent avec la plus grande intensité.
- pour F1, seuls les « normaux » et les « peu soufflés » se différencient, ces derniers ayant les valeurs les plus faibles,
- pour F3, les « normaux » et les « peu soufflés » ne se différencient pas. Les « soufflés » sont en-dessous des deux autres groupes.

La division en trois groupes plutôt qu'en deux populations nous permet de faire apparaître davantage de caractéristiques significativement différentes. Comme dans l'étude des deux populations, la f_0 augmente en pathologie alors que la durée diminue. De plus, on note une hausse de l'intensité pour les locuteurs « soufflés », ce qui est contraire à nos hypothèses. Comme nous nous y attendions, nous observons des variations des fréquences formantiques des voyelles selon le degré de pathologie.

2.1. Effet du groupe et du contexte de réalisation

- Durée : pour tous les contextes, on a : « normaux » > « peu soufflés » > « soufflés », sauf pour le contexte isolé où il n'y a pas de DS entre « peu soufflés » et « soufflés ».
- f_0 : en mot et en syllabe : « normaux » > « peu soufflés » et « soufflé » > « peu soufflés » ; en revanche, en isolé : « soufflés » > « normaux » > « peu soufflés ».
- Intensité : pour tous les contextes, « normaux » < « soufflés » et « peu soufflés » < « soufflés ».
- F1 et F2 : aucune DS
- F3 : en isolé, « normaux » > « soufflés » et « peu soufflés » > « soufflés ».

Il semble qu'il y ait plus de DS mises en évidence entre les groupes en isolé que dans les autres contextes.

2.2. Effet du groupe, du contexte de réalisation et du lieu d'articulation

- Durée : en syllabe et en mot, « normaux » > « peu soufflés » > « soufflés » pour tous les lieux d'articulation. Comme pour les populations, on observe une DS en isolé seulement en lieu bilabial (« normaux » > « soufflés »)
- f_0 : en syllabe et mot, pour tous les lieux, « peu soufflés » < « normaux » et « peu soufflés » < « soufflés ». En isolé, pour tous les lieux, « peu soufflés » < « normaux » < « soufflés ».
- Intensité : pour tous les contextes et tous les lieux : « normaux » < « soufflés » et « peu soufflés » < « soufflés ». Encore une fois, ce sont les groupes « normal » et « peu soufflé » qui ne se différencient pas.
- F1, F2 et F3 : aucune DS.

	mot		Syllabe		Isolé	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
bilabial	Norm > peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés. Peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés. Peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés. Norm > peu soufflés.	Norm > peu soufflés. Norm > soufflés.	Aucune DS.
dental	Norm > peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés. Peu soufflés > soufflés.	Norm > peu soufflés > soufflés.	Norm > peu soufflés. Norm > soufflés.	Norm > peu soufflés. Norm > soufflés.	Aucune DS.
vélaire	Norm > peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés. Peu soufflés > soufflés.	Norm > soufflés et peu soufflés > soufflés.	Norm > peu soufflés. Norm > soufflés.	Norm > peu soufflés. Norm > soufflés.	Aucune DS.

Tableau 8 : Analyse statistique de la durée en fonction de : groupe, durée, contexte, lieu, sexe.

		/u/	/i/	/a/
		Durée	mot	Soufflés < peu soufflés < norm
	syllabe	Soufflés < peu soufflés < norm	Soufflés < peu soufflés < norm	Peu soufflés < norm Soufflés < norm
	isolé	Peu soufflés < norm Soufflés < norm	Aucune DS	Aucune DS
f0	mot	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Soufflés < peu soufflés < norm
	syllabe	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés
	isolé	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Peu soufflés < norm Peu soufflés < soufflés	Peu soufflés < norm < soufflés
Intensité	mot	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés		
	syllabe			
	isolé			
F1	mot	Peu soufflés < soufflés	Aucune DS	Soufflés < norm Peu soufflés < norm
	syllabe	Peu soufflés < soufflés	Aucune DS	Soufflés < norm Peu soufflés < norm
	isolé	Peu soufflés < soufflés	Aucune DS	Soufflés < norm Peu soufflés < norm
F2	mot	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés
	syllabe	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Aucune DS
	isolé	Norm < peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Aucune DS
F3	mot	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés
	syllabe	Norm < soufflés Peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Aucune DS
	isolé	Norm < peu soufflés < soufflés	Soufflés < norm Soufflés < peu soufflés	Aucune DS

Tableau 9 : Analyse statistique en fonction du groupe, du contexte et de la voyelle

2.3. Effet du groupe, du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe

Seuls la durée et F1 varient selon le sexe. F1 n'est pas présenté ici car il n'a été répertorié aucune DS entre les populations.

Globalement, les deux sexes sont soumis à une réduction de la durée en fonction du degré de pathologie (cf. verso tableau 8). Seuls les hommes ne se différencient pas dans leurs productions isolées.

2.4. Effet du groupe, du contexte et de la voyelle

Durée, f_0 et intensité de chacune des trois voyelles sont toutes sensibles au degré de pathologie (Cf. verso tableau 9). Au niveau des formants, certaines voyelles varient assez peu en fonction du degré de pathologie (F2 et F3 de /a/ ; F1 de /i/). On remarque aussi que le /a/ devient plus fermé (diminution du F1), que le /u/ devient plus ouvert (augmentation du F1) et plus antérieur (augmentation du F2) et que le /i/ devient plus postérieur (diminution du F2) chez les locuteurs les plus pathologiques. Nous allons maintenant considérer les voyelles sans prendre en compte les variations liées au contexte et en nous centrant sur les formants vocaliques.

2.5. Effet du groupe et de la voyelle

Les graphiques (fig. 8, 9 et 10) permettent de représenter visuellement les résultats statistiques.

- Voyelle /a/ :

F1	F2	F3
DS ($p < 0,0001$)	NS	NS
soufflés / peu soufflés : NS	soufflés / peu soufflés : NS	soufflés > peu soufflés : DS
normaux > soufflés : DS	normaux / soufflés : NS	normaux / soufflés : NS
normaux > peu soufflés : DS	normaux / peu soufflés : NS	normaux / peu soufflés : NS

Tableau 10 : Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /a/

Dans l'analyse précédente, F2 et F3 n'étaient sensibles à la pathologie qu'en contexte mot. L'absence de prise en compte du contexte n'aboutit à aucune DS. La pathologie entraîne une fermeture du /a/ (diminution du F1) et une antériorisation en mot (cf. analyse précédente).

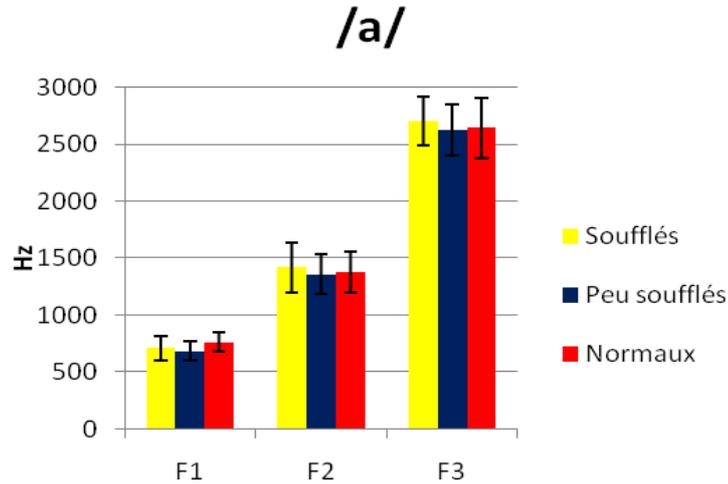


Figure 7 : Formants vocaliques du /a/

- Voyelle /i/ :

F1	F2	F3
DS (p<0,001)	DS (p<0,05)	DS (p<0,0001)
soufflés > peu soufflés : DS	soufflés / peu soufflés : NS	soufflés > peu soufflés : DS
normaux < soufflés : DS	normaux > soufflés : DS	normaux < soufflés : DS
normaux / peu soufflés : NS	normaux / peu soufflés : NS	normaux < peu soufflés : DS

Tableau 11: Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /i/

On observe toujours une DS pour F2 et F3. Mais ici, F1 devient sensible à la pathologie. Celle-ci entraîne une ouverture (augmentation de F1) et une postériorisation (diminution de F2) du /i/.

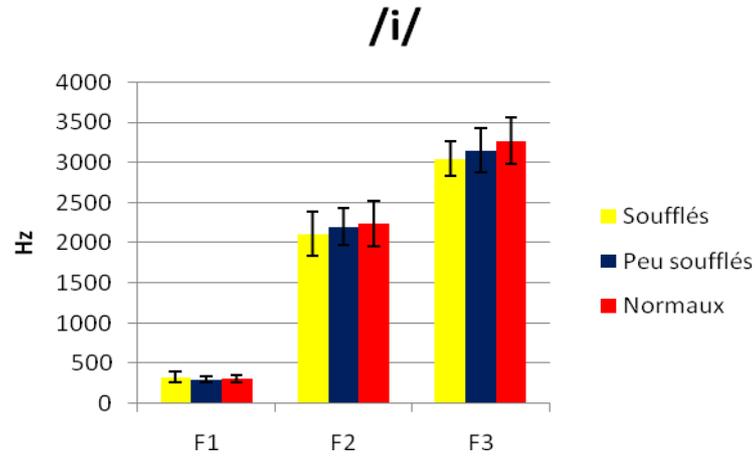


Figure 8 : Caractéristiques acoustiques du /i/

- Voyelle /u/ :

F1	F2	F3
DS (p<0,001)	DS (p<0,0001)	DS (p<0,05)
soufflés > peu soufflés : DS	soufflés > peu soufflés : DS	soufflés < peu soufflés : DS
normaux < soufflés : DS	normaux < soufflés : DS	normaux / soufflés : NS
normaux / peu soufflés : NS	normaux / peu soufflés : NS	normaux < peu soufflés : DS

Tableau 12 : Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /u/

Les résultats sont tout à fait cohérents avec l'analyse précédente : chaque formant varie selon le degré de pathologie. Celle-ci entraîne une ouverture (augmentation de F1) et une antériorisation (augmentation de F2) du /u/.

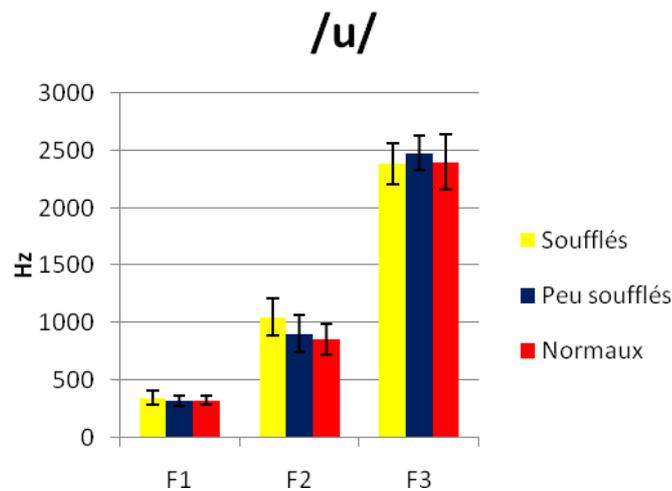


Figure 9 : Formants vocaliques du /u/

Dispersion voyelles - femmes

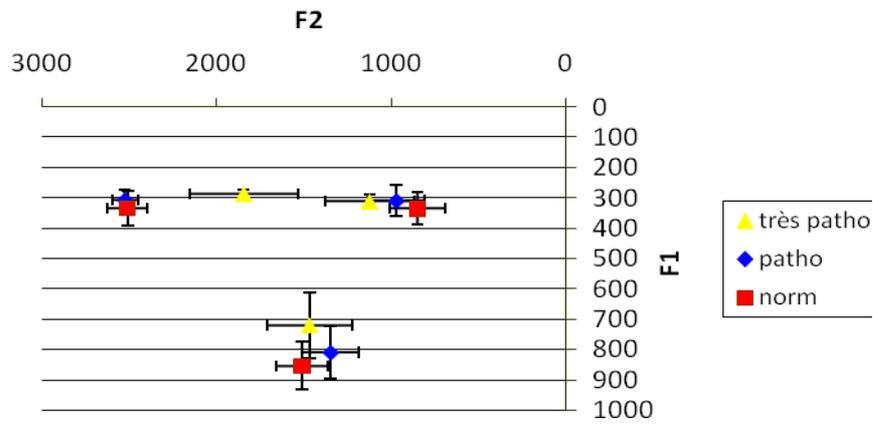


Figure 10 : Triangle vocalique des femmes des 3 groupes

Dispersion voyelles - hommes

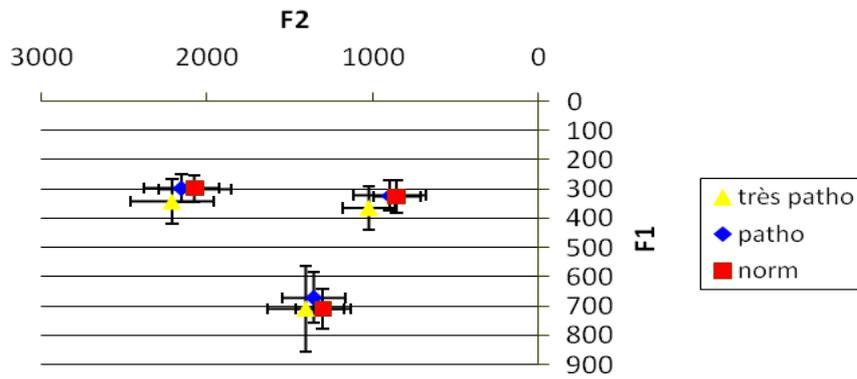


Figure 11 : Triangle vocalique des hommes des 3 groupes

Dispersion voyelles

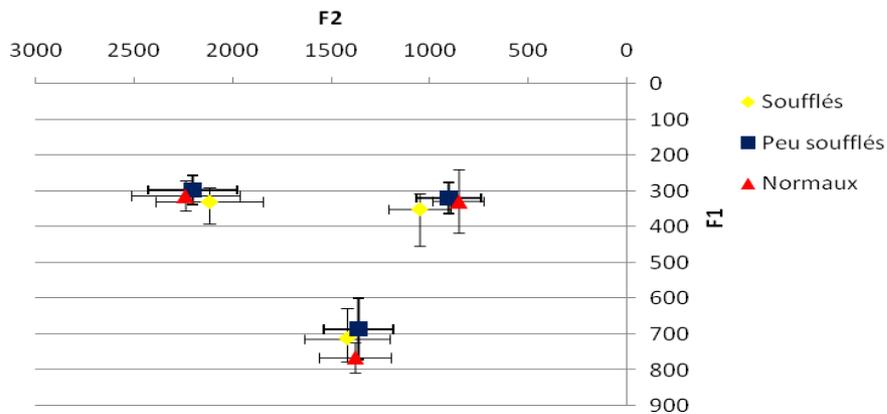


Figure 12 : Triangle vocalique des 3 groupes

- Triangle vocalique :

Si l'on répartit les voyelles sur le triangle vocalique, on obtient les figures 10, 11 et 12 (cf. verso). Chez les femmes, la réduction de l'espace vocalique est très nette : les voyelles des voix « soufflées » sont très centralisées. Chez les hommes, la centralisation est moins nette. Seul le /u/ a des valeurs plus centrales en pathologie. Les autres voyelles produites par les voix « soufflées » sont cependant différentes de celles des autres groupes. Les voyelles produites par les hommes tendent globalement vers une antériorisation et une ouverture de l'espace vocalique. Sans appliquer de distinction de sexe, on retrouve une certaine centralisation pour les « soufflés » par rapport aux « normaux » sur les trois voyelles et pour les « peu soufflés » seulement sur /a/.

En conclusion, nous pouvons affirmer que la composante de souffle a une incidence sur la répartition des voyelles sur le triangle vocalique. Les voyelles /i/ et /u/ sont les plus touchées : elles voient toutes deux leur F1 et leur F2 se modifier. Dans nos hypothèses, nous nous attendions à une centralisation des voyelles en fonction du degré de pathologie. Cette hypothèse est validée, et d'autant plus chez les femmes. De manière générale, nous observons une importante centralisation des voyelles des voix « soufflées », mais celle-ci est peu prégnante pour les voix « peu soufflées ».

III. CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES EN FONCTION DE LEUR CONTEXTE DE REALISATION

1. Toutes populations confondues

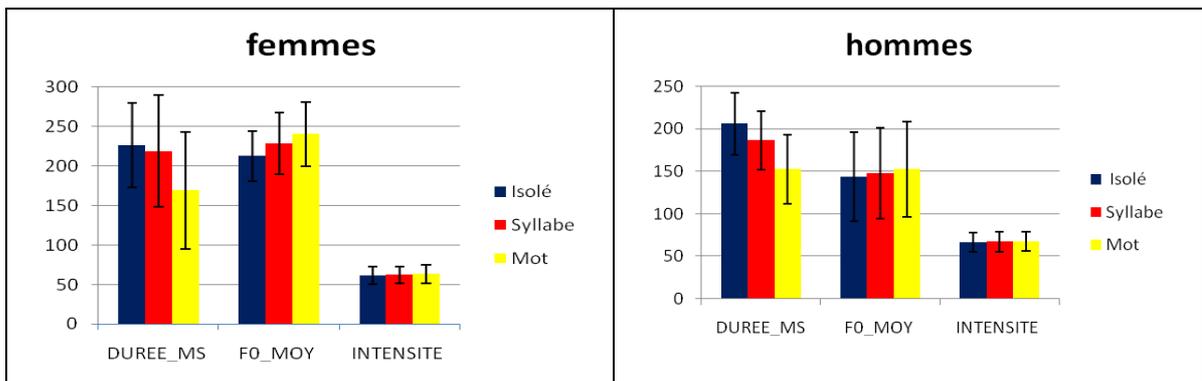


Figure 13 : Influence du contexte sur les caractéristiques acoustiques des voyelles (toutes confondues)

Nous avons comparé ici les caractéristiques des voyelles sans séparer les groupes ou les populations. Nous n'avons pas placé les formants sur les graphiques : il est à noter que ceux-ci ne présentent pas de DS en fonction du contexte. Comme nous nous y attendions, les voyelles ont une durée plus réduite lorsqu'elles sont entourées (contextes mot et syllabe) que lorsqu'elles sont isolées. Chez les hommes, les trois contextes se différencient. Chez les femmes, seuls « isolé » et « syllabe » ne se différencient pas.

Chez les femmes, on remarque que la f_0 (sauf pour « mot » et « syllabe », qui ne se différencient pas) diminue dans ce sens : « mot » \geq « syllabe » $>$ « isolé ». Chez les hommes, on ne note pas de variation de la f_0 . L'intensité ne présente pas non plus de DS, quel que soit le contexte de réalisation.

2. Analyse des deux populations

2.1. Effet du contexte de réalisation

- Durée : en pathologie, la durée en contexte mot est inférieure à la durée en contextes syllabe et isolé. Chez les témoins, on fait le même constat. Cependant, chez ces derniers, syllabe et isolé ne se différencient pas.
- f_0 : pour les 2 populations, la f_0 est plus basse en contexte mot qu'en isolation. Les contextes mot et syllabe ne se différencient pas.
- Intensité : aucune DS.
- F1 et F3 : aucune DS.
- F2 : aucune DS en pathologie. Chez les témoins, F2 en isolé est inférieur à F2 en mot.

En conclusion, on remarque que, hormis pour F2, le contexte de réalisation a un effet assez similaire sur chacune des populations. Nous validons certaines de nos hypothèses : le contexte entraîne une diminution de la durée et de la f_0 . Néanmoins, l'intensité ne varie pas en fonction du contexte.

2.2. Effet du contexte de réalisation et du lieu d'articulation

- Durée : en pathologie, on retrouve une diminution de la durée allant de : isolé > syllabe > mot, pour tous les lieux d'articulation. On a des résultats similaires chez les témoins, sauf pour isolé et syllabe qui ne se différencient pas. Le seul effet du lieu d'articulation sur la durée concerne les mots produits par les témoins : les mots avec un entourage vélaire sont plus longs que les mots avec un entourage bilabial.
- f_0 : on ne note aucune DS en fonction du lieu. Chez les témoins, on observe un effet positif global du contexte sur la f_0 pour tous les lieux. Chez les pathologiques, on observe : isolé < mot pour /p/ et /t/ et syllabe < mot pour /p/.
- Intensité : aucune DS.
- F1 et F3 : aucune DS.

	mot		syllabe		Isolé	
	<i>Femmes</i>	<i>Hommes</i>	<i>Femmes</i>	<i>Hommes</i>	<i>Femmes</i>	<i>Hommes</i>
témoins	Isolé > syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Syllabe > mot	Syllabe > mot	Isolé > mot	Isolé > mot
Patho- logiques	Isolé > syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Isolé > mot	Isolé > syllabe > mot

Tableau 13 : Analyse statistique de la durée en fonction du contexte, du lieu et du sexe.

		/u/	/i/	/a/
Durée	témoins	Mot < isolé Mot < syllabe	Mot < isolé Mot < syllabe	Mot < isolé
	patho- logiques	Mot < syllabe < isolé	Mot < syllabe < isolé	Mot < syllabe < isolé
f0	témoins	Mot > isolé	Mot > isolé	Mot > isolé Syllabe > isolé
	patho- logiques	Mot > isolé	Mot > isolé	Aucune DS
Intensité	témoins	Aucune DS		
	patho- logiques			
F1	témoins	Aucune DS	Aucune DS	Mot < isolé Mot < syllabe
	patho- logiques	Aucune DS	Aucune DS	Syllabe < isolé
F2	témoins	Aucune DS	Aucune DS	Isolé < mot Syllabe < mot
	patho- logiques	Aucune DS	Aucune DS	Isolé < mot Syllabe < mot
F3	témoins	Isolé < mot	Mot < isolé Mot < syllabe	Aucune DS
	patho- logiques	Isolé < mot	Aucune DS	Aucune DS

Tableau 14 : Analyse statistique en fonction du contexte et de la voyelle

- F2 : on ne note aucune DS en fonction du lieu. La seule DS observée concerne les témoins. Leur F2 en isolé est inférieur à leur F2 en mot, pour les lieux vélaire et dental.

On observe un effet du contexte sur la durée, la f_0 et F2 (pour les témoins). Hormis pour la durée, peu d'effets du lieu ont pu être mis en évidence. Cette analyse confirme donc celle du paragraphe précédent (2.1.).

2.3. Effet du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe

La durée et F1 sont les seuls à varier selon le sexe. Nous ne présentons ici que la durée (cf. verso tableau 13) car F1 ne présente pas de DS entre les populations.

On observe les mêmes phénomènes de diminution en syllabe et mot dans les deux populations.

2.4. Effet du contexte et de la voyelle

On observe pour la durée et la f_0 les mêmes effets que précédemment (cf. verso tableau 14). Au niveau des formants, seule la voyelle /a/ est soumise à des variations de F1 en fonction du contexte. Le F1 de /a/ diminue en contextes syllabe et mot, et /a/ deviendrait donc plus fermé quand il est entouré d'autres sons.

Au vu de F1 et F2, il semble que les voyelles /i/ et /u/ soient plus « résistantes » à l'influence du contexte. Le F2 de /a/ augmente en contextes syllabe et mot, /a/ deviendrait donc plus antérieur quand il est entouré d'autres sons, et ce que la voix soit normale ou pathologique.

En conclusion, dans les deux populations, l'analyse par voyelle séparée se révèle beaucoup plus pertinente pour faire émerger les différences acoustiques engendrées par le contexte. Certaines voyelles ne varient pas ou peu (/u/ et /i/) selon le contexte, mais d'autres (/a/) montrent une certaine antériorisation et une fermeture quand elles sont entourées par des consonnes.

3. Analyse des trois groupes

3.1. Effet du contexte de réalisation

- Durée : dans les trois groupes, la durée diminue sous l'effet du contexte (mot < syllabe < isolé), sauf pour les « normaux » pour lesquels il n'y a pas de DS entre isolé et syllabe.
- f_0 : chez les locuteurs « normaux », la hauteur diminue également sous l'effet du contexte (isolé < syllabe < mot) ; chez les « peu soufflés », la hauteur est plus réduite en mot qu'en isolé et plus réduite en syllabe qu'en mot ; chez les « soufflés » : elle est plus réduite en syllabe qu'en mot. Les contextes se différencient donc mieux chez les « normaux ».
- Intensité : comme dans l'analyse par populations, on ne note aucune DS.
- F1 et F3 ne montrent également aucune DS.
- F2 : chez les « normaux » et les « peu soufflés », la fréquence en isolé est inférieure à la fréquence en mot.

En conclusion, on remarque que, hormis pour F2, le contexte de réalisation a un effet assez similaire sur chacun des groupes. Nous validons certaines de nos hypothèses : le contexte entraîne une diminution de la durée et une augmentation de la f_0 . Néanmoins, l'intensité ne varie pas en fonction du contexte.

3.2. Effet du contexte de réalisation et du lieu d'articulation

- Durée : pour les « soufflés », les voyelles les plus courtes sont celles qui sont produites en mot, ensuite viennent celles qui sont produites en syllabe et enfin celles qui sont produites en isolé. Cette observation se vérifie pour tous les lieux d'articulation. Pour les « peu soufflés », on a aussi une diminution du contexte isolé au contexte mot (isolé > syllabe > mot), sauf pour le lieu bilabial où il n'y a pas de DS entre mot et syllabe. Pour les « normaux », on a, dans le même sens : mot < isolé et mot < syllabe. Aucun effet de lieu n'est relevé. Les différences de durée semblent davantage apparaître chez les locuteurs les plus pathologiques.
- f_0 : on ne note aucune DS en fonction du lieu. Chez les « normaux », le contexte entraîne une augmentation de la f_0 (isolé < syllabe et isolé < mot). On observe également ceci chez les « peu soufflés » (isolé < mot), mais beaucoup moins

chez les « soufflés » (seulement pour le lieu bilabial, pour lequel le contexte syllabe est supérieur au contexte mot).

- Intensité : aucune DS n'apparaît.
- F1, F2 et F3 : aucune DS n'apparaît.

À la différence de l'analyse par population, il n'apparaît pas de DS pour F2. De plus, il n'apparaît jamais d'effet de lieu. Toutefois, cette analyse est concordante car l'effet du contexte sur la durée et la f_0 est présent.

3.3. Effet du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe

La durée et F1 sont les seuls à varier selon le sexe (Cf. verso tableau 15). Nous ne présentons ici que la durée, car F1 ne présente pas de DS entre les populations.

Les trois groupes subissent une influence du contexte sur la durée, cela se traduit par une diminution en syllabe et en mot.

3.4. Effet du contexte et de la voyelle

Pour chaque voyelle, on observe encore une fois un effet du contexte sur la durée (cf. verso tableau 16). La f_0 du groupe « soufflé » n'est pas sensible à l'effet du contexte. Pour les deux autres groupes, on retrouve toujours le même effet du contexte, qui provoque une baisse de la hauteur.

Ici aussi, seule la voyelle /a/ est soumise à des variations de F1 en fonction du contexte. Le F1 de /a/ diminue en contextes syllabe et mot, et deviendrait donc plus fermé quand il est entouré d'autres sons.

Au vu de F1 et F2, il semble que /u/, et surtout /i/, soient plus « résistants » à l'influence du contexte. Le F2 de /a/ et /u/ augmente en contextes syllabe et mot, /a/ et /u/ deviendraient donc plus antérieurs quand ils sont entourés d'autres sons.

Le graphique suivant (fig. 15) représente le triangle vocalique dans les différents contextes de réalisation. Les trois groupes ayant des comportements très similaires, ils n'ont pas fait l'objet de graphiques spécifiques.

	mot		syllabe		Isolé	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
normaux	Isolé > syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Syllabe > mot	Syllabe > mot	Isolé > mot	Isolé > mot
peu soufflés	Isolé > syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Syllabe > mot	Isolé > syllabe > mot	Isolé > mot	Isolé > syllabe > mot
soufflés	Isolé > syllabe > mot (sauf en lieu bilabial : isolé > mot)	Isolé > syllabe > mot	- Lieu vélaire : Isolé > syllabe > mot - Lieu dental : isolé > mot - Lieu bilabial : pas de DS	Isolé > syllabe > mot	Isolé > mot (sauf en lieu vélaire : isolé > syllabe > mot)	Isolé > syllabe > mot

Tableau 15 : Analyse statistique de la durée en fonction du contexte, du lieu et du sexe.

		/u/	/i/	/a/
Durée	normaux	Mot < isolé Mot < syllabe	Mot < isolé Mot < syllabe	Aucune DS
	peu soufflés	Mot < isolé Mot < syllabe	Mot < syllabe < isolé	Mot < isolé Syllabe < isolé
	soufflés	Mot < syllabe < isolé.	Mot < syllabe < isolé.	Mot < syllabe < isolé.
F0	normaux	Isolé < mot	Isolé < mot Isolé < syllabe	Isolé < mot Isolé < syllabe
	peu soufflés	Aucune DS	Isolé < mot	Isolé < mot
	soufflés	Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS
Inten-sité	normaux	Aucune DS		
	peu soufflés			
	soufflés			
F1	normaux	Aucune DS	Aucune DS	Mot < isolé Mot < syllabe
	peu soufflés	Aucune DS	Aucune DS	Mot < isolé
	soufflés	Aucune DS	Aucune DS	Mot < isolé Mot < syllabe
F2	normaux	Isolé < mot < syllabe.	Aucune DS	Isolé < mot Syllabe < mot
	peu soufflés	Isolé < mot Syllabe < mot	Aucune DS	Isolé < mot Syllabe < mot
	soufflés	Isolé < mot	Aucune DS	Isolé < mot Syllabe < mot
F3	normaux	Isolé < mot < syllabe.	Mot < isolé	Aucune DS
	peu soufflés	Aucune DS	Mot < isolé	Mot < isolé
	soufflés	Aucune DS	Aucune DS	Aucune DS

Tableau 16 : Analyse statistique en fonction du contexte et de la voyelle.

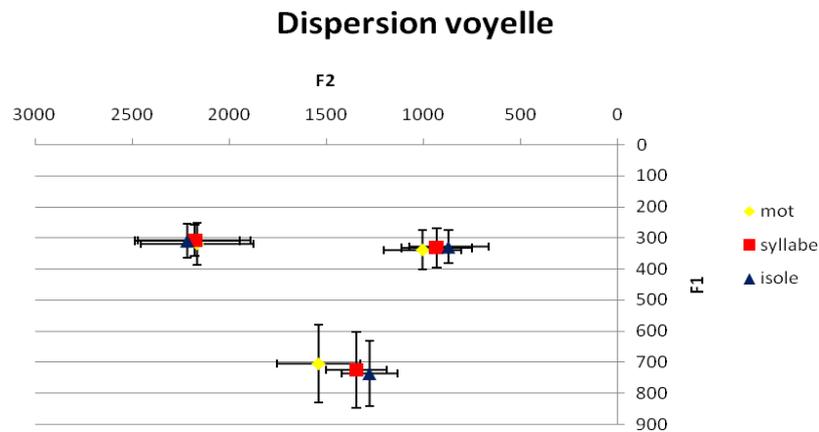


Figure 14 : Triangle vocalique dans les 3 contextes différents

En conclusion, l'analyse par voyelle séparée se révèle beaucoup plus pertinente pour faire émerger les différences acoustiques engendrées par le contexte. De plus, la comparaison inter-groupes nous permet de confirmer et d'affiner les résultats inter-populations. Les deux premiers formants du /i/ conservent des valeurs identiques en dépit des variations de contexte. Certaines voyelles (/i/) varient assez peu selon le contexte, mais d'autres montrent une antériorisation (/a/ et /u/) et une fermeture (/a/) quand elles sont entourées par des consonnes. L'analyse inter-groupes fait également émerger un nouvel élément : le /u/ montre une sensibilité au contexte en s'antériorisant. Quant au /a/, tous les résultats aboutissent à une antériorisation et à une fermeture. La réduction vocalique en contexte attendue dans nos hypothèses n'est réalisée que partiellement car le /i/ n'y participe pas. On remarque également que le /a/ se déplace sur le triangle vers une position plus antérieure : cette direction n'avait pas été prévue par nos hypothèses.

Chapitre V
DISCUSSION DES RESULTATS

I. ANALYSE DES RESULTATS

1. Mesures objectives

1.1. Analyse des mesures objectives

Pour rappel, les résultats de la différenciation objective des deux populations montraient l'absence de DS pour le jitter, une DS pour le shimmer et une DS très nette pour le HNR et le HPR. Ces résultats donnent lieu à plusieurs commentaires et interprétations possibles.

Tout d'abord, il pourra nous être reproché de ne pas avoir pratiqué ces mesures sur un /a/ tenu. Il est vrai qu'une analyse portant sur une portion aussi courte, 12 périodes en l'occurrence, ne permet pas d'écarter les parties les plus instables du signal. Ceci pourrait avoir pour conséquence une plus grande variabilité entre les portions analysées et au sein de chacune de ces portions. L'éventualité d'obtenir des valeurs plus instables et élevées (à cause de l'instabilité du signal, ce qui a tendance à « tirer » les voix vers la pathologie) est réel. Cependant, nous avons tenté de la contourner en incluant plusieurs portions à analyser (9) pour chaque sujet. De plus, toutes les mesures de tous les locuteurs ont été réalisées de manière identique : les valeurs des mesures des locuteurs témoins comme celles des locuteurs pathologiques se sont donc rapprochées de la même manière de la pathologie. Procéder ainsi nous a permis d'aboutir à un ensemble comprenant plusieurs données, réduisant ainsi la part laissée à la variabilité. De plus, ces mesures n'avaient pas pour but une caractérisation acoustique de la qualité de la voix mais plutôt la quantification du caractère pathologique, et plus particulièrement du souffle.

Au vu de ces considérations, nous pouvons nous poser la question d'un tel résultat pour le jitter. Aurions-nous obtenu une DS entre les populations si la portion analysée avait été plus longue ? Ce n'est pas sûr, dans la mesure où le jitter est davantage sensible à la périodicité du signal qu'à la composante de souffle.

Étant donné les pathologies incluses dans notre étude, il n'est pas étonnant que le HNR et le HPR, et dans une moindre mesure le shimmer, se montrent aussi discriminants. Le caractère voilé ou soufflé a ainsi pu être mis clairement en évidence. Par ailleurs, il aurait pu être intéressant d'observer les résultats de ces mesures sur des voix décrites comme

épillées, par exemple, pour lesquelles on pourrait s'attendre à davantage de perturbations de la périodicité.

Nos résultats pourraient être mis en parallèle avec ceux de Hirano & coll. (1988). Dans une étude auprès de patients atteints de paralysie récurrentielle, ils ont rattaché le paramètre acoustique « Normalized Noise Energy », proche du HNR, au manque de fermeture glottique, alors que le jitter et le shimmer étaient associés à l'irrégularité des vibrations.

En ce qui concerne les trois groupes, nous les avons constitués à partir des valeurs du HPR. Nous avons tardivement introduit cette mesure en plus des trois autres, non seulement pour obtenir une plus grande fiabilité de la quantification du niveau de souffle, mais aussi pour placer chaque locuteur sur une « échelle » de souffle nécessaire à la constitution des groupes. L'utilisation de cette mesure s'est révélée être un choix très pertinent car les groupes ont pu être clairement discriminés. Sur les trois groupes, ils se différencient tous entre eux pour le HPR et le HNR. Pour le shimmer et le jitter, deux des trois se différencient entre eux. Dans une moindre mesure, ces résultats ont aussi tendance à confirmer la dominance de la composante de souffle sur la composante d'apériodicité dans les pathologies étudiées.

Remarquons, en conclusion, que ces mesures, qui sont les plus utilisées dans la recherche et dans la pratique clinique, ont globalement su montrer leur intérêt. Un reproche souvent formulé à leur encontre est le manque de finesse dans la distinction des différentes composantes des voix pathologiques. Au contraire, il semble ici que le HPR ait montré de bonnes qualités pour opérer une objectivation sélective de la composante de souffle.

1.2. Corrélation entre HPR et structure harmonique

La corrélation que nous avons établie entre le HPR et le remplacement des harmoniques vient renforcer l'idée que cette mesure objective montre une bonne sensibilité au souffle. L'analyse spectrographique montre que certaines voix sont caractérisées par un remplacement des harmoniques dans les hautes fréquences, voire même par une absence d'harmoniques, pour les voix les plus soufflées. Ces données sont tout à fait en accord avec la littérature. Comme Dejonckere (1990) l'a signalé, ce sont bien les hautes fréquences qui sont les plus touchées. D'autre part, nous observons une réduction de la structure harmonique dans les groupes « peu soufflé » et « soufflé », comme cela avait pu être décrit par Pruszevicz & coll. (1991). Néanmoins, il est à noter que la structure

harmonique des locuteurs du groupe « peu soufflé » n'est jamais remplacée avant 1600 Hz et qu'elle ne montre parfois aucune altération, hormis une légère atténuation visuelle de la netteté des harmoniques. Celle du groupe « soufflé » peut être remplacée totalement (pour deux locuteurs) ou partiellement, à partir de 1300 voire 500 Hz (sauf pour une locutrice qui voit ses harmoniques disparaître seulement à partir de 3000 Hz). Le remplacement total dans les voix soufflées avait déjà pu être mis en évidence par Remacle & coll. (1990).

2. Effet de la composante de souffle sur les voyelles

Nous allons maintenant aborder la question de l'impact de la composante de souffle sur ce que nous appelons les caractéristiques acoustiques de la voyelle : la durée, la f_0 , l'intensité et les formants.

2.1. Durée

La différence de durée entre les deux populations et les trois groupes est extrêmement significative : les productions vocaliques pathologiques sont largement réduites. Dans le cas d'une voyelle tenue, il aurait été assez peu étonnant que la production soit plus courte en pathologie. Alors que pour une voyelle produite en parole, nous pouvions nous permettre de douter de la validation de notre hypothèse. La fuite glottique, majeure dans des pathologies comme la paralysie récurrentielle ou la CHEP, semble pourtant être la meilleure raison pour expliquer une telle réduction de la durée vocalique. Il est également à noter que pour les hommes, beaucoup plus nombreux que les femmes dans notre mémoire, c'est en contexte isolé que les différences entre populations apparaissent le moins. C'est donc dans la parole que les réductions semblent être les plus importantes.

2.2. Fréquence fondamentale

La littérature indique habituellement une diminution de la f_0 chez les sujets dysphoniques (Le Huche & Allali, 1991). De plus, la plupart des pathologies présentes dans notre étude occasionnent une béance glottique. De ce fait, nous avons fait l'hypothèse que les patients seraient en difficulté pour contrôler efficacement leur hauteur, étant donné le manque de résistance des cordes vocales et l'insuffisance de la pression sous-glottique. Nous avons bien relevé une DS entre les deux populations, mais dans le sens contraire de ce que nous avions prévu dans notre hypothèse. Pour discuter de ce phénomène, il nous semble important d'évoquer plusieurs points. Le premier concerne la nature de notre population

pathologique, dans laquelle les niveaux de souffle sont très variables et donc assez hétérogènes. Deuxièmement, il faut noter que trois locuteurs de notre population pathologique avaient un signal acoustique extrêmement altéré, à tel point que celui-ci était dénué de f_0 . La population pathologique disposait donc de trois locuteurs de moins pour établir la moyenne de la f_0 . Ces éléments ne suffisent tout de même pas pour expliquer une telle hausse. Faute de pouvoir invoquer une explication physiologique satisfaisante, nous avons donc fait appel à une étude menée par Morsomme (2001) et rapportée par Collet-Beillon et Benali (2005). À partir d'une analyse vocale objective, cette étude avait en effet aussi abouti à une hausse significative de la hauteur en pathologie.

Comme nous allons le voir pour l'intensité, il pourrait également être possible que les locuteurs pathologiques cherchent à compenser leur dysphonie en augmentant leur fréquence fondamentale. Ce procédé pourrait leur permettre de rendre leur voix plus perceptible.

Les résultats concernant la f_0 des trois groupes ne correspondaient pas non plus à nos hypothèses. Le groupe « soufflé » est supérieur au groupe « peu soufflé » et le groupe « normal » est supérieur au groupe « peu soufflé », mais les groupes « très soufflé » et « normal » ne se différencient pas. Nous devons préciser que le groupe « très soufflé » contient deux femmes, le groupe « peu soufflé » une femme et le groupe « normal » trois femmes. Chaque groupe ne contient donc pas un nombre identique de femmes. Mais ceci ne suffit pas pour expliquer de tels résultats. En effet, le groupe « soufflé », qui ne contient que deux femmes, n'a pas une f_0 plus haute que le groupe « normal », qui en contient trois.

2.3. Intensité

Il n'y a aucune DS entre les deux populations. Puisqu'on relève des DS entre les groupes, on pourrait penser que cette absence de différence provient aussi de l'hétérogénéité des niveaux de souffle de la population pathologique.

Les DS que nous observons entre les groupes ne correspondent pas à ce que nous avons prévu. Le groupe « soufflé » a une intensité nettement au-dessus des deux autres, alors que ces deux groupes ne se distinguent pas entre eux. Les mécanismes de contrôle de l'intensité étant les mêmes que pour la f_0 , nous avons fait l'hypothèse d'une baisse en cas de pathologie. Pour comprendre ce phénomène, nous avons tout d'abord pensé que les

locuteurs « soufflés » compensaient leur fuite glottique en produisant un effort laryngé important. Néanmoins, ce mécanisme de compensation aurait pu leur permettre d'égaliser à peu près les locuteurs normaux, et non de les dépasser. Dans la même idée, nous préférons plutôt avancer que les locuteurs « soufflés » compensent la réduction de leur durée vocalique et l'altération de leur structure harmonique (donc de leur timbre) en parlant plus fort. La théorie H&H de Lindblom (1990) vient conforter cette hypothèse. Les locuteurs « soufflés » seraient amenés à renforcer leur articulation, ici en augmentant leur intensité, pour compenser leur dysphonie et pour adapter leur voix à la situation. Ils compenseraient l'altération des informations acoustiques transmises par leur voix, ce qui se rapprocherait d'une forme d'hypo-articulation inhérente à leur pathologie, par une forme d'hyper-articulation.

Au vu des résultats apportés par ces trois paramètres acoustiques (durée, f_0 , intensité), il ressort principalement que le classement en trois groupes, plutôt que la division en deux populations, montre beaucoup plus de satisfaction pour l'interprétation des résultats.

2.4. Formants vocaliques

2.4.1. Analyse toutes voyelles confondues

Dans l'analyse par population, seul F2 varie, de manière croissante, quand il est produit par les locuteurs dysphoniques.

Dans l'analyse du F1 par groupe, seuls les groupes « normal » et « peu soufflé » se différencient, ces derniers étant les plus faibles. Un tel résultat pourrait aller dans le sens de notre hypothèse à propos de la baisse du F1 en pathologie (Kwang-Moon et coll., 1982), mais il demande à être vérifié dans l'analyse par voyelle. Quant à F2 et F3, le premier ne se modifie pas et le deuxième baisse chez les locuteurs les plus pathologiques. Ces résultats laissent penser que la suite des analyses, qui distingue les voyelles entre elles, aboutira à une modification de la répartition des formants.

2.4.2. Analyse par voyelles séparées

Entre les populations, assez peu de différences de valeurs formantiques sont relevées. Elles apparaissent bien pour le F2 du /u/, un peu moins pour les formants du /a/ (en contexte mot seulement) et sont nulles pour /i/.

L'analyse en trois groupes se révèle plus intéressante. Le découpage en groupes et par voyelles permet en effet de mettre en avant des modifications formantiques que la division en deux populations n'avait pas fait apparaître. Nous allons donc reprendre maintenant les modifications formantiques de chaque voyelle en fonction du degré de pathologie (c'est-à-dire des groupes).

- Voyelle /a/

Pour la voyelle /a/, nos hypothèses sont partiellement validées. Dans le même sens que ce qu'avaient pu montrer Kwang-Moon et coll. (1982), le F1 du groupe « normal » est au-dessus des groupes « soufflé » et « peu soufflé », bien que ces derniers ne se différencient pas. Cette répartition est vraie pour tous les contextes. Pour F2 et F3 nous ne notons aucune DS entre les groupes, hormis une augmentation significative de F3 pour le groupe « soufflé » par rapport au groupe « peu soufflé ». Cette variation pourrait être mise en relation avec l'importante modification de la structure harmonique pour les voix les plus pathologiques. Dans l'analyse par contextes, nous avons relevé des variations de F2 pour un seul contexte : en mot, F2 augmente pour les locuteurs les plus pathologiques.

- Voyelle /i/

On note pour chaque formant une DS entre les groupes. À l'opposé de nos hypothèses, le F1 des « soufflés » est significativement supérieur à celui des autres groupes. Un tel résultat pourrait laisser penser que la valeur formantique que nous avons détectée ne correspondrait pas vraiment au formant vocalique mais à l'énergie spectrale d'un bruit de friction. En effet, le souffle est le résultat d'une friction qui se produit dans la consonne glottale /h/ dont les « pôles », ou harmoniques renforcés, se situent à 750 Hz pour le premier et 1500 Hz pour le second (Stevens, 1998). Pour le groupe « soufflé », où la composante de souffle est prédominante, la voyelle serait donc acoustiquement transformée en une réalisation proche de la friction. Le premier pôle contribuerait ainsi à l'élévation du F1 des « soufflés ». Cependant, l'analyse par contexte ne nous a pas permis de confirmer une telle hausse. Pour F2, on observe bien une diminution en pathologie, quoique surtout visible entre les 2 groupes opposés (« normal » et « soufflé »). Dans la même idée, F2 aurait été amené à se rapprocher du deuxième pôle de l'énergie spectrale de la friction.

Une autre interprétation pourrait éventuellement concerner les bandes passantes qui deviendraient plus larges en voix pathologique (Stevens, 1998). Celles-ci conduiraient à la modification des fréquences formantiques des voyelles soufflées. Par conséquent,

l'élargissement de la bande passante modifierait la fréquence à laquelle les harmoniques sont renforcés et changerait ainsi les valeurs des formants.

F3 varie très clairement selon les groupes : il semble que la réduction de la structure harmonique ait une forte incidence sur la répartition formantique.

- Voyelle /u/

Chaque groupe montre une DS pour les formants. Comme pour /i/, le F1 du groupe « soufflé » est significativement supérieur à celui des autres groupes, et ce certainement pour les mêmes raisons. Contrairement à /i/, F2 augmente en pathologie. Ces observations sont confirmées par l'analyse par contexte.

En conclusion, la voyelle /a/ est la seule à valider notre hypothèse d'une baisse du F1 en pathologie. Il est possible que ses formants aient été atteints différemment de ceux des autres voyelles, car il se trouve que les harmoniques renforcés du /a/ (formants) et du /h/ (pôles) sont situés sur les mêmes fréquences. Pour les autres voyelles, la composante de souffle semble avoir une incidence importante sur la répartition de F1, F2 et F3, et donc sur l'espace vocalique.

- Espace vocalique

Pour résumer, les variations formantiques décrites dans les paragraphes précédents s'appliquent en ces termes au niveau articulatoire : le /u/ devient plus ouvert et plus antérieur en pathologie, le /i/ devient plus postérieur et plus ouvert, et le /a/ devient plus fermé (et plus antérieur en contexte mot).

Hormis l'antériorisation inattendue du /a/ en contexte mot, les valeurs formantiques des voyelles /i a u/ participent véritablement à une réduction de l'espace vocalique (Lindblom, 1963) et à une centralisation sur F1 et F2 (Fourakis, 1991) lorsqu'elles sont produites par des locuteurs pathologiques. Comme nous l'avions prévu dans nos hypothèses, le degré de pathologie et le niveau de souffle sont étroitement liés au phénomène de réduction vocalique. On remarque que le groupe « peu soufflé » altère beaucoup moins la qualité des voyelles que le groupe « soufflé ». Ceci laisse penser que seule une forte composante de souffle pourrait engendrer une telle réduction. Si l'on choisit de considérer les voix du groupe « peu soufflé » comme se rapprochant plus du voile que du bruit de souffle, on pourrait alors envisager que les voix décrites comme voilées n'aient pas ou aient peu d'influence sur l'espace vocalique.

Ces résultats sont bien sûr à mettre en relation avec le remplacement partiel voire total des harmoniques qui a été observé chez les locuteurs dotés d'un HPR très pathologique. Il est très probable que la transformation de la structure harmonique ait une incidence sur la position des formants.

De plus, l'interprétation de ces résultats aurait mérité la comparaison avec des données de la littérature sur les valeurs formantiques en pathologie vocale, mais elles sont quasi inexistantes à notre connaissance.

Au final, la comparaison des locuteurs en fonction du caractère pathologique et surtout du degré de souffle s'est révélée relativement informative. Il est notamment apparu que les locuteurs dysphoniques emploieraient des moyens de compensation (par augmentation de l'intensité) de la réduction, temporelle et vocalique, de leurs productions. Les résultats vont dans le sens de nos hypothèses et montrent que dans la production des voyelles, il existe de réelles différences acoustiques liées à la qualité du signal vocal.

3. Effet du contexte de réalisation sur les voyelles

3.1. Durée

Que ce soit toutes voyelles confondues ou dans les analyses par voyelles séparées, nous avons pu retrouver à chaque fois une très nette réduction de la durée en syllabe et en mot (isolé > syllabe > mot). Cette tendance est donc robuste. En toute logique, elle touche les locuteurs sans distinction de sexe (bien que les femmes aient des productions plus longues) ou de pathologie (seules les durées en isolé et en syllabe des témoins et du groupe « normal » ne se différencient pas), ni distinction de voyelle (toutes les voyelles sont globalement touchées). Pour les voyelles, on note une exception, le groupe « normal » ne fait pas de différence en fonction du contexte quand ils produisent un /a/.

Par conséquent, notre hypothèse est validée de manière générale. Ces résultats nous renvoient à la théorie H&H de Lindblom (1990). Les locuteurs réduisent autant que possible leur production, de manière à ce qu'elle soit économique et qu'elle respecte le minimum nécessaire à la compréhension de l'interlocuteur. Ils utilisent également une forme de « plasticité » dans leurs productions car une voyelle en mot ne nécessite pas d'être aussi précise et nette (et ici, longue) qu'une voyelle isolée.

3.2. Fréquence fondamentale

Quand les sexes ne sont pas séparés, on observe ceci : plus la fréquence fondamentale est basse, plus la voyelle est proche de sa forme isolée (mot > isolé et syllabe > isolé). Les résultats sont similaires pour les femmes. Mais pour les hommes aucune variation liée au contexte n'est relevée. La diminution de la f_0 en isolé est valable pour les deux populations, bien que les locuteurs pathologiques ne réalisent pas de variation de f_0 en position articulaire vélaire et pour la voyelle /a/.

Parmi les groupes, le groupe « normal » est très sensible au contexte. Au contraire, le groupe « soufflé » est beaucoup moins soumis à l'effet du contexte (syllabe < mot est la seule variation de f_0). En analysant l'effet du contexte et du lieu, on voit qu'il n'y a plus qu'en position bilabiale que la f_0 des syllabes est plus basse que celle des mots. Dans l'analyse sur l'effet du contexte et de la voyelle, le groupe « soufflé » ne produit encore aucune variation de f_0 . La voyelle /u/ ne montre même aucune variation pour les groupes « soufflé » et « peu soufflé ». Nous pensons que les variations de hauteur selon le contexte sont surtout liées à la forme intonative des séquences du type CVC(V) - CV - V

de notre protocole. Les locuteurs du groupe « soufflé » seraient donc très en difficulté pour moduler leur intonation et produiraient un discours plus monocorde.

3.3. Intensité

Ni dans l'analyse en groupes, ni dans l'analyse en populations, l'intensité ne se modifie sous l'effet du contexte. De tels résultats pourraient être liés à la consigne demandant de parler avec un débit « ni fort ni rapide ». Les locuteurs auraient ainsi parlé en régulant volontairement leur intensité. Toutefois, nos résultats sont peut-être normaux car il est possible que les locuteurs aient le même comportement en situation naturelle.

3.4. Formants vocaliques

3.4.1. Analyse toutes voyelles confondues

Dans l'analyse par population et toutes voyelles confondues, F2 en contexte isolé est inférieur à celui en mot chez les témoins. Les autres formants ne montrent aucune DS. Mais ce résultat est difficilement interprétable, nous nous reportons donc à l'analyse par voyelle.

3.4.2. Analyse par voyelles séparées

Dans chaque population, /u/ et /i/ sont très résistants à l'effet du contexte : seul F3 varie (F3 isolé < F3 mot dans les deux populations). Au contraire, le F3 de /a/ ne varie pas et F1 et F2 se modifient : la position articulaire de la voyelle est plus fermée et antérieure.

Dans l'analyse par groupe et par voyelle, on obtient un peu plus de résultats significatifs. Le /i/ est toujours aussi peu soumis à l'effet du contexte, sauf pour F3 (F3 mot < F3 isolé pour les deux groupes les moins pathologiques). Le /u/ ne connaît pas de variation de F1 mais a tendance à se déplacer vers l'avant en syllabe et en mot. Le F3 de /a/ ne varie que pour le groupe « peu soufflé » (F3 mot < F3 isolé). Dans les mots en /a/, la baisse du F1 signe une fermeture buccale plus importante et la hausse du F2 une antériorisation.

Les résultats en groupes et en populations sont donc assez proches. Nous allons maintenant tenter de mieux discerner les phénomènes acoustiques qui ont mené à ces résultats. Dans les deux cas, l'espace vocalique du /u/ et du /i/ se modifient peu et le /a/ s'antériorise et réduit son aperture sous l'influence du contexte. Cette réduction de

l'aperture et l'antériorisation du /u/ sont les seules marques de centralisation des voyelles sur l'espace vocalique. Ce phénomène concorde tout à fait avec la plasticité, qui se traduit par une variabilité articulatoire, décrite notamment par Lindblom. Les voyelles produites en isolé ne sont pas coarticulées et sont moins soumises aux contraintes d'inertie présentes dans l'articulation de la parole. La réalisation articulatoire et acoustique d'une voyelle isolée n'est donc pas altérée quand les cibles articulatoires et acoustiques du prototype vocalique peuvent être atteintes. Ici, les locuteurs ont effectivement pu articuler les sons isolés avec plus de précision. Cette dernière a été réduite quand les voyelles étaient intégrées à la chaîne parlée : le /u/ a perdu de sa postériorité et le /a/ de son ouverture. Le /a/, et dans une moindre mesure le /u/, semblent donc perdre de leur qualité acoustique quand ils sont entourés par d'autres sons.

Notre hypothèse concernant la centralisation des voyelles est donc validée, mais de façon incomplète. L'espace vocalique du /i/ semble ne pas évoluer en fonction du contexte. Comme l'indique la théorie quantique développée par Stevens (rapportée par Al-Tamimi, 2007), les voyelles situées aux extrémités du triangle vocalique (/i a u/) seraient acoustiquement plus stables que les autres. Mais au sein de ces trois voyelles, il semble que le /i/ soit le moins sensible aux changements articulatoires, du fait du rapprochement de plusieurs de ses formants vocaliques (F3 et F4 pour /i/).

Enfin, si l'on met en parallèle nos résultats avec ceux de Al-Tamimi (2007), il apparaît une certaine cohérence. En utilisant une analyse dynamique des formants, il a aussi montré que la voyelle /i/ est la voyelle la moins touchée par la coarticulation, que ce soit pour F1 ou F2. Al-Tamimi indique que le F1 du /a/ et le F2 du /u/ puis du /a/ sont les plus touchés. Dans notre étude, il n'y a que le /a/ qui voit son F1 se modifier. De plus, seuls le /u/ et le /a/ voient également leur F2 se modifier.

Hormis pour l'intensité, les paramètres acoustiques étudiés ont confirmé qu'il existe une variabilité contextuelle acoustique des voyelles. Plus spécifiquement, l'espace vocalique a montré qu'il était sensible au contexte, par le déplacement vers le centre du /a/ et du /u/, mais que ce déplacement pouvait aussi être nul (pour le /i/) voire inattendu (antériorisation du /a/). Il semble enfin que tout locuteur, normal ou atteint d'une pathologie vocale, soit soumis aux mêmes phénomènes de variabilité acoustique et de coarticulation.

II. RETOUR SUR L'EXPERIMENTATION

1. Population

Devant les difficultés que nous avons rencontrées pour constituer notre population pathologique, certains questionnements ont émergé. Notre critère d'inclusion initial était le caractère soufflé de la voix. Il est apparu que très peu des professionnels que nous avons contactés nous ont affirmé avoir dans leur patientèle des patients avec une telle voix. Nous en sommes arrivés à formuler deux hypothèses à ce sujet qui ne s'excluent aucunement. Premièrement, il est possible que les pathologies entraînant une voix soufflée soient en fait assez rares. Deuxièmement, c'est le terme "soufflé" lui-même qui pourrait poser problème. Nous sommes là, en effet, dans le domaine de la subjectivité de l'analyse perceptive du professionnel. D'autre part, la signification du terme n'est pas précisément définie, notamment en ce qui concerne la frontière avec les caractères "voilé" et "soufflé". Dans la littérature également, c'est le terme "soufflé" ou "breathy" qui est employé, et les auteurs ne rentrent pas dans le détail des nuances que l'on pourrait trouver entre différents niveaux de souffle. Quant à nous, l'analyse visuelle du spectrogramme nous amènerait à dire que le terme "soufflé" serait à envisager comme un remplacement total des harmoniques à partir d'une certaine fréquence (approximativement à partir de 0 à 1500 Hz). Bien sûr, ce seuil pourrait prêter largement à débat. Il pourrait pourtant être intéressant de le déterminer précisément pour que le terme "peu soufflé" renvoie à une réalité définie et commune à tous les professionnels de la voix. Le terme "voilé", lui, serait plutôt à mettre en relation avec la présence d'un bruit de souffle ne remplaçant pas complètement les harmoniques ou avec une atténuation de ceux-ci dans les hautes fréquences. À ce sujet, Pruszevicz & coll. (1991) ont fait remarquer la différence entre la structure des harmoniques en pathologie fonctionnelle (s'élevant jusqu'à 2600 Hz) et en pathologie organique (jusqu'à 1600 Hz). Cette distinction serait peut-être à mettre en relation avec celle qui existe entre "voilé" et "peu soufflé".

Nous nous interrogeons donc sur l'emploi du terme "soufflé" : les phoniâtres, et surtout les orthophonistes, réserveraient-ils ce terme seulement pour les voix qui leur paraissent contenir un très haut niveau de souffle (par exemple caractérisées par un remplacement des harmoniques à partir de 500 à 800 Hz) ?

2. Niveau de souffle et types de pathologies

Ne disposant pas d'une population assez nombreuse et homogène au niveau des types de pathologies vocales, nous n'avons pas pratiqué d'analyse statistique nous permettant de d'évaluer le niveau de souffle. Il ressort néanmoins assez nettement que certaines pathologies se trouvent être très majoritairement dans le groupe « soufflé ». Pour 3 patients, l'insuffisance de l'accolement glottique était telle que la f_0 (et donc le jitter, le shimmer et le HNR) n'a pas pu être extraite. Ils présentaient soit une paralysie récurrentielle (P.R.), soit une chirurgie partielle du larynx avec reconstruction par crico-hyoïdo-épiglottopexie (CHEP). Ces patients sont aussi ceux chez qui le remplacement des harmoniques est le plus important. Ils sont également parmi les cinq patients présentant le plus de souffle, comme le montre le HPR. Quatre des cinq patients atteints d'une P.R. et les trois atteints d'une CHEP font tous partie du groupe « soufflé ». Le dernier patient de ce groupe présente une papillomatose laryngée. Dans le groupe « peu soufflé » on trouve, en plus d'une partie des locuteurs témoins : une vergeture bilatérale, deux dysphonies fonctionnelles et une P.R.

3. Limites de l'expérimentation

3.1. Population

Il est certain que notre étude aurait pu bénéficier d'une fiabilité autrement plus importante si la population avait été de plus grande envergure.

Au niveau des pathologies, nous avons inclus sur la base du critère perceptif de voile ou de souffle deux locuteurs qui n'avaient pas de pathologie organique diagnostiquée. Nous avons donc choisi d'étiqueter leur dysphonie comme « non organique ». Ces locuteurs sont tous deux des fumeurs actifs, il serait donc possible qu'en réalité ils soient atteints d'une pathologie vocale non diagnostiquée. Cependant, le niveau de souffle de leur voix est relativement important. En effet, ces deux locuteurs (n° 15 et 16) sont inclus dans le groupe « peu soufflé » mais se situent à la limite entre les groupes « peu soufflé » et « soufflé ».

3.2. Protocole

Nous aurions pu perfectionner notre protocole en mettant en place une passation informatisée qui aurait permis une présentation non pas en « phrases » (du type « **pape**

pape pape ») comme dans notre protocole, mais avec l'apparition d'un seul item à l'écran. Il ne faut pas oublier que la parole, même dans des situations artificielles, est toujours soumise à une intonation. Ainsi dans la « phrase » d'exemple citée, il est très probable que l'intonation soit descendante, ce qui expliquerait la diminution de la f_0 pour l'item « pape ».

Une autre limite pourrait résider dans le fait que la passation se déroule en lecture et non en parole spontanée. Cependant c'est une limite difficilement contournable si l'on veut contrôler un minimum la production du locuteur.

Enfin, étendre notre étude à d'autres voyelles que /i/, /a/ et /u/ et à d'autres consonnes que /p/, /t/ et /k/ pourrait permettre de conforter les résultats obtenus dans d'autres lieux et modes d'articulation.

3.3. Analyse subjective

Par manque de temps, nous n'avons pas réalisé d'analyse subjective. Pourtant, une telle analyse n'aurait pas été dénuée d'intérêt. Comparer un niveau de souffle obtenu subjectivement par un jury d'experts à celui que nous avons établi à l'aide des mesures objectives aurait pu nous renseigner sur les liens possibles entre ces deux types d'analyse. De plus, cela nous aurait certainement permis de creuser un peu plus autour de la distinction entre caractères voilé et soufflé.

3.4. Mesures objectives

Comme nous l'avons dit plus haut, beaucoup des mesures que nous avons utilisées sont aussi sensibles à d'autres composantes pathologiques que celle de souffle. Inclure une mesure comme le « glottal to noise excitation ratio » (Michaelis, Fröhlich et Strube, 1998), mais dont nous ne disposions pas, aurait pu être très intéressant. Les auteurs ont en effet montré que cette mesure était très corrélée au niveau de souffle (notamment davantage que d'autres mesures proches du HNR) et relativement indépendantes du shimmer et du jitter.

3.5. Conditions d'enregistrement

Les conditions d'enregistrement constituent un problème difficile à résoudre, car il n'est pas aisé de trouver une chambre insonorisée disponible et d'attendre des locuteurs qu'ils

se déplacent sur le lieu de ladite chambre. Il est certain qu'une telle étude demanderait à bénéficier de conditions idéales sur le plan acoustique. Or, la majorité de nos enregistrements ont eu lieu dans des cabinets d'orthophonie, d'où la présence parfois d'un bruit de fond plus ou moins important. Ceux qui ont été réalisés par le phoniatre ont par contre bénéficié de meilleures conditions (salle insonorisée).

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons cherché à analyser la production des voyelles par des locuteurs sains et dysphoniques, et ce dans différents contextes de parole. Notre travail s'est donc articulé autour de deux axes principaux : l'impact de la composante de souffle et du contexte de réalisation sur la voyelle (réalisée en mot, en syllabe ou en isolation). Nous avons fait entrer en jeu différentes variables comme le sexe, l'entourage articulatoire et le type de voyelles. Celles que nous avons sélectionnées, /i/, /a/ et /u/, correspondent aux extrémités du triangle vocalique, formé à partir des valeurs fréquentielles des deux premiers formants. Un tel choix nous a permis d'envisager le phénomène de réduction de l'espace vocalique, qui peut se manifester par une centralisation de ces voyelles sur le triangle vocalique. Nous nous attendions en effet à observer une réduction vocalique en cas de production en contexte, en opposition à la production en isolation qui permettrait l'atteinte des valeurs prototypiques de la voyelle. Nous avons également envisagé que la composante de souffle conduirait à une réalisation vocalique plus centralisée.

En ce qui concerne l'effet du contexte, tous les locuteurs, qu'ils soient dysphoniques ou non, voient leur espace vocalique se modifier lorsque la voyelle produite est entourée par une (contexte syllabe) ou plusieurs consonnes (contexte mot). Pour les autres caractéristiques acoustiques que nous avons mesurées (durée, fréquence fondamentale, intensité), il en va de même, hormis pour la fréquence fondamentale (f_0), qui ne connaît pas de variations intonatives chez les dysphoniques. En toute logique, c'est en contexte que la durée a été la plus réduite. Pour la f_0 des locuteurs témoins, elle a diminué sous l'effet du contexte, ce qui pourrait être lié à la forme intonative des items de notre protocole. Quant à l'intensité, elle n'a montré aucune variation. Au niveau de la réduction vocalique que nous avons envisagée, elle n'a touché que le /a/, ainsi que le /u/, mais seulement sur l'axe F2. L'analyse de ces résultats montre que le /i/ ne semble pas être sensible aux contraintes articulatoires environnantes, contrairement aux autres voyelles qui n'atteignent pas leur complète réalisation articulatoire et acoustique.

L'autre aspect de ce mémoire est l'analyse acoustique des pathologies vocales. Notre expérimentation nous a permis d'évaluer l'effet de la composante de souffle sur la voyelle. Pour cela, nous avons confirmé l'altération du signal vocal de la population pathologique en utilisant plusieurs mesures objectives : le jitter, le shimmer, le Harmonics Noise Ratio (HNR) et le High-Frequency Power Ratio (HPR). Cette dernière mesure nous a servi à découper l'ensemble de notre population en trois groupes formés en fonction de

leur degré de souffle. Les comparaisons inter-groupes et inter-populations montrent une nette augmentation de la f_0 et de la durée en cas de pathologie. Pour l'intensité, seule la comparaison inter-groupe a mis en évidence une augmentation de l'intensité chez les locuteurs les plus pathologiques. Pour ce qui est du triangle vocalique, nos résultats ont fait apparaître une centralisation progressive des trois voyelles en fonction de la quantité de souffle. Cette dernière a également pu être mise en relation avec une réduction de la structure harmonique à l'analyse spectrale. Il ressort donc de nos analyses que les modifications formantiques, dont la réduction vocalique, sont majeures dans les voix les plus pathologiques, que l'on pourrait considérer comme soufflées, et relativement moins nettes dans les voix peu pathologiques, que nous pourrions éventuellement rapprocher du vocable "voilé". De plus, il apparaît que l'altération vocalique et la réduction temporelle pourraient conduire à l'utilisation de moyens de compensation comme l'augmentation de l'intensité. Par ailleurs, la parole des dysphoniques aurait mérité d'être explorée sur le plan consonantique : en effet, il est probable que les locuteurs dysphoniques emploient une autre forme d'hyper-articulation compensatoire en produisant des consonnes d'une grande netteté articulatoire.

Enfin, il aurait été intéressant de confronter nos résultats sur le niveau de souffle à ceux qu'auraient pu apporter un jury d'écoute. Une telle analyse permettrait de cerner plus précisément la distinction, encore mal définie, entre caractères voilé et soufflé. La description des caractères vocaux pathologiques gagnerait en effet à s'enrichir des éléments apportés par les analyses subjective, objective et spectrographique.

D'autre part, nous n'avons étudié que des pathologies vocales se caractérisant principalement par une composante de souffle. Mais ce n'est pas le cas de toutes les pathologies, et il pourrait être envisageable qu'une autre étude se consacre, par exemple, à l'effet de la perturbation de la périodicité.

La parole n'étant pas réduite à la production, il resterait maintenant à évaluer les conséquences de la pathologie vocale sur la perception, notamment au niveau de l'identification des voyelles.

BIBLIOGRAPHIE

Al-Tamimi, J. (2004). L'équation du locus comme mesure de la coarticulation VC et CV : Étude préliminaire en Arabe Dialectal Jordanien. In *Actes des 25^{èmes} Journées d'Études sur la Parole* (pp. 9-12). Fez.

Al-Tamimi, J. (2007). *Indices dynamiques et perception des voyelles : étude translinguistique en arabe dialectal et en français*. Lyon : Thèse de doctorat en Sciences du langage.

Argot-Dutard, F. (1996). *Eléments de phonétique appliquée*. Paris : Armand Colin.

Aronson, A.E. (1983). *Les troubles cliniques de la voix*. Paris, New York, Barcelone : Masson.

Beckett, R. (1969). Pitch perturbation as a function of subjective vocal constriction. *Folia Phoniatica*, 21, 416-425.

Boersma, P., & Weenink, D. (2006). *Praat. Doing Phonetics by Computer*. Version 5.5.03.

Chiss, J.L., Filliolet, J., Maingueneau, D. (1983). *Linguistique française*. Paris : Hachette.

Choi, S.E, Kim, H.N., & Kim, G.R. (1980). The medico sonographic study of korean hoarseness due to laryngeal pathology. *Journal de Médecine scientifique*, 13, 27-35.

Collet-Beillon, F. & Benali, J. (2005). *Evaluation de la thérapie manuelle dans la rééducation des dysphonies fonctionnelles*. Lyon : Mémoire d'orthophonie.

Cornut, G., & Lafon, J.C. (1960). Vibration neuro-musculaire des cordes vocales et la théorie de la phonation. In *9^{èmes} Journées françaises d'ORL* (pp.317-324).

Cornut, G. (2004). *La voix*. Paris : Presses Universitaires de France.

Dalleas, B., & Dalles, A. (1987). Qualités acoustiques de la voix. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, 108, 373-377.

Dejonckere, P. (1990). Bruit de turbulence et a périodicité dans la voix pathologique – une approche multifactorielle. *Revue de Laryngologie*, 111(4), 353-357.

-
- Dejonckere, P., Remacle, M., Fresnel-Elbaz, E., Woisard, V., Crevier, L., & Millet B. (1998). Fiabilité et Pertinence Clinique de l'Évaluation Perceptive de la Voix Pathologique. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, 119(4), 247-248.
- Dinville, C. (1976). *Les troubles de la voix et leur rééducation*. Paris : Masson.
- Durand, P. (1985). Variabilité acoustique et invariance en français - consonnes occlusives et voyelles. Marseille : Editions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Fourakis, M. (1991). Tempo, Stress and Vowel reduction in American English. *Journal of Acoustical Society of America*, 90 (4), 1816-1827.
- Fowler, C. (1994). Invariants, specifiers, cues : an investigation of locus equations as information for place of articulation. *Perception & Psychophysics*, 55, 597-610.
- Fowler, C. (1984). Segmentation of coarticulated speech in perception. *Perception & Psychophysics*, 36, 359-368.
- Giovanni, A. (2004). *Le bilan d'une dysphonie. Etat actuel et perspectives*. Marseille : Solal.
- Giovanni, A., Robert, D., Teston, B., Guarella, M.-D., & Zanaret, M. (1996). Etude préliminaire des paramètres acoustiques et aérodynamiques après laryngectomie frontale de Tucker. *Annales d'Otolaryngologie et de Chirurgie Cervico-faciale*, 113, 277-284.
- Gauffin, J., & Hammarberg, B. (1992). *Vocal Fold Physiology : Acoustic, perceptual and physiological aspects of voice mechanisms*. San Diego : Singular Publishing Group.
- Hakkesteeft, M., Brocaar, M.P, Wieringa, M.H., & Feenstra L. (2008). The Relationship Between Perceptual Evaluation and Objective Multiparametric Evaluation of Dysphonia Severity. *Journal of Voice*, 22(2), 138-145.
- Hartl, D., Hans, S., Vaissière, J., Riquet, M., Laccourreye, O., & Brasnu, D. (2001). Objective voice analysis after autologous fat injection for unilateral vocal fold paralysis. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 110, 229-235.
- Hirano, M., Hibi, S., Yoshida, T., Hirade, Y., Kasuya H., & Kikuchi, Y. (1988). Acoustic analysis of pathological voice. *Acta Otolaryngologica*, 105, 432-438.
-

-
- Kwang Moon, K., Yuki, K., & Minoru, H. (1982). Sound spectrographic analysis of the voice of patients with recurrent laryngeal nerve paralysis. *Folia phoniatrica*, 34, 124-133.
- Le Huche, F. et Allali, A. (1991). *La voix : anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole*. Paris/Barcelone/Milan/Bonn : Masson, Tome I.
- Le Huche, F. et Allali, A. (2001). *La voix : pathologie vocale. Sémiologie : dysphonie dysfonctionnelle*. Paris/Barcelone/Milan/Bonn : Masson, Tome II.
- Le Huche, F. et Allali A. (2001). *La voix : pathologie d'origine organique*. Paris/Barcelone/Milan/Bonn : Masson, Tome III.
- Liberman, A., M., Cooper, F.S., Shankweiler, D.P. & Studert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74 (6), 431-461.
- Lindblom, B. (1963). *On vowel reduction*. Stockholm : Royal Institute of Technology.
- Lindblom, B. (1990). Explaining phonetic variation : A sketch of the H and H theory. In Hardcastle, W.J. & Marchal, A. (Eds), *Speech production and speech modelling* (pp.403-439). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Meunier, C. (2005). Invariants et Variabilité en Phonétique. In Nguyen, N., Wauquier-Gravelines, S., & Durand, J. (Eds), *Phonologie et Phonétique* (pp.350-374). Paris : Hermès.
- Michaelis, D., Fröhlich, M., & Strube, H.W. (1998). Selection and combination of acoustic features for the description of pathologic voices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(3), 1628-1639.
- Modarresi, G., Sussman, H., Lindblom, B., & Burlingame, E. (2005). Locus equation encoding of stop place: revisiting the voicing/VOT issue. *Journal of Phonetics*, 33, 101-113.
- Morsomme, D. (2001). *Contribution à la détermination de paramètres subjectifs et objectifs pour l'étude de la voix*. Louvain-la-neuve : Thèse de doctorat en psychologie – logopédie.
- Monin, G. (1974). *Dictionnaire de la linguistique*. Paris : Presses Universitaires de France.
-

-
- Nguyen, N. (2001). Rôle de la coarticulation dans la reconnaissance des mots. *L'année psychologique*, vol. 101 (1), 125-154.
- Peterson, G.E., & Barney, H.L. (1952). Control methods used in a study of the vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 24(2), 175-184.
- Pruszewicz, A., Obrebowski, A., Swidzinski, P., Demenko, G., Wika, T., & Wosciechowska, A. (1991). Usefulness of acoustic studies on the differential diagnostics of organic and functional dysphonia. *Acta Otolaryngologica*, 111, 414-419.
- Remacle, M., Millet, B., Duvivier, D., & Van Heule, P. (1990). Application de l'analyseur à haute fréquence en pathologie de la corde vocale. *Revue officielle de la société française d'ORL*, 6, 15-24.
- Roublot, P. (2003). *Analyse subjective et objective de la voix avant et après bloc interscalénique du plexus brachial*. Nancy : Mémoire d'orthophonie.
- SPSS© for Windows©, Rel. 15.0.0., 2006. Chicago: SPSS Inc. <http://www.spss.com/fr/>
- Stevens, K., & House, A. (1963). Perturbation of vowel articulations by consonantal context : An acoustical study. *Journal of Speech and Hearing Researches*, 6, 111-128.
- Stevens, K.N. (1998). *Acoustic Phonetics*. Cambridge : The MIT Press.
- Straka., G. (1965). *Album phonétique*. Québec : Presses de l'Université de Laval.
- Tubach, J.P. (1989). Description acoustique. In Tubach, J.P. (Ed.), *La parole et son traitement automatique* (pp.79-130). Paris : Masson.
- Yumoto, E. (1983). The quantitative evaluation of hoarseness - A new Harmonics to Noise Ratio method. *Archives of Otolaryngology*, 109, 48-52.

ANNEXES

ANNEXE I : PROTOCOLE (CORPUS DES 81 ITEMS)

Lire uniquement la partie en rouge, à un débit normal (ni fort, ni rapide) :

Exemples :

patte - patte - patte

bouc - bouc - bouc

rire - rire - rire

.....

pape - pape - pape

toute - toute - toute

titi - titi - titi

kiki - kiki - kiki

couque - couque - couque

caque - caque - caque

pape - pape - pape

caque - caque - caque

poupe - poupe - poupe

titi - titi - titi

caque - caque - caque

tête - tête - tête

pape - pape - pape

toute - toute - toute

titi - titi - titi

pipe - pipe - pipe

kiki - kiki - kiki

poupe - poupe - poupe

pipe - pipe - pipe

tête - tête - tête

couque - couque - couque

tête - tête - tête

toute - toute - toute

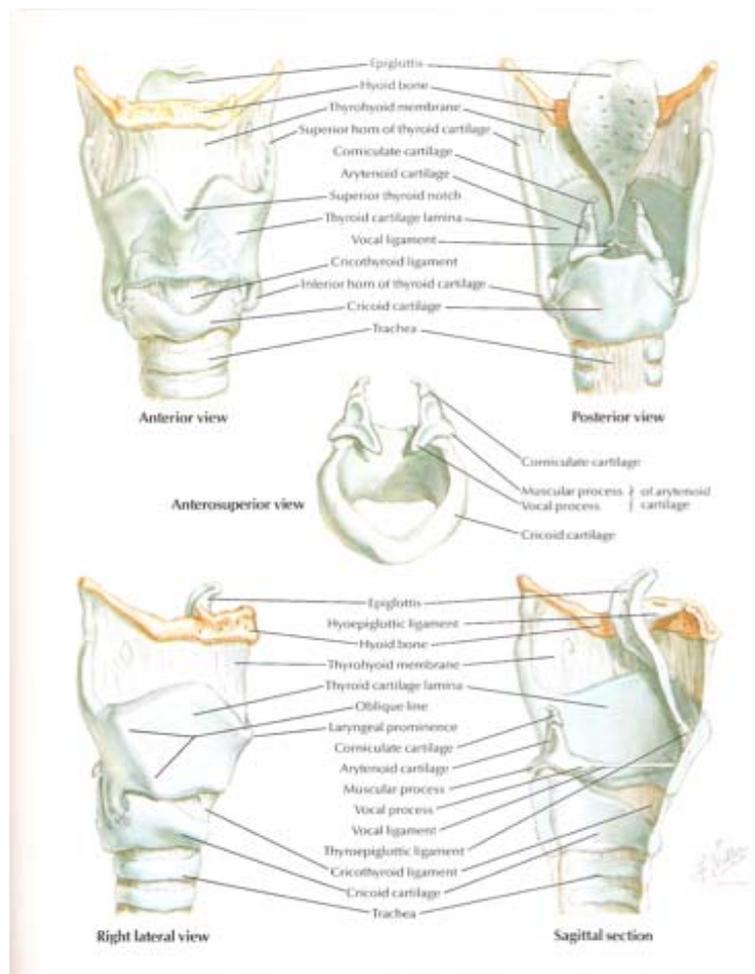
pipe - pipe - pipe

couque - couque - couque

kiki - kiki - kiki

poupe - poupe - poupe

ANNEXE II : VUES DU LARYNX



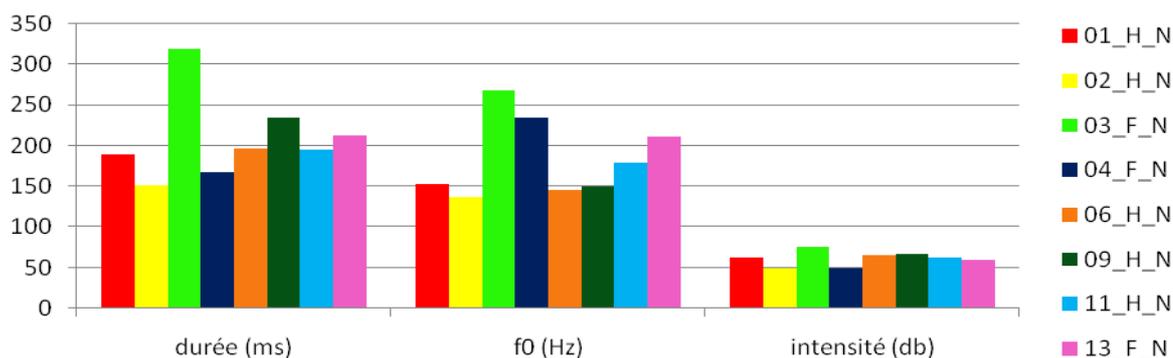
ANNEXE III : CORRELATION ENTRE REMPLACEMENT
DES HARMONIQUES ET HPR DES GROUPES « PEU
SOUFFLES » ET « SOUFFLES » :

Seuil de corrélation : $p < 0,45$		
	HPR	voyelle /a/
GROUPE SOUFFLE		
11_H_P.wav	-3,434780399	0
03_H_P.wav	-11,83017933	0
09_H_P.wav	-15,4844188	800
01_H_P.wav	-16,37459095	500
05_H_P.wav	-16,5315823	550
04_H_P.wav	-17,40143015	600
06_F_P.wav	-19,52243487	1300
02_F_P.wav	-20,00259878	3000
correlation		-0,657300885
GROUPE PEU SOUFFLE		
10_H_P.wav	-23,93530345	1600
12_F_P.wav	-24,59757114	5000
08_H_P.wav	-26,93009833	2400
08_H_N.wav	-28,67970238	3800
07_H_P.wav	-28,8781227	5000
14_H_N.wav	-29,10696724	3800
10_H_N.wav	-29,17996428	5000
12_H_N.wav	-29,56540739	5000
correlation		-0,542101956

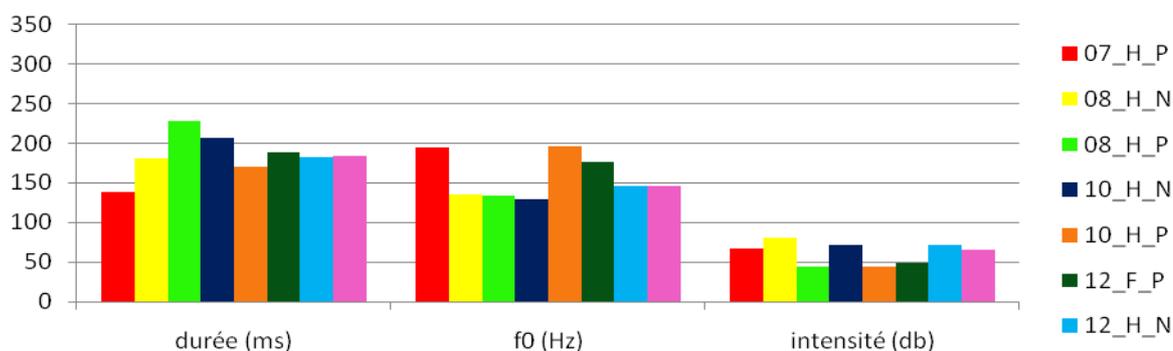
ANNEXE IV : MOYENNE DES MESURES OBJECTIVES ET DES CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DE CHAQUE LOCUTEUR :

1. Caractéristiques acoustiques

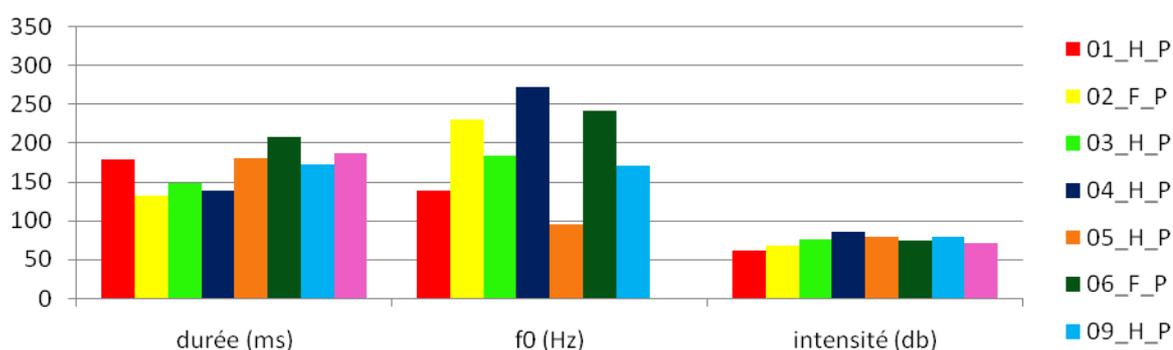
durée, f_0 et intensité du groupe "normal"



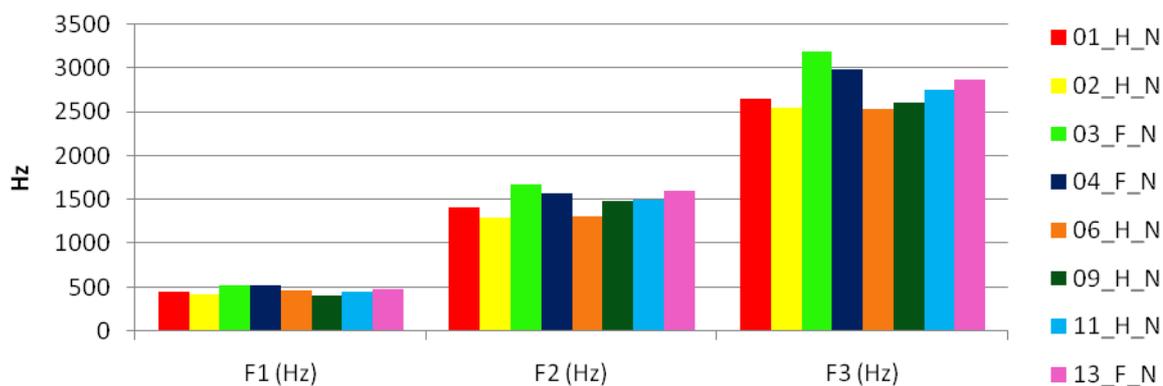
durée, f_0 et intensité du groupe "peu soufflé"



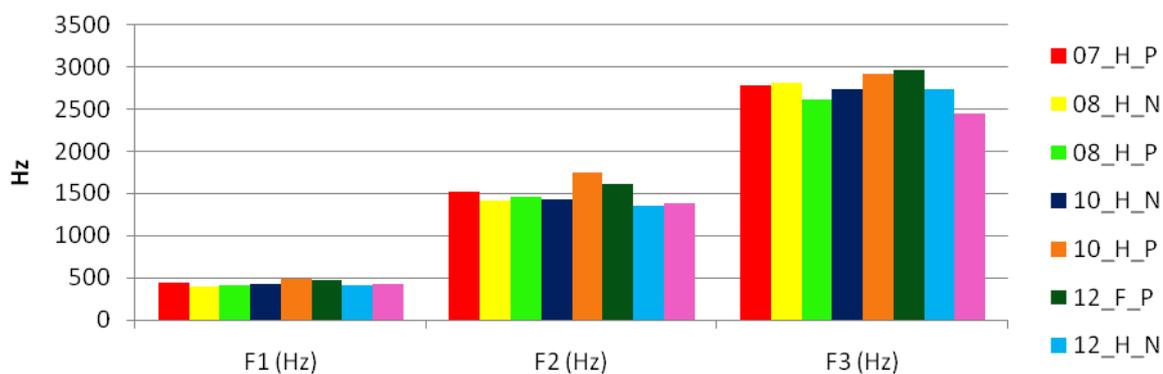
durée, f_0 et intensité du groupe "soufflé"



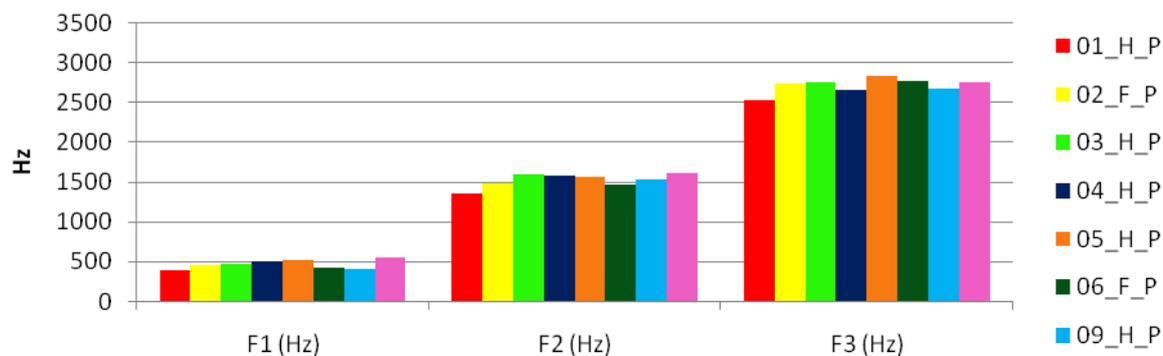
F1, F2 et F3 du groupe "normal"



F1, F2 et F3 du groupe "peu soufflé"

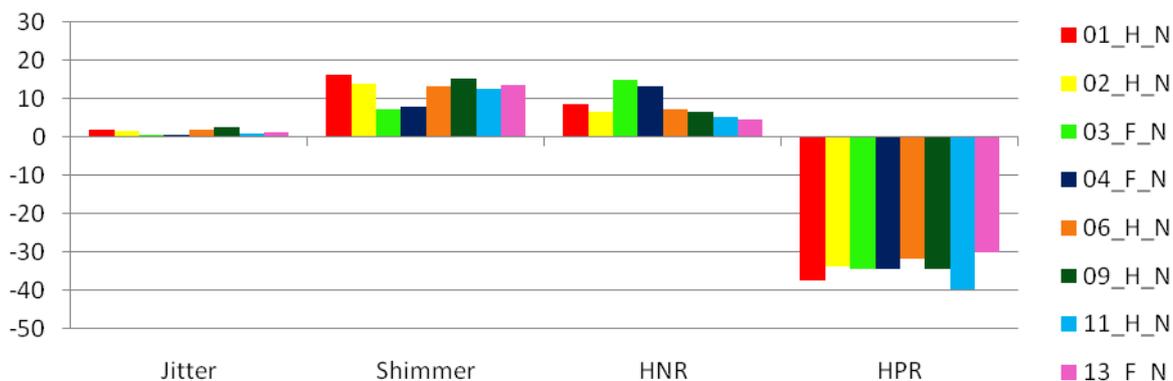


F1, F2 et F3 du groupe "soufflé"

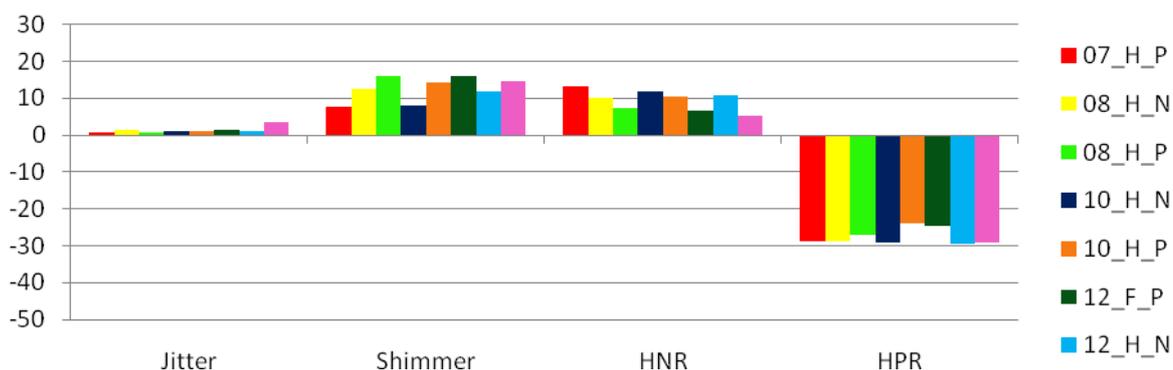


2. Mesures objectives

Mesures objectives du groupe "normal"



Mesures objectives du groupe "peu soufflé"



Mesures objectives du groupe "soufflé"

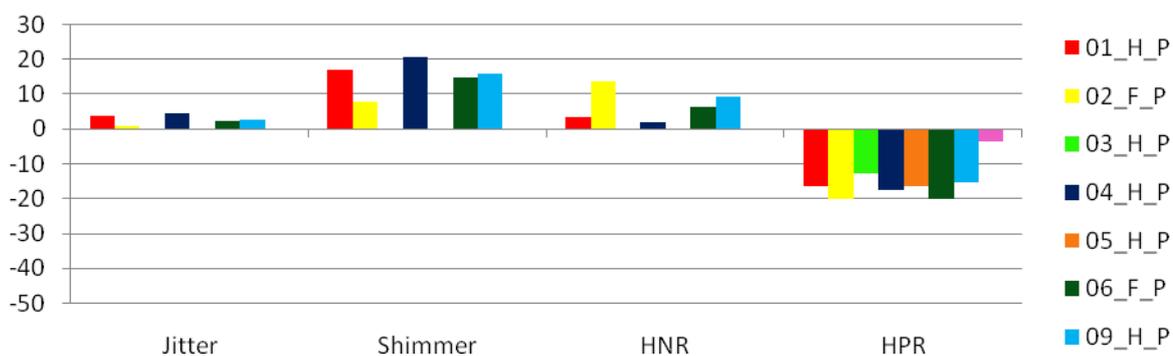


TABLE DES ILLUSTRATIONS

1. Liste des Tableaux

Tableau 1 : Fréquences (Hz) des formants des voyelles orales du français.....	verso 17
Tableau 2 : Items « mots » du corpus.....	33
Tableau 3 : Répartition des 2 populations en fonction du sexe et de l'âge.....	36
Tableau 4 : Analyse statistique des mesures objectives de chaque population.....	49
Tableau 5 : Analyse statistique des mesures objectives de chaque groupe.....	50
Tableau 6 : Analyse statistique de la durée en fonction de la population, du contexte, du lieu et du sexe.....	verso 51
Tableau 7 : Analyse statistique en fonction de la population, du contexte et de la voyelle.....	verso 51
Tableau 8 : Analyse statistique de la durée en fonction de : groupe, durée, contexte, lieu, sexe.....	verso 54
Tableau 9 : Analyse statistique en fonction du groupe, du contexte et de la voyelle.....	verso 54
Tableau 10 : Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /a/.....	55
Tableau 11: Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /i/.....	56
Tableau 12 : Résultats statistiques entre les groupes pour les formants du /u/.....	57
Tableau 13 : Analyse statistique de la durée en fonction du contexte, du lieu et du sexe.....	verso 60
Tableau 14 : Analyse statistique en fonction du contexte et de la voyelle.....	verso 60
Tableau 15 : Analyse statistique de la durée en fonction du contexte, du lieu et du sexe.....	verso 63
Tableau 16 : Analyse statistique en fonction du contexte et de la voyelle.....	verso 63

2. Liste des Figures

Figure 1 : Triangle des voyelles du point de vue acoustique (A) et articuloire (B)	18
..... verso	18
Figure 2 : environnement de travail de PRAAT : exemple de segmentation pour un patient de 23 ans atteint de paralysie récurrentielle.....	40
Figure 3 : Mesures objectives de chaque population	48
Figure 4 : Mesures objectives de chaque groupe	49
Figure 5 : Caractéristiques acoustiques de chaque population	51
Figure 6 : Caractéristiques acoustiques de chaque groupe	53
Figure 7 : Formants vocaliques du /a/	56
Figure 8 : Caractéristiques acoustiques du /i/	57
Figure 9 : Formants vocaliques du /u/	57
Figure 10 : Triangle vocalique des femmes des 3 groupes	verso 57
Figure 11 : Triangle vocalique des hommes des 3 groupes	verso 57
Figure 12 : Triangle vocalique des 3 groupes	verso 57
Figure 13 : Influence du contexte sur les caractéristiques acoustiques des voyelles (toutes confondues)	59
Figure 14 : Triangle vocalique dans les 3 contextes différents.....	64

TABLE DES MATIERES

ORGANIGRAMMES	2
1. Université Claude Bernard Lyon1	2
1.1. Secteur Santé :	2
1.2. Secteur Sciences :	2
2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE	4
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE.....	6
INTRODUCTION.....	8
PARTIE THEORIQUE.....	10
I. RAPPEL ANATOMIQUE SUR L'APPAREIL PHONATOIRE	11
1. La soufflerie pulmonaire	11
2. Le vibrateur	11
2.1. Les cartilages	12
2.2. Les muscles	12
3. Les résonateurs	13
3.1. Le pharynx ou carrefour aéro-digestif	13
3.2. La bouche	13
3.3. Les fosses nasales	13
II. RAPPEL PHYSIOLOGIQUE DE L'APPAREIL PHONATOIRE	13
1. La respiration	14
2. La phonation.....	14
III. PRODUCTION DE LA PAROLE : ELEMENTS DE PHONETIQUE ACOUSTIQUE	15
1. Caractérisation acoustique et articulatoire des sons	15
1.1. Les consonnes.....	15
1.2. Les voyelles	17
1.2.1. Formants vocaliques	17
1.2.2. Triangle vocalique	18
2. Les sons dans la parole	18
2.1. La coarticulation	18
2.1.1. Théorie H & H	19
2.1.2. Réduction vocalique	20
2.2. La parole et les pathologies vocales	20
2.2.1. Composante de souffle.....	21
2.2.2. Modifications de la fréquence fondamentale (f_0)	21
2.2.3. Modifications formantiques	21
IV. LES PATHOLOGIES VOCALES	22
1. La paralysie récurrentielle	22
2. La vergeture	23
3. La papillomatose laryngée.....	23
4. Les laryngectomies partielle supracricoiidiennes avec reconstruction par crico-hyoïdo-épiglottopexie	23
5. Le tabagisme actif	24
V. LES METHODES D'ANALYSE DE LA VOIX	24
1. La méthode subjective : analyse perceptuelle	24

2.	La méthode objective : analyse acoustique	25
2.1.	Les analyses acoustiques de la qualité de la voix	26
2.2.	Les analyses aérodynamiques.....	26
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....		28
I.	PROBLEMATIQUE.....	29
II.	HYPOTHESES	30
PARTIE EXPERIMENTALE		32
I.	OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	33
II.	CREATION DU CORPUS DES 81 MOTS	33
III.	CHOIX DES DEUX POPULATIONS	34
1.	La population pathologique.....	34
1.1.	Les critères d'inclusion.....	34
1.2.	Les critères d'exclusion.....	35
2.	La population témoin	36
2.1.	Les critères d'inclusion.....	36
2.2.	Les critères d'exclusion.....	36
3.	La répartition des deux populations	36
IV.	LES ENREGISTREMENTS ET LE MATERIEL UTILISE.....	37
1.	Pour la population « pathologique » :	37
2.	Pour la population témoin :	37
V.	LE TRAITEMENT DES DONNEES	38
1.	Le logiciel PRAAT :	38
1.1.	Présentation générale de PRAAT	38
1.2.	PRAAT dans notre étude.....	38
2.	La segmentation des signaux.....	39
2.1.	Premier niveau de segmentation : « orthographe ».....	39
2.2.	Deuxième niveau de segmentation : « contexte ».....	40
2.3.	Troisième niveau de segmentation : « voyelle ».....	40
3.	Extraction des valeurs pour notre étude	41
3.1.	La durée.....	41
3.2.	La fréquence fondamentale	41
3.3.	Les formants	41
3.4.	Les mesures de souffle	41
3.4.1.	Jitter	42
3.4.2.	Shimmer.....	43
3.4.3.	Rapport harmoniques / bruit (« Harmonics to Noise Ratio » ou HNR).....	43
3.4.4.	High-Frequency Power Ratio (ou HPR).....	44
VI.	LE TRAITEMENT STATISTIQUE.....	45
1.	Constitution des bases de données	45
1.1.	De l'ANOVA	45
1.2.	De la MANOVA.....	45
2.	ANOVA (« Analysis Of Variance»)	46
3.	MANOVA (« Multivariate Analysis Of Variance)	46
PRESENTATION DES RESULTATS.....		47
I.	MESURES OBJECTIVES	48

1.	Des deux populations (témoins / pathologiques).....	48
2.	Pour les trois groupes (normaux / peu soufflés /	49
3.	soufflés).....	49
4.	Analyse de corrélation entre HPR et remplacement des harmoniques	50
II.	CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES NORMALES ET PATHOLOGIQUES.....	51
1.	Pour les deux populations (témoins/pathologiques).....	51
1.1.	Effet de la population et du contexte de réalisation.....	51
1.2.	Effet de la population, du contexte de réalisation et du lieu d'articulation.....	52
1.3.	Effet de la population, du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe.....	52
1.4.	Effet de la population, du contexte et de la voyelle.....	52
2.	Des trois groupes (normal / peu soufflé / soufflé).....	53
2.1.	Effet du groupe et du contexte de réalisation	54
2.2.	Effet du groupe, du contexte de réalisation et du lieu d'articulation	54
2.3.	Effet du groupe, du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe	55
2.4.	Effet du groupe, du contexte et de la voyelle	55
2.5.	Effet du groupe et de la voyelle.....	55
III.	CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES VOYELLES EN FONCTION DE LEUR CONTEXTE DE REALISATION	59
1.	Toutes populations confondues.....	59
2.	Analyse des deux populations	60
2.1.	Effet du contexte de réalisation	60
2.2.	Effet du contexte de réalisation et du lieu d'articulation	60
2.3.	Effet du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe	61
2.4.	Effet du contexte et de la voyelle	61
3.	Analyse des trois groupes.....	62
3.1.	Effet du contexte de réalisation	62
3.2.	Effet du contexte de réalisation et du lieu d'articulation	62
3.3.	Effet du contexte de réalisation, du lieu d'articulation et du sexe	63
3.4.	Effet du contexte et de la voyelle	63
DISCUSSION DES RESULTATS.....		65
I.	ANALYSE DES RESULTATS.....	66
1.	Mesures objectives	66
1.1.	Analyse des mesures objectives.....	66
1.2.	Corrélation entre HPR et structure harmonique	67
2.	Effet de la composante de souffle sur les voyelles	68
2.1.	Durée	68
2.2.	Fréquence fondamentale.....	68
2.3.	Intensité	69
2.4.	Formants vocaliques.....	70
2.4.1.	Analyse toutes voyelles confondues	70
2.4.2.	Analyse par voyelles séparées	70
3.	Effet du contexte de réalisation sur les voyelles.....	74
3.1.	Durée	74
3.2.	Fréquence fondamentale.....	74
3.3.	Intensité	75
3.4.	Formants vocaliques.....	75
3.4.1.	Analyse toutes voyelles confondues	75
3.4.2.	Analyse par voyelles séparées	75
II.	RETOUR SUR L'EXPERIMENTATION	77
1.	Population	77
2.	Niveau de souffle et types de pathologies	78
3.	Limites de l'expérimentation.....	78

3.1.	Population.....	78
3.2.	Protocole.....	78
3.3.	Analyse subjective.....	79
3.4.	Mesures objectives.....	79
3.5.	Conditions d'enregistrement.....	79
CONCLUSION.....		81
BIBLIOGRAPHIE.....		83
ANNEXES.....		87
ANNEXE I : PROTOCOLE (CORPUS DES 81 ITEMS).....		88
ANNEXE II : VUES DU LARYNX.....		89
ANNEXE III : CORRELATION ENTRE REMPLACEMENT DES HARMONIQUES ET HPR DES GROUPES « PEU SOUFFLES » ET « SOUFFLES » :.....		90
ANNEXE IV : MOYENNE DES MESURES OBJECTIVES ET DES CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DE CHAQUE LOCUTEUR :.....		91
1.	Caractéristiques accoustiques.....	91
2.	Mesures objectives.....	93
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....		94
1.	Liste des Tableaux.....	94
2.	Liste des Figures.....	95
TABLE DES MATIERES.....		96

Anna Lalot
Sylvain Reyt

**ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION DES VOYELLES ENTRE
LOCUTEURS SAINS ET DYSPHONIQUES :**

Effet du contexte de réalisation et de la composante de souffle

96 Pages

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2008

RESUME

Dans certaines pathologies vocales, l'accolement insuffisant des cordes vocales pendant la phonation peut entraîner une déperdition d'air. Au niveau acoustique, ce phénomène engendre une dysphonie qui se traduit par un bruit de souffle plus ou moins audible. Ce sont ces types de voix, voilées voire soufflées, que nous avons sélectionnés pour notre expérimentation.

En premier lieu, notre objectif a été d'évaluer l'impact de la composante de souffle sur la production des voyelles /i/ /a/ et /u/. Des mesures objectives nous ont permis de différencier acoustiquement locuteurs dysphoniques et locuteurs témoins. Nous avons ensuite mesuré les différents paramètres acoustiques (f_0 , durée, intensité, formants) de chaque population et nous les avons comparés. Les résultats ont montré que la réalisation acoustique des voyelles variait nettement en fonction du degré de pathologie.

En second lieu, nous avons étudié chez tous les locuteurs l'effet du contexte de réalisation (mot, syllabe, isolé) sur les paramètres acoustiques des voyelles. Il apparaît que le contexte a une influence sur les voyelles, et notamment sur l'espace vocalique.

MOTS-CLES

Phoniatry, voix soufflées - voilées, phonétique acoustique, mesures objectives, production de la parole.

MEMBRES DU JURY

Florence Baldy – Sylvie Brignone-Raulin – Juliette De Chassey

MAITRE DE MEMOIRE

Jalal Al-Tamimi

DATE DE SOUTENANCE

3 juillet 2008
