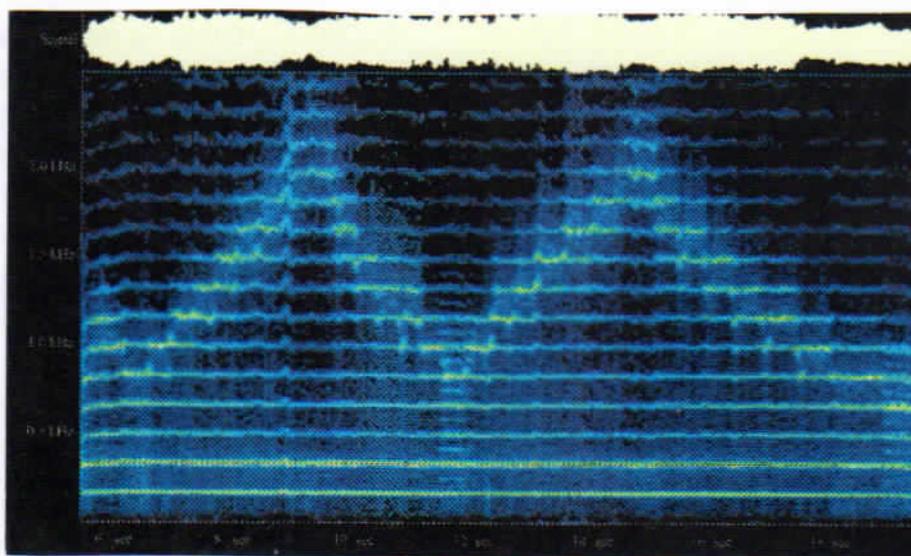


LA VOIX SENSORIELLE

PERCEVOIR POUR EMETTRE



**Renforcement de la boucle audio-phonatoire
par l'écoute des harmoniques
et par la visualisation du son sur le sonagramme**

Dr Isabelle Marié Bailly

Mémoire DIU de Phoniatrie – 24 Juin 2004

Université Paris 13 - UFR Santé Médecine Biologie humaine - Léonard de Vinci- Bobigny

LA VOIX SENSORIELLE

PERCEVOIR POUR EMETTRE

Renforcement de la boucle audio-phonatoire par l'écoute des harmoniques et par la visualisation du son sur le sonagramme

MOTS CLE :

timbre vocalique et extravocalique
identité vocale
boucle audio-phonatoire
harmoniques
spectre vocal
analyse sonographique

THESE :

1/ Le travail **d'ouverture spatiale de l'audition par l'écoute des harmoniques** du timbre de la voix permet l'optimisation de la perception sensorielle et de l'émission du geste vocal, par une **activation de la boucle audiophonatoire**.

2/ Celle-ci est renforcée par la **visualisation du spectre harmonique vocal** sur le sonagramme proposé comme **outil pédagogique et de rééducation de la voix parlée et chantée**.

INTRODUCTION

La voix est musique : elle est parole, chant, flot de sonorité qui inonde notre corps, vibration ondulante à nos oreilles, timbre aux mille couleurs.

« la voix se trouve décrite entre nature et culture, corps et langage, parole et musique, entre l'intimement personnel et le profondément social, symbole de la condition humaine et marque de l'identité individuelle, « résonance » et résonance. » rapporte Claire Gillie Guilbert*(CGG)

La parole porteuse de notre discours, langage articulé, scansion temporelle de sons voisés et de bruits, chante déjà avec ses intonations, ses pauses, ses cadences, les couleurs de ses voyelles.

Le chant va à loisir étirer les voyelles, les laisser s'épandre afin de remplir l'espace intime ou infini des cavités de résonance : bouche, pharynx, grottes, montagnes, qui renvoient l'écho de notre voix, à la couleur de timbre unique.

Notre timbre de voix est notre carte d'identité ; pas un seul qui soit identique. Il est le fruit d'une alchimie subtile : celui du timbre vocalique pétri par les couleurs propres de chaque voyelle et celui du timbre extra-vocalique, qui parle de notre hérédité familiale, de notre éducation, d'environnement culturel, de terroir (consonne rocailleuse, parlé chantant ou traînant, voyelle ouverte ou parler pointu aristocratique, accent étranger déformant nos sonorités habituelles...)

Nous n'avons pas appris à parler ou plutôt, nous ne gardons pas le souvenir de cet apprentissage, qui pourtant, nous a occupé pendant nos premières années : jeux vocaux, lallations, plaisir de la bouche et de tous les sens où nous faisons rouler avec délectation les boules sonores et colorées.

Le langage nous a ensuite éduqué et ce jeu sensoriel a cessé pour nous transformer en petit « parleur » et nous permettre d'exprimer les mille subtilités de notre pensée en structuration.

Mais ceci à quel prix ?

Notre oreille, alors grande ouverte, capable d'entendre le son dans sa globalité spectrale est devenue sélective afin de capter les sonorités utiles, celles des phonèmes de la langue maternelle.

Quel gâchis ! toutes les autres couleurs voyelliques non utilisées, toutes les fréquences aiguës des fréquences au dessus de 3000 Hz entendues dans ce bain sonore de nos premières années ont été mises de côté, véritable trésor caché dans un coin du grenier de notre cerveau.

Dans mes prises en charge phoniatriques de la voix parlée ou chantée, en rééducation des voix pathologiques, ou en technique vocale, il me semble fondamental d'amener le patient ou le chanteur à retrouver cette audition ouverte, globale, riche de toutes les couleurs spectrales des harmoniques.

Comment et pourquoi une telle recherche ? Sur quoi repose-t-elle ?

INTRODUCTION

Elle s'appuie sur la théorie de la « boucle audio-phonatoire », qui décrit notre oreille comme le principal organe de la phonation, et notre voix, par son timbre, sa qualité musicale, sa couleur, comme le reflet de notre audition.

Plus précisément c'est notre manière d'écouter qu'il nous faut réapprendre, notre sensibilité aux différentes hauteurs de fréquence présentes dans le son de notre propre voix et dans celles de nos proches qu'il s'agit de réajuster. Il nous faut retrouver ces sensations auditives perdues, dépoussiérer ce trésor enfoui pour redécouvrir notre voix dans toute sa richesse de timbre.

Dans certaines contrées, cette écoute ne s'est pas perdue et ceci explique la présence de chants utilisant un timbre de voix riche en harmoniques aigus, appelé chant diphonique .

J'en présenterai les principales caractéristiques après des généralités sur les aspects acoustiques de la voix, et un premier chapitre exposant la théorie de la boucle audio-phonatoire.

Dans une troisième partie, je tâcherai de démontrer l'intérêt du travail sur les harmoniques pour améliorer le timbre de la voix parlée et chantée et le geste vocal dans sa globalité et celui du sonagramme en bilan ou rééducation phoniatrice, notamment comme aide à la reconnaissance auditive des différentes harmoniques par la visualisation des fréquences du spectre sonore.

PREAMBULE

1 PRINCIPES GENERAUX ACOUSTIQUES

1-1 Le son :

Le son est la variation de pression périodique qui se propage dans les gaz, dans les liquides ou dans les solides.

Claude Henri Chouard* explique : une vibration de l'espace, pour qu'elle constitue un son, doit se poursuivre, oscillant de manière plus ou moins fréquente et prolongée.

Si cette oscillation est régulière périodique, elle donnera naissance à un son périodique et provoquera une sensation « musicale » ; si cette oscillation est irrégulière, elle est dite apériodique et entraînera une sensation de bruit.

1-2 L'onde :

Une onde est une perturbation qui se propage dans un milieu élastique.

On obtient une onde périodique lors de la propagation d'une vibration : mouvement d'un corps de part et d'autre d'un point de repos (ou oscillation)

On définit la longueur d'onde d'une oscillation comme la distance séparant deux points d'amplitude maximale.

Le rythme régulier des oscillations qui leur donnent naissance définit leur fréquence.

1-3 La fréquence :

On appelle fréquence le nombre de cycles effectués par la vibration dans l'unité choisie (la seconde le plus souvent, correspond à l'unité : le Hertz).

Quand elle se compte par millier, on parle de kilohertz (kHz)

1-3-1 Hauteur et tonie

La fréquence d'un son détermine la sensation de hauteur. On distingue les sons graves de fréquence faible et les sons aigus, de fréquence élevée.

L'appréciation de la différence de hauteur de deux sons, faculté appelée tonie, se retrouve sur toute l'étendue du spectre audible de 100 à 16 000 Hz ; (16 000 vibrations par seconde), au delà de 16 000 Hz l'oreille ne perçoit plus aucun son.

1-3-2 fréquence fondamentale

Elle correspond à la hauteur d'un son pur (d'un synthétiseur) ; la hauteur d'un son est appelée fréquence fondamentale pour la différencier de la hauteur brute qui est en réalité le timbre du son .

En effet, lorsqu'un instrument de musique donne une note, même si elle est caractérisée par sa fréquence fondamentale, on n'obtient jamais un son pur mais un son complexe qui comporte d'autres sons, appelés harmoniques dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale

NB : audition bilatérale

Physiologiquement, cette sensation de hauteur n'est pas exactement la même pour les deux oreilles ; la différence peut atteindre un quart de ton. Ce phénomène est rarement ressenti car l'audition est presque toujours bilatérale et le cerveau fusionne les deux informations en une sensation fréquentielle moyenne.

1-4 Sons complexes périodiques : les harmoniques

Fourier a démontré qu'un signal périodique de fréquence F pouvait être décomposé en une somme de sinusoïdes dont les fréquences respectives sont des multiples de la fréquence fondamentale F_0 :

$$F_1=2F_0 ; F_2=3F_0 ;$$

$$F_3=4F_0 ; F_n=nF_0 .$$

F_1, F_2, F_3, F_4 sont les composantes harmoniques du signal, c'est à dire des multiples entiers de sa composante fondamentale (schéma 1.1)

Pour l'écoute d'un son complexe, les harmoniques sont très précieux :

- la fréquence fondamentale domine et donne la sensation de hauteur,
- les premiers harmoniques sont les plus forts,
- l'ensemble des harmoniques qui constituent la composante spectrale du son, objectivement, dans leur agencement varié, fonction de leur nombre et de leur intensité relative, le timbre d'un son.

Ainsi, la reconnaissance de la hauteur tonale d'une note par l'oreille ne s'effectue pas uniquement sur l'identification de la hauteur de la fréquence fondamentale, mais tout autant par l'analyse de l'espacement fréquentiel séparant chacun de ses harmoniques.

CH Chouard rapporte les expériences de Demany* en laboratoire, qui ont fabriqué des sons complexes périodiques et harmoniques dont la composition spectrale est dépourvue de la fréquence fondamentale et de quelques harmoniques les plus graves ; néanmoins, le sujet est capable de ressentir et nommer cette fondamentale absente.

1-5 Le Spectre / Le spectrogramme

On peut isoler des tranches de signal et leur appliquer la transformation de Fourier. En multipliant ces analyses, on peut obtenir une représentation graphique dans les trois dimensions du temps, de la fréquence (Hz) et de l'amplitude (dB).

On caractérise le timbre par un diagramme appelé spectre de fréquence dans lequel chaque harmonique présent est représenté par son intensité. Ainsi apparaît la multiplicité infinie des timbres.

On obtient un spectrogramme en projetant l'objet sonore : en abscisses, la fréquence ; en ordonnées, le temps ; les variations d'amplitude seront marquées par la coloration plus ou moins grande des bandes. (schéma 1.2)

1-6 Les ondes sonores/ système acoustique :

Pour la propagation des ondes sonores dans l'air, les molécules constituent des masses et les forces reliant ses molécules comme un ressort.

Un système acoustique comporte deux parties : un excitateur et un résonateur qui est le volume dans lequel se propage l'excitation. L'excitateur délivre un signal source dont certaines composantes vont être affaiblies ou renforcées dans le résonateur, c'est sa fréquence de résonance. Elle varie selon le volume de la cavité et la surface de l'ouverture du résonateur.

1-7 La résonance :

La résonance correspond sur le plan physique à une grande augmentation de l'amplitude d'une oscillation, sous l'influence d'une action périodique de fréquence voisine.

C'est à dire qu'une vibration tend à mettre en mouvement tous les corps susceptibles de vibrer qui se trouvent sur le passage de l'onde sonore qu'elle détermine. Ils se mettent à vibrer de façon importante à une ou plusieurs fréquences particulières. (exemple d'une vitre qui vibrera au passage d'un camion).

1-8 Les formants :

Lorsqu'un excitateur entre en vibration, il fournit un signal, dont le résonateur va amplifier certaines composantes. On obtient alors des formants qui sont un facteur fondamental dans la caractérisation du timbre (d'un instrument...)

Le nombre de formants, selon les caractéristiques du résonateur (volume, forme et ouverture) est variable : d'un seul à (théoriquement) une infinité.

PREAMBULE

On peut modéliser le processus de modification des fréquences des formants en imaginant un tube fermé à une extrémité et ouvert à l'autre.

Chaque formant correspond à l'établissement d'une onde stationnaire à l'intérieur du tube : à chaque niveau du tube, les molécules d'air oscillent de haut en bas sur une distance qui dépend de leur position.

La pression varie dans l'espace de façon périodique : elle est constante en certains endroits, appelés nœuds de pression où les molécules parcourent la plus grande distance pour maintenir la pression constante. Les endroits où la pression subit ses plus grandes fluctuations et où les molécules sont le plus immobiles sont nommées anti-nœuds de pression.

L'extrémité inférieure du conduit, fermée, empêche les molécules de se déplacer de sorte qu'elle constitue un anti-nœud alors que l'extrémité ouverte sur l'extérieur est un nœud.

Les formants se caractérisent par le nombre de nœuds et d'anti-nœuds de l'onde stationnaire.

2- ACOUSTIQUE DE L'APPAREIL VOCAL HUMAIN

2-1 Généralités et Définition

2-1-1 La voix

Les dictionnaires fournissent une multitude de directions à sa définition.

- La voix est une transformation d'énergie aérienne en énergie acoustique perçue par l'oreille (Woizard*); cet air mis en vibration ne peut se transmettre que dans un milieu porteur.
- dans l'espèce humaine, la voix est une production sonore de l'organisme ; c'est l'ensemble de sons produits par le larynx quand les cordes vocales entrent en vibration. (Robert cité par CGG*)

La voix humaine ne produit que des sons complexes, composée de plusieurs harmoniques ; la parole organise et ordonne ses productions sonores, la voix existe sans parole : le cri, les pleurs, le rire, le chant...

La voix humaine est capable d'émettre des sons entre 70 Hz et 1500 Hz

La voix parlée présente une mélodie, qui varie selon les impératifs du discours mais chacun a une hauteur qu'il utilise de façon préférentielle : c'est ce qu'on appelle le fondamental usuel.

F0 : 110Hz chez les hommes ; 220Hz chez les femmes ; 300 à 400Hz les enfants

Les voies chantées sont comprises :

chez les hommes entre 100 et 1000Hz ; chez les femmes entre 200 et 2000Hz

2-1-2 L'appareil vocal humain

Il est constitué

- d'un excitateur le complexe glotte-cordes vocales,
- d'un ensemble de résonateurs.

Le corps sonore de l'appareil phonatoire est une cavité complexe en cinq parties qui communiquent entre elles par des ouvertures réglables : pharynx, cavité buccale en deçà et au delà de la langue, cavité labiale, cavité nasale.

Un des problèmes spécifiques à la phonation est que le résonateur réagit sur l'excitateur et le signal source s'en trouve modifié.

On peut exciter le résonateur de différentes manières :

- par de petites explosions, résultat du débouchage brusque des cavités à différents niveaux : consonnes occlusives,
- par le bruit du passage de l'air pulmonaire à travers les organes phonateurs : consonnes sifflantes, chuintantes,
- par un spectre de raies « fabriqué » par les cordes vocales, c'est à dire un signal sonore périodique fourni par le larynx dont le timbre sera modulé par le conduit vocal qui favorisera certaines zones fréquentielles (les formants) ; il s'agit du mode de réalisation des voyelles, des liquides et semi-voyelles.

Tout au long de notre étude, nous allons nous intéresser aux notions de voyelle, de résonance, de timbre vocal, d'harmoniques liées au résonateur.

2-2 Résonance et résonateurs

Le son produit au niveau de la source, les cordes vocales, est modulé par les phénomènes de résonance. Au niveau de la voix, cette résonance est liée à la cavité supra-glottique remplie d'air, laquelle fonctionne comme un résonateur, avec ses résonances propres dépendant de son volume et de sa forme. Elle est à l'origine des caractéristiques du timbre de chaque individu. La particularité du conduit vocal est de pouvoir faire varier ces paramètres.

2-2-1 résonateurs

Les résonateurs sont les cavités traversées par le son laryngé avant d'arriver à l'air libre : le pharynx, la cavité buccale. Les cavités crâniennes, la masse osseuse, la cage thoracique, la trachée et les sinus ne peuvent être classés dans cette catégorie. (d'après CGG)

PREAMBULE

Le son, pour devenir intelligible, va se moduler en fonction de la base de la langue, du voile du palais, du plafond du larynx, du bout de la langue, des gencives supérieures, des incisives supérieures, des deux lèvres ; entre eux, les volumes des résonateurs sont modulables.

Au cours de sa traversée vers les résonateurs, le son laryngé risque de trouver des obstacles appelés par François le Huche* « les six robinets de la parole ».

2-2-2 registre résonnantiel et accord phonorésonnantiel

« Le conduit vocal peut s'adapter, se modeler de façon très souple pour façonner le timbre. Une infime déformation de la cavité antérieure buccale suffit à produire une dizaine d'harmoniques différentes.

Cela correspond à l'existence de registres résonnants : on peut changer de registre résonnantiel et faire changer le timbre tout en maintenant constant le mécanisme laryngé.

Les registres résonnants ou acoustiques sont déterminés par les résonateurs. Ils désignent l'ensemble des fréquences émises avec une résonance identique ; registre de poitrine, de tête ou mixte.

En occident, on trouve un usage quasi uniformisé de la « couverture » qui est une modification résonnantielle qui n'a rien à voir avec le larynx ; c'est une technique utilisée à partir du haut médium qui produit un assombrissement du timbre avec renforcement des harmoniques graves.

Elle concerne la morphologie que l'on impose au pharynx ; celui-ci se modifiant agit sur l'impédance ramenée sur le larynx, et donc sur le timbre. Elle permet de conserver le timbre extra-vocalique qui est le grain de la voix particulier à la morphologie de chacun et à sa façon de conduire son geste phonatoire, à ne pas confondre avec le timbre vocalique lié aux particularités phonétiques particulières de la langue » (CGG)*

« Selon la fréquence fondamentale émise par le larynx, le moule résonnantiel doit s'adapter pour réaliser l'articulation et atténuer au minimum les harmoniques qui font la richesse d'une fourniture laryngée de qualité. Cette adaptation des cavités de résonances pour mieux faire résonner le son laryngé s'appelle « l'accord phonorésonnantiel » (Ormezzano*).

2-3-Théorie de la source et du filtre : production et mise en forme de la voix

Cette théorie est exposée par T Levin* dans un article (voir chapitre 2) sur le chant diphonique. « Quand on parle ou quand on chante, l'onde est créée par les vibrations des cordes vocales qui perturbent l'air qui sort des poumons. Ce sont les impulsions pressionnelles formées par les puffs d'air qui s'en échappent qui déterminent la fréquence fondamentale.

2-3-1 Fréquence fondamentale

La périodicité de la vibration des cordes vocales détermine la fréquence (ou hauteur) fondamentale du son produit.

La fréquence fondamentale est le son le plus grave d'un son complexe ; elle fournit à l'oreille une sensation de hauteur.

La voix est un son naturel complexe formé de l'addition d'une fréquence fondamentale et de sons plus aigus appelés harmoniques.

2-3-2 Harmoniques

La vibration sonore n'est pas sinusoïdale ; elle est composée de plusieurs ondes sinusoïdales simples, de sorte que le son est un mélange de plusieurs sons purs plus haut que le son fondamental.

Chacun de ces sons est une harmonique ; sa fréquence est un multiple entier de celle du son fondamental

Par exemple, le son le plus grave (voix de basse d'opéra) est le do₁ grave dont la fréquence est égale à 65,4 Hz (vibrations par seconde) ; ses harmoniques ont des fréquences de 130,8 Hz ; 196,2 Hz...

Normalement l'intensité des harmoniques diminue avec leur hauteur, de 12dB par octave : autrement dit, chaque fois que la fréquence double, l'intensité est divisée par 16, puisque l'échelle des décibels est logarithmique.

2-3-3 Filtre du conduit vocal

Le filtre est le conduit vocal que parcourt le son. Le conduit vocal est un résonateur et la propagation du son à travers un résonateur acoustique dépend fortement de la fréquence.

L'air présent dans le conduit vocal n'est pas un milieu passif qui transmettrait le son sans le modifier ; il résonne à certaines fréquences, nommées formants, tout comme une bouteille résonne quand on souffle sur le goulot.

Selon les fréquences, ces résonances naturelles amplifient ou étouffent le son des cordes vocales, transformant un bourdonnement en sons expressifs.

Les sons dont la fréquence est égale à une des fréquences de résonance particulières à chaque résonateur sont moins atténués et donc émis avec une intensité plus forte.

2-3-4 Caractéristique de rayonnement

L'onde est également modifiée lorsqu'elle se propage à l'extérieur de la bouche : dans cet espace plus vaste, elle perd de l'énergie parce que la quantité d'air mise en mouvement est plus grande.

Ce filtrage externe, nommé caractéristique de rayonnement atténuée plus les basses fréquences que les hautes fréquences.

Au total : (voir schéma 2)

L'ensemble de la source, du filtre et de la caractéristique de rayonnement produit un son dont l'intensité des harmoniques décroît en puissance à raison de 6DB par octave sauf pour les harmoniques qui ont une fréquence proche de celle des formants.

2-4- Les formants :

Nous avons vu que le conduit modifie le son des cordes vocales en sélectionnant parmi les composantes celles qui correspondent aux fréquences de résonance naturelle de l'air dans le conduit vocal.

2-4-1 Les fréquences de formants

Le conduit vocal a quatre ou cinq fréquences de résonance importantes que l'on appelle formants . Ainsi les nombreux harmoniques de la « voix-source » (selon l'appellation de Johan Sundberg)* envoyés dans le conduit vocal le traversent plus ou moins bien selon leur fréquence : plus un harmonique est proche de la fréquence d'un formant, plus son amplitude est élevée au niveau des lèvres.

Les fréquences des formants sont fixées par la forme du conduit vocal qui se dilate ou se contracte de façon complexe par l'action de la mâchoire, du corps de la langue et du bout de la langue.

Le conduit vocal a un nombre théorique infini de formants, du point de vue perceptif, seuls quelques uns jouent un rôle central dans la voix, au service de la parole.

Les différents mouvements des organes articulatoires modifient les fréquences des deux formants les plus graves à l'intérieur d'une gamme étendue qui s'échelonne chez l'adulte mâle : F1 : de 250 à 700 Hz ; F2 : de 700 à 2500 Hz

Lors d'une parole ou d'un chant, les déplacements de la langue ou des lèvres augmentent ou diminuent les fréquences des formants. On perçoit bien ces mouvements quand on enchaîne les voyelles au cours d'une même expiration. (schéma 3)

Selon Levin*, la fréquence du premier formant est inversement proportionnelle à la hauteur de la langue : il diminue lorsque la langue s'élève, par exemple lorsqu'on passe du son *a* au son *i*.

La fréquence du second formant est proportionnelle à l'avancement de la langue : elle augmente lorsque la langue avance, par exemple quand on passe du son *o* au son *i*.

PREAMBULE

Selon Sundberg*, tous les formants sont abaissés par une diminution de l'ouverture labiale ou un allongement du tractus et augmentés par une constriction du tractus vocal dans la région glottique ; F1 augmente avec l'ouverture de la mâchoire, F2 dépend de la forme géométrique de la langue et F3 de la position du bout de la langue.

Dans la réalité du chant, dit Virginie Woisard*, ces données restent controversées dans la mesure où chaque chanteur professionnel a souvent une manière d'arriver à son niveau de performance vocale.

2-4-2 Les voyelles

Lorsque nous parlons ou chantons, explique Sundberg, nous « mastiquons » les ondes stationnaires de nos formants pour changer leur fréquence. Chaque configuration articuloire correspond à un ensemble de fréquences de formant, ensemble lui-même associé à un son-voyelle particulier.

La position de la langue, formant frontière entre le résonateur buccal en avant et pharyngé en arrière définit deux cavités de résonance, chacune étant responsable d'un formant de la voyelle :

- au pharynx : le grave ; le premier formant F1
- à la cavité buccale : l'aigu ; le deuxième formant F2

On peut caractériser toute voyelle en ne prenant en compte que ses trois premiers formants.

Ex : le [i] : 300 ; 2200 ; 3000Hz

Pour fabriquer le [i], on doit avoir un pharynx large (ce qui fabrique de la résonance dans la zone de 250 Hz pour F1) et une cavité buccale étroite (ce qui génère un second formant aigu aux alentours de 2300 Hz).

Le triangle vocalique est un graphique représentant les différentes voyelles :

- en abscisse : résonateur pharyngé : F1 (voyelle fermée, ouverte)
- en ordonnée : l'aperture : résonateur buccal : F2 (voyelle antérieure , postérieure)

Il est ainsi nommé car les voyelles tiennent à l'intérieur d'un triangle dont les trois angles sont formés par les trois voyelles cardinales le [a] , le [i], le [u] que l'on retrouve dans toutes les langues .

Chaque langue sélectionne des sons particuliers selon une répartition typique des fréquences de F1 et F2 .

Ainsi dans l'anglais, on note un élargissement du spectre sonore avec utilisation de voyelles très riches en harmoniques graves et aiguës .

(voir schémas 4)

En fait un formant ne peut jamais être ramené à une fréquence fixe mais plutôt à une bande de fréquences qui sera d'autant plus large que le système est amorti. *

2-4-3 Modélisation du processus

T Levin* propose de modéliser le processus de modification des fréquences des formants en imaginant le tube vocal comme un tube fermé à une extrémité (les cordes vocales) et ouvert à l'autre (les lèvres). A une section de tube constante, les fréquences de résonance sont uniquement déterminées par la longueur du tube. Par exemple, pour un tube de 17,5 cm de long (celle du conduit vocal d'un homme adulte), le pic du premier formant est à une fréquence de 500Hz, du deuxième à 1500Hz, celui du troisième à 2500Hz.

L'extrémité inférieure du conduit, fermée, empêche les molécules de se déplacer de sorte qu'elle constitue un anti-nœud alors que l'extrémité ouverte sur l'extérieur est un nœud.

Les formants se caractérisent par le nombre de nœuds et d'anti-nœuds de l'onde stationnaire.

Lorsqu'un tube est écrasé à un endroit, par exemple, quand la langue se bombe, la fréquence change proportionnellement à l'intensité de l'écrasement.

Ce phénomène a déjà été expliqué au 19^{ème} siècle par Lord Rayleigh en montrant qu'un resserrement au niveau d'un nœud de pression réduit la fréquence du formant tandis qu'un rétrécissement au niveau d'un anti-nœud de pression l'augmente. Un élargissement produit l'effet opposé.

Dans le premier cas, celui d'un resserrement à un nœud, les molécules traversent une ouverture réduite : quand la différence de pression qui les propulse reste identique, l'air est plus lent ; l'onde ralentit, la fréquence diminue.

Dans le second cas, les molécules ne se déplacent pas, mais leur densité varie selon que les variations de pression attirent ou repoussent les molécules environnantes vers l'anti-nœud .

L'écrasement réduit le volume du tube près de l'anti-nœud, l'addition d'un nombre de molécules produit donc une augmentation de la densité et de la pression : le système devenu plus rigide, réagit plus rapidement ; la fréquence de l'onde augmente.

La théorie des perturbations rend compte de la nouvelle forme de l'onde stationnaire (schéma 5)

2-4-4 Les formants de la voix chantée

Les éléments et les fonctions de l'appareil vocal sont identiques dans la voix parlée et chantée, chez les chanteurs et les non-chanteurs mais il existe des facultés mises en oeuvre par les chanteurs qui manipulent leur instrument vocal selon des procédés particuliers.

2-4-4-1 Le singing formant ou formant du chanteur

Dans la parole et le chant classique, la majeure partie de l'intensité est concentrée dans le son fondamental, tandis que les harmoniques déterminent le timbre, c'est à dire la qualité sonore qui distingue les voyelles.

La technique de chant lyrique de la « voix couverte » propose un déplacement dans la prononciation des voyelles qui donne l'impression que la voix est plus sombre ; Sundberg* a constaté en radiographie que le larynx est abaissé avec une dilatation de la partie inférieure du pharynx et du ventricule laryngé, comme dans le bâillement.

Ce qui caractérise une « voix couverte » apparaît clairement dans le spectre sonore d'une voyelle chantée (voir sonagramme des chanteurs) avec :

- les fréquences des deux formants graves plus basses,
- l'énergie spectrale plus grande sous la forme d'un pic entre 2500 et 3000 Hz appelé singing formant ou formant du chanteur dont Sundberg explique l'origine de la manière suivante :

« Les propriétés acoustiques du conduit vocal, lorsque le larynx est abaissé permettent la création d'un tel formant . On peut calculer que dans le cas où l'ouverture du larynx dans le pharynx est inférieure à 1/6 de la section du pharynx, le larynx est acoustiquement désharmonisé par rapport au reste du conduit vocal : il a alors une fréquence de résonance propre indépendante du reste du conduit vocal.

Ce rapport de 1 à 6 existe probablement quand le larynx est abaissé, car l'abaissement a tendance à dilater le fond du pharynx. Nous avons calculé en nous appuyant sur des radiographies d'un larynx abaissé, que cette fréquence de résonance devait se situer entre 2500 et 3000Hz, soit entre les fréquences normales des troisième et quatrième formants, précisément là où apparaît le pic du singing-formant.

En d'autres termes, l'abaissement du larynx semble expliquer le pic du formant du chanteur.

Du point de vue acoustique, la dilatation de la partie basse du pharynx équivaut à une extension de la longueur du conduit vocal, que l'abaissement du larynx augmente encore. Il en résulte que les fréquences de tous les formants, autres que le formant supplémentaire -dépendant du larynx - diminuent....

L'abaissement du larynx explique donc non seulement la présence du pic du singing formant , mais aussi les différences essentielles de qualités de voyelles dans la parole et dans le chant » (schéma 6.3)

PREAMBULE

« Le singing formant résonne à une fréquence optimale : assez haute pour se situer dans la zone de déclin d'énergie du son d'un orchestre (que le chanteur peut aisément couvrir) mais pas trop haute pour sortir de la tessiture maîtrisée par l'interprète. (schémas 6.1 et 6.2)

Comme ce formant est produit uniquement par des effets de résonance, il ne demande aucun effort vocal supplémentaire au chanteur, qui reste audible sans avoir à fournir une surpression d'air. »

Dans un article de « Pour la science », R Sataloff* explique que le formant du chanteur se situe entre 2300 et 3200 Hz pour toutes les voyelles. Il confère à la voix sa clarté et il est responsable des différences de timbre entre les individus : il est situé aux alentours de :

- 2400 Hz pour les basses
- 2600 Hz pour les barytons
- 2800 Hz pour les ténors
- 2900 Hz pour les mezzo soprano
- 3200 Hz pour les sopranos légers

2-4-4-2 Le renforcement des harmoniques dans le chant diphonique

Contrairement au chant classique qui concentre la majeure partie de l'intensité dans le son fondamental, d'autres techniques - comme celles des chanteurs de gorge Touvas - jouent avec le renforcement de certains harmoniques en modifiant la forme du conduit vocal (schéma 7):

- lorsqu'ils appuient la base de langue contre le fond de la gorge, à l'endroit d'un nœud du deuxième formant, ils diminuent la fréquence de ce formant F2
- Quand ils bombent la langue, rétrécissant l'anti-nœud du deuxième formant, ils augmentent la fréquence de F2

Nous en parlerons en détail dans la troisième partie

2-5 Timbre vocal en bilan phoniatrique

2-5-1 Analyse subjective du timbre vocal

Au cours du bilan vocal, l'appréciation du timbre est pour le phoniatre l'élément le plus délicat.

L'oreille humaine est capable d'apprécier très finement les variations du timbre en lui donnant quantité de qualificatifs, souvent très imagés, faisant appel aux sensations sensorielles :

- auditive : rauque, éraillée, voilée, sourde, sonore, criarde, tonitruante, grinçante, sifflante...
- visuelle : blanche, éteinte, claire, lumineuse, brillante, cristalline...

PREAMBULE

- tactile : froide, glaciale, chaude, vibrante, caressante, satinée, souple, sèche, grasse, mielleuse...

La voix exprime l'intention du locuteur et le timbre, en deçà des intonations, informe de son état psychique et de ses sentiments : elle pourra être rassurante, joviale, enjôleuse, revêche, geignarde, calme, posée, aimable...

Lors d'un bilan phoniatrique d'une dysphonie ou dysodie, le timbre sera entendu et codifié selon l'échelle de Hirano complété par Dejonckere* qui repose sur l'appréciation de six caractères de la voix pathologique, chacun, côté selon quatre niveaux (0 : normal ; 3 : sévère) :

- G : Grade : degré de l'altération vocale
- R : Roughness : raucité de la voix (ébraillement)
- B : Breathiness : aspect voilé (perte d'air)
- A : Asthenicity : asthénie (manque d'harmoniques aigus)
- S : Strained : forçage
- I : Instability : variation de timbre dans le temps

D'un point de vue « musical », le timbre vocal correspond à la couleur de la voix et donc a une notion à fort pouvoir suggestif : la manière dont sonne une voix.

Pourtant, il existe une définition assez précise et objective du timbre : c'est l'ensemble des harmoniques. (Coulombeau* - Colloque 2001)

2-5-2 L'analyse objective du timbre par le sonagramme

L'analyse mathématique instantanée d'une voix permet de définir un certain nombre de fréquences qui la composent pour lui donner sa personnalité.

Tout signal complexe périodique est composé de l'addition de signaux sinusoïdaux de fréquence et d'amplitude différentes.

Ainsi en est-il de la vocalisation : chaque son voisé continu est composé d'un son fondamental et d'harmoniques dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence du son fondamental.

Un son non-harmonique - par exemple une consonne, une sifflante, une cloche ou un gong - ne se décompose pas en multiples, mais en suite continue de toutes les fréquences. Ceci est visible facilement sur un sonagramme.

Pour un son dit « harmonique », cette succession de sons simples donne les fréquences multiples d'une fréquence de base.

Coulombeau* présente la sonographie comme la principale méthode d'analyse objective du timbre de la voix.

Le sonagramme est la représentation graphique de la décomposition d'un son en spectre. Il est réalisé par analyse des fréquences composant un son, en fonction du temps et de leur valeur respective.

Le timbre de la voix tel qu'on l'analyse au sortir de la bouche est la résultante de la transformation et du modelage du son laryngé par les cavités de résonance.

Cornut* rapporte l'étude expérimentale de Guth qui a exploré le conduit vocal à l'aide d'une sonde et d'un micro, lui permettant de capter et d'enregistrer le son produit pour chaque position de la sonde et de l'analyser par sonagraphe. Il a ainsi constaté les faits suivants :

- Au niveau des cordes vocales, le son laryngé possède un spectre acoustique régulièrement et rapidement décroissant ; le timbre est sensiblement le même pour toutes les voyelles,
- dans le haut pharynx, le spectre acoustique s'étend davantage vers l'aigu alors que la zone grave perd de son amplitude,
- à la partie postérieure de la cavité buccale apparaît le deuxième formant alors que sont supprimées toute une série de fréquences intermédiaires,
- vers la partie antérieure, le spectre s'enrichit de fréquences aiguës et de bruit,
- A la sortie de la bouche, la voyelle apparaît avec une structure formantique nette.

2-5-2-1 timbre vocalique et harmoniques graves

C'est le timbre « porteur de sens » selon Ormezzano*.

Il représente les traits acoustiques fondamentaux qui sont communs à tous les sujets et qui permettent l'identification des diverses voyelles quelque soit la personne qui parle.

Les harmoniques graves (de 300 Hz à 3000 Hz) sont appelés vocaliques car ils changent selon la voyelle émise.

Le formant vocalique est un renforcement d'intensité de certains harmoniques caractéristiques d'une voyelle.

Des nombreux traits acoustiques que l'on a repérés dans leur analyse spectrographique, on a retenu surtout le premier formant F1 et le second formant F2 qui sont présents de façon différente selon les voyelles.

2-5-2-2 timbre extravocalique et harmoniques aigus

Ormezzano* le nomme le timbre « esthétique » ; les esthètes parlent de couleur de la voix, les acousticiens parlent de fréquences.

On donne le nom de timbre vocal ou timbre extra-vocalique à la partie du spectre acoustique qui varie non pas en fonction des voyelles mais du locuteur.

Selon Cornu*, ce timbre, propre à chaque individu, dépend moins des caractéristiques anatomo-fonctionnelles du conduit vocal (longueur totale, largeur, état des muqueuses, tension des muscles) que du son laryngé initial. Le larynx est le principal fournisseur de timbre.

Les harmoniques aigus (au delà de 3000 Hz) sont appelés extravocaliques et définissent la couleur propre de la voix ; ils sont un élément important de l'identification du locuteur, basée sur la reconnaissance du timbre de sa voix (tout comme ceux de différents instruments de musique).

Ainsi la partie aiguë du spectre au delà de 2800 Hz a un rôle prédominant pour la couleur de la voix :

Si cette zone est faible, la voix semble terne, sourde, voilée, si cette zone est fournie, la voix est riche, colorée, brillante, parfois même stridente.

Pour la voix chantée, il est important que la zone 2500 Hz - 3500 Hz soit bien fournie en harmoniques. En effet, c'est elle qui va conférer une bonne portée à la voix et permettre au chanteur de se faire entendre au dessus d'un orchestre sans se fatiguer. (schéma 6.2)

Le **singing formant** ou formant du chanteur est la zone acoustique renforcée aux alentours de la fréquence 2800 Hz, responsable de la brillance et de la portée du son. (schéma 6.1)

« Le timbre est hauteur » dit Ormezzano.

« Quand la voix est riche en harmoniques, la composition spectrale d'un son abuse l'oreille humaine qui va traduire en termes de hauteur (le pitch selon les anglais) sa richesse en harmoniques. La présence d'énergie sonore dans le grave du spectre fera définir une voix comme ronde et pleine ; elle pourra paraître plus grave qu'une autre voix, chantant la même note mais avec plus d'harmoniques aiguës. (voir sonagrammes Chanteurs lyriques)

On a parfois l'impression que la voix parlée des divas est aiguë : leur fréquence fondamentale n'est pas plus haute que celle des autres femmes, mais la richesse harmonique de leur voix les fait paraître plus aiguës ; on dit qu'elles posent leur voix, lui assurant une bonne longévité vocale » .

PREMIERE PARTIE

PERCEVOIR ET EMETTRE LES SONS La boucle audio-phonatoire

« L'oreille est aussi un organe phonatoire » déclare Yves Ormezzano*.

« Bien parler suppose une audition correcte : les sourds profonds ont du mal à contrôler leur voix, un bouchon de cérumen ou certains types d'otite empêchent d'entendre les graves, la presbycusie touche les sons aigus.

L'oreille normale n'entend pas toutes les fréquences avec la même aisance : la sensibilité de l'oreille est la meilleure autour de 2000 Hz ; elle est très performante entre 500 et 4000 Hz, zone qui correspond aux fréquences codant pour les voyelles et dans laquelle est véhiculée l'articulation.

L'oreille s'est-elle adaptée à l'audition du timbre vocalique fourni par l'articulation de la parole ou la parole a-t-elle privilégié plus particulièrement cette zone du timbre comme propice à l'articulation des voyelles ? » Ormezzano pense que la seconde hypothèse est la plus probable.

Le chemin parcouru par la voix du locuteur vers son oreille lui sert à contrôler sa voix : c'est ce qu'on appelle la boucle audio-phonatoire.

On contrôle l'audition de sa voix de deux manières :

- **audition externe** : par ses propres oreilles ; il existe une boucle courte qui va directement de la bouche à l'oreille (les sons aigus sont plus directifs que les graves et sont donc mieux perçus, ce qui explique que l'on ne reconnaît pas sa voix enregistrée qui semble plus aiguë) et une boucle longue, comportant une rétro-action de la salle,
- **audition interne** : à travers son crâne, par le biais de vibrations des os, tendons, muscles ; cette écoute reçoit une voix déformée car les sons se propagent plus vite dans les tissus que dans l'air.

Notre manière d'écouter et donc de parler est un apprentissage qui nous vient de loin, du temps où nous étions encore bercés dans le sein maternel et qui a évolué au cours de l'enfance.

1 DEVELOPPEMENT DE L'AUDITION

1-1 Embryologie et audition foetale

Les mêmes organes branchiaux structurent l'oreille moyenne et l'oro-pharynx. De cette même origine motrice et sensorielle est née une intimité organique qui doit nous remémorer son unité fonctionnelle.

Ce stade auditif, le premier qui caractérise notre éveil à la vie, semble s'élaborer dès la vie intra-utérine. On connaît maintenant la possibilité d'une écoute intra-utérine du fœtus et outre les différents bruits (battements cardiaques, bruits digestifs, souffle artériel ombilical...), les différents sons de la chaîne parlée ou chantée de la voix de la mère atteignent le centre auditif en formation.

Claude Henri Chouard* décrit les connaissances scientifiques qui s'appuient sur des extrapolations d'observation animale ou sur des réactions comportementales du fœtus :

Chez l'homme, l'oreille moyenne et l'oreille externe sont constituées très tôt dans la vie intra-utérine et vont poursuivre leur croissance jusqu'à l'adolescence. La fréquence de résonance de l'oreille, relativement élevée à la naissance en raison de la forme du conduit auditif externe, va progressivement décroître, ce qui expliquerait en partie la préférence du nourrisson pour les fréquences aiguës.

La cochlée et l'étrier ont acquis leur taille définitive au quatrième mois de la vie intra-utérine.

Dans les perfectionnements progressifs de son organogénèse, l'oreille humaine semble suivre les stades successifs de l'échelle phylogénétique ; le développement de la cochlée passe par le stade de :

- celle des poissons qui n'identifient que les vibrations graves,
- celle des oiseaux dont le limaçon est à peine incurvé,
- celle des mammifères, capables de la discrimination de plus en plus fine des sonorités les plus aiguës.

Des expériences ont montré au delà du sixième mois des réponses fœtales objectives, d'abord à des stimulations graves et intenses, puis médium, et, aux environs de la naissance à la voix maternelle elle-même .

L'apprentissage sonore de la reconnaissance fréquentielle commencerait donc deux à trois mois avant le terme ; le fœtus va donc être imprégné des sonorités plus ou moins musicales de la voix maternelle en fonction de la langue parlée.

Cela expliquerait le don des langues et le goût pour le chant et la musique de certains peuples (russes et hongrois) dont la langue maternelle implique la distinction de variation fréquentielle particulièrement subtile.

1 - 2 Audition du nouveau-né et du nourrisson

A la naissance, notre oreille adaptée à une audition utérine, c'est à dire au milieu liquidien doit s'accommoder aux bruits aériens.

On observe une habitude à la voix de la mère quelques jours après la naissance ; cette préférence pour la voix maternelle disparaît si, lors des tests, elle est filtrée de manière à la priver de ses fréquences graves. Elle persiste au contraire, si elle est amputée de ses fréquences aiguës, car elle beaucoup plus proche de ce que l'enfant entendait au stade in utero. (Spence* ; cité par Chouard)

Pourtant, la plupart des nouveaux nés présentent très tôt une réactivité plus grande aux voix aiguës qu'aux voix graves mais cette préférence sans doute innée ne semble pas liée à l'expérience acquise par le fœtus avant la naissance.

Les compétences auditives du nourrisson sont impressionnantes :

- au quatrième jour après la naissance : aptitude à l'orientation spatiale,
- au huitième mois : reconnaissance de l'octave, perception de la fréquence fondamentale absente d'un son périodique (CH Chouard)*.

1- 3 Audition de l'enfance à l'âge adulte, notion de plasticité cérébrale

Nous parlons, nous chantons parce que nous avons reçu un héritage sonore, véritable patrimoine culturel de couleur, accent, rythme, hauteur, timbre, un bain musical qui nous a bercé depuis notre conception, dans le sein de notre mère .

Cornut* explique qu'il existe chez tout être humain une aptitude innée à exprimer par la voix les émotions fondamentales et que beaucoup d'habitudes vocales remontent aux premières années de la vie car l'enfant possède très tôt une extraordinaire aptitude à reproduire les sons qu'il entend. L'influence de l'environnement sonore devient de plus en plus importante au fur et à mesure qu'il grandit. C'est grâce à ce mimétisme que la fonction vocale se met très vite au service de la parole et du langage.

CH Chouard aborde le concept de plasticité cérébrale en indiquant « qu'elle se corréle avec le développement anatomique et fonctionnel. La croissance du cortex cérébral auditif dépend directement de l'activité de la cochlée. Ce sont les stimuli nerveux, nés dans l'organe périphérique qui entraînent la maturation et la spécialisation des différents centres auditifs répartis dans le cerveau. Lorsque les aires auditives corticales ne sont pas stimulées, en cas de surdité totale congénitale, non seulement elles ne se développent pas mais elles sont colonisées par les aires voisines. Le remplacement artificiel de l'oreille interne de l'enfant sourd profond congénital par un implant cochléaire permet de prévenir cette atrophie, grâce à la stimulation auditive.

La plasticité rend compte aussi de tous les phénomènes d'apprentissage et d'éducation, notamment musicale.

Elle contribue à la création de réseaux neuronaux qui réalisent des structures capables de traiter des groupes de fréquences sonores correspondant à une note, ou un groupe de notes constituant un accord ; ainsi s'explique le rôle fondamental d'un environnement musical précoce dans le développement des aptitudes musicales parce qu'il permet une programmation de ces formations auditives.

L'immaturation de ces fonctions à la naissance contraint le nouveau-né à cet apprentissage. Son audition et son élocution immatures l'obligent à apprendre à entendre, à comprendre, à parler ou à chanter. (Houdard*)

Chez l'homme, cette immaturité est un gage de liberté individuelle, car elle représente une part de non-programmation du cerveau humain, qui lui permet de développer des réseaux neuronaux particuliers et originaux. »

CH Chouard* rapporte une expérience d'Altenmüller* testant différentes techniques de mémorisation d'une mélodie chez des adolescents musiciens ; elle a constaté que les circuits neuronaux peuvent être modifiés par le changement de technique d'enseignement. La première, analytique, faite d'explication verbale et visuelle, active le cerveau gauche ; la deuxième comportant une approche sensorielle (expression corporelle, gestuelle) active l'hémicerveau droit reflétant une stratégie cognitive plus globale.

Cela nous amène à parler succinctement des différents chemins de la musique de l'oreille au cerveau et plus précisément de la perception musicale des hauteurs fréquentielles, qui est le sujet principal de notre étude.

2- LES CHEMINS DU SON MUSICAL AU CERVEAU

2-1 Codage des sons dans la cochlée

Claude Henri Chouard* décrit la cochlée comme un espèce de piano, un analyseur passe-bande dont les détails anatomiques concourent à affiner la discrimination des fréquences de deux manières :

2-1-1 Mécanisme passif

C'est un phénomène physique de résonance, dû à la forme et aux propriétés mécaniques des rampes et de la lame basilaire : ainsi la zone des aigus, à la base, est bien plus souvent mobilisée que la zone des graves, à l'apex .

Ceci explique la fragilité des sensations aiguës bien plus souvent altérées dans la plupart des surdités d'oreille interne.

La souplesse de la membrane basilaire a un impact sur la fréquence de résonance d'où la surdité de sénescence et ses phénomènes de distorsion fréquentielle.

2-1-2 Mécanisme actif :

- 2-1-2.1 La stimulation électrique fournie par les cellules ciliées internes de l'organe de Corti, née de l'oscillation de leurs cils vibratils, au rythme de la fréquence sonore, selon leur situation sur le clavier cochléaire.
- 2-1-2.2 La contraction des cellules ciliées externes, déclenchée par les mouvements liquidiens et qui, par la déformation localisée d'une zone de l'organe de Corti, accentue la sélectivité fréquentielle de l'onde sonore.

Ce phénomène explique notre capacité de finesse d'analyse : avoir l'ouïe fine revient à avoir l'oreille « musclée ».

Il est recueilli sous forme d'oto-émissions particulièrement abondantes chez le nouveau-né (utilisé pour le dépistage des surdités congénitales) et qui décroît à la quarantaine pour disparaître à soixante ans.

Cette disparition diminue la discrimination des fréquences, expliquant les troubles de la presbycousie de la sénescence.

Les oto-émissions ont été utilisées par des chercheurs pour la détection et l'étude de produits de distorsion retournés à l'organe de Corti.

Il s'agit d'un son supplémentaire qu'engendre et retourne l'oreille interne, quand on lui envoie simultanément deux sons purs de fréquence (F1 et F2) assez proche, observé par Tartini, compositeur du 18^{ème} siècle sous le nom de « troisième son concomitant ».

La fréquence du produit de distorsion le plus ample a pour valeur $(2F1-F2)$, liée à l'action des cellules ciliées externes situées à l'endroit du clavier cochléaire où se code la fréquence égale à la moyenne géométrique de F1 et F2. Les chercheurs ont observé que le produit de distorsion $(2F1-F2)$ augmente quand le rapport $F2/F1$ se rapproche du nombre 1,22 qui correspond approximativement à l'intervalle de la quinte ; ceci expliquerait l'engouement pour la quinte de tout temps et dans toutes les civilisations.

2-2 Codage des sons dans le nerf auditif

Un double mécanisme temporel et spatial intervient lors de la stimulation d'une cellule ciliée interne par un son pur :

2-2-1 Codage temporel

Il permet l'analyse du chroma, appréciant l'intervalle entre deux sons : dans l'intervalle d'octave, les trains d'onde respectifs des deux sonorités et de leurs harmoniques sont synchronisés ; l'importance de leur désynchronisation permet d'identifier de manière précise les intervalles différents de l'octave.

Cela expliquerait partiellement pourquoi la suppression de la perception des harmoniques les plus élevées d'un son complexe élève la sensation subjective de la hauteur de son fondamental (Ohguschi*) et la confusion de deux sons à l'octave. CH Chouard ajoute que ce phénomène rend compte de la prédilection ancestrale pour l'accord d'octave manifestée, jusque chez le nourrisson, par tous les âges de l'humanité.

Ce codage temporel n'est plus possible au delà de 5000 Hz.

2-2-2 Codage spatial

Il permet l'analyse de la tonie, appréciant la hauteur d'un son, caractéristique de la fréquence, fonction de la répartition tonotopique des cellules ciliées internes sur le clavier cochléaire et qui va se retrouver dans une organisation tonotopique comparable dans beaucoup de noyaux et des aires corticales du système auditif encéphalique.

Chez le sujet normal, le codage des fréquences graves est surtout temporel, celui des fréquences aiguës est tonotopique.

Dans les fréquences moyennes, entre 60 et 5000 Hz, les deux modes de codages sont intriqués, zone où la discrimination fréquentielle est la meilleure.

CH Chouard* en conclue que c'est dans notre oreille, que réside l'origine de notre prédilection pour l'octave et la quinte.

2-3 Les chemins du son dans l'encéphale

2-3-1 Du tronc cérébral au colliculus inférieur

En pénétrant dans le tronc cérébral, les messages véhiculés par le nerf auditif rencontrent une foule de signaux sensitifs venus de tout le corps (membres, cœur, viscères) et subissent leur influence.

Ils sont également mis en concurrence avec tous les sens : goût, olfaction, vision, toucher, mais aussi : l'ambiance, l'humeur, l'attention.

Nous percevons les sons avec une tonalité particulière, rendant compte de l'environnement extérieur et de notre monde intérieur ; seulement certains parviennent à la conscience qui les écoute de manière réfléchie.

- Les fibres efférentes :

Peu nombreuses, elles sont néanmoins essentielles dans le contrôle de la finesse de la discrimination des fréquences, l'orientation acoustique, le contraste d'un signal sonore dans le bruit par leur fonction inhibitrice des cellules ciliées externes de l'oreille controlatérale. Il est possible qu'elles jouent un rôle dans l'établissement de l'oreille directrice et de dominance cérébrale (chez les droitiers, le faisceau destiné à l'oreille droite est plus efficient).

- **Les fibres afférentes :**

- o Le noyau cochléaire :

La plupart des fibres se terminent dans ce premier relais qui conserve une organisation tonotopique identique à celle de la cochlée et du nerf auditif.

Il s'établit là des afférences auditives dans la plupart des noyaux des nerfs crâniens, dans les centres des fonctions végétatives, de l'équilibre et de la coordination de mouvements volontaires et automatiques.

Ainsi s'expliquent les réactions inconscientes à l'écoute de certaines sonorités.

- o le colliculus inférieur :

D'autres fibres remontent aux pédoncules cérébraux pour y faire relais dans le colliculus inférieur, centre auditif important comportant trois zones :

- zone relais des sensations auditives conscientes avant de gagner le cerveau,
- zone en relation avec le système limbique, traitant les informations spécifiques au comportement des espèces,
- zone traitant les réactions d'éveil.

2-3-2 Le chemin des sons dans Le cortex cérébral

2-3-2.1 Aires auditives corticales

L'aire auditive est située à la partie supérieure de la première circonvolution temporale T1; elle comprend plusieurs portions primaires (Gyrus de Heschl : partie antérieure de T1) et secondaires (planum temporal : partie postérieure), où s'élaborent les sensations conscientes et associatives qui se mettent en action à l'écoute d'un signal sonore.

Ce cortex est plus développé à gauche, chez le droitier avec l'aire de Wernicke, impliquée dans la réception et l'intégration du langage.

2-3-2.2 paramètres musicaux et localisation cérébrale

L'analyse des sons musicaux se fait par différents circuits :

L'hémicerveau gauche d'un droitier analyse la segmentation temporelle, le rythme, le tempo, la métrique, le lexique musical et tout ce qui contient une valeur sémantique, notamment le chant et le nom des notes.

Son hémicerveau droit traite la perception des intervalles mélodiques, les harmoniques, le timbre, le contour mélodique.

Chez les musiciens, plusieurs zones corticales sont hypertrophiées :

- l'aire auditive gauche et plus spécifiquement,
- le planum temporal gauche (en cas d'oreille absolue),
- la partie voisine du corps calleux, faisceau d'association entre les deux hémisphères.

Cette hypertrophie porte essentiellement sur la substance blanche

Les aires auditives corticales possèdent une organisation tonotopique en zones corticales dévolues au traitement des différentes fréquences.

2-3-2.2.1 reconnaissance de la tonie, participation de l'aire visuelle

La reconnaissance de la hauteur tonale absolue relève de l'aire auditive gauche.

CH Chouard rapporte d'après Le chevalier* « qu'on observe souvent, lorsqu'elle s'effectue sans signification sémantique, une mise en action de la zone visuelle du lobe occipital gauche, donc une participation du système visuel, interprétée comme une représentation mentale de la hauteur tonale évoquant une échelle, si ce n'est un clavier ».

Cet élément tendrait à démontrer l'impact réel de la visualisation des zones fréquentielles sur un sonagramme pour aider à l'audition et à la reconnaissance de la hauteur fréquentielle.

L'échelle des hauteurs est visualisée comme sur un clavier lors de la production de la série harmonique voyellique. (voir chapitre deux)

Lorsque la valeur tonale a une valeur sémantique (ex : mono syllabe de la langue thaï, uniquement chez les gens la comprenant et la parlant), elle entraîne en plus une activation des centres de la parole, zone proche de l'aire de Broca.

2-3-2.2.2 Reconnaissance de l'intervalle, chroma

Elle dépend essentiellement du cerveau auditif droit, même chez le sujet non musicien. Cette activation cérébrale, selon Evers*, s'accompagne d'une mise en jeu de la région frontale inférieure droite et souvent du lobe occipital (élément en faveur de notre étude).

2-3-2.2.3 Reconnaissance du timbre

Elle relève uniquement du cerveau droit : aires auditives et circonvolution frontale inférieure.

2-3-2.2.4 Contour mélodique

L'écoute et l'analyse du contour mélodique entraînent une activation de l'aire auditive droite, discrète dans l'aire primaire, importante dans l'aire associative au niveau du planum temporal droit.

Cette activation est observée lorsqu'un sujet chante, ce qui permet l'écoute et le contrôle permanent des modulations de sa propre voix ; le maintien d'une note chantée à sa hauteur initiale met en jeu le même processus lié sans doute à un mécanisme de feed-back permanent. (D'après Liegeois Chauvel* et Perry* cité par Chouard)

Ceci nous ramène à notre sujet : l'étude de la boucle audio-phonatoire.

3 LA BOUCLE AUDIOPHONATOIRE

Tomatis* présente dans son ouvrage « l'oreille et le langage » publié en 1978 la thèse d'un contrôle de l'oreille sur la phonation dont je reprends les termes en y apportant quelques remarques personnelles.

« Si l'on parle, c'est bien parce que l'on entend. Le locuteur est en même temps le premier auditeur de son langage et de son chant. Il est l'informateur et le premier informé.

Cette information lui permet de reconnaître et de mesurer l'intensité de sa coulée verbale ; elle lui donne tous les éléments qui lui sont propres, inhérents à ses habitudes d'écoute, à sa qualité de voix. Elle lui assure également la continuité du discours dans les différents paramètres de sa chaîne parlée ou chantée. Grâce à ce jeu d'auto-écoute, le locuteur sait qu'il parle (chante), peut se reconnaître, apprécie le volume qu'il est indispensable d'accorder à tout moment à son discours (chant).

Ainsi, le complexe audition-phonation est un exemple adapté à la démonstration de la théorie de l'information et de la communication en feed-back sous le terme de boucle audio-phonatoire.

Le contrôle de la phonation par le capteur auditif dépend de différents facteurs :

- le capteur auditif écoute dans les limites de certaines fréquences de 16 Hz à 20 000Hz,
- le capteur se satisfait de bandes passantes qu'il sélectionne électivement ; il détermine la qualité du débit et impose la bande passante de son contrôle,
- le dernier facteur est le temps ; ceci implique dans son retour un élément qui marche en sens inverse du temps d'écoulement de l'acte qui s'élabore vers la sortie. Il y a une mémoire de l'acte déjà conçu ; cette mémoire de contrôle a pour charge d'agir sur l'élaboration de l'acte futur. »

3-1 L'oreille musicale

L'audition est familiale, apprendre à écouter fait partie de l'éducation : un enfant ayant grandi dans un univers musical aura de grande chance d'avoir « l'oreille musicale » Tomatis* a effectué de nombreuses expérimentations auprès de musiciens et chanteurs professionnels afin de déterminer les caractéristiques de l'oreille musicale.

Des épreuves d'éblouissement par l'audition brève d'un son de 100dB provoquant un scotome auditif lui ont permis de montrer une corrélation avec une incapacité momentanée du contrôle du chant ; on assiste à une « dissolution complète de tout l'acquis technique du chanteur ».

3-1-1 Les zones de contrôle de la voix chantée

Il les a soumis ensuite à une technique consistant à éliminer telle ou telle bande d'audition en introduisant dans le circuit d'auto-contrôle des filtres électroniques permettant de travailler sur toutes les zones de l'audition sans causer aucun dommage à cette dernière.

L'élimination auditive des bandes fréquentielles entraîne la suppression des caractères fondamentaux de la voix chantée :

- au dessus de 2000 Hz : la voix devient terne, dénuée de sa richesse harmonique, plus postérieure, plus blanche ; la justesse est conservée,
- entre 1000 et 2000 Hz : la voix conserve sa qualité antérieure ; le contrôle de la hauteur tonale a totalement disparu, la reproduction juste est impossible,
- entre 500 et 1000 Hz : l'appréciation de la justesse globale est altérée,
- entre 500 et 2000 Hz : on aboutit à une a-musicalité.

De cette expérimentation, Tomatis en conclue que nous sommes soumis au bon vouloir de notre contrôle et que des perturbations très petites au niveau du champ auditif peuvent entraîner des manifestations considérables au niveau de la phonation.

3-1-2 Audiogramme de musiciens

Le dépouillement systématique d'audiogramme de musiciens a permis à Tomatis* de dresser un profil moyen de la courbe auditive nécessaire et suffisante pour qu'un individu puisse satisfaire aux conditions d'une production sonore de bonne qualité :

- entre 500 Hz et 2000 Hz : courbe ascendante dont la pente oscille entre 6 et 18dB par octave (plus la pente est forte, plus la musicalité est accentuée)
- à partir de 2000 Hz jusqu'à 4000 Hz, courbe en dôme
- dès le 4000 Hz vers le 6000 Hz : légère inflexion

Selon lui, cette courbe assure la justesse et la qualité vocales.

3-1-3 Sonagramme de musiciens

Grâce à des enregistrements par sonagrammes, Tomatis* a visualisé les modifications de la phonation induites par celles provoquées sur l'audition par l'intermédiaire de filtre de bande fréquentielle.

« Le phénomène le plus frappant repose sur le parallélisme constant qui relie l'audition et la phonation : toute altération qui frappe l'audition se transmet sur l'émission vocale : un filtre introduit sur l'audition induisant une perte d'une bande passante connue, entraîne un trou vocal qui se traduit par un scotome fréquentiel du sonagramme correspondant à la zone du filtre.

Cela prouve le fait fondamental que la voix ne reproduit que ce qu'elle entend. En d'autre terme, un sujet ne sait réaliser avec certitude que ce qu'il est capable d'entendre et de contrôler.

L'analyse sonographique de la voix de chanteurs confirmés a montré une grande richesse de zones fréquentielles en gerbes de fréquences. »

3-2 Lien entre audition et qualité de l'émission vocale

Tomatis s'interroge ainsi : une mauvaise voix ne répond-elle pas à un auto-contrôle auditif insuffisant ou défectueux ?

Les difficultés d'émission telles que la voix éraillée, les raucités, les voix sans timbre regroupées sous le terme de dysphonies ne peuvent-elles pas relever que d'une dysharmonie de l'auto-écoute ?

3-2-1 Diaphragme auditif sélectif

« La recherche des qualités sélectives de l'audition a démontré qu'il existe, dans le champ auditif, des zones préférentielles électives où l'audition est à l'aise dans les différenciations tonales, en reconnaître les écarts et les directions de variation. En dehors de ces limites, le bruit seul y est décelé, sans qualité, sans décomposition, sans analyse possible.

En d'autres termes, le capteur auditif semble doté d'un diaphragme qui saura se fermer à différents niveaux pour s'ouvrir électivement à d'autres.

Ce diaphragme auditif sélectif se conditionne à l'écoute de l'environnement. Il sera tendu à l'écoute des voix qui voudront bien l'éduquer, qui lui montreront dans quelles modulations le langage se structure. »

3-2-1- 1 facteurs environnementaux

Cette adaptation diaphragmatique sera essentiellement fonction de la coulée verbale qu'il faudra absorber par la bouche auditive.

Le milieu sonore, acoustique, est des plus déterminant. Une voix éducative éraillée risque d'entraîner une voix éraillée chez l'éduqué, uniquement parce que le capteur goûte électivement cette nourriture verbale.

La voix de notre mère, celle de notre « tribu familiale » nous a laissé une empreinte indélébile. Notre sensibilité auditive a été stimulée ou laissée en friche, en fonction des sollicitations proches ou environnementales : les voix, les musiques, mais aussi l'espace, l'ambiance sonore plus ou moins bruyante, les qualités de silence, les bruits de la nature ou de la ville...

Notre oreille est le sens qui nous met en relation ; sa fonction première est de nous mettre en alerte devant un danger.

L'aptitude à la vigilance, à l'écoute est une qualité d'éveil sensoriel, amenant une capacité d'être au monde, ici et maintenant.

3- 2-1-2 facteurs psychologiques

Cette capacité est également écoute intérieure, aptitude à reconnaître son état émotionnel, physique et psychique.

C'est un acte volontaire que d'écouter, que de s'écouter ; c'est une acquisition tardive et humaine de l'évolution, tandis que c'est un acte automatique d'entendre. Le premier fait place à l'autre pour peu qu'un obstacle survienne qui détruit cette merveilleuse mais labile structuration fonctionnelle.

Qu'un choc affectif surgisse et le monde sonore devient douloureux, pénible. Que l'on entende mais que l'on n'écoute plus, voilà une défense possible. L'oreille se désadapte, elle reprend sa fonction première, celle de la défense, celle qui avertit du danger, celle qui précède la remontrance, la réprimande que l'on estime injustifiée.

4 LA BOUCLE SOCIOPHONATOIRE

« La voix est-elle un attribut individuel, le fruit d'un apprentissage personnel ou le résultat d'une construction sociale ? Se transmet-elle par mimétisme familial ou par imitation groupale, au nom d'une appartenance à une tribu ? S'il y a certes un apprentissage des chants, du répertoire, y a-t-il apprentissage de la voix ?

Le procédé de cantillation –identique à la scansion des comptines- est-il le propre de la voix de l'enfant –lié à ses compétences- ou est-il une méthode pédagogique de transmission ? »

Poser ces questions, – nous dit Claire Gillie Guilbert*- c'est aborder la question de la filiation du geste vocal qui se situe au cœur de la connaissance et constitue la mémoire d'un peuple.

4-1 Mémoire du geste vocal

Mais de quelle mémoire s'agit-il ? s'interroge CGG .

« Celle des voix de l'enfance, mémorisées auditivement ; puis imitées et ré-imprimées jusque dans la morphologie même des organes phonatoires ?

Ou bien mémoire corporelle du geste vocal, conservé avec le souvenir de l'efficacité de son action parce qu'à un moment de la vie, quelqu'un de l'entourage a répondu d'un sourire ou d'un geste positif à une intonation de la voix .

Gestes et voix sont intimement liés dans un même élan ou instinct vital : l'enfant s'incorpore la parole de l'autre, dont il « boit » les sonorités verbales, comme il en boit le lait.

Les berceuses sont des moments où voix et corps s'accordent dans une même tendresse, à fleur de peau, soudés dans un même tempo.

L'adulte en retrouvant, à travers le geste vocal, les jeux vocaux renoue avec ce stade vocal où la musique de la voix fait signe avant le langage.

Voix et geste font partie des vecteurs interactifs de la communication.

L'essence physique, vibratoire du geste vocal lui confère la possibilité d'établir une communication de type verbal en l'absence même d'audition."

4-2 Percevoir, recevoir, écouter le geste vocal

CGG* argumente en faveur d'une sensorialité globale du geste vocal au delà du contrôle auditif.

« On se rappelle qu'Ulysse, il y a trois mille ans s'est fait ligoter au mat de son navire pour résister aux réponses de son corps face au geste vocal des sirènes, afin de se contenter de l'entendre et non de l'écouter.

Car l'écoute est activité et mobilisation du corps. Pour faire comprendre la distinction entre entendre et écouter, Pierre Schaeffer* se plaisait à dire : « j'entends ce qui domine, j'écoute ce que je vise ».

Entendre vient du verbe latin *intendere* qui signifie « tendre vers » d'où « porter son attention vers », et ce n'est qu'à partir du XVII^e siècle qu'il tend à se substituer à « ouïr ». D'autre part, dans beaucoup de langues, écouter veut dire aussi obéir. Mais écouter, c'est aussi ausculter.

Marie France Castarède* va jusqu'à évoquer cette écoute particulière qui relie l'analysant et l'analysé dans la cure psychanalytique comme une communication d'inconscient à inconscient, de corps à corps, médiatisé par la voix. Tout se passe comme si au don de la voix, devait s'offrir le contre-don de l'écoute, de l'oreille ouverte.

Michel Serres* exprime combien l'écoute en appelle elle aussi à la chair : « Nous entendons par la boîte crânienne, l'abdomen et le thorax. Nous entendons par les muscles et les tendons. Notre corps-boîte tendu de cordes se voile d'un tympan global. Nous vivons dans les ondes tout autant que dans les espaces...Je suis la maison du son, ouïe et voix tout entier, boîte noire et retentissement, enclume et marteau... je suis tout entier creux et note mêlés. »

C'est de cette manière que s'est transmise la tradition de tous les chants traditionnels, dont notamment celle du chant diphonique utilisant le renforcement des harmoniques du son de la voix, sujet de notre deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE

ENTENDRE ET EMETTRE LES HARMONIQUES

1 LE CHANT DES TOUVAS

1 - 1 Aspect ethnologique

Je reprends ici l'excellent article sur le chant des Touvas paru dans un numéro de « Pour la science » d'après divers travaux scientifiques (T Levin*) :

« Dans la république autonome de Touva, entre la Russie et la Mongolie, les prairies et les forêts de la taïga impressionnent par le silence. En tendant l'oreille, on perçoit les bruits naturels : bourdonnement, murmure, sifflement... L'ambiance sonore de la République de Touva inspire aux bergers semi-nomades une forme de musique qui se fond dans ces sons naturels : ils communiquent avec leur environnement par des chants à deux mélodies, produites simultanément par un seul chanteur.

Le premier est un son fondamental grave, soutenu, semblable au son du bourdon d'une cornemuse. Le second est une série d'harmoniques à une ou plusieurs octaves d'intervalle, qui rappellent le sifflement d'un oiseau, les rythmes syncopés d'un torrent ou le galop d'un cheval.

Chez les bergers, imiter les sons ambiants est aussi naturel que parler. Le chant de gorge n'est pas officiellement enseigné mais appris à la manière d'une langue : de nombreux pâtres pratiquent le chant de gorge sans toujours être capables de former des airs mélodieux. La popularité du chant de gorge chez les bergers touvas est née de la coïncidence de l'animisme, lié aux subtilités du son et du timbre et de la bonne propagation des harmoniques à travers les vastes étendues de la steppe.

Il y a 20 ans, la plupart des touvas considéraient la musique trop paysanne pour en donner des concerts mais ceux-ci sont aujourd'hui courants ; des groupes de professionnels sont célèbres et les meilleurs chanteurs sont devenus des symboles de la culture nationale.

Localement, ce chant est nommé khöömei qui dérive du mot mongol signifiant gorge. Les plus beaux chants s'écoulent en République de Touva et dans les territoires voisins de l'Altaï, en particulier ceux de la Mongolie occidentale. (sonagramme Harmoniques)

Cependant, cette pratique des harmoniques vocalement renforcées existe aussi dans diverses régions d'Asie Centrale, telles les montagnes de l'Oural, dans les régions situées entre la mer noire et la Chine.

Certaines formes de chant du bouddhisme tibétain contiennent une harmonique renforcée, soutenue par un son fondamental. Certains chants traditionnels sardes et corses ne sont pas éloignés de cette technique.

En France, on le nomme chant de gorge, ou chant diphonique et certains chanteurs occidentaux contemporains qui sont parvenus à maîtriser cette technique le nomment chant harmonique.

Ces chants sont à la fois un mode d'expression et un phénomène acoustique intéressants qui ont été étudiés du point de vue de l'ethnomusicologie et de la composition musicologique par Theodore Levin* avec Michael Edgerton. Trân Quan Hai* a été l'une des personnes qui a fait connaître ces techniques auprès du grand public.

1 - 2 Aspect acoustique

Depuis dix ans, l'étude des techniques et des propriétés acoustiques des harmoniques renforcées a suivi le succès grandissant des musiques touvas et mongoles à travers le monde.

On explique le chant en le considérant formé par une source et un filtre : la source, les cordes vocales produit des ondes sonores que le filtre, le conduit vocal qui s'étend des cordes vocales aux lèvres, façonne en voyelles, en consonnes et en notes musicales.

Le mécanisme de renforcement des harmoniques semble nécessiter au moins trois composantes corrélées :

- l'ajustement d'une harmonique au centre d'un formant prononcé,
- l'allongement de la phase de fermeture du cycle ouverture-fermeture des cordes vocales,
- la réduction de l'intervalle des harmoniques affectées par le formant.

Ces trois phénomènes intensifient le couplage entre la source et le filtre.

1- 2- 1 Ajustement des harmoniques

Le chant diphonique nécessite plusieurs cavités dont le couplage est à l'origine des fréquences aiguës de résonance des formants qui sélectionnent et amplifient l'harmonique. (schéma 7)

Selon Tran Quan Hai* : avec la langue au repos – la bouche forme alors une seule grande cavité -, la deuxième voix ne dépasse pas 1200 Hz. : l'ambitus de la mélodie harmonique, c'est à dire l'écart entre la note la plus grave et

la note la plus aiguë, reste faible. L'étude des sonagrammes montre que l'intensité du formant s'étale sur trois ou quatre harmoniques.

En revanche, lorsque la langue touche le palais, séparant ainsi la cavité buccale en deux parties, le formant est aigu et intense : l'harmonique supplémentaire est nettement audible.

Ce sujet complexe est controversé, notamment par Daïnouri Choque (voir au chapitre suivant) qui fait sonner, les harmoniques de rang 10 ou 11 :

Ex : pour un fondamental sur un la 440 Hz , présence de fréquence à 4400 Hz même en position de la langue au repos, avec une seule cavité.

Afin d'ajuster une des harmoniques avec un formant, le chanteur règle la fréquence fondamentale du bourdonnement produit par ses cordes vocales. Ce procédé est l'équivalent sonore du décalage d'une échelle afin d'amener l'un des barreaux au niveau d'un repère fixe.

Par l'analyse acoustique, on a étudié la précision de l'ajustement nécessaire : l'intensité d'une première harmonique précisément superposée au milieu du pic d'un formant est bien supérieure à celle d'une seconde harmonique légèrement décalée. Les chanteurs ajustent cette superposition en élevant ou abaissant le son fondamental jusqu'à ce qu'ils entendent résonner l'harmonique recherchée à une amplitude maximale.

1 -2 - 2 Allongement de la phase de fermeture des cordes vocales

Les chanteurs de gorge cherchent également à maîtriser la vibration des cordes vocales.

Chaque cycle des cordes vocales commence lorsqu'elles sont resserrées. L'air comprimé par les poumons presse sur les cordes vocales qui cèdent en s'écartant. Puis des forces élastiques et aérodynamiques referment les cordes tout en envoyant une bouffée d'air dans le conduit vocal.

Des électroglottographes, qui utilisent des capteurs placés sur le cou pour analyser ce cycle, montrent que, lors du chant de gorge, les cordes vocales sont ouvertes pendant une fraction de cycle plus courte que pour une parole normale ; elles sont fermées plus longtemps.

L'intensité des harmoniques est plus forte lorsque les muscles de la gorge sont contractés et rigides, c'est à dire qu'ils provoquent une fermeture brusque des cordes vocales.

En outre, une fermeture plus longue prolonge la résonance dans le conduit vocal en réduisant le retour des ondes vers les poumons.

Ces deux effets réduisent l'affaiblissement de l'intensité aux fréquences élevées : l'harmonique recherchée est plus accentuée.

1 -2 - 3 Amplification et sélectivité du conduit vocal

Enfin, l'isolement d'une harmonique ne serait pas aussi efficace sans les techniques que les chanteurs utilisent pour augmenter l'amplification et la sélectivité du conduit vocal.

En affinant les propriétés de résonance normalement utilisées pour la prononciation des voyelles, les chanteurs décalent le pic des formants et augmentent sa sélectivité.

Ils renforcent ainsi les harmoniques alignées sur le pic étroit du formant, en affaiblissant simultanément les harmoniques situées en dehors de ce pic ; une seule harmonique est amplifiée.

De plus, en avançant la mâchoire, tout en avançant, amincissant et arrondissant les lèvres, les chanteurs renforcent leurs cordes vocales, minimisent les pertes d'énergie (la bouche est presque fermée) et renvoient alors les résonances vers la vibration des cordes vocales : le pic de résonance est encore augmenté.

Des études en vidéofluoroscopie (radiocinématographie) et en naso-endoscopie ont confirmé que les chanteurs modifient leur conduit vocal pour décaler la fréquence d'un formant et l'aligner sur une harmonique. En renforçant différentes harmoniques, ils produisent une mélodie.

Les neufs musiciens étudiés utilisaient différentes méthodes :

- le style « sygyt », « khöörmei » fait varier la position de langue, de bouche
- le style « kargyraa » nécessite une deuxième source vocale : les fausses cordes vocales (comme dans le chant tibétain). Il associe à la fréquence du son fondamental, une fréquence deux fois inférieure, car les fausses cordes vocales se ferment une fois toutes les deux fermetures des cordes vocales. (voir sonagrammes Harmoniques)

Chacun peut maîtriser ces techniques pour apprendre le chant de gorge.

1- 3 Techniques du chant diphonique

Trần Quan Hải* a étudié et développé de multiples techniques d'émission de sons harmoniques dont il a mis au point deux méthodes de chant diphonique à la portée de tous :

- Dans la première méthode, la langue est en position de repos, la base de langue peut être légèrement remontée mais elle ne touche jamais le voile du palais. Il faut répéter les deux voyelles **u** et **i** alternativement comme pour dire « oui » et bouger seulement la bouche et les lèvres.
- La deuxième méthode implique la division de la bouche en deux cavités.

Il faut chanter avec une voix de gorge la lettre **i** puis la lettre **u**, en maintenant la langue collée fermement à la limite du palais dur et du palais mou.

Tout en chantant, on doit contracter les muscles du cou et de l'abdomen, donner un timbre nasal au chant et prononcer alternativement **i u i u**.

On obtient le bourdon et les harmoniques. Il suffit de modifier la position des lèvres ou de la langue pour moduler la mélodie des harmoniques.

2 TRAVAIL SUR LA PERCEPTION AUDITIVE ET L'EMISSION DES HARMONIQUES

A la suite de nombreux chercheurs, chanteurs européens dont David Hykes est le plus connu par ses enregistrements du « Harmonic Choir », Daïnouri Choque* propose des formations auprès des choristes autour de la perception et de l'émission vocale des harmoniques.

Ayant suivi de nombreux stages avec lui en temps que chanteuse et professeur de chant, j'ai eu le désir d'approfondir mes recherches en l'invitant depuis trois ans à des séminaires sur la voix que j'organise à Orléans, dans le cadre de l'association ME45.

Je rapporte ici les propos de Daïnouri qui seront édités dans les actes* du deuxième séminaire sur les « approches corporelles et sensorielles de la voix » .

2-1 Evolution de l'audition avec l'âge

« Notre écoute évolue avec l'âge, entre l'enfance et l'adulte.

Enfant, nous partons d'une situation purement sensorielle car notre oreille n'est pas encore construite ; peu à peu à travers l'apprentissage du langage et de la musique, cette écoute va se transformer en passant sur l'objet musical en temps que tel ; c'est à dire se centrer sur le fondamental.

Dans un premier temps, pour l'apprentissage de la langue maternelle, nous allons entendre, et reproduire des phonèmes qui vont devenir du sens au lieu de rester du sensoriel. Il vont devenir une utilisation concrète sur le plan social.

Cette augmentation des éléments culturels va faire que cette oreille, initialement ouverte sur l'ensemble des informations qui constituent le son de la voix et le son musical, va percevoir l'objet sonore par rapport à son utilité sociale, langagière et musicale.

Notre mémoire est culturelle.

Nous sommes un ensemble de mémoires ; nous avons construit des mémoires y compris sur le plan sonore. Quand nous écoutons, ces mémoires sont une espèce de conditionnement ; elles sont un filtre qui nous fait percevoir l'information sonore, musicale à travers elles. »

2 - 2 Ecoute ouverte et écoute fermée

Quand nous essayons de réouvrir l'écoute sur l'ensemble des informations du timbre, nous sommes plus proches de la réalité acoustique.

Dainouri Choque utilise une image très parlante : « imaginez que vous avez une boîte et que cette boîte soit un son ; elle peut être soit fermée, soit ouverte.

Si la boîte est fermée, on ne perçoit que la partie extérieure : sa taille, sa forme, sa couleur mais on ne peut percevoir ses composantes intérieures.

Quand la boîte est ouverte, on peut percevoir des informations qui sont les constituantes du son : les harmoniques. »

On peut schématiser :

- dans l'image de la boîte fermée : un son = une information, une seule hauteur, une seule fréquence,
- dans la perception ouverte : un son = plusieurs informations, hauteurs.

Avec les enfants, il est plus facile de retrouver cette écoute analytique, car leur oreille est encore susceptible d'entendre le son « tel qu'il est ».

Dans les écoles de musique, on privilégie la perception de la note en temps que telle sans s'occuper des composantes du timbre.

Le fait que les enseignants ne font généralement pas miroir à la perception des enfants tend à renforcer l'écoute globalisante.

Quand l'oreille s'ouvre, on entend toujours les hauteurs musicales, mais deux autres aspects apparaissent :

- des sons plus aigus : les harmoniques,
- un espace vers le grave, plus grand : la résonance, qui va donner une notion de l'espace et du temps que le son met à revenir.

2 - 3 Espaces de résonance

2 - 3 - 1 Résonance du conduit vocal

La première résonance qu'on utilise, c'est la résonance de notre corps en temps qu'instrument de notre voix, que l'on développe en prenant des cours de chant pour que la voix puisse s'extérioriser d'une manière qui sonne au mieux.

2 - 3 - 2 Résonance du lieu

La deuxième résonance est le lieu dans lequel notre voix est exprimée en temps que chanteur ou orateur ; ce qui oblige à adapter son écoute pour faire en sorte d'être bien entendu.

2 - 3 - 3 Résonance du chœur

Quand on chante en chœur, il y a un troisième espace de résonance qui est la mise en commun des voix qui crée l'entité sonore du chœur en temps que telle ; on peut la construire par différents moyens, notamment en travaillant sur l'oreille.

2 - 4 Perception des harmoniques

2-4-1 Test de perception des harmoniques

Daïnouri Choque propose un temps d'écoute où il chante une série de voyelles recto-tono tout en organisant les harmoniques du timbre vocalique de manière à émettre une mélodie connue en arrière plan du bourdon voyellique (voir sonagrammes Harmoniques). Dans cette façon de faire, il ne s'agit pas de renforcer les harmoniques au détriment des voyelles comme dans la technique du chant diphonique : les voyelles restent complètes.

Il l'utilise comme un test pour voir la capacité de chacun des stagiaires à entendre le contenu du timbre dans une production de voix chantée.

Certains stagiaires perçoivent la mélodie produite par les harmoniques, alors que d'autres n'entendent que les variations voyelliques et Daïnouri Choque explique que cela résulte simplement du fait que peu à peu l'oreille va pouvoir re-décomposer ce qui auparavant était perçu comme une globalité.

2-4 -2 Filtrage auditif

Daïnouri Choque propose de fermer les oreilles avec les mains sur le pavillon et de noter que la perception du son change selon l'angle d'ouverture des mains. En fait cela constitue un filtre grave-aigu de la partie aérienne du son qui va aider à mieux percevoir les harmoniques.

La fermeture privilégie les fréquences graves proches du fondamental, l'ouverture, les harmoniques les plus aiguës.

2-4 -3 Ecoute osseuse et écoute aérienne

On perçoit le son par deux écoutes : une extérieure ou aérienne lorsque nous sommes uniquement auditeurs et une écoute intérieure ou osseuse lorsque nous sommes nous-mêmes producteurs de son.

Quand on parle, on n'a jamais une idée claire de ce qu'est sa propre voix ; quand on écoute sa voix enregistrée, il y a un décalage entre l'image que l'on a de soi-même par son auto-écoute et la restitution fidèle.

En travaillant l'écoute, cela permet de distancier cette auto-écoute et de comprendre la relation entre les deux espaces internes et externes.

Les stagiaires qui entendent les sons qui sifflent, (les harmoniques) sont invités à enlever les mains pour vérifier s'ils peuvent continuer à entendre les harmoniques dans l'écoute habituelle.

2 – 5 Emission des harmoniques

2 – 5 – 1 Son tenu à l'unisson, bouche fermée

Daïnouri Choque propose des exercices sur un son tenu bouche fermée, dans une écoute spatialisée en notant les changements de leur perception du son pendant la durée de l'exercice. (un groupe écoute pendant qu'un autre chante)

Il invite les chanteurs à veiller à ce que gorge et mâchoire soient détendues, à sentir un confort vocal et à observer si leur écoute est globale ou sélective .

Quand on est dans une écoute ouverte ou sélective, on perçoit trois composantes : la note en temps que telle, un espace de résonance, et l'univers du timbre (les harmoniques)

Cela est déjà présent même sur une note émise en bouche fermée.

Il est plus facile d'entendre les harmoniques en temps que simple auditeur.

2 – 5 – 1 - 1 Seuil d'audibilité

L'oreille fonctionne par seuil :

Dans l'industrie du disque, on utilise des systèmes de compression pour gagner de la place sur le support d'enregistrement (mp3, minidisc), on utilise l'effet de masque, c'est à dire en terme de seuil d'audibilité, on sait que par rapport à une certaine puissance, il y a toute une partie de l'information que l'oreille ne va pas percevoir et que l'on va gommer de manière à gagner de la place à l'enregistrement.

Quand on chante, si on est dans une production individuelle ou collective qui est relativement forte et un peu tendue, l'oreille n'a pas la possibilité de percevoir les informations qui sont très fines, parce qu'on a déjà imposé un seuil d'écoute en rapport avec le seuil de production.

Donc en démarrant l'émission sonore le plus doucement possible, cela permet de percevoir des informations plus fines, même si on est ensuite dans une production plus sonore.

2-5-1-2 Résonance collective

Dans l'exercice de tenue de l'unisson, la continuité sonore fait évoluer notre perception et notre production.

Peu à peu, on entend le son comme s'il occupait davantage d'espace. On obtient une meilleure homogénéité, et une plus grande résonance.

On perçoit aussi des bribes de mouvements mélodiques arpégés de très faible intensité, qui émergent progressivement du son lui-même.

Dans un chœur, lorsque les personnes n'ont jamais chanté ensemble, il y a un certain nombre de conflits. Certains essaient de construire un territoire auditif dans lequel ils se sentent en sécurité, en renforçant leur voix, en replis sur leur propre note ; cela augmente les tensions vocales et rend le son dur. Quand les gens ne s'écoutent pas, l'univers acoustique ne peut pas vraiment se construire de manière harmonieuse.

Ce qu'on cherche dans un chœur, c'est d'augmenter l'espace de résonance de chaque voix, afin que les résonances individuelles puissent mieux s'inter-connecter. Cela crée une bulle de son, qui est le son du chœur ; c'est une entité acoustique à part entière, une énergie vibratoire réelle, tangible sur le plan physique.

Lorsque ce son collectif est présent, on a la sensation que le son est global, qu'il est partout. L'univers acoustique commence à mieux s'organiser ; les liens entre les voix sont plus forts et construisent le son du chœur, qui en retour, devient un amplificateur naturel, qui permet aux voix de sonner sans effort.

2-5-2 Son tenu à l'unisson, sur la voyelle o

Daïnouri Choque incite chacun à porter son écoute au loin dans l'espace, sur les deux aspects du son (fondamentale et harmoniques,) en cherchant une couleur de **o** (plus ou moins ouvert ou fermé) qui donne le meilleur retour des harmoniques.

Ce travail incite à se poser la question : « est-ce que mon écoute est uniquement sur la note chantée, ou sur l'ensemble du timbre ? »

Ces exercices font fonctionner la boucle audio-phonatoire, mécanisme dont parle beaucoup le Dr Tomatis* dans ses livres, et qu'il a utilisé pour créer l'« oreille électronique » (machine pour rééduquer l'audition).

La boucle audio-phonatoire peut fonctionner sans machine ; c'est grâce à elle que nous avons appris à parler, lorsque nous étions enfant.

C'est le message que nous recevons, que nous entendons qui nous permet de contrôler de manière plus ou moins fine ce que nous émettons, individuellement et collectivement.

Au cours des exercices, à un moment donné, l'écoute s'inverse, et on passe sur l'écoute des composantes du timbre .

Il y a autre chose d'important : à l'intérieur de ce qui autrefois n'était qu'une seule note, cela devient un ensemble de hauteurs ; et c'est cela qui est le changement fondamental de perception ; sur une seule note, on entend toujours la hauteur musicale, mais aussi d'autres sons plus aigus (les harmoniques), dont la hauteur dépend de la voyelle émise.

Sur le **o**, c'est une quinte qui domine, mais il peut également y avoir une tierce et une octave.

Ce qui veut dire qu'en fait, quand on chante des voyelles, on chante des accords musicaux, et que le timbre lui même, - le texte qu'on chante - est déjà, à travers l'univers voyellique, un élément musical, qui vient se rajouter à la musique elle-même.

On entre dans un univers plus ouvert, plus complexe, plus large et qui en même temps, simplifie un certain nombre de choses parce qu'on perçoit mieux ce qui s'y passe.

Donc, en fonction de la voyelle qu'on chante, on va sélectionner un accord qui est construit à partir du timbre.

2-5-3 unisson sur différentes voyelles o eu é i ou

L'exercice consiste à ralentir le passage entre les voyelles, en essayant d'explorer toutes les couleurs vocales intermédiaires.

Cela permet à l'oreille d'entendre des informations qui ne sont pas entendues habituellement : l'univers du timbre et de ses composantes acoustiques (les harmoniques).

Lorsque l'on glisse lentement d'une voyelle à une autre - par exemple, entre **o** (rose) et **O** (or) - , il y a des couleurs de voyelles intermédiaires qui sont perçues comme des espaces culturellement neutres .

Cela permet à l'oreille de basculer vers l'écoute des résultantes harmoniques.

On peut entendre cela dans beaucoup de musiques religieuses sur certains mots où il y a des diphtongues « alleluia, kyrie eleison ».

Les religieux qui passaient des heures à chanter des monodies dans des acoustiques porteuses entendaient ces informations là ; leur oreille n'était pas conditionnée par le tempérament égal.

Quand on fait ce travail, on entend le son tel qu'il est et non pas avec la mémoire qu'on en a ; notre mémoire a été construite avec des paramètres musicaux et acoustiques qui sont différents.

2 -5- 4 unisson sur la série harmonique ; les formants voyelliques

Daïnouri Choque fait entendre une gamme en chantant les voyelles : **i é eu o** (voir sonagramme Harmoniques) et demande aux stagiaires de faire de même.

Chaque voyelle a des formants : ce sont des fréquences qui sont renforcées, à l'intérieur de notre cavité buccale.

Nous sommes habitués à entendre les voyelles de notre langue. Si nous avons été élevés dans une autre culture, avec une autre langue, nous aurions intégré d'autres voyelles et nous aurions peut-être du mal à parler le français si nous devions l'apprendre aujourd'hui parce que chaque langue possède des sons différents.

Dans ces différents formants des voyelles, il y en a toujours un qui est plus fort que les autres ; c'est pour cela qu'on peut faire des mélodies avec les harmoniques. Si tout était identique, on n'aurait pas de sélection possible. Cette harmonique dominante (le formant) est habituellement masquée par le fait que l'oreille écoute la voyelle.

Dans ce balayage entre les voyelles apparaissent d'autres sons : les harmoniques. Le fait que la série voyellique « i é eu o » fait apparaître ces harmoniques dans un ordre musical (comme une gamme) aide notre oreille à mieux percevoir ces informations nouvelles.

Pour contrôler le flux de ces harmoniques, il faut ralentir le plus possible le mouvement des lèvres ; on obtient d'abord une gamme : la série harmonique ; ensuite on va pouvoir, progressivement, travailler sur 4 ou 5 harmoniques, puis 2 ou 3, puis, sélectionner une harmonique à la fois.

2-6 Harmoniques et son du chœur

Ce travail permet aux voix de sonner ensemble par l'expression complète du timbre. C'est parce qu'il est entendu complètement qu'il va être restitué complètement. Les accroches entre les voix vont être plus importantes, puisque ce qui fait le lien entre les voix, ce sont les composantes du timbre.

2-6-1 spatialisation du son

Lorsque les voix commencent à sonner davantage ensemble, elles créent un nouvel espace sonore : l'espace de l'ensemble vocal.

Subjectivement, cet espace nous paraît souvent différent de celui dans lequel on est en train de chanter. Cet espace évoque souvent d'autres lieux, plus vastes et plus sonores, comme les chapelles et les églises.

On entend le son au dessus et comme sous une coupole.

Le son du groupe est spatialisé et les différentes fréquences ne circulent pas de la même manière dans cet espace.

Le grave est perçu vers le bas, et non directionnel ; l'aigu est en haut, à différents endroits de l'espace que l'on peut parfois repérer.

Cela donne la sensation d'un espace très vaste et très organisé.

Quand l'oreille s'ouvre sur les composantes du timbre et quand les chanteurs écoutent le son de cette façon, le son est automatiquement spatialisé et il ne sera spatialisé que s'il est émis de cette façon là, c'est à dire s'il est entendu de cette façon là.

Parfois, il arrive dans des stages, que des personnes disent : « sur les unissons, j'entends des sons en dessous ». En fait, il n'y a pas de sons en dessous. C'est simplement le résultat du changement de perception ; l'oreille commence à percevoir simultanément de l'aigu et du grave à l'intérieur de ce qui était auparavant une seule information et donc, une seule hauteur musicale.

On entend effectivement quelque chose de très grave qui n'est que le fondamental qui se met à sonner de plus en plus, tout en se séparant des fréquences aiguës des harmoniques.

Plus les harmoniques sont fortes, plus la résonance devient forte, plus le grave est fort, et plus l'aigu sonne clair et on obtient un contraste de plus en plus important dans toutes les voix, y compris les voix de femme.

2-6-2 unisson, accord et justesse

Le rapport voyelle-harmonique dépend de la hauteur du son que l'on chante ; le résultat sera différent pour un son grave et un son aigu.

Sur une même voyelle, on n'aura pas les mêmes résultantes selon la hauteur de la note chantée ; ce qui explique que dans un chœur qui chante dans une bonne acoustique (ex : dans un chœur de liturgie orthodoxe à voix mixte), sur l'unisson final, on entend un accord. Ce sont les différentes résultantes de la voyelle chantée, par exemple : la tierce sur les basses, la quinte sur les ténors ou les alti et l'octave sur les soprani.

Exercice : polyphonie à deux voix sur un mode donné

Daïnouri Choque dirige chaque voix d'une main en indiquant les changements de hauteur. Cet exercice vise à rendre conscient l'équilibre entre le sonore et le musical.

A chaque fois que l'on change de note, il faut essayer d'entendre le rapport des volumes des deux voix, ainsi que les trois espaces du son : les notes elles-mêmes, la résonance de l'ensemble, et les harmoniques résultant des voyelles.

Au fur et à mesure que l'écoute s'affine, on commence à percevoir une identité différente et très précise de chaque voyelle et le chœur reste juste tout le temps, grâce à la sensation de confort de la résonance.

2- 7 Effets bénéfiques des harmoniques sur le geste vocal

L'information acoustique globale contient tout ce qui a été « mis » à l'intérieur ; c'est l'amplificateur général, y compris des tensions et des émotions. Il y a une traduction sonore de tout ce qu'on fait, ce qui implique que ce travail sur l'oreille donne une lecture sonore très précise du travail vocal du chœur.

Quand on chante dans un chœur, si on écoute le son commun, on entend correctement à l'intérieur de l'espace sonore de l'ensemble, la voix des autres choristes et sa propre voix.

2-7-1 Réglage pneumophonique

Tout le travail sur la boucle audio-phonatoire gère un certain nombre de « réglages » dans le corps, notamment au niveau respiratoire : à partir du moment où on entend complètement le son, le corps s'organise pour que l'émission vocale soit la meilleure possible, c'est automatique.

2-7-2 Posture et tension musculaire

On constate qu'il y a moins de tensions, que le corps s'ouvre, avec une sensation d'être porté, qui est due au fait que les voix sonnent ensemble. Un certain nombre de réglages se fait y compris sur la posture, sur l'axe vertical, puisqu'on travaille sur l'oreille qui gère aussi l'équilibre et la sensation de notre place dans l'espace.

TROISIEME PARTIE VISUALISER POUR ENTENDRE ET EMETTRE

L'ANALYSE SONOGRAPHIQUE : OUTILS PEDAGOGIQUE ET DE REEDUCATION VOCALE

1 PRESENTATION DU MATERIEL SONOGRAPHIQUE

L'analyse sonographique apparaît en France dans les années 1950, véritable photographie sonore de la voix et élément de visualisation objectif de la qualité du son du timbre vocal.

Les émissions sonores peuvent ainsi faire l'objet d'une reproduction, d'une décomposition et d'une analyse acoustique.

La gamme musicale est assignée aux valeurs de la physique pour déterminer la hauteur, l'intensité et la durée, tous les paramètres pour réduire un phénomène « naturel » - la voix - à un calcul ou à un graphe, c'est à dire des objets scientifiques.

Le sonographe était à l'origine un appareil (schéma 8.1) comportant un cylindre vertical supportant une feuille de papier recevant le tracé d'un stylet scripteur horizontal correspondant au signal sonore enregistré et filtré dans une certaine bande de fréquence ; c'est le sonagramme analogique.

Actuellement, on utilise le sonagramme digital, procédé beaucoup plus précis et pratique dans les stations type EVA ; il existe également des logiciels facilement téléchargeables sur ordinateur à la portée de tous.

Le matériel sur lequel je travaille s'appelle « voce vista » et est disponible sur internet. Il permet d'analyser le signal sonore sous deux formes :

- le sonagramme (rouleau : scroll en anglais)
- le spectrogramme (spectre : power spectrum que j'utilise rarement).

1- 1 Le sonagramme

Le sonagramme délivre une représentation graphique de l'émission vocale en temps réel, excellent feed-back visuel, après une latence de quelques millièmes de seconde. Il est la représentation selon l'axe du temps des différentes fréquences qui composent un son.

Il se présente comme un rouleau de lignes horizontales, chaque harmonique ayant sa propre ligne ;

- l'axe horizontal représente le temps : de 0 à 8 (ou plus) secondes,
- l'axe vertical représente les fréquences des harmoniques de 0 à 4000Hz (jusqu'à 8000 Hz).

L'énergie acoustique (l'intensité) est représentée par différents degrés de noirceur (en couleur : du bleu au orange).

Ormezzano* propose l'analogie avec une portée : le temps se déroule selon l'horizontale de la gauche vers la droite ; les sons aigus sont représentés vers le haut, les graves vers le bas. Les lignes horizontales représentent les harmoniques du son, la ligne la plus inférieure est celle de la fondamentale.

Ces informations sont recueillies à partir de voyelles seules ou d'une petite phrase. Les consonnes sont visibles sous forme de bruit s'étageant sur toute ou partie du spectre, avec fondamentale pour les consonnes voisées, sans fondamentale pour les consonnes sourdes.

Deux modes de représentation (schéma 8.2) permettent de mettre en évidence soit :

- la fréquence fondamentale du son et ses harmoniques : sonagramme en bande étroite,
- les niveaux de densification de l'énergie acoustique dans le spectre sonore identifiant les formants : sonagramme en bande large (schéma 8.4).

1- 2 Le spectrogramme

Un autre mode de représentation graphique peut être utilisé qui, en présentant des coupes faites dans le déroulement chronologique à un moment donné dans le temps d'écoulement du rouleau, permet de visualiser l'amplitude des harmoniques et des formants qui sont les lignes verticales.

L'enveloppe spectrale indique la région de la définition des voyelles et la région du formant du chanteur. L'équilibre de résonance désirable dépend du rapport des pics d'énergie de ces deux zones.

Les fréquences des formants enrichissent les harmoniques de la voix source en certaines fréquences et se traduisent par des pics qui caractérisent l'enveloppe spectrale de chaque voyelle. Ces pics sont plus ou moins grands selon l'intensité. (schéma 8.3)

2 APPLICATION DE L'ANALYSE SONAGRAPHIQUE

Qu'advient-il de la voix quand elle rencontre les techniques de laboratoire ?
Comment ses propriétés, essentielles aux locuteurs peuvent-elles être décomposées ?

Que disent-elles de celui qui parle ?

Quel est l'impact en retour de la visualisation de sa voix ?

Quelles applications pédagogiques et ré-éducatives peut on en faire ?

2-1 En linguistique et phonétique

On parle d'empreinte vocale, plus fiable encore que l'empreinte digitale pour reconnaître un individu, utilisée en criminologie.

Les applications en sont les appareils à synthèse vocale et l'étude approfondie en phonétique des traits articulatoires :

- identification des consonnes et éléments d'information dans la transition des formants 2 et 3 correspondant aux différentes consonnes,
- étude sur le pouvoir de discrimination en psycholinguistique,
- étude de la segmentation phonético-phonologique établissant une correspondance entre graphie et phonie,
- identification des voyelles et de leurs formants caractéristiques.

Je reproduis ici un tableau qui s'inspire de celui de Ralph Appelman* donnant les fréquences des trois premiers formants des voyelles françaises

| Phonème | Homme | | | Femme | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Formant 1 | Formant 2 | Formant 3 | Formant 1 | Formant 2 | Formant 3 |
| i (riz) | 300 | 1950 | 2750 | 400 | 2250 | 3300 |
| é (blé) | 450 | 1800 | 2480 | 500 | 1900 | 3250 |
| è (belle) | 530 | 1500 | 2500 | 550 | 1750 | 3250 |
| a (chat) | 550 | 1200 | 2500 | 675 | 155 | 3300 |
| o (rose) | 450 | 700 | 2500 | 500 | 1000 | 3000 |

2-2 En pédagogie du chant :

On peut s'interroger sur l'utilisation pédagogique de cette technique :

- peut-elle accélérer le processus d'apprentissage ?
- quels services peut-il rendre à l'élève et au professeur ?

2-2-1 Recherche fondamentale

Selon les expériences de Sundberg, les renseignements fournis par l'analyseur sont très riches :

- le vibrato : sa présence ou non, sa qualité (amplitude, régularité)
- le formant du chanteur
- l'équilibre du timbre (chiaroscuro)
- le legato et l'articulation consonnes-voyelles
- la précision des départs (sans bavure correspondant à des coups de glotte) et arrêts de son (correspondant à la reprise de souffle qui doit être silencieuse donc invisible)
- la modification des voyelles

En reproduisant la phonation électroniquement, le chanteur et ceux qui l'écoutent peuvent avoir deux approches différentes de la voix chantée : visuelle et auditive.

Cette technologie permet à l'élève et au professeur d'entendre et de voir, simultanément, le son qui a été enregistré.

Michel Hart*, professeur de chant, a présenté le sonagramme lors d'une réunion pédagogique de l'Association Française des Professeurs de Chant (AFPC) en 2002 et publié un article reprenant les propos de Sundberg* et ceux de trois pédagogues américains démontrant l'utilité de ce feed-back visuel pour la pédagogie de la voix chantée :

Il cite tout d'abord William Vennard* dont l'ouvrage paru en 1967 contient de nombreuses reproductions de sonagrammes et une réflexion sur l'apport de la science pour les pratiques du chant (sur la résonance, les voyelles)

Egalement en 1967, Ralph Appelman* s'engage dans l'étude minutieuse des comportements articulatoires et propose l'énumération de chaque position vocalique et consonantique, sonagramme et radiographie à l'appui.

En 1976 et 1980, Berton Coffin* publie deux ouvrages qui s'appuient sur les travaux de Pierre Delattre*, qui rapportent son expérience pédagogique et ses recherches en acoustique auprès d'un laboratoire.

Il réalise une charte chromatique ; il s'agit d'une graduation d'une suite de voyelles, de la plus fermée à la plus ouverte – représentées par les symboles de l'alphabet phonétique international – et classées en séries calculées par ordinateur pour faire coïncider les formants de chacune de ces voyelles avec les sons chantés.

Son deuxième ouvrage contient des exercices avec cette charte ainsi que des reproductions de sonagrammes et de spectrogrammes permettant d'évaluer précisément l'amplitude des formants et des harmoniques et allant dans le même sens que les recherches de Husson* sur le phénomène d'impédance.

2-2-2 Actualité pédagogiques

Aux Etats-Unis, des professeurs de chant ont élaboré depuis les années 1990 toute une pédagogie vocale autour de la visualisation du spectre vocal.

Richard Miller*, dans son centre d'art vocal (Otto B Schoepfle Vocal Arts Center) au conservatoire d'Oberlin, propose aux jeunes chanteurs de travailler leur voix sur un équipement spectrographique très élaboré.

Garyth Nair* propose un logiciel vocevista disponible sur internet, permettant l'installation d'un analyseur sonographique et en explique l'intérêt pour la pédagogie du chant, illustrations graphiques à l'appui.

Ainsi, il démontre que le chanteur ou le pédagogue peut voir et analyser :

- la présence du formant du chanteur,
- la présence et la qualité du vibrato,
- la qualité de début et fin de son, (en tenue de son ou staccato),
- la qualité des voyelles et de leur définition formantique,
- la qualité des transitoires entre consonnes et voyelles,
- la qualité générale du tracé laissant augurer la présence de tension musculaire inadéquate et d'un réglage pneumo-phonique inapproprié

2-2-3 Expérience personnelle

En pédagogie vocale, outre tous ces aspects déjà cités, il me semble intéressant d'utiliser ce logiciel en complément de la technique vocale pour aider les chanteurs (débutants, choristes, musiciens, enseignants...) à :

- **développer une écoute globale par la perception des harmoniques**, par des exercices vocaux avec des séries voyelliques (telles que le propose Daïnouri Choque).

La visualisation du dessin des différentes harmoniques sur le spectre vocal leur permet de concevoir et de percevoir ce qu'ils avaient du mal à entendre auparavant :

- o la présence du fondamentale
- o le spectre sonore et le dessin formé par le déroulement des différentes harmoniques

ex : en chantant lentement : **o- eu- é- i- é- eu- o**, le chanteur dessine un cône dont la pointe est formée par le formant (F2) aigu du **i** et les bases par le formant F2 plus grave du **o**. (voir sonagramme série voyellique)

Il affine son écoute en suivant graphiquement chacune des harmoniques formées qui s'inscrivent comme des petites marches successives d'un escalier en fonction de chacune des positions intermédiaires articulatoires dues aux mouvements coordonnés de la langue et des lèvres. Ce travail aide à la conscientisation et la mémorisation de la place des voyelles.

- **intégrer la notion d'intensité vocale en terme de timbre vocal** par
 - o la visualisation des harmoniques,
 - o leur nombre,
 - o leur qualité,
 - o leur répartition fréquentielle sur le spectre,
 - o la présence ou non du formant du chanteur vers 2800 Hz

Sans être physicien, il est très facile pour le chanteur, de voir sur le graphique qui s'inscrit pendant qu'il chante, le nombre de lignes horizontales, leur densité de couleur proportionnelle à l'intensité (que l'on peut faire apparaître également en dB).

Il peut également se faire une idée relative des différentes intensités de son émission vocale en regardant la forme globale du signal sonore apparaissant en haut de l'écran.

Je peux alors travailler plus facilement sur les nuances (forte, piano, crescendo, decrescendo) en faisant ressentir au chanteur la nécessité de garder le timbre (richesse de tout le spectre harmonique) tout en réglant les différences de pression sous-glottique et débit expiratoire.

- **conscientiser les notions de hauteur juste et relative, d'intervalle :**
certains débutants ayant des problèmes d'intonation comprennent et intègrent plus facilement ces notions.

Ex : en comparant visuellement leur production vocale avec un exemple vocal (en imitation) ou en vérifiant de visu la réalité des harmoniques : le saut d'octave permet de voir la fondamentale F0 de l'octave supérieure à la même hauteur (fréquence identique) que la première harmonique de l'octave inférieure.

2-3 En phoniatry

2-3-1 Utilisation de la sonographie dans la littérature

Les principaux paramètres recueillis sont :

- le rapport entre la quantité d'harmoniques et le bruit dans le signal acoustique généré au niveau glottique,
- les renforcements harmoniques : formants,
- la stabilité, les modalités d'attaque et d'extinction du son (coup de glotte, quantification des fuites d'air),
- le rapport entre l'intensité des harmoniques situés au dessus de 1000 Hz et ceux situés au dessous.

selon B Colombeau*, les voix moins riches ou de moins bonne qualité auraient une moins grande densité d'harmoniques aiguës. La sonographie peut revêtir un intérêt tout particulier pour juger des modifications vocales apportées par un traitement ou dans l'évaluation de la voix chantée.

2-3-2 Présentation de mon travail personnel : utilisation du sonagramme en consultation phoniatry au CHR d'Orléans pour les pathologies vocales

2-3-2-1 Objectifs :

mon propos : "Démontrer l'impact de la visualisation du son sur la boucle audio-phonatoire et l'émission vocale."

autrement dit: « Comment aider les personnes (chanteurs, patients) à mieux percevoir le son et le geste vocal dans sa globalité, comme une entité spectrale, mécanique et psychique ? »

2-3-2-2 Les paramètres recherchés et analysés

- **paramètres spectraux :**
 - o la hauteur du fondamental usuel
 - o le phrasé en langage parlé et en chant : prise de conscience de la fréquence fondamentale et des modulations spontanées, de la modification du spectre (timbre/ nombre d'harmoniques, hauteur, serrage) en voix projetée et voix d'appel
 - o la justesse : visualisation de la fréquence fondamentale
 - o la visualisation des harmoniques, facilitant leur audition
 - o le timbre vocalique, visualisation des formants des voyelles
 - o les traits articulatoires des voyelles et des consonnes

- **paramètres mécaniques :**
 - o qualité de la vibration laryngée :
 - accolement des cordes vocales : visualisation du début et de la fin de son (coups de glotte/ fuite d'air)
 - réglage pneumo-phonique, régularité de la vibration
 - présence du vibrato
 - o visualisation des changements de mécanismes laryngés
 - o qualité sonore ou non des inspires, présence de bruits parasites
 - o vitesse d'élocution, qualité et durée des pauses inspiratoires
 - o Intensité vocale

- **paramètres psychiques :**
 - o concentration, présence à soi
 - o capacité d'analyse sensorielle : auditive, visuelle, proprioceptive
 - o auto-contrôle : écoute différée, comparaison et adaptation
 - o rapport à l'autre, à l'espace ; rapport patient/ soignant

Le caractère ludique des dessins sonographiques a un grand impact sur tous ces facteurs : la diminution d'appréhension et le plaisir se lisent sur le tracé, notamment chez les enfants, dont la concentration est maximale.

La visualisation extemporanée favorise la spontanéité ; la relecture aide à la compréhension et à la modification du geste vocal.

2-3-2-3 Les exercices proposés

2-3-2-3-1 Modalités pratiques :

L'intérêt de ce logiciel sonographique est d'être très facilement utilisable sur un ordinateur portable. En ce qui me concerne, je l'installe sur mon bureau devant le patient de telle manière que nous puissions regarder ensemble le spectre sur l'écran ; le patient tient le microphone à la main et le place devant sa bouche.

L'inconvénient majeur est l'impossibilité d'étalonnage réel de l'intensité du signal sonore recueilli. Le réglage des différents paramètres (amplitude du champs fréquentiel, temps d'enregistrement) se fait en fonction des exercices et est facilement modulable.

Très souvent, le tracé sonographique défile pendant la consultation et je réalise des temps d'enregistrement au décours d'un exercice ; l'intérêt étant de permettre de comparer et de visualiser les modifications réalisées.

La consultation phoniatrice me permettra donc de faire le bilan vocal mais également d'analyser les raisons d'un dysfonctionnement éventuel et de mettre en œuvre avec le patient des stratégies de bonne utilisation de soi.

2-3-2-3-2 Le bilan phoniatrice :

Il se déroule avec les différents temps habituels entrecoupés de séquences d'enregistrements ; d'autres exercices sont rajoutés systématiquement ou en fonction des difficultés ou des pathologies rencontrées et sont également enregistrés:

- interrogatoire, voix spontanée, lecture simple et en voix projetée
- appel et comptage
- test **S/Z ; ch/j ; F/V**
- note tenue sur **a**
- sirène sur **Z, Brr, a**
- série de voyelles sur note tenue : **a e i ; i é eu o**
- consonnes silencieuses, voix chuchotée
- voix parlée recto-tono
- voyelles sonorisées par percussion de la joue, puff d'air
- mécanismes lourds, légers, fry, sifflet
- jeux vocaux en imitation sur différentes hauteurs et intensités : sirènes, phrases, onomatopées, prénoms...
- production spontanée : bâillement, rire...
- poésies, chansons

Un tableau récapitulatif regroupe ces exercices dont je présente les sonagrammes correspondants. Ils sont commentés en fonction des éléments visualisés et des indications fournies sur la qualité du geste vocal de chacun des patients sélectionnés.

2-3-2-3-3 Le suivi en rééducation phoniatrice

De nombreux patients ont pu être suivi sur plusieurs séances, donnant lieu à des enregistrements successifs de sonagrammes des exercices .

La comparaison objective par la visualisation et l'audition du geste vocal à différentes périodes permet de mesurer les progrès réalisés (et ceux à faire).

2-3-2-4 Présentation de cas cliniques

Parmi mes patients, j'ai retenu des cas qui me semblent intéressants, d'un point de vue clinique et iconographique, pour démontrer l'intérêt de la visualisation sonographique pour le contrôle du geste vocal.

2-3-2-4-1 Troubles dysphoniques

- **une jeune femme pour un bilan vocal d'une dysphonie importante (ED)**

Au cours des exercices enregistrés au sonagramme, elle a pu visualiser en direct la modification des courbes de sa voix; l'imitation vocale et graphique a eu un très fort impact et lui a permis de finir la séance en laissant sur le graphe une magnifique sirène sonore avec un vibrato splendide (elle prétendait 20 minutes avant ne jamais chanter, ne pas pouvoir le faire)

- **des enseignantes dysphoniques :**

- o **une professeur d'éducation sportive (BEL):** visualisation du forçage (attaque glottique sur les consonnes, en début de son)
- o **une jeune stagiaire (CHA):** visualisation des pauses inspiratoires (durée et qualité sonore), de la durée du temps voyellique et des consonnes, des modulations (reproduction possible d'un son recto-tono par la visualisation du tracé plat de la fréquence fondamentale) ; lui permettant de modifier au fur et à mesure son geste vocal et de mieux entendre (en le voyant) les modifications du timbre vocal.
- o **Une enseignante se plaignant d'une voix mal timbrée (CLE) :** le travail avec les harmoniques lui permet d'enrichir son timbre.

- **des chanteurs amateurs et professionnels :**

- o **un choriste de 70 ans (PIN)**
- o **une jeune chanteuse professionnelle de variété (KOU)**

Tous les deux sont sans connaissance de technique vocale et ont pu visualiser les signes de forçage vocal et éprouver des sensations proprioceptives de bonne gestion pneumophonique.

- **d'autres patients venus en bilan (LER,STO, PEL)**

- **de jeunes enfants (PIE, HEN)**

- **un petit garçon à la voix éraillée (LAL)** (accompagné par son papa musicien à la belle voix grave) repartant avec une jolie voix d'alto, après avoir visualisé l'écart d'une octave des harmoniques séparant la voix de son père avec la sienne (non muée)

2-3-2-4-2 Autres pathologies vocales

- **un jeune homme traumatisé crânien qui présente des troubles arthriques et dysphoniques majeurs (BOU)**

Paralysie d'une corde vocale suite à une intubation prolongée pendant son coma, lésion du tronc cérébral, le privant complètement de la communication verbale relayée par une boîte vocale dont il se sert facilement. Sa motivation est telle qu'il investit totalement le sonagramme qu'il manipule avec aisance pour faire ses enregistrements en cours de séances : il reconnaît et analyse les quelques sons qu'il produit.

Les dernières séances enregistrées montrent un net progrès avec conscientisation des traits articulatoires des voyelles et des consonnes.

- **une femme de 60 ans présentant une aphonie spasmodique depuis 2 ans, sans lésion des cordes vocales (WAS)**

Le sonagramme lui permet de visualiser la hauteur de la fréquence fondamentale (très élevée) due au serrage des bandes ventriculaires et de la comparer avec des sons qui lui "échappent" lors de la toux, d'un murmure sans forçage (rare), ou plus récemment du bâillement fortement sonorisé avec vibration normale des cordes vocales.

- **un transsexuel désirant féminiser sa voix (ROU) :**

Le sonagramme permet de situer rapidement la hauteur du fondamental usuel et par imitation avec ma voix de visualiser les courbes mélodiques, intonations avec enrichissement harmoniques et allongement des voyelles, attaque douce des consonnes, de conserver toute l'étendue de sa tessiture et de maîtriser les changements de mécanisme laryngé (visualisation des zones de transition de mécanisme lourd, léger).

- **un homme souffrant d'une voix sans assurance (JOL)**

La visualisation sur le sonagramme facilite la concentration et l'acceptation de sa voix enregistrée (qu'il ne supporte pas autrement), permettant un travail rigoureux et prolongé dans le temps. Travail sur les harmoniques, les fréquences graves, augmentation de l'intensité (visualisation par l'ampleur du signal sonore et par la couleur plus ou moins intense des harmoniques) non par la force et la rapidité du débit vocal mais par l'enrichissement harmonique, travail sur les intonations, les courbes mélodiques, les pauses inspiratoires et la qualité des silences.

- **un homme se plaignant de voix trop nasale (AKH)**

Le sonagramme a facilité la prise de conscience de la qualité nasale et orale des voyelles.

- **un homme de 70 ans, AVC gauche, aphasie de Wernicke (MAR)**

Ancien chanteur de variété, souffrant de manque de mots important mais ayant gardé toutes ses capacités vocales dont il nous offre un bel exemple avec un superbe formant du chanteur et une excellente gestion du souffle.

SONAGRAMMES

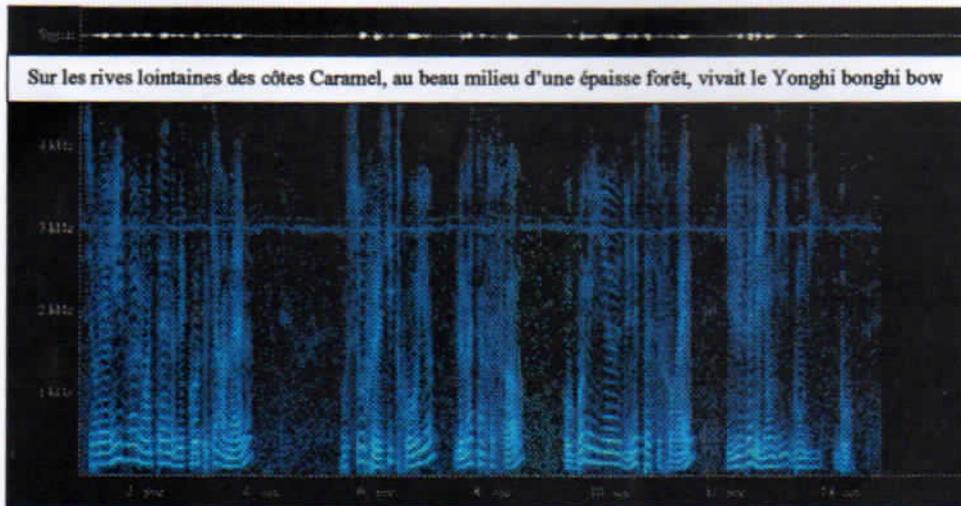
EXERCICES SONAGRAMME

| EXERCICES | Prise de conscience | Pathologie | spectrogramme visuel | |
|---|---|--|---|---|
| VOIX SOUTENUE lecture | fondamental usuel courbe mélodique vitesse, qualité de silence qualité de la reprise inspiratoire qualité du timbre | fondamental trop grave, aigu monotone ou surmodulation débit trop rapide inspire bruyante nasalisation pauvreté des harmoniques peu de volume sonore forçage en surpression | premier trait : valeur F0 tracé de la courbe irrégulier visualisation des secondes nuage inspiratoire nuage expiratoire peu de tracé parallèle à F0 valeur dB de F0 et autres F brouillard expiratoire | 1 |
| voix d'appel | hauteur des notes d'appel attaque qualité du timbre intensité | pas d'augmentation de hauteur coup de glotte pauvreté des harmoniques forçage , peu de volume sonore | hauteur note et valeur en Hz trait vertical réunissant H peu de tracé parallèle à F0 valeur dB de F0 et autres F | 2 |
| S / Z long S / Z court (CH / J ; F / N) | pas de vibration laryngé, bruit expiré vibration laryngée début et fin de son: détente inspiratoire son voisé et non voisé | surpression serrage laryngé, blocage en apnée, CV fermées pas de vibration CV | brouillard expiratoire irrégularité de fondamentale trait vertical en début de son absence de fondamental | 3 |
| sifflantes sur Z | différents registres: aigu grave amplitude de la tessiture zones de passage réglage pneumophonique | méconnaissance d'un registre tessiture restreinte trou impossibilité | comparaison/ courbe témoin idem cassures, irrégularités arrêt du tracé | 4 |
| A note tenue : | spectre harmonique, formants corrélation entre hauteur et intensité intensité et richesse harmonique qualité de début, fin de son qualité du timbre sonore vibrato: présence et régularité | pauvreté en harmoniques forçage dans les aigus grave écrasé, sans soutien coup de glotte, fuite d'air timbre pathologique éraillé, voilé vibrato absent ou trop irrégulier | peu de tracé parallèle à F0 tracé (ir)régulier: octave F'1=2F1 tracé irrégulier, brouillard expir trait vertical, nuage inspir trait horizontal entre Har, nuage pas d'ondulation sur fréquence sup | 5 |
| début de son dur mou | | | | 6 |

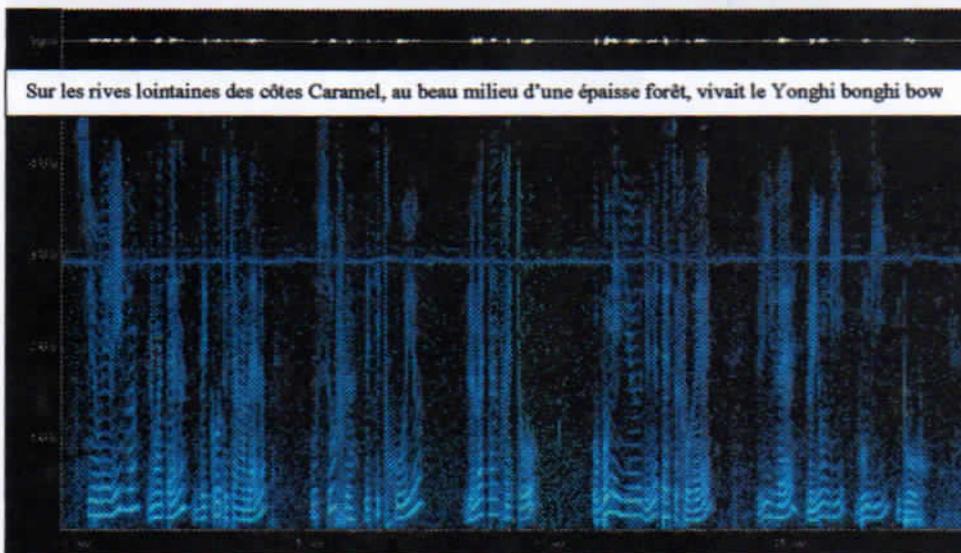
EXERCICES SONAGRAMME

| EXERCICES | Prise de conscience | Pathologie | spectrogramme visuel | |
|--|---|---|---|----|
| <p>série voyellique</p> <p style="text-align: center;">a-é-i o-eu-é-i</p> <p>sur différentes hauteurs vocalisation du triangle des voyelles: a-è-é- i- u-ou- o-a</p> | <p>visualisation, perception auditive et renforcement des harmoniques et des différents formants par la perception du geste articuloaire: voyelles antérieure postérieure, ouverte, fermée, triangle des voyelles</p> | <p>pauvreté en harmoniques voyelles mal définies difficulté à lier les sonorités mauvaise coordination pneumo- phonique; trouble de l'articulation mauvaise perception auditive</p> | <p>(peu de) tracé parallèle à F0 harmoniques f1 f2 f3 f4 (ma) définis (ir)régularité des tracés formantiques (pas de) lien entre les lignes F0 f1 f2 (in)capacité à reproduire le graphe par imitation ou de soi-même manque de souplesse, de vibrato</p> | 7 |
| <p>JEUx ARTICULATOIRES</p> <p>consonnes silencieuses voix chuchotée SI SU voyelle percutee</p> | <p>caractéristique de chaque consonne pression sous-glottique hauteur (formant cavité buccale) caractéristique voyelles, formant</p> | <p>trouble de l'articulation serrage laryngé hyperpression surarticulation trouble de l'articulation</p> | <p>intensité click trait vertical explosive densité brouillard sifflante chuintante à différente hauteur, formant voyelle trait vertical avec formants</p> | 8 |
| <p>JEUx VOCAUX</p> <p>puff d'air mécanisme fry</p> | <p>1 vibration des cordes vocales/ seconde formant voyellique vibration très lente des cordes vocales grande détente du larynx</p> | <p>pas de vibration cordes vocales vibration des bandes ventriculaires serrage laryngé</p> | <p>click vertical avec formants grésillement des basses fréquences</p> | 8 |
| <p>JEUx VOCAUX</p> <p>voix parlée recto-tono sirène Br sirène "oh oui"</p> | <p>visualisation des différents mécanismes lourds et légers visualisation des harmoniques et du formant du chanteur, vibrato</p> | <p>pas de contrôle conscient des différents mécanismes serrage laryngé</p> | <p>(ir)régularité du graphe zone de rupture de la courbe pas de vibrato, tracés irréguliers</p> | 9 |
| <p>CHANSONS</p> | <p>aisance vocale: vibrato, harmoniques reprise d'air formant du chanteur</p> | | <p>vibrato large, disparaît aigu, forçage</p> | 10 |

TEXTE en VOIX SOUTENUE

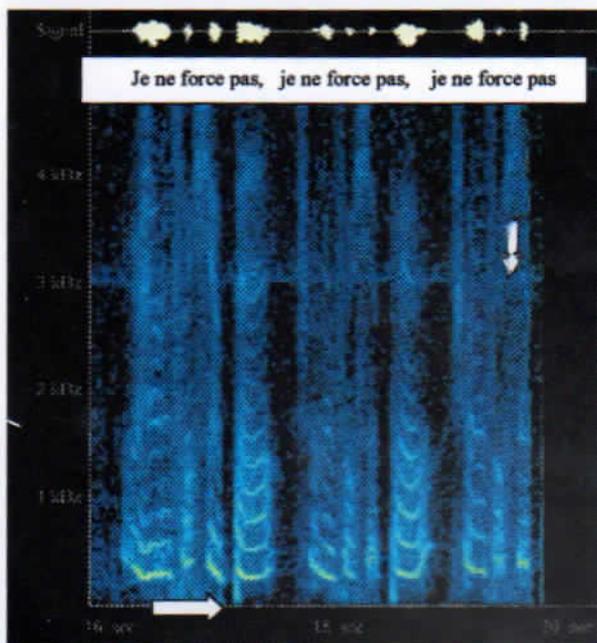


Début de séance : le fondamentale usuel F0 entre 105 Hz et 203 Hz harmoniques, longues respirations silencieuses pas de signe de forçage



fin de séance : F0 est monté et varie entre 158 Hz et 305 Hz

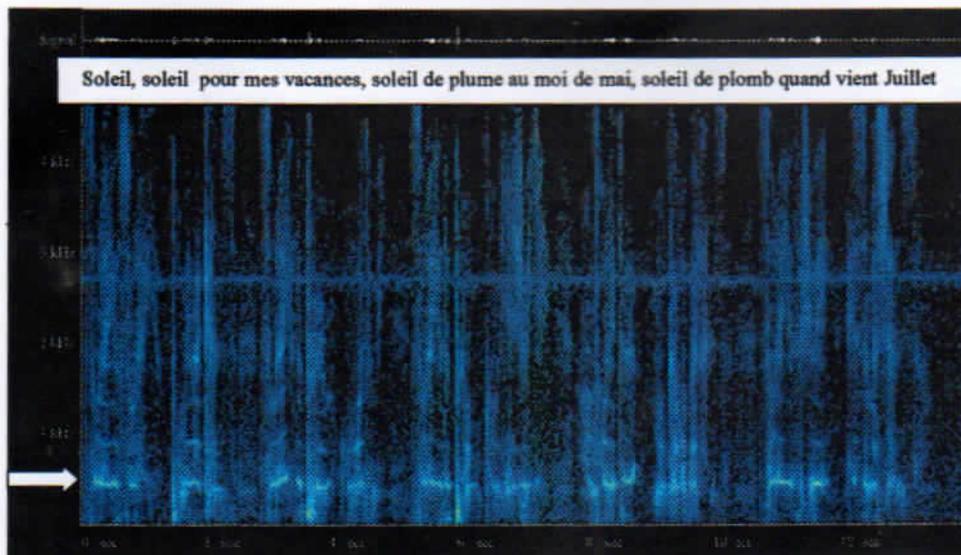
ROU 1 ROU 2 -Homme de 35 ans trans-sexuel désirant féminiser sa voix



signes de forçage : coup de glotte (trait vertical réunissant les harmoniques(→) et sur-pression sous-glottique (« brouillard » expiratoire ↓)

ED1 - Femme de 25 ans dysphonique

TEXTE en VOIX SOUTENUE



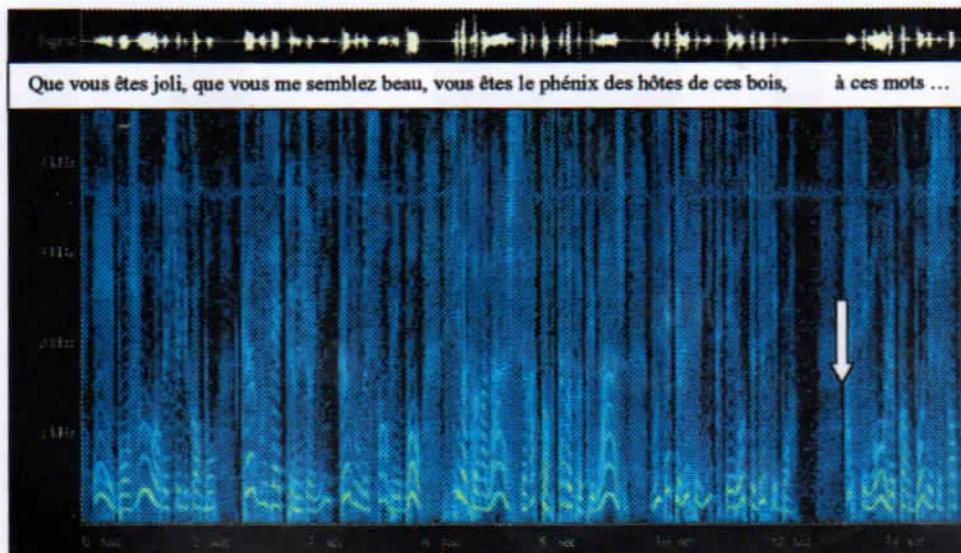
Intensité très faible
F0 : 460Hz(→); forçage
trace d'harmoniques
serrage laryngé et des
bandes ventriculaires

WAS1- Femme de 60 ans : aphonie spasmodique



étirement des voyelles,
avec nasalisation
harmoniques aiguës
présentes presque sur
tout le tracé, souffle
pendant l'inspire (↓)

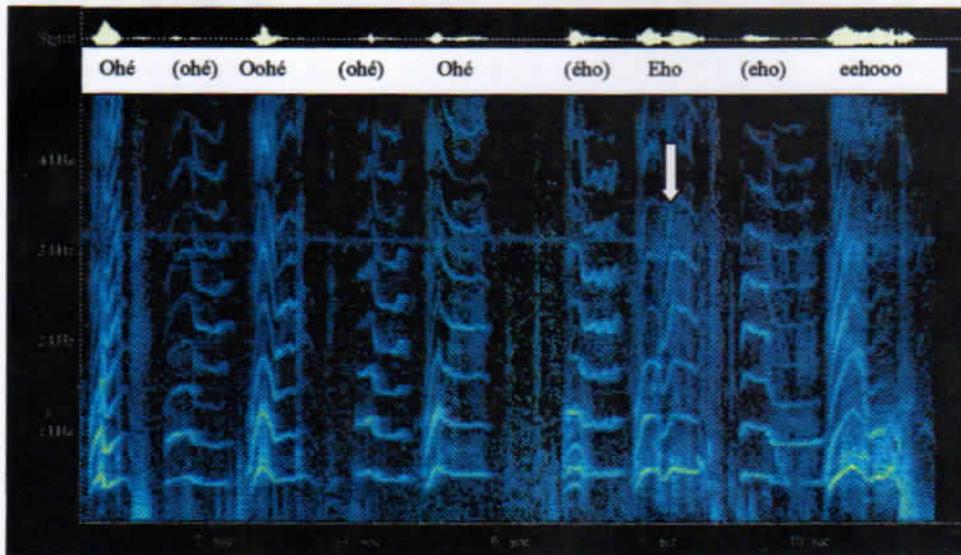
AKH 1 -Homme de 50 ans se plaignant de voix nasalisée



Inspires courtes et
broyantes, forte intensité
avec trop de pression
sous-glottique
(brouillard inspiratoire et
expiratoire)

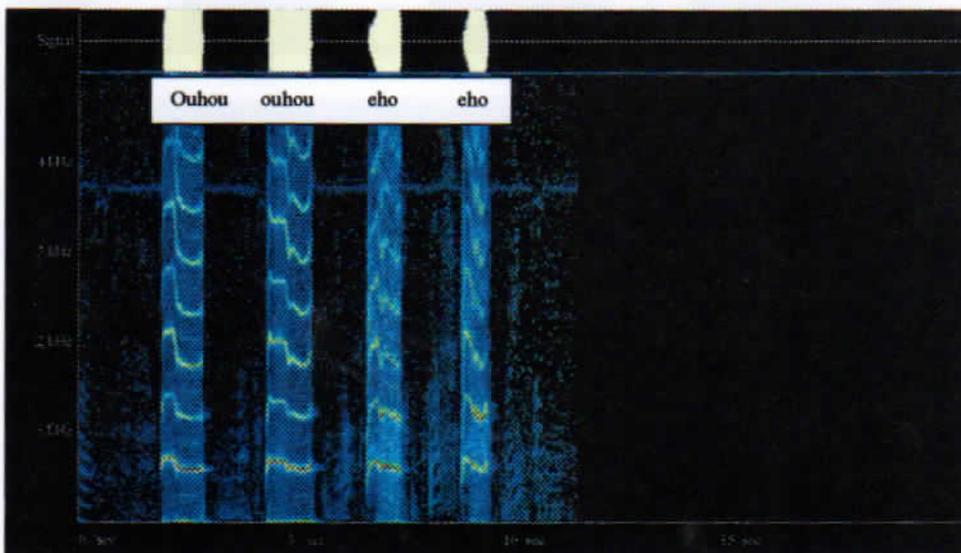
LER1-Femme de 50 ans, légère dysphonie

VOIX D'APPEL



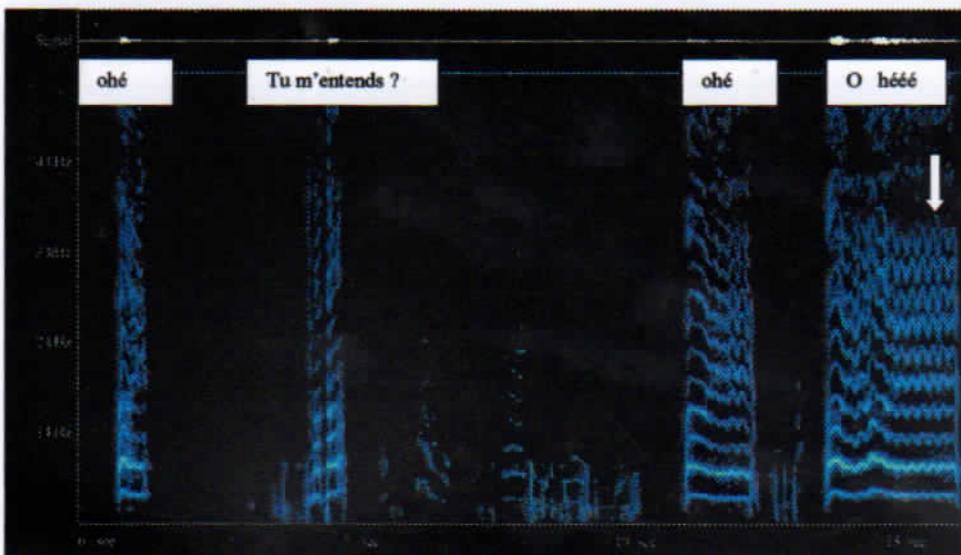
STO1 - Femme de 70 ans dysphonique ; appel en imitation

Attitude de forçage : reprend la note plus haut, plus fort que l'exemple donné, coup de glotte en début de son, serrage laryngé dans le temps articulaire (cassure ↓) pas de vibrato, donne toute l'énergie au début, aucun soutien expiratoire, grande fatigue en fin d'exercice



LER3 - Femme de 50 ans dysphonique

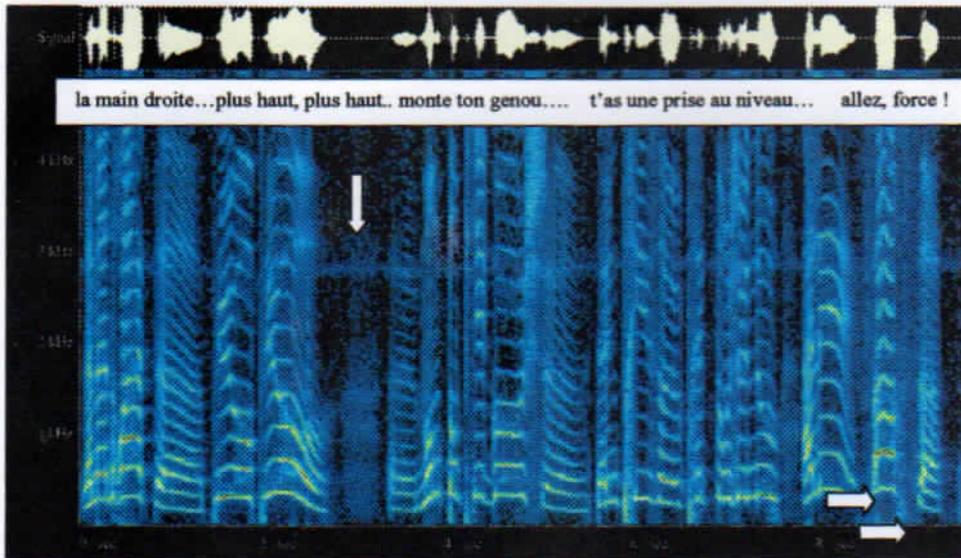
Petit coup de glotte sur les deux premiers appels **ou**; serrage laryngé très important sur les deux derniers **é** : gros coup de glotte, irrégularité des harmoniques, bruit expiratoire (fatigue, ou problème articulaire sur le son **é** ?)



PIN 1 - Homme de 70 ans, choriste dysodique en grande souffrance psychique

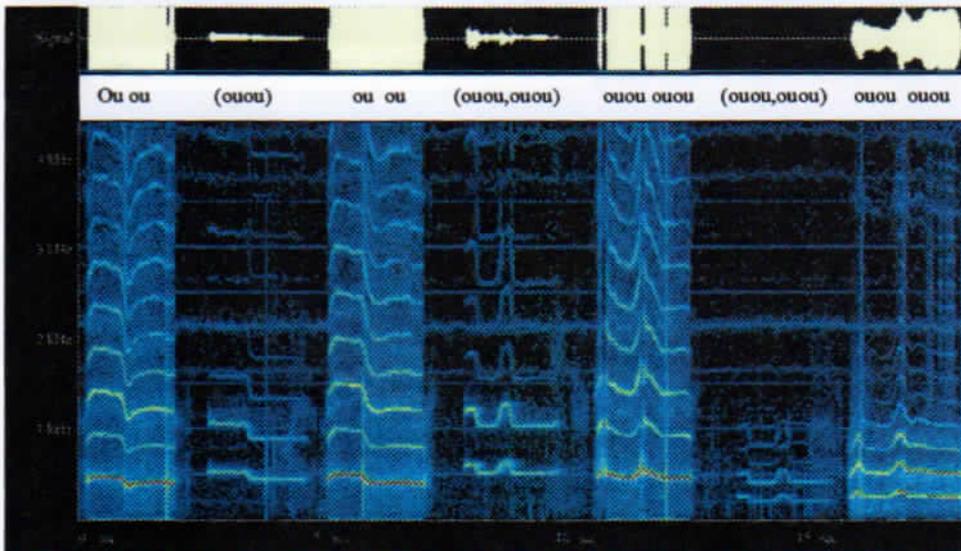
Chanteur en hyperpression sous-glottique sur les deux premiers appels ; Apparition du vibrato ample et régulier (↓) et du formant du chanteur, en fin d'un appel, sans forçage

VOIX D'APPEL



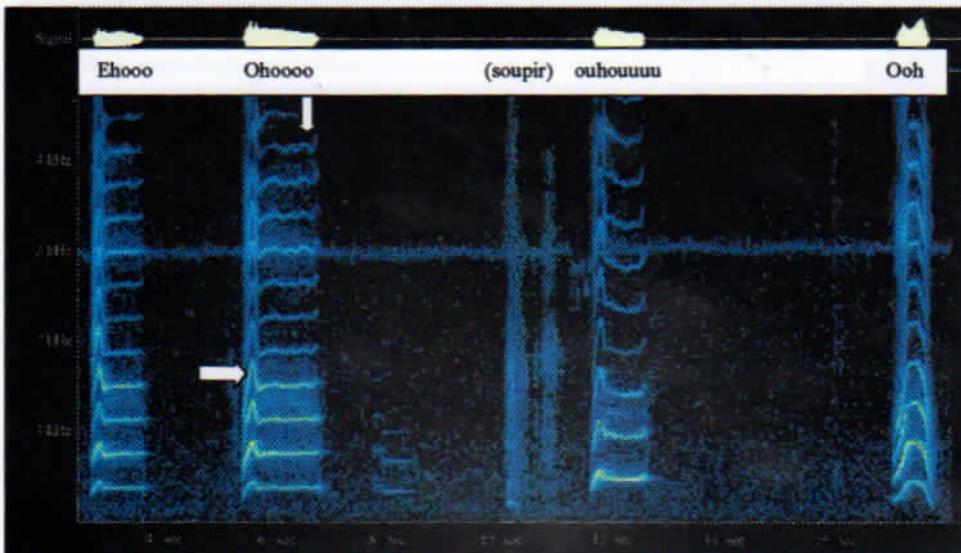
inspire bruyante ↓ et coups de glotte → , expire avec fort débit d'air : « plus haut » avec moins de forçage que « allez force ! »

BEL - Femme de 40 ans dysphonique professeur de sport en voix professionnelle



Irregularité des traits des harmoniques, signe d'une instabilité expiratoire. Restitution tonale approximative, recherche l'intensité en forçage avec appui glottique

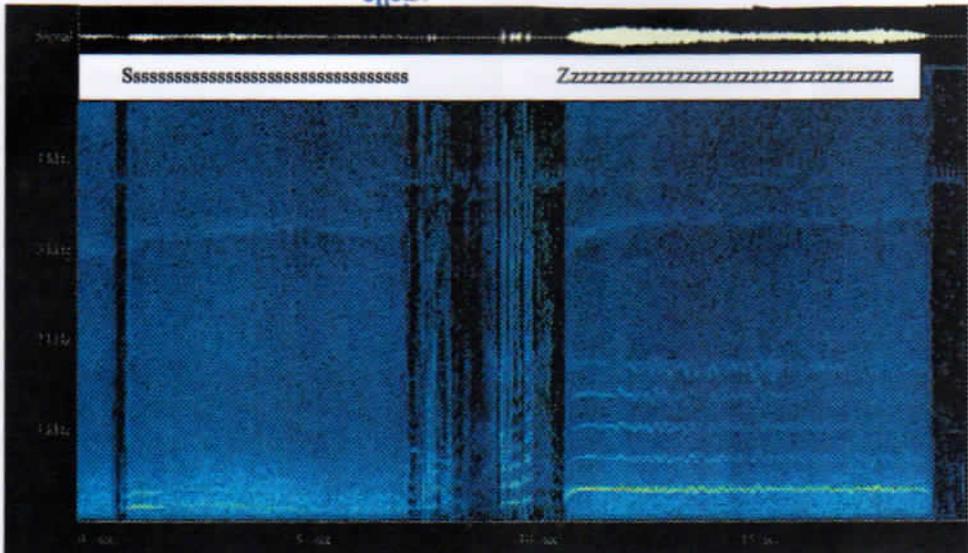
HEN1 - Enfant de 7 ans, dysphonique, dysodique ; appel en imitation



Coup de glotte (trait vertical →) Apparition d'un petit vibrato irrégulier (↓). Renforcement vers 3000Hz : Forçage avec bon placement vocal dans la tessiture aiguë

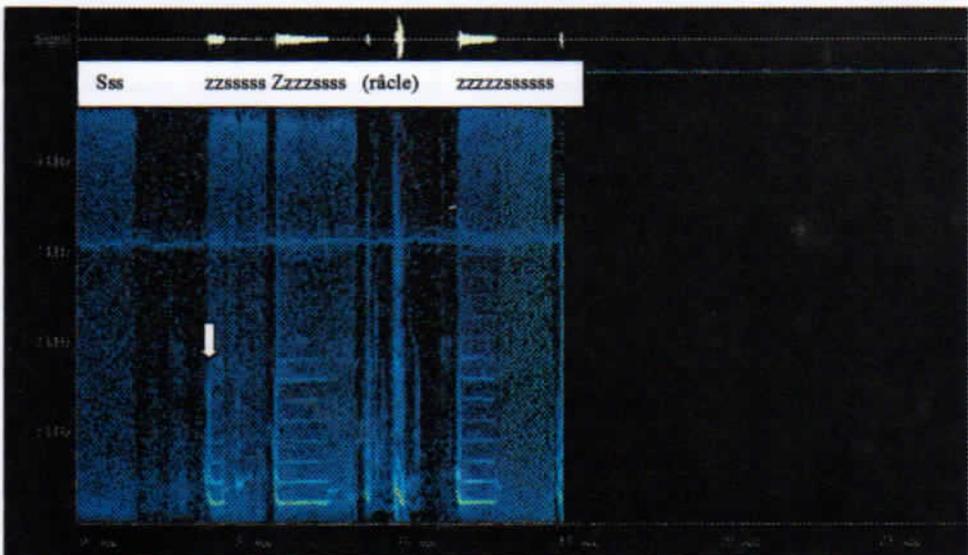
CLE1 - Femme de 35 ans, enseignante, fatigue vocale, voix peu timbrée, grave

TEST S/Z



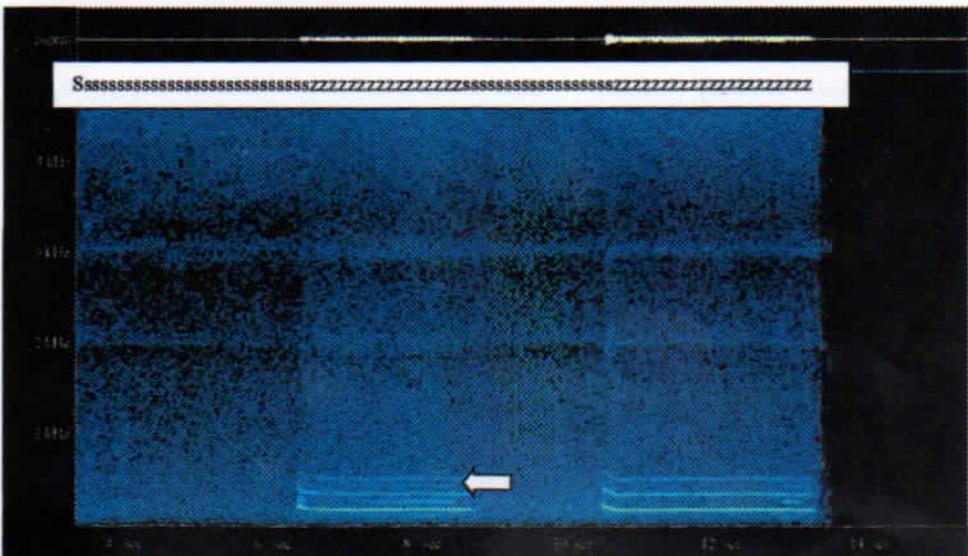
Hyper-pression sous-glottique sur S avec fort « brouillard » expiratoire ; vibration laryngée en tension : elle choisit une note 340 Hz mi3 trop haute, vibrato très irrégulier

LER5 -Femme de 50 ans dysphonique, test S/Z



Trait vertical partant du haut↓ : coup de glotte avec hyper-pression maximale ; cherche la puissance (F2 à F5)

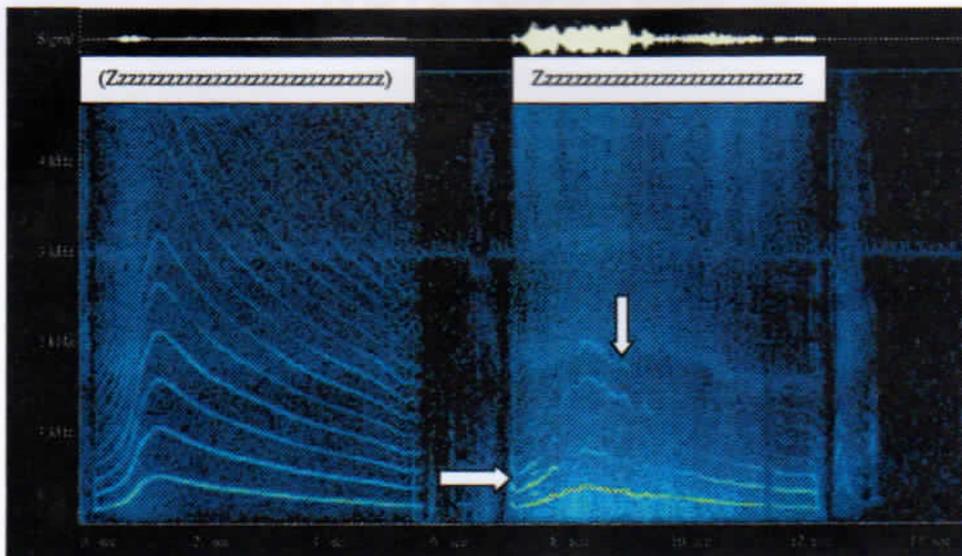
ED3 - Femme de 25 ans dysphonique, début de son sur Z



Tendance à l'hyper-pression sous-glottique : brouillard expiratoire sur s et z, bonne vibration laryngée mais petit coup de glotte et léger serrage (petit trait horizontal entre les harmoniques ←)

KOU1 -Femme de 22 ans, chanteuse professionnelle de variété , test S/Z

SIRENE SUR Z



Hyper-pression,
coup de glotte, (→)
brouillard expiratoire,
irrégularité du trait (↓)
des harmoniques,
l'enfant recherche
l'intensité

LAL4- Enfant de 9ans dysodique, sirène en imitation

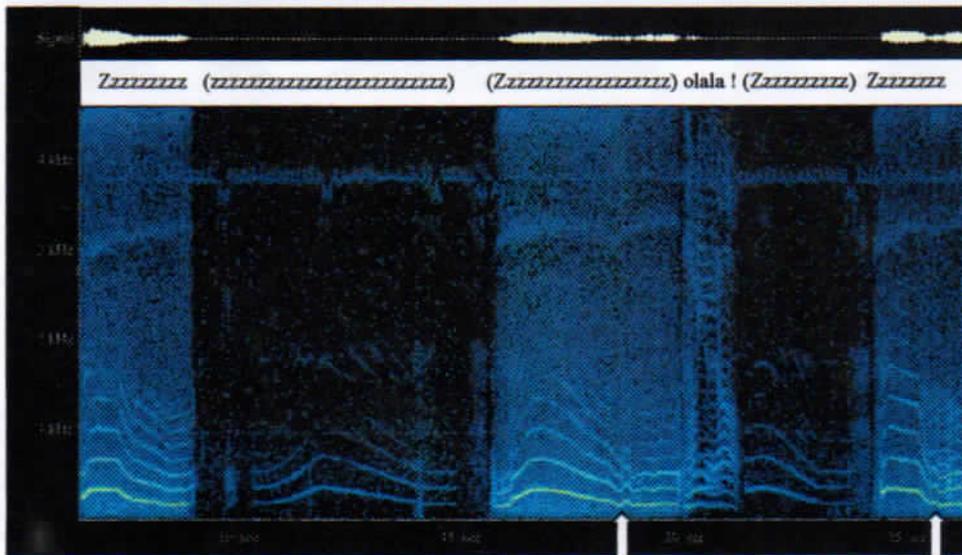
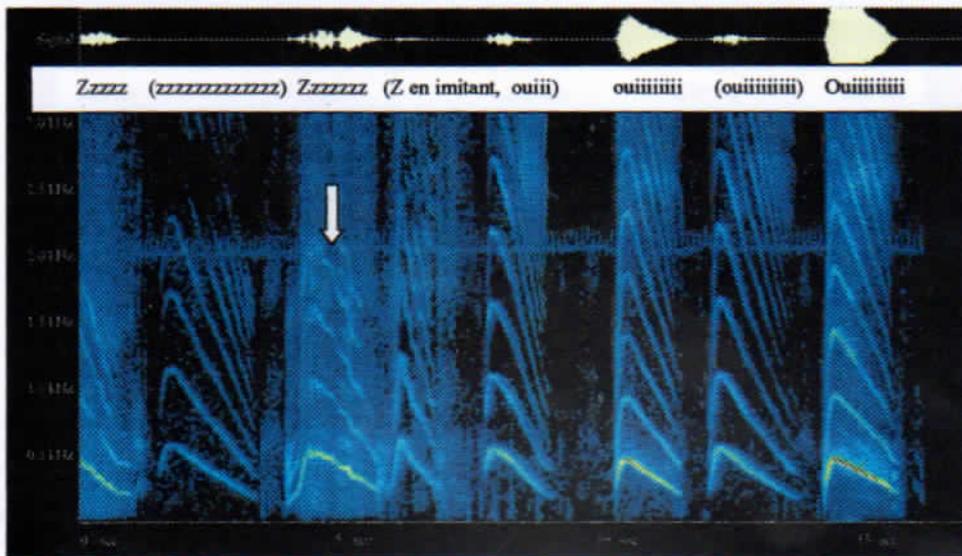


Image de cassure (↑)
au changement de
registre entre
mécanisme léger et
mécanisme lourd

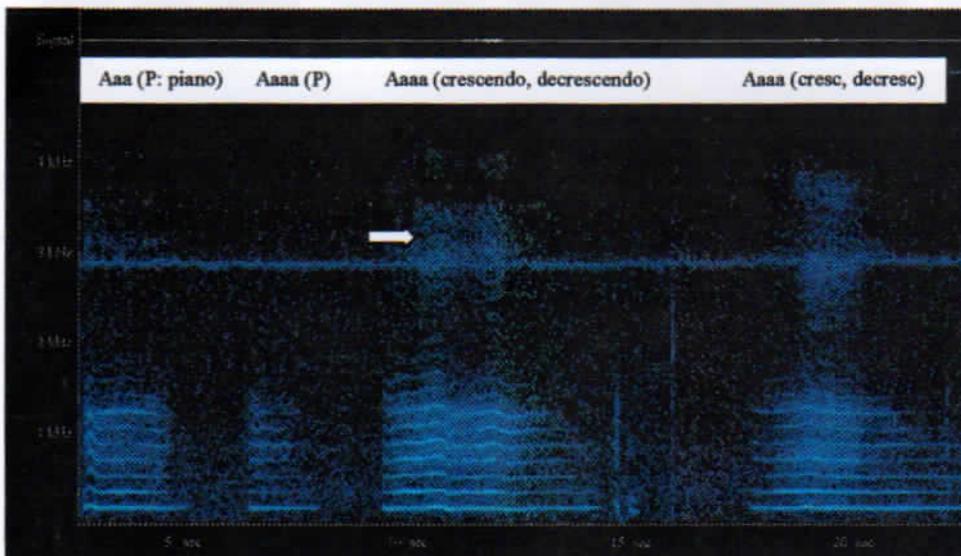
LER6 - femme de 50 ans dysphonique



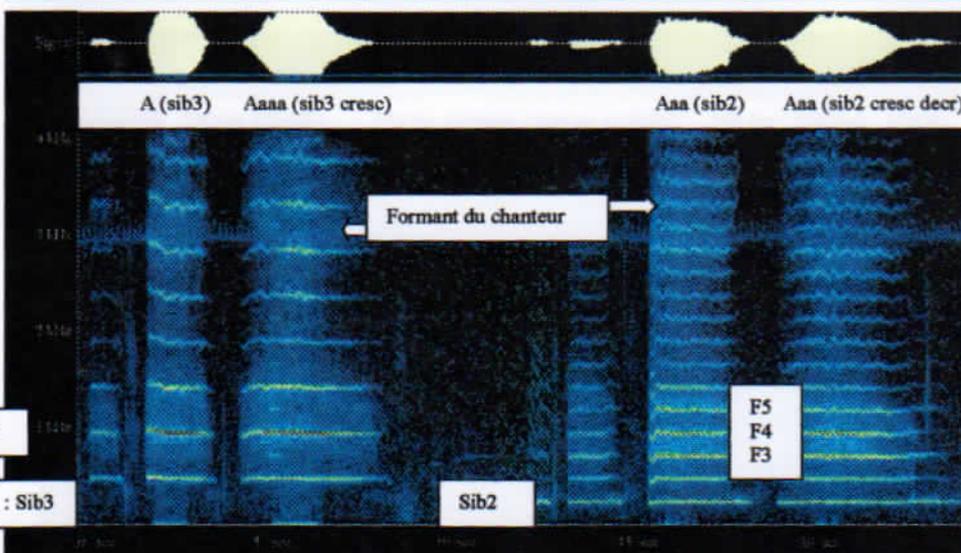
Premières sirènes sur **z**
en fort serrage
laryngé, (irrégularité
du tracé)(↓) ; celles sur
oui sont plus libres
avec toujours coup de
glotte et trop de
pression expiratoire

PIE1 - Enfant de 10 ans dysodique

NOTE TENUE SUR a

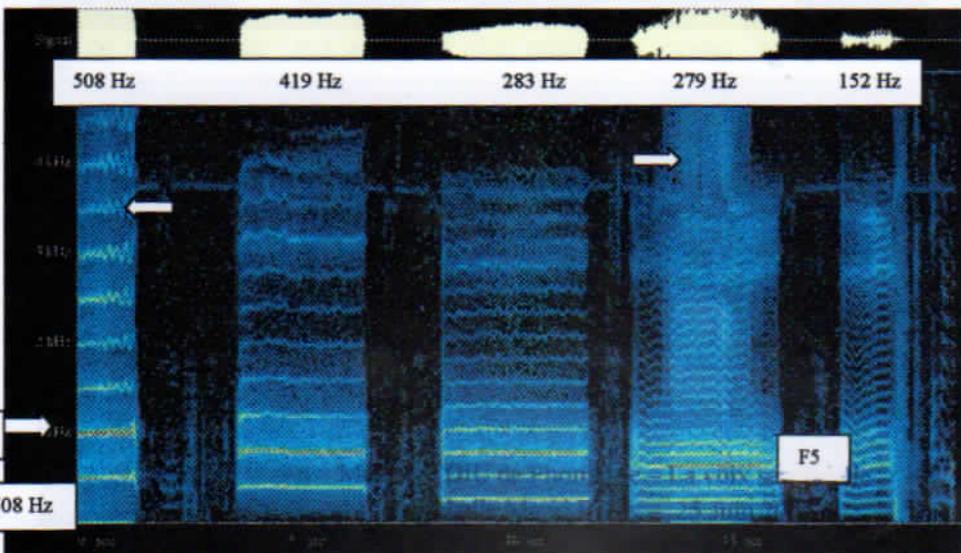


Note grave (Fa2) prise spontanément :
 brouillard expiratoire (→)
 pour le crescendo :
 mauvaise gestion de la pression pulmonaire et sous-glottique avec augmentation de la hauteur fréquentielle (décroché très visible sur les harmoniques)



Renforcement des harmoniques autour de 1000Hz (F2 de sib3 ; F3,F4,F5 de sib2) et de 3000Hz : formant du chanteur (↔) potentialités à mettre en évidence et à développer en rééducation vocale

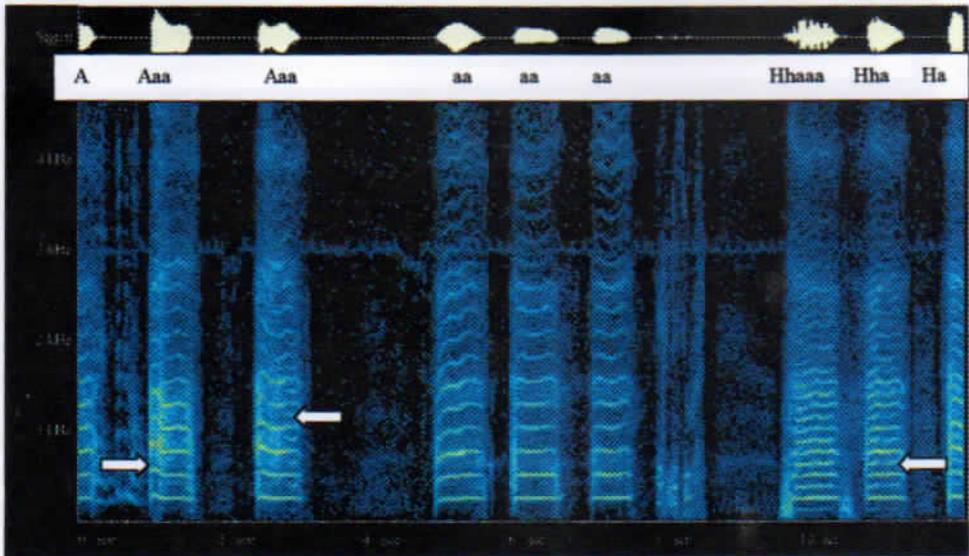
CLE2, CLE4 -femme de 37 ans enseignante se plaignant d'une voix faible peu timbrée



Voix bien timbrée, renforcement des fréquences entre 1000 Hz (F2 de 508 Hz) et 650 Hz (F5 de 279 Hz) Présence du formant du chanteur, aisance dans l'aigu avec bon vibrato(←) tendance à forcer et à appuyer dans les graves à 279 Hz, renforcement de toutes les harmoniques (→)

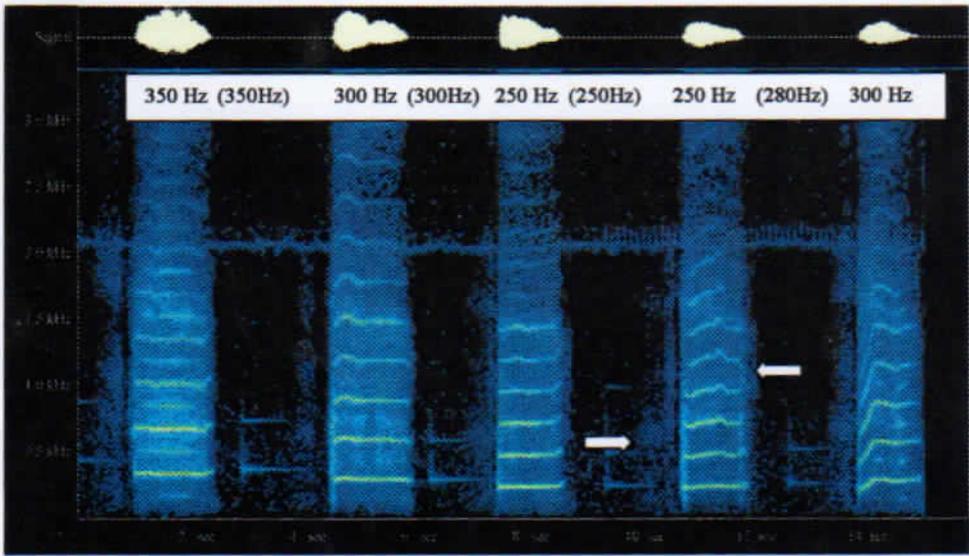
LER4 - Femme de 50 ans dysphonique

DEBUT DE SON SUR a

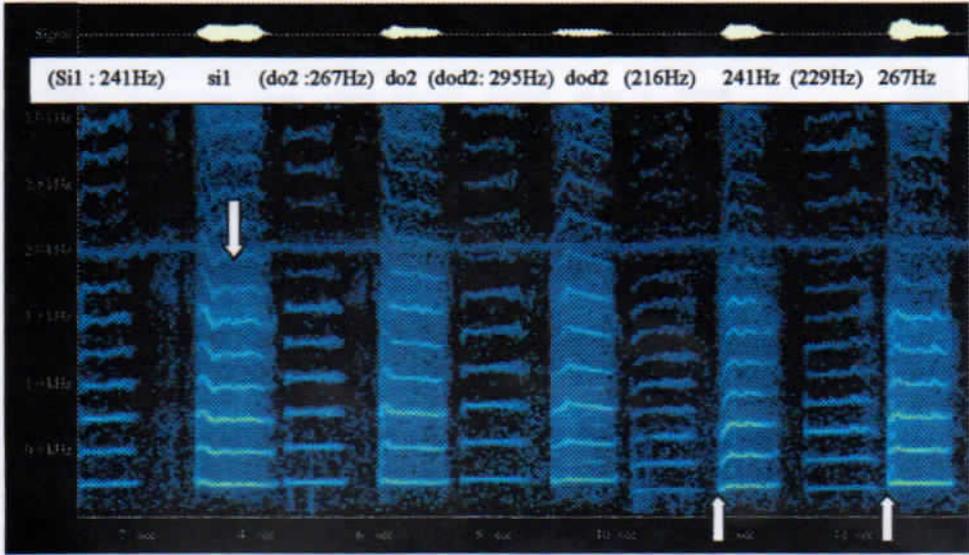


On voit successivement :
Des coups de glotte (→) avec traits horizontaux (←) de suppression sous-glottique qui tendent à diminuer puis réapparaître après le souffle expiratoire (Hha)

LAL6 - Enfant de 9ans dysodique, début de son dur (A), norma (a)l, mou (Ha)



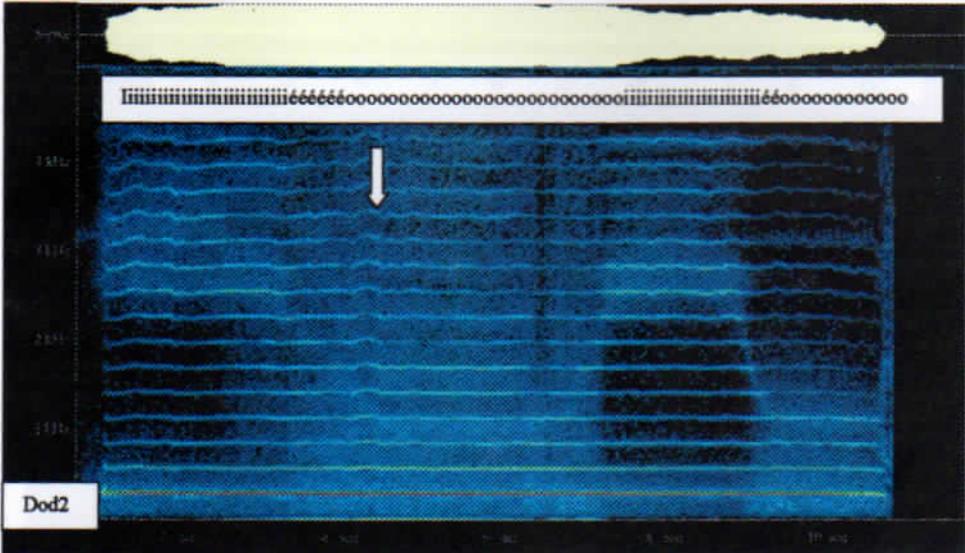
Difficulté de restitution des sons, différents modes de début de son, coup de glotte moins important au troisième a sur 250 Hz ; souffle inspiratoire (→) et expiratoire (←)



Intonation plus facile, pose vocale en imitation : moins de coup de glotte, petit vibrato(↓), moins de forçage sur les trois sons en montée chromatique la difficulté d'intonation sur 216Hz entraîne une Réaction de serrage (↑)

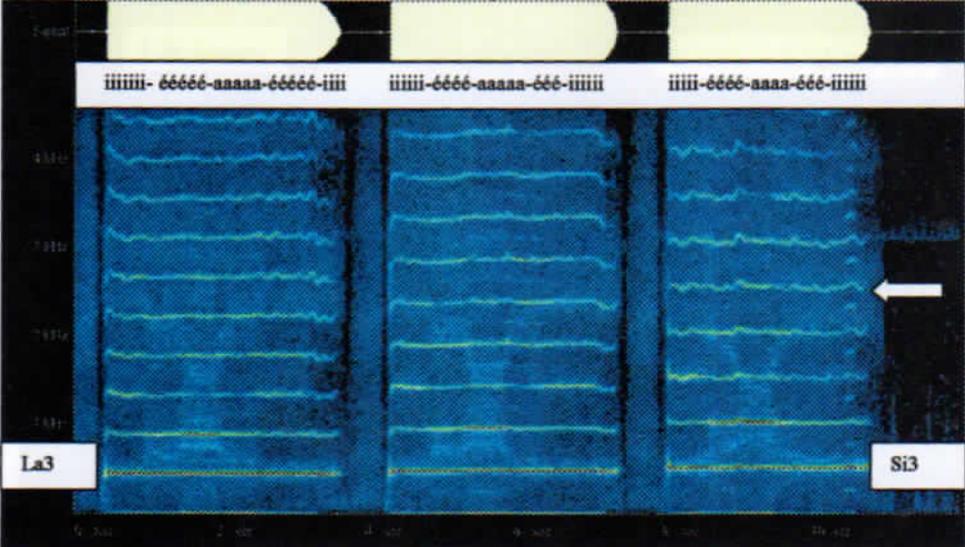
PIE2, PIE3- Enfant de 10 ans dysodique, intonation d'après exemple (au piano)et (vocal)

SERIE VOYELLIQUE



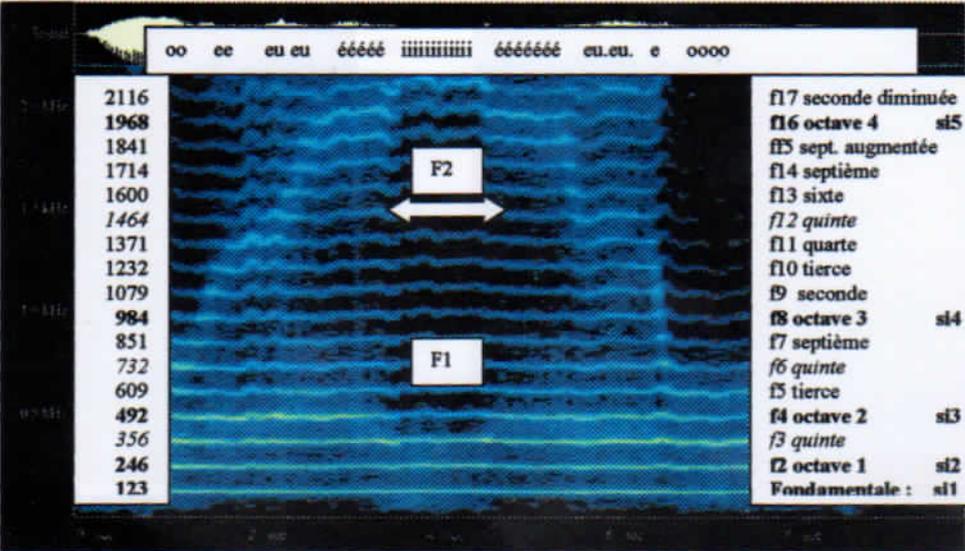
Brouillard expiratoire : fuite d'air pendant la phonation. Peu de définition des harmoniques ; instabilité (↓) à la transition articulatoire entre *i* et *o* qui ne se retrouve pas en fin de phrase, avec une meilleure définition du spectre voyellique du *o*

KOU2- Femme de 22 ans, chanteuse professionnelle de variété



Signe de gros forçage : brouillard en inspire forcée et expire avec fuite d'air : coup de glotte, instabilité pendant la phonation et à la fin de chaque phrase diminution fréquentielle visible sur les harmoniques, mal définies selon les voyelles, vibrato très irrégulier. La dernière phrase sur *si3* se termine avec fuite expiratoire et serrage laryngé (←)

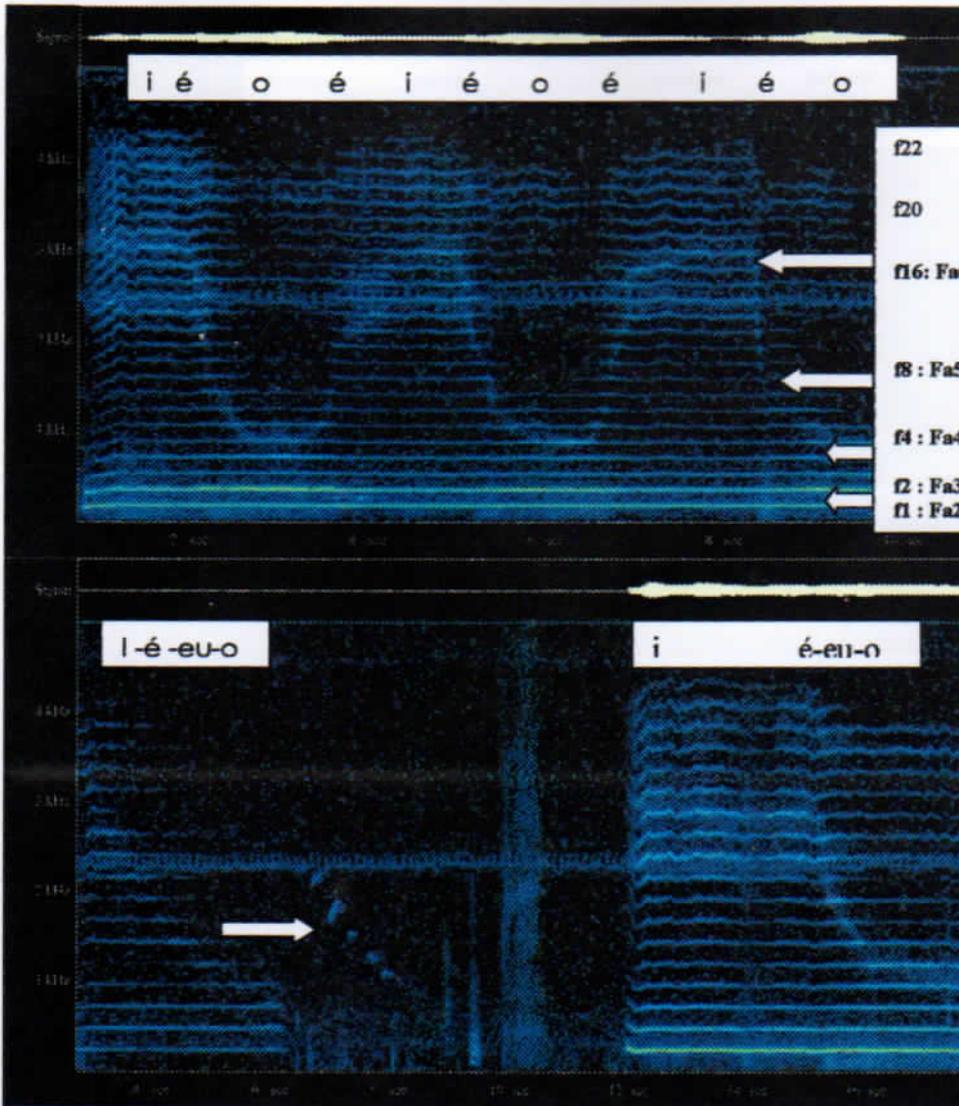
KOU3 - Femme de 22 ans, chanteuse professionnelle de variété



Bonne définition des formants voyelliques : F1 qui varie peu et F2 qui décrit une pyramide selon la série ↔ harmonique de f6 à f17; renforcement de f3 (quinte) donnant un timbre plus clair à la

JOL1- homme de 46 ans, peu affirmé, désireux de travailler son timbre de voix

SERIE VOYELLIQUE



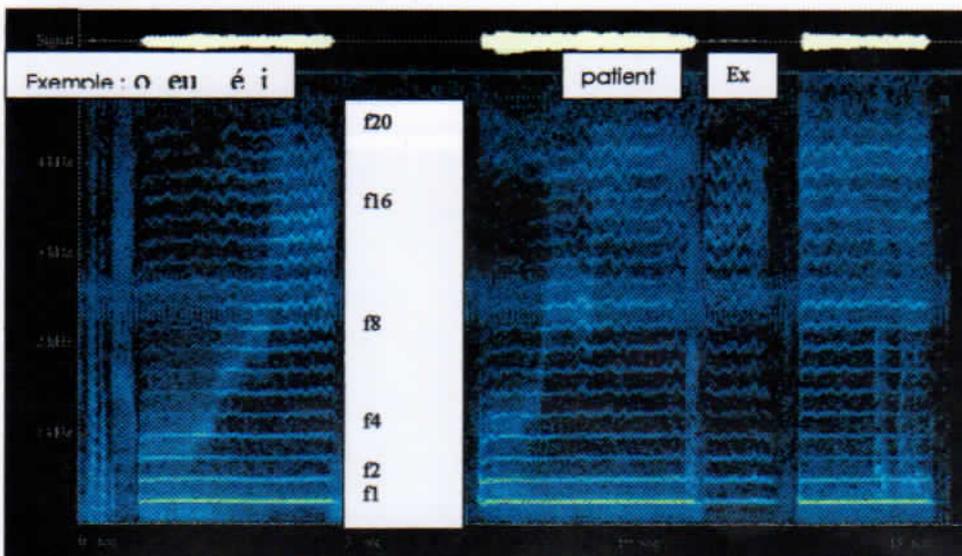
f22
f20
f16: Fa6
f8: Fa5
f4: Fa4
f2: Fa3
f1: Fa2

f16: Fa6
f15: mi6
f14: mib6
f13: ré6
f12: do6
f11: sib5
f10: la5
f9: sol5
f8: Fa5

Bonne
définition des
formants
voyelliques
harmoniques

L'exemple vocal montre la série harmonique. Pour aider le patient, elles sont sifflées (→) : f8, f7, f6, f5, f4, sont plus difficiles à faire entendre et émettre distinctement car elle demandent un contrôle très fin des positions articulaires de é et eu

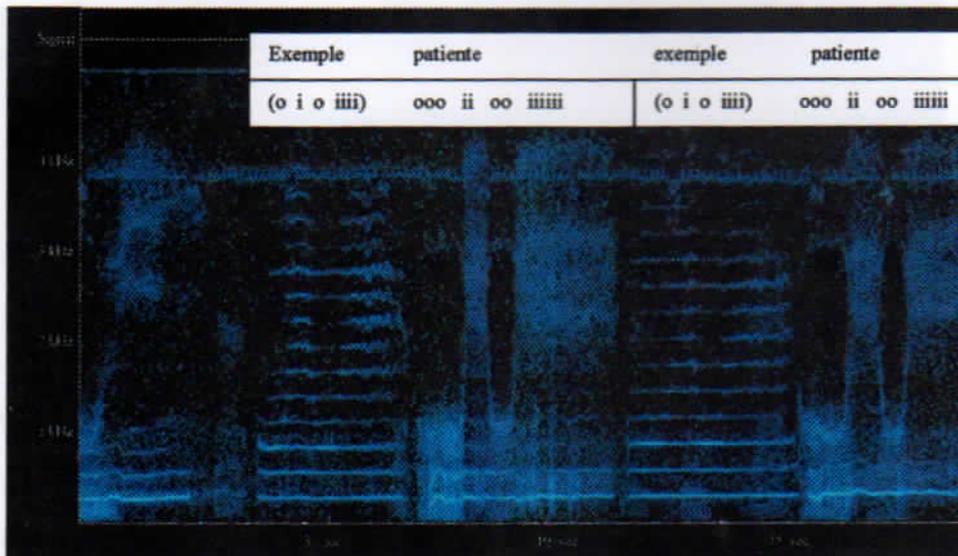
ROU3 ROU4- Homme de 35 ans trans-sexuel désirant féminiser sa voix



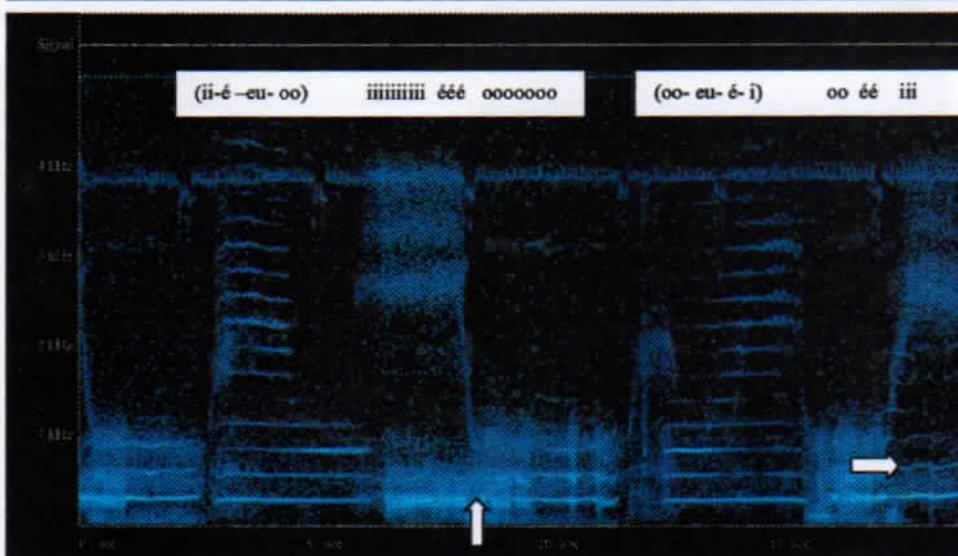
L'exemple vocal permet de voir le renforcement des harmoniques entre f8 et f20 sur le I ; le patient visualise ce qu'il a du mal à percevoir à l'audition

CHA2 restitution en imitation

SERIE VOYELLIQUE

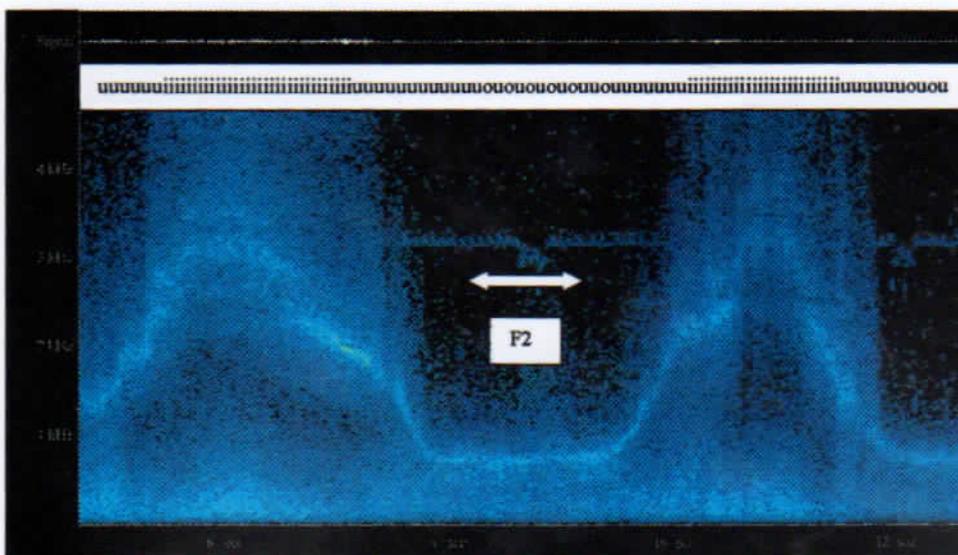


Chez cette femme totalement aphone, la visualisation de la vibration des cordes vocales sur f1 et les harmoniques de rang élevé (f14) permet de diminuer un peu le serrage laryné



On peut voir les zones fortement brouillées (↑) signe de forçage sévère et les zones (→) où f1 et f2, f3, f5, f6 apparaissent plus ou moins nettement

WAS4, WAS5 - Femme de 60 ans : dysphonie spasmodique



Cet exercice permet de mettre en évidence la fuite d'air permanente (fort brouillard expiratoire) ainsi que les valeurs du formant F2 plus ou moins aigu (↔) des voyelles : i, u, ou

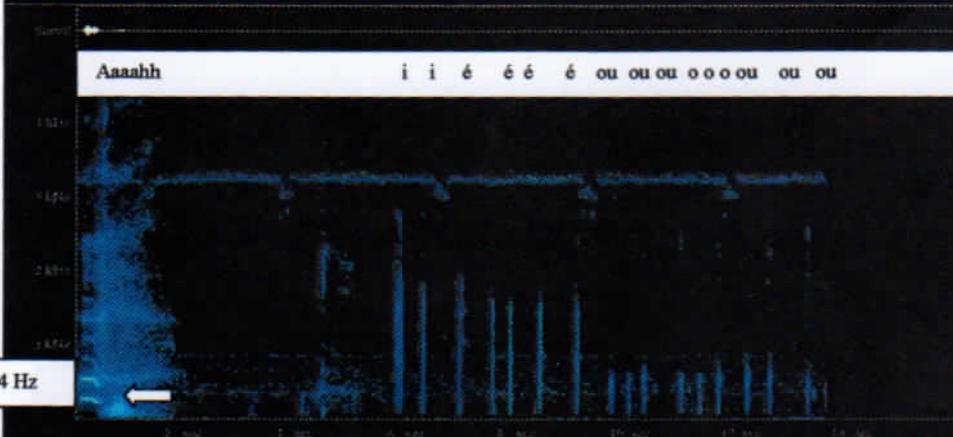
KOU2- Femme de 22 ans, chanteuse professionnelle de variété

JEUX ARTICULATOIRES ET VOCAUX

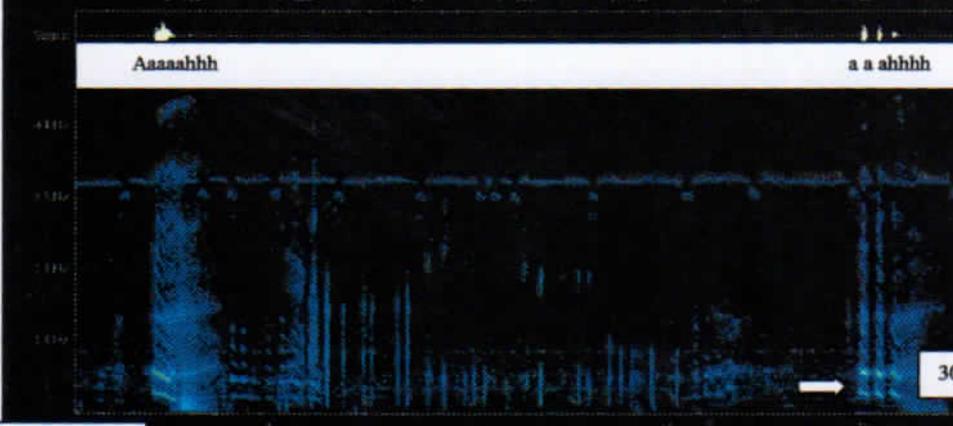
Début de séance



Puff d'air correspondant à une vibration vocale avec différentes formes du conduit vocal : visualisation des formants des voyelles. Ce travail permet à cette patiente de détendre son larynx en position basse



Ce travail procure une grande détente et de profond bâillement (←) sonorisé, dont elle visualise la courbe fréquentielle, preuve de l'existence d'une vibration normale des cordes vocales



Petits bâillements (→) itératifs amenant une détente encore plus importante

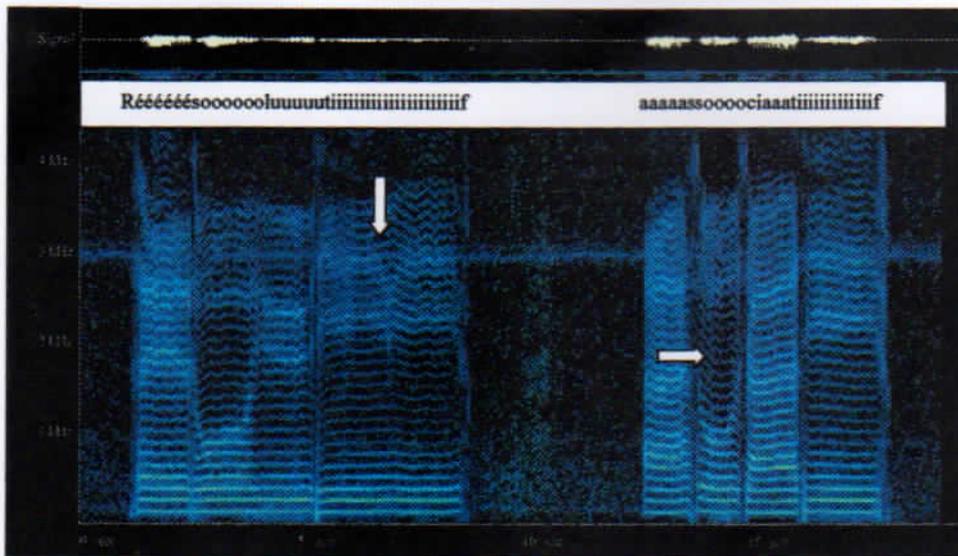
Fin de séance :



Proposition de parler dans le bâillement : **o oui** (↓) de plus en plus sonore, le dernier décrit une sirène descendante musicale (→ré₃-do₃) avec de nombreuses harmoniques (←) F2 à F8

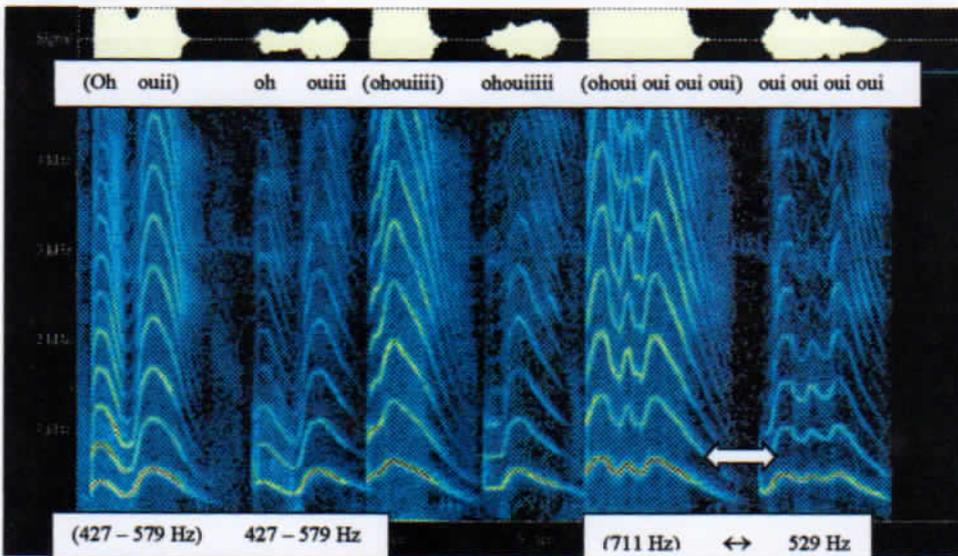
WAS 3 6 7 8 - Femme de 60 ans : dysphonie spasmodique

JEUX VOCAUX



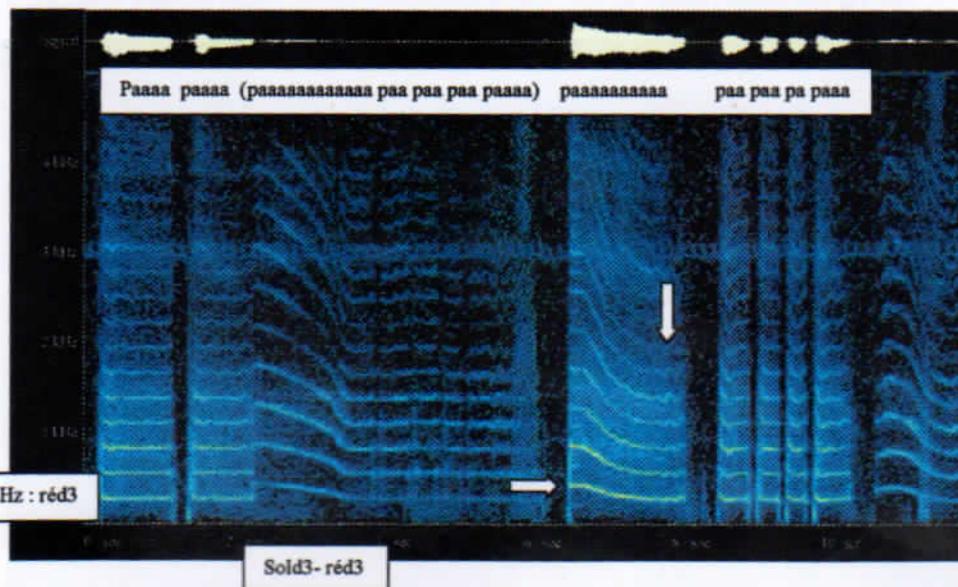
Ce travail en recto-sono permet de visualiser les harmoniques des voyelles ainsi que les transitoires ; on peut rectifier la couleur de certaine voyelle : ici, le **a** est trop clair avec trop d'harmoniques aiguës. On peut noter également : une irrégularité (↓) sur la tenue du **i** et baisse (→) d'intonation sur **so** et **cia** visible sur les harmoniques

JOL2 - homme de 46 ans, peu affirmé, désireux de travailler son timbre de voix



Jeu par imitation ; visualisation de la bonne intonation et du bon geste vocal : pas de coup de glotte ni de forçage dans le registre aigu de la voix ; le dernier exemple, plus haut, est repris un peu plus bas avec aisance ↔

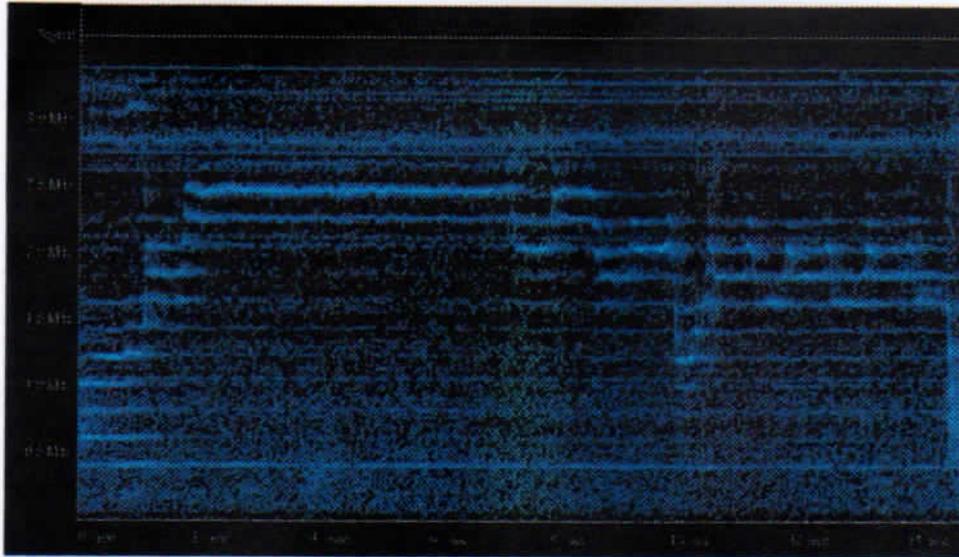
ED4 - Femme de 25 ans dysphonique



Dans le registre medium grave, réapparition du forçage, l'articulation du **p** se fait avec un coup de glotte (→) mais un petit vibrato apparaît en fin de phrase (↓)

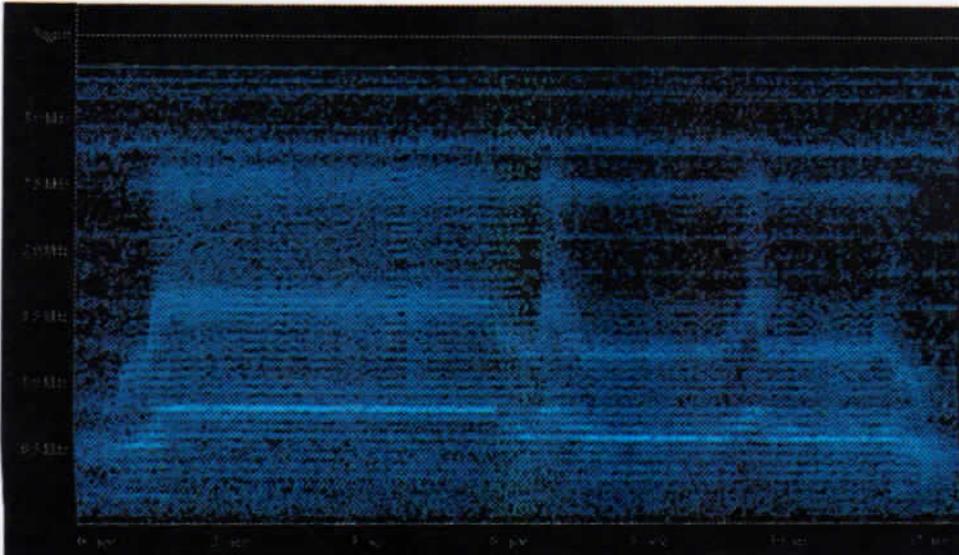
ED 5- Femme de 25 ans dysphonique,

HARMONIQUES



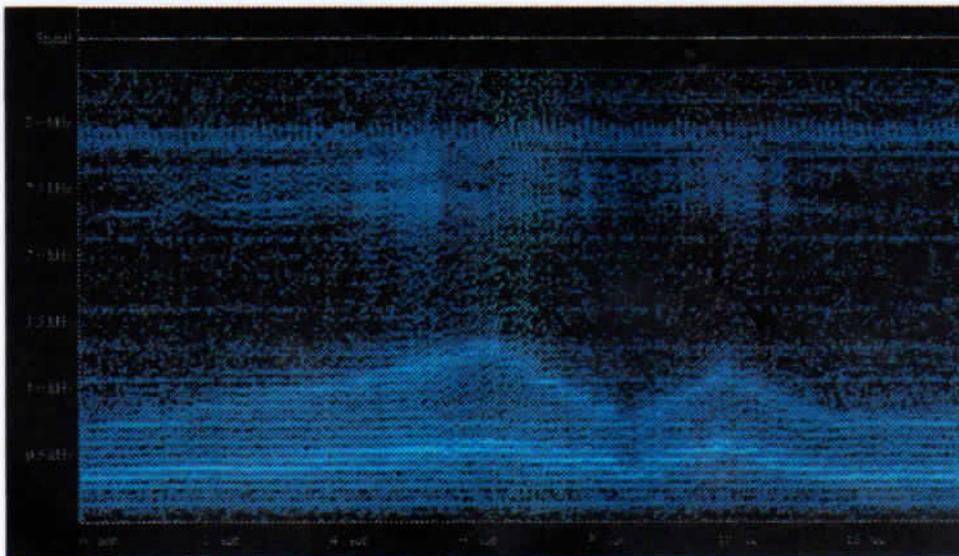
On entend une harmonique aiguë qui ressemble à un sifflet, donnant une impression d'un instrument mélodique

Chanteur diphonique de la république de Touva : technique sygyt



Mélodie plus proche du fondamentale moins puissante d'autant plus qu'il y a un dédoublement du bourdon vers le grave à l'octave inférieure par la vibration des bandes ventriculaires

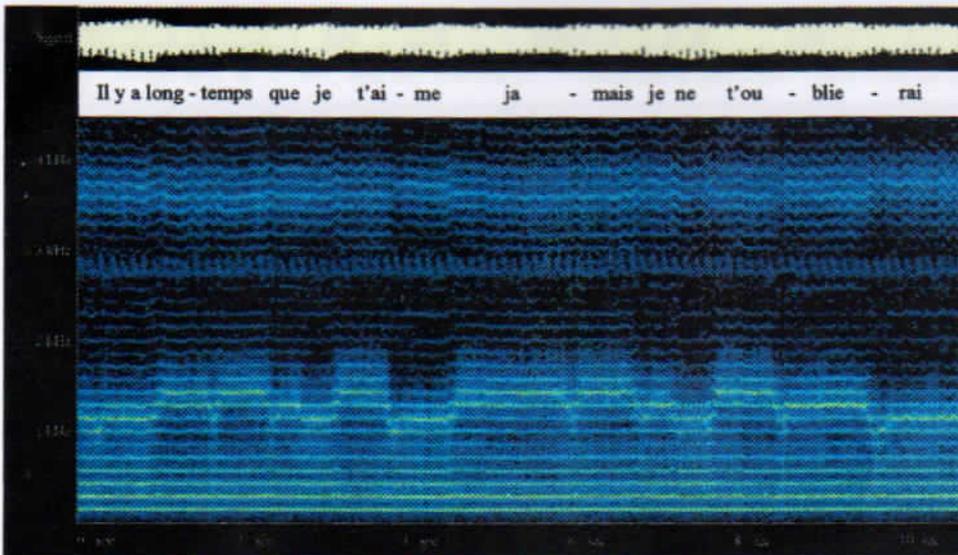
Chanteur diphonique de la république de Touva : technique kargyraa



Même technique permettant de monter la série harmonique en parallèle sur 2 octaves

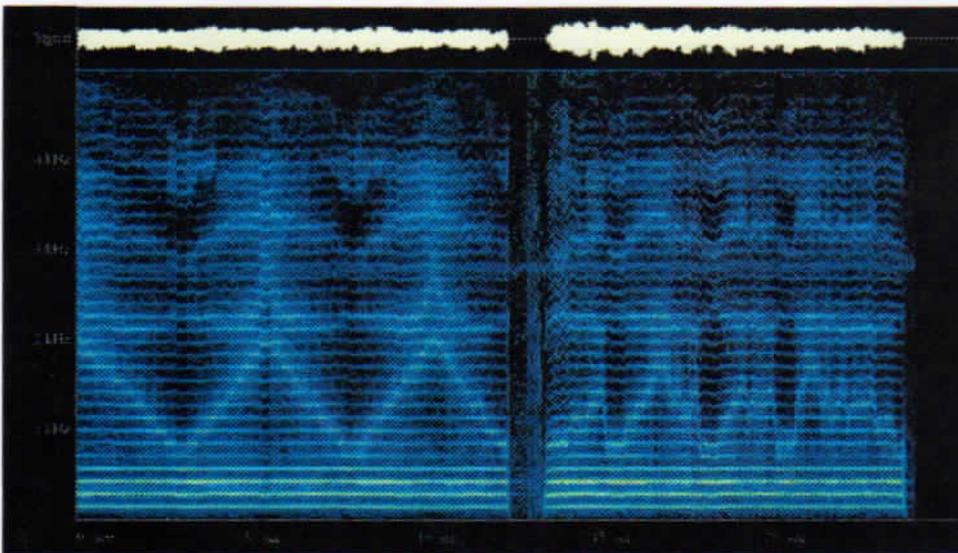
Daïnhouri Choque en chant diphonique : imitation technique kargyraa (séminaire voix 2004)

HARMONIQUES



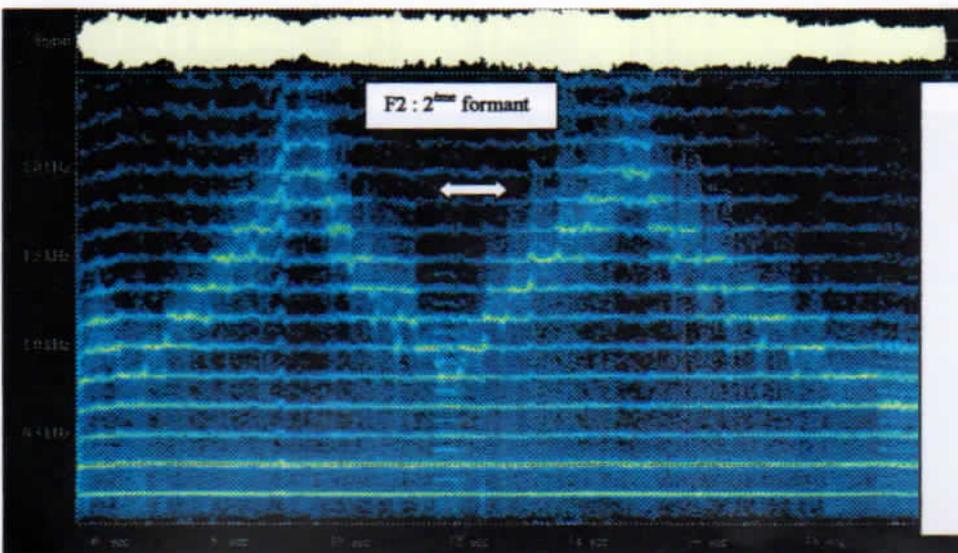
Daïnouri Choque en chant diphonique (acte Séminaire Voix Orléans 2004)

Le renforcement des harmoniques en chant diphonique fait entendre la mélodie de la « claire fontaine »



Daïnouri Choque : série harmonique à partir des voyelles (acte Séminaire Voix Orléans 2004)

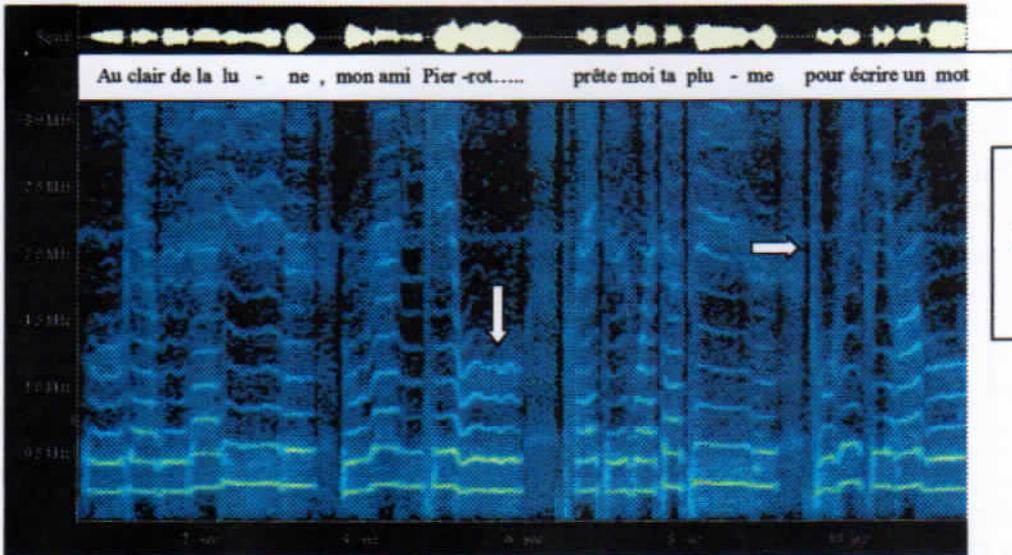
Il est possible d'ordonner les voyelles de manière à produire les harmoniques régulièrement du grave à l'aigu afin d'obtenir la série harmonique. Le nombre d'harmoniques obtenu dépend de la hauteur de la fondamentale dans l'ordre musical



Daïnouri Choque : série harmonique en chant diphonique (acte Séminaire Voix Orléans 2004)

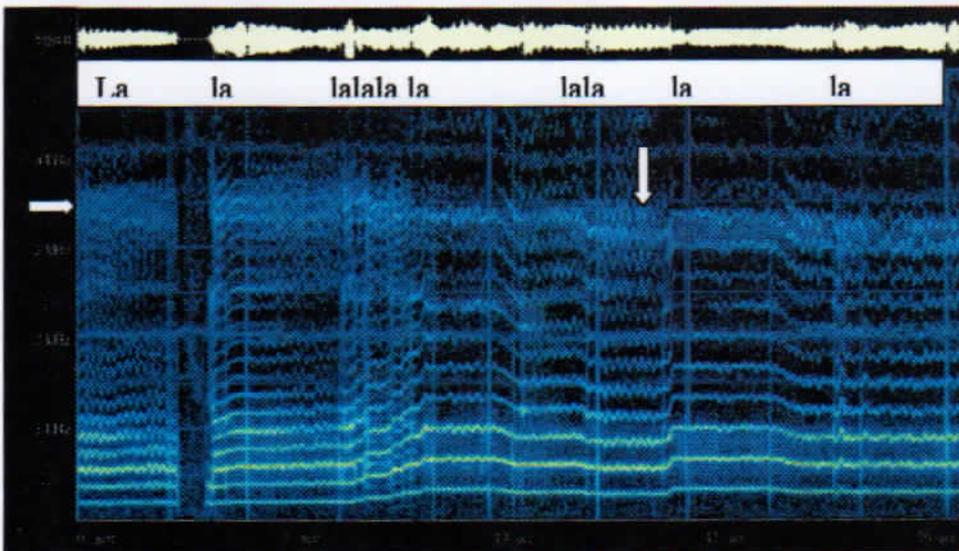
Selon la technique du renforcement des harmoniques en chant diphonique, la voyelle est réduite au formant F2 le plus audible qui décrit la série harmonique de f4 à f12

CHANSONS



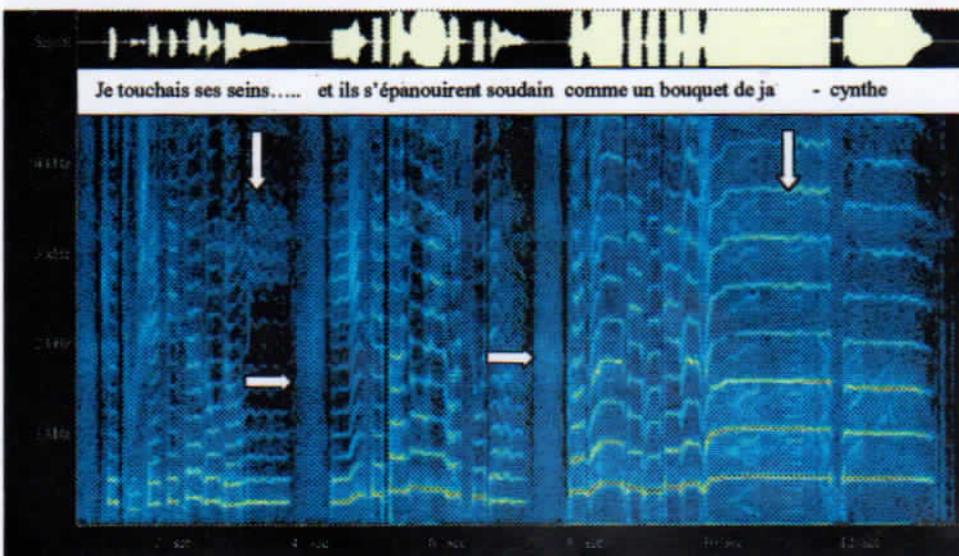
Inspire bruyante, et souffle expiratoire →
Présence du formant du chanteur et d'un petit vibrato ↓ sur « Pierrot »

PIE 4 enfant de 10 ans dysodique



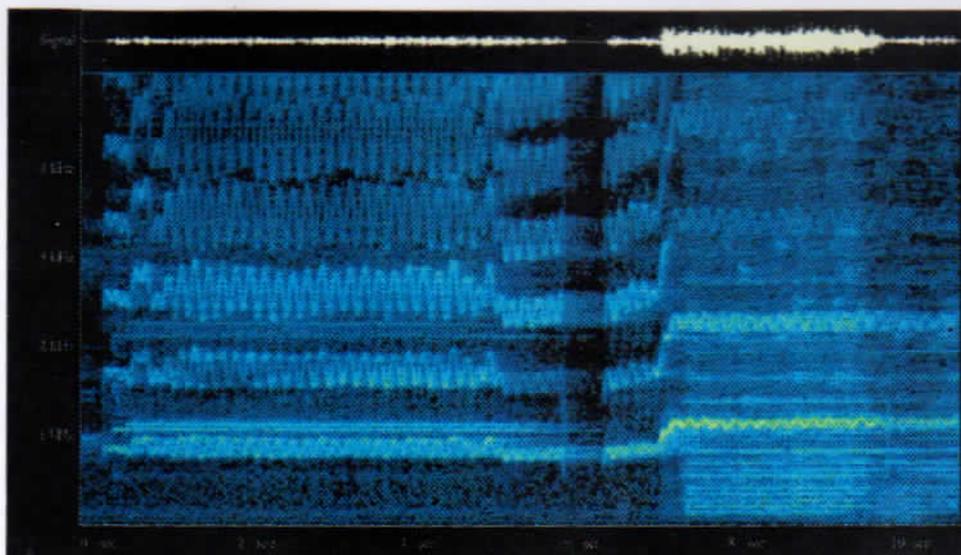
Timbre vocal très riche
Présence du formant du chanteur →
vibrato régulier ↓
gestion du souffle excellente chez cet homme totalement démuné dans la parole

MAR, homme de 68 ans aphasique (Wernicke) ancien chanteur de variété



Inspire bruyante →
Vibrato ↓ en début de phrase musicale, qui disparaît dans l'aigu
Signe de forçage et de mauvaise technique vocale

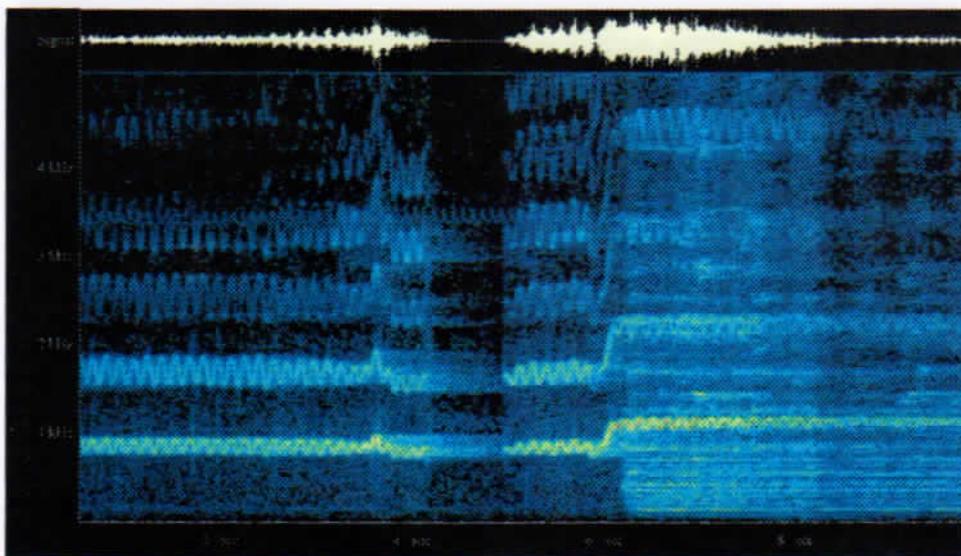
KOU 2 femme de 25 ans, chanteuse professionnelle de comédie musicale



Renforcement F2 F3 dans la trille et seulement F2 dans l'aigu final (ut dièze 5 trop haut, serré)

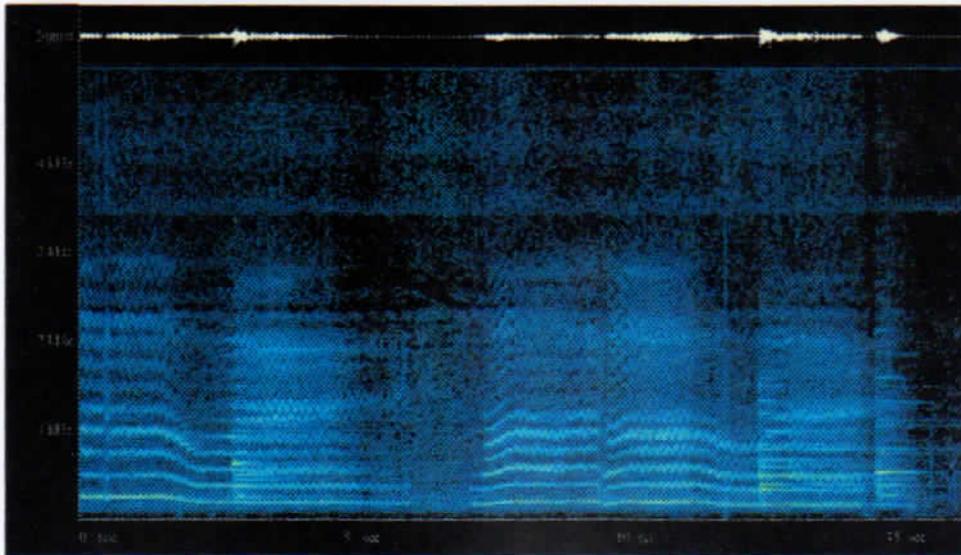


Maria CALLAS trille finale *G MEYERBEER : ombra leggera dir T SERAFIN 1954 EMI



Crescendo de la trille (F3 , F4) et renforcement de F2 F3 F4 de l'aigu final (plus intense avec de la profondeur)

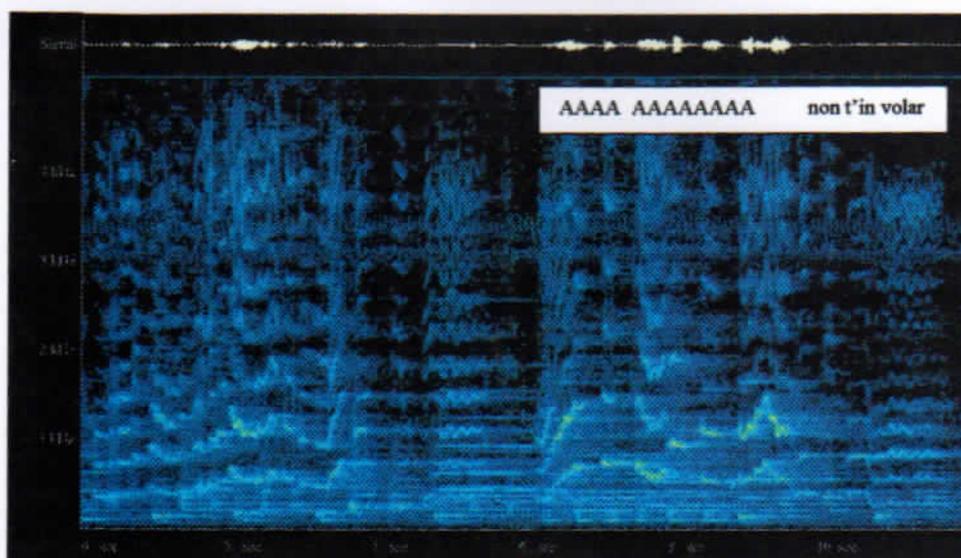
Rita STREICH : trille finale G MEYERBEER : ombra leggera dur K GAEBEL 1958 DG



Voix de femme très grave, profonde, timbre riche en harmoniques (de F2 à F9)

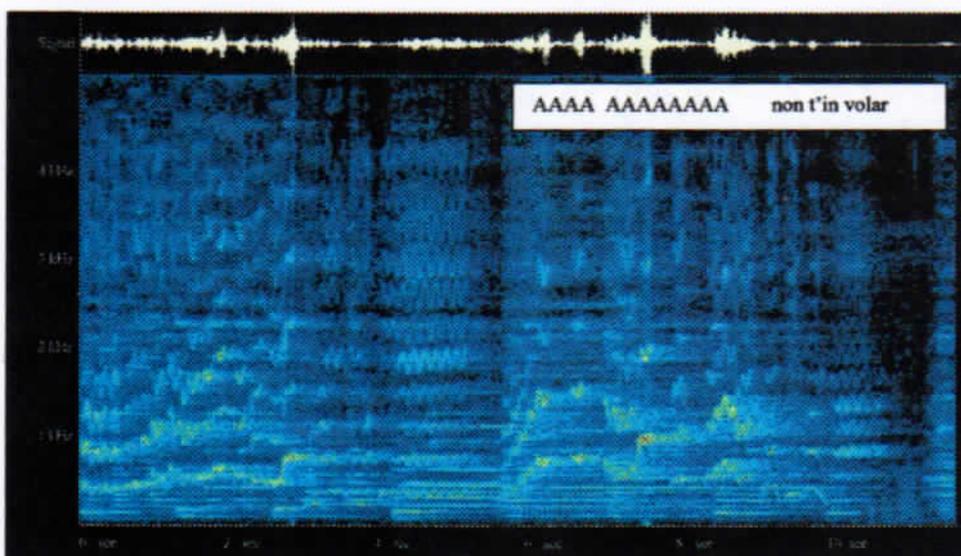
Marian ANDERSON Gospel : they crucified my lord récital 1940 RCA VICTOR

CHANTEURS LYRIQUES



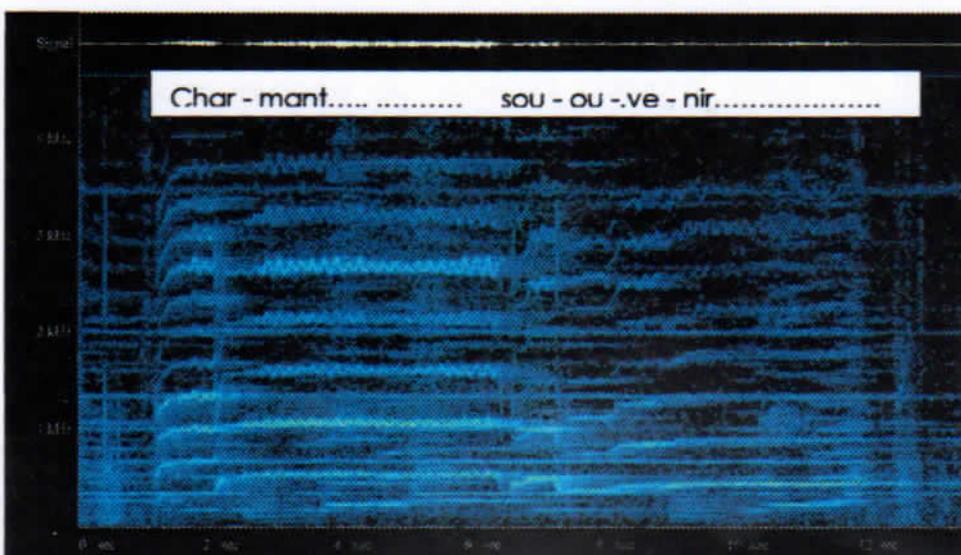
Maria CALLAS

Timbre sombre et rond, harmoniques F2 et formant du chanteur vibrato large un peu irrégulier



Rita STREICH

Timbre léger et brillant
richesse en harmoniques
Sur tout le spectre, vibrato très rapide et régulier



Nicolai GEDDA G BIZET : les pêcheurs de perles dir P DERVAUX 1961 EMI

formant du chanteur très renforcé sur le do 3 « mant » (forte) et absent sur « nir » pour le decrescendo final en voix de tête

EPILOGUE

« J'entends ce qui domine, j'écoute ce que je vise. »

« Je suis la maison du son, ouïe et voix tout entier. »

Les propos de Pierre Schaeffer* et de Michel Serres* illustrent bien le concept de la voix sensorielle, que j'ai tenté de développer tout au long de cet exposé : la relation entre l'écoute du timbre, la résonance, le corps et la voix.

Il s'agit de savoir en conscience ce que l'on écoute, ce que l'on désire recevoir, capter de notre environnement sonore et émettre en retour, sélectionner les harmoniques susceptibles d'enrichir le spectre vocalique.

Notre oreille est capable de faire d'elle-même par une attention et une intention dirigée ce que Tomatis*, avec son oreille électronique provoque de manière artificielle à travers un filtrage de bande passante fréquentielle.

On a vu que le sens de l'audition ne travaillait pas seul et que notamment, il s'aidait de la vision pour analyser sur une échelle imaginaire les hauteurs de son ; la visualisation extemporanée sur le sonagramme de la trace sonore du geste vocal permet non seulement de comprendre intellectuellement les notions complexes de coup de glotte, registre, vibrato, fondamental usuel, harmoniques, renforcement du formant de chanteur...., mais de modifier dans l'instant, la tonicité musculaire ou l'attitude mentale inappropriée.

En effet, **« tout le corps participe à la production vocale »** et émettre un son (parler, chanter) nécessite de **« ressentir pour agir »** énonce Ormezzano* qui met en garde contre les dangers d'un travail vocal uniquement basé sur la boucle audio-phonatoire : **« un bon chanteur qui porte sa voix ne l'entend pas. Au contraire un chanteur débutant en crispant les muscles pharyngés, rigidifie le conduit vocal qui ainsi va mieux conduire le son aux oreilles ; le chanteur a l'impression de bien entendre sa voix qui en réalité est plus sourde, les harmoniques étant amorties. »**

Le contrôle de la phonation dépend non seulement de l'audition mais aussi de la connaissance du schéma corporel vocal, lui même inclus dans la relation corporelle à l'espace.

De même qu'il y a une préparation du geste vocal, il y a une préparation sensorielle : auditive, visuelle, tactile, olfactive, gustative issue d'une activité, psychique, intellectuelle et affective.

L'acte phonatoire peut être volontaire, venant d'un mouvement intériorisé, mémorisé, conscientisé, fruit d'un patient tissage de sensations multiples . Très souvent il est automatique, réflexe ; la personne se laisse habiter par des habitudes, des gestes incontrôlés : tensions, raideurs, elle mêmes, traces de peur, appréhension devant le vide, l'espace en creux du silence.

Chanter, parler est un acte vital, un acte de mise à nue qui nous met en danger, exposés au regard, à l'oreille de l'autre. C'est cet enjeu qui met le corps en alerte, par activation réflexe de notre cerveau primaire (amygdale, système limbique) avec ses réactions de « serrage , attaques, forçages ».

Il y a donc nécessité impérieuse pour l'émetteur de prendre conscience de tous ces mécanismes de défenses involontaires et d'être récepteur.

L'écoute en est le moyen privilégié, telle que nous l'avons exposée :

- l'écoute du son, dans sa dimension spectrale, harmonique, et spatiale,
- l'écoute de soi : de son intériorité, de ce qui nous anime, ce qui nous met en mouvement, dans notre psyché et dans notre corps.

« La conscience de soi », selon les termes de Damasio*, « l'attention à soi en train de se connaître », en train d'émettre, parler ou chanter.

En présentant ma démarche en bilan phoniatrice, j'évoquais la nécessité de prendre en compte, à côté des paramètres spectraux du timbre et mécaniques du geste vocal, les paramètres psychiques mis en jeu dans l'acte d'émettre un son :

- o concentration, présence à soi
- o capacité d'analyse sensorielle : auditive, visuelle, proprioceptive
- o auto-contrôle : écoute différée, comparaison et adaptation
- o rapport à l'autre, à l'espace

Il s'agit bien de cela : de notre capacité en temps qu'émetteur de savoir entendre, restituer et à tout moment adapter notre geste vocal à la situation. Plus notre attitude est ouverte à l'expérimentation interne et à la conscientisation de sensations auditives et sensorielles (visuelles, proprioceptives..), plus notre capacité d'adaptation est grande.

« Le sentir est cette communication vitale avec le monde qui nous le rend présent comme lieu familier de notre vie » dit Merleau Ponty* qui ajoute :

« toute conscience est la conscience de quelque chose... la conscience est originairement non pas un « je pense » mais un « je peux ». ...L'essence de la conscience est de se donner un monde ou des mondes, c'est à dire de faire être devant elle-même ses propres pensées comme des choses. La vie de la conscience-vie connaissante, vie du désir ou vie perceptive- est sous-tendue par un arc intentionnel... qui fait l'unité des sens et de l'intelligence, celle de la sensibilité et de la motricité. »

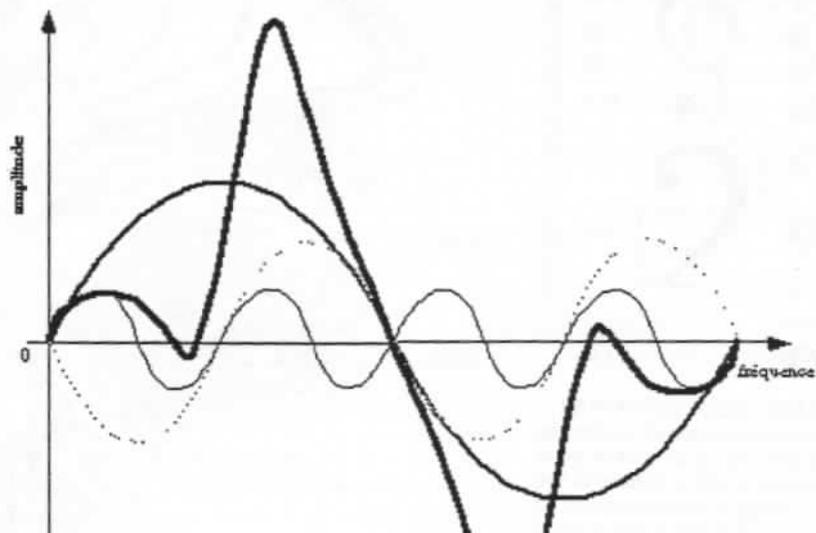
Mon travail consiste donc à ouvrir tous les canaux de réception sensorielle afin de permettre une meilleure connaissance de soi, perception des intentions, attention au mouvement, émission du son.

La voix sensorielle est la voix qui coule de source, va de soi, reflet d'un état d'équilibre intérieur, d'un mouvement perpétuel entre le dedans et le dehors, le sensible et l'indicible. Elle est ouverture à l'autre, à l'espace, au temps, à la musique du silence.* Elle est harmonie .

ANNEXES



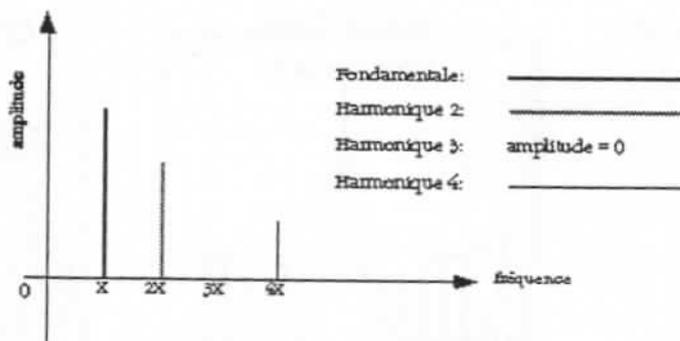
SCHEMAS



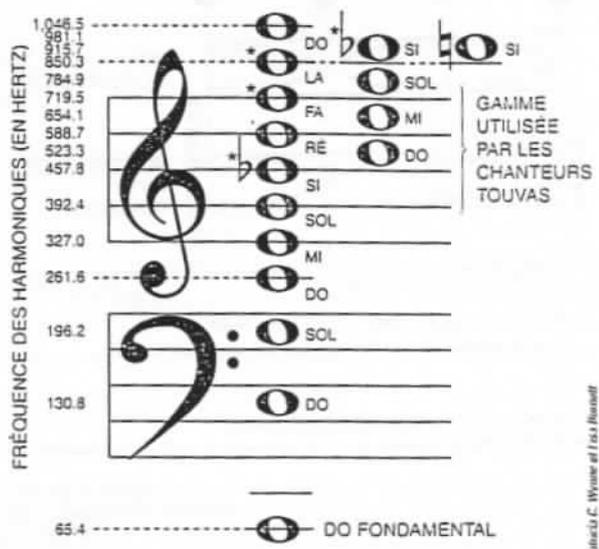
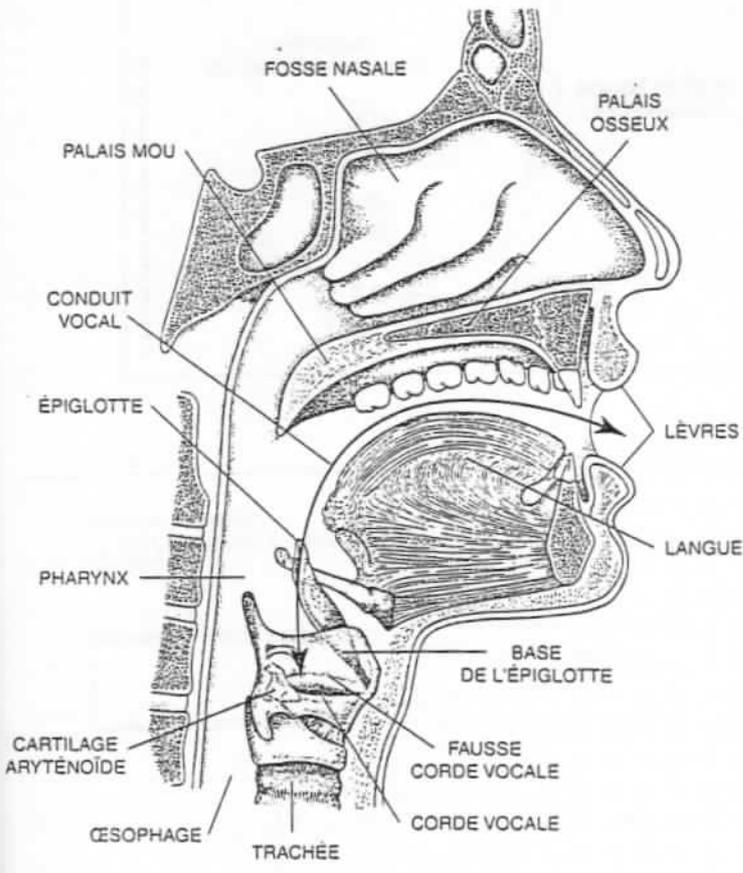
Fondamentale: _____
 Harmonique 2:
 Harmonique 3: amplitude = 0
 Harmonique 4: _____
 Forme de londe: _____

1.1 son périodique complexe

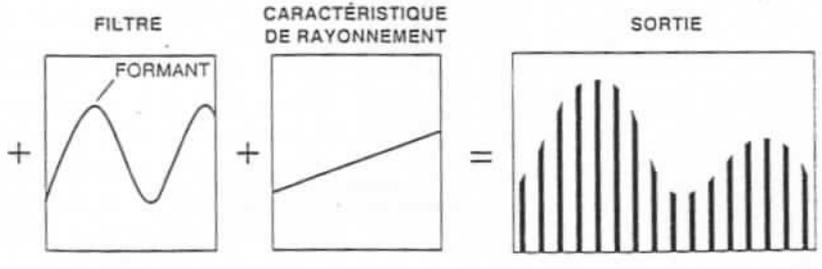
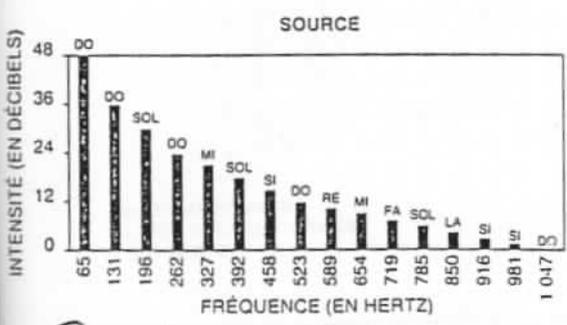
Schémas 1



1.2 Spectre des fréquences

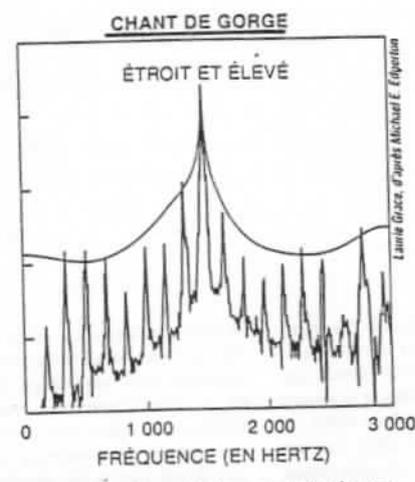
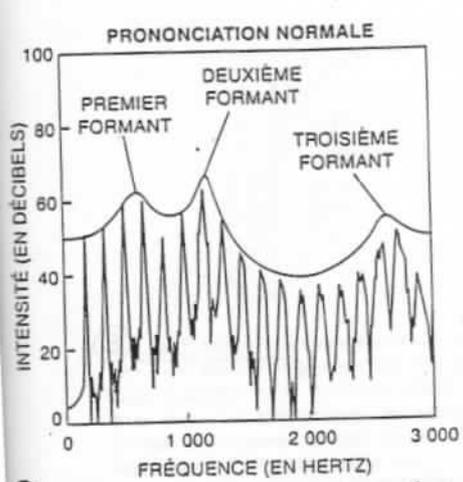


LE SYSTÈME VOCAL HUMAIN est un instrument de musique complexe : le bourdonnement des cordes vocales et, dans certains chants de gorge, des fausses cordes vocales est filtré par le conduit vocal (à gauche), qui s'étend jusqu'aux lèvres. Le bourdonnement engendre un son fondamental, par exemple le *do* grave à une fréquence de 65,4 hertz, et ses harmoniques, dont les fréquences sont des multiples entiers de celles du fondamental (ci-dessus). On a représenté ici les notes correspondantes les plus proches dans la gamme tempérée, où tous les intervalles entre les sons sont égaux. Les astérisques indiquent les harmoniques qui ne s'alignent pas parfaitement sur les notes de la gamme tempérée.



2. LA THÉORIE DE LA SOURCE ET DU FILTRE sépare la production de la voix et sa mise en forme. Les cordes vocales produisent un mélange d'harmoniques dont l'intensité est inversement proportionnelle à la fréquence : les harmoniques les plus graves sont les

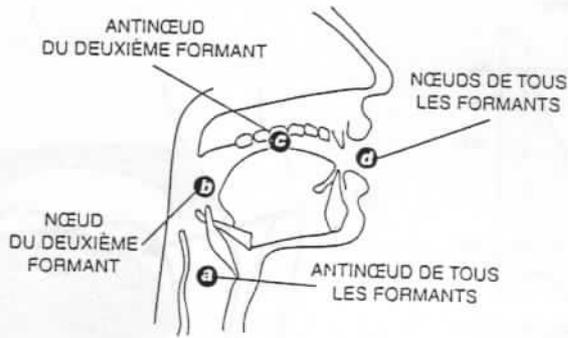
plus intenses. Le conduit vocal transmet davantage les harmoniques dont les fréquences coïncident avec celles des formants. Enfin, la « caractéristique de rayonnement » de l'air extérieur constitue un deuxième filtre.



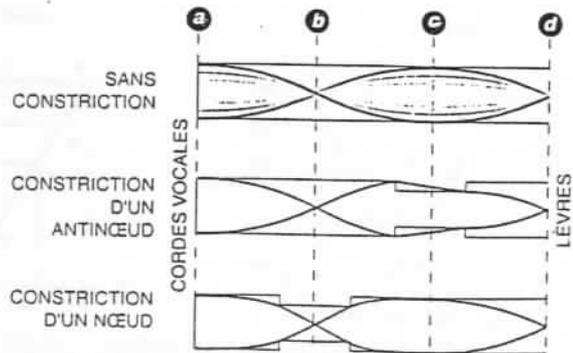
4. CES SPECTRES SONORES montrent la différence entre une énonciation normale du son [o] de « fort » (à gauche) et le chant de gorge (à droite). Dans les deux cas, l'intensité est concentrée sur les fréquences des harmoniques produites par les cordes vocales (en rouge). Lorsque les harmoniques ont une fréquence égale à celle d'un formant du conduit vocal (en noir), elles sont amplifiées.

③ POSITION DES NŒUDS ET DES ANTINŒUDS
DANS LE CONDUIT VOCAL

By an Christie, d'après David Bolinger, Stanford University

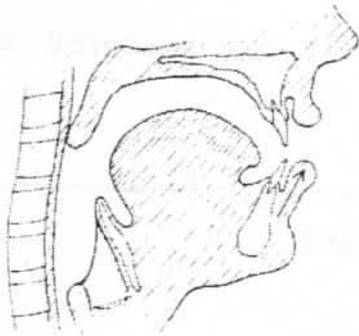
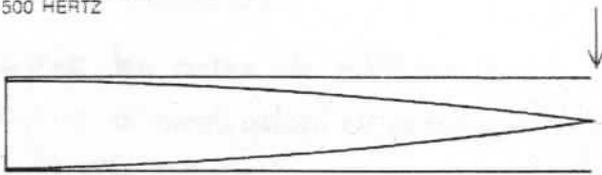


MOTIFS DES ONDES STATIONNAIRES
DU DEUXIÈME FORMANT

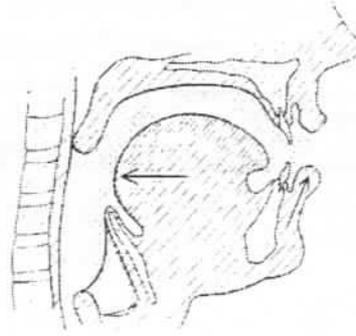
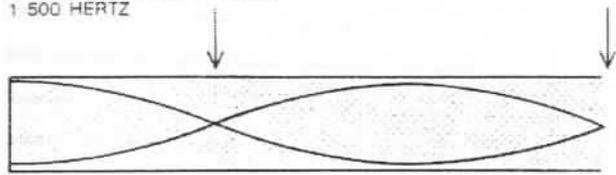


© POUR LA SCIENCE - N° 265 NOVEMBRE 1999

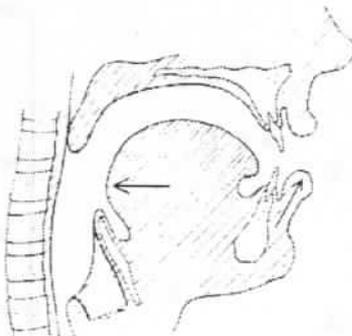
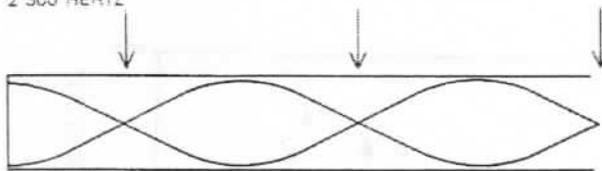
PREMIER FORMANT
1/4 DE LONGUEUR D'ONDE
500 HERTZ



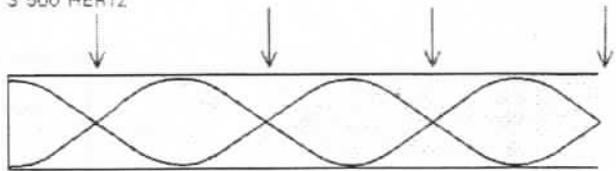
DEUXIÈME FORMANT
3/4 DE LONGUEUR D'ONDE
1 500 HERTZ



TROISIÈME FORMANT
5/4 DE LONGUEUR D'ONDE
2 500 HERTZ

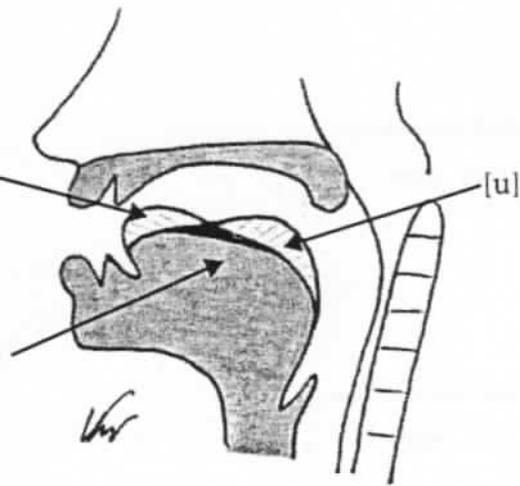


QUATRIÈME FORMANT
7/4 DE LONGUEUR D'ONDE
3 500 HERTZ



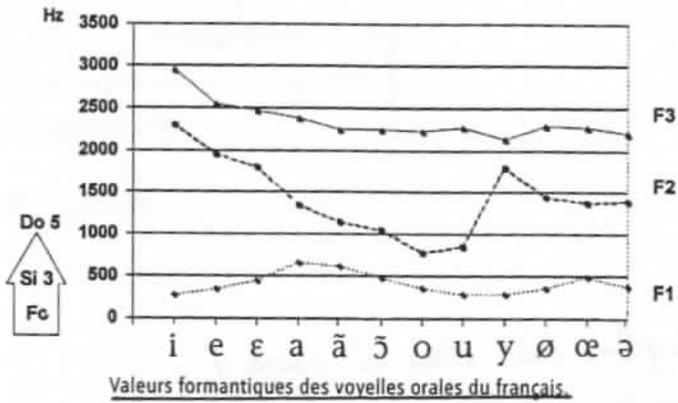
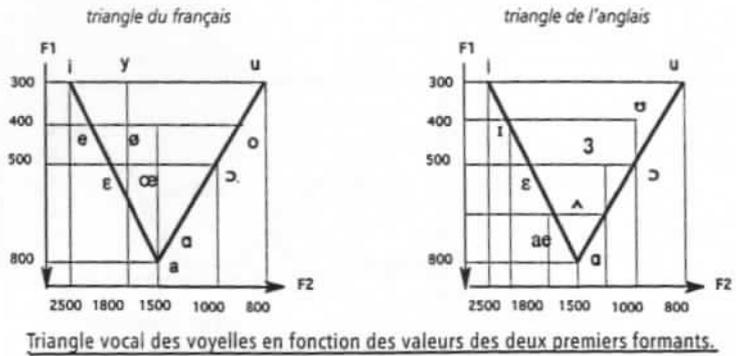
③ **LES FORMANTS** correspondent à des ondes stationnaires, c'est-à-dire à une répartition géométrique fixe des variations de pression de l'air dans le conduit vocal. La figure montre les quatre premiers formants dans des tubes cylindriques, les équivalents — schématiques — du conduit vocal (*zones colorées sur les dessins*). Les ondes sinusoïdales représentent l'amplitude de la variation de pression, qui est toujours maximale à l'extrémité de la glotte, et minimale au niveau des lèvres. Pour le formant le plus grave, le conduit vocal contient un quart de

longueur d'onde et si ce conduit est de 17,5 centimètres de long, la fréquence du formant est d'environ 500 hertz. Les second, troisième et quatrième formants correspondent respectivement à 3/4, 5/4 et 7/4 de longueur d'onde. Si la section du conduit vocal diminue ou augmente en un point où l'amplitude de la pression du formant est minimale (*flèches noires*), cette fréquence du formant est respectivement diminuée ou augmentée. La même variation de la section du conduit vocal aura l'effet opposé si elle a lieu en un maximum de pression.



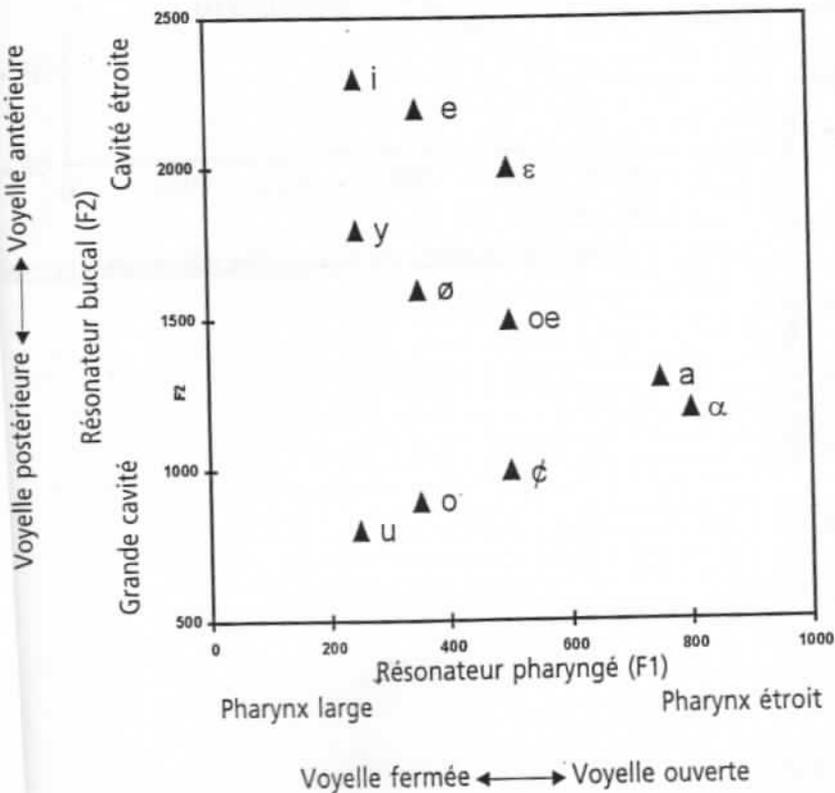
4.1 Les voyelles universelles.

D'après les actes de colloque 2001
 "Moyens d'investigation et pédagogie
 de la voix chantée"
 D. Virginie Woisard



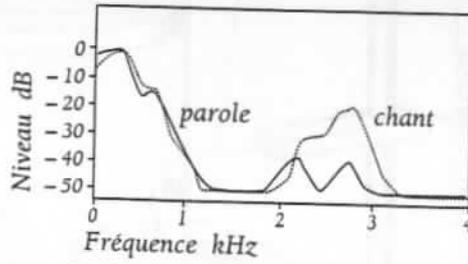
Schémas 4

Le triangle vocalique

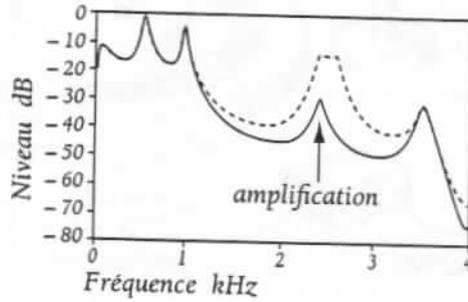


D'après "Le guide de la voix"
 de Yves Demezzano

a. regroupement de formants
voyelle [u:]

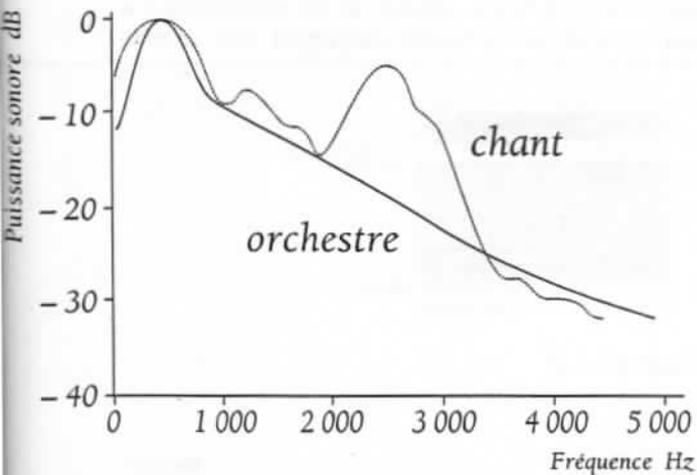


b. amplification d'un formant
voyelle [a:]



6.1 Le formant du chanteur.

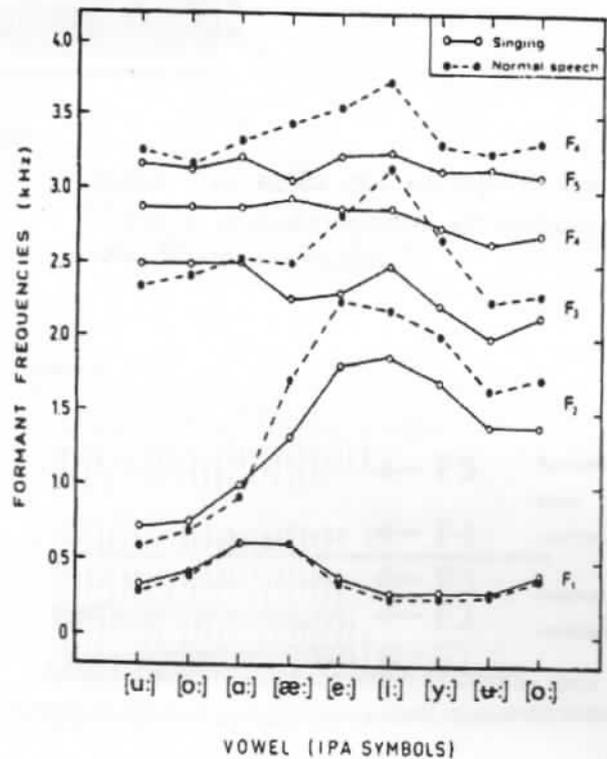
schémas 6

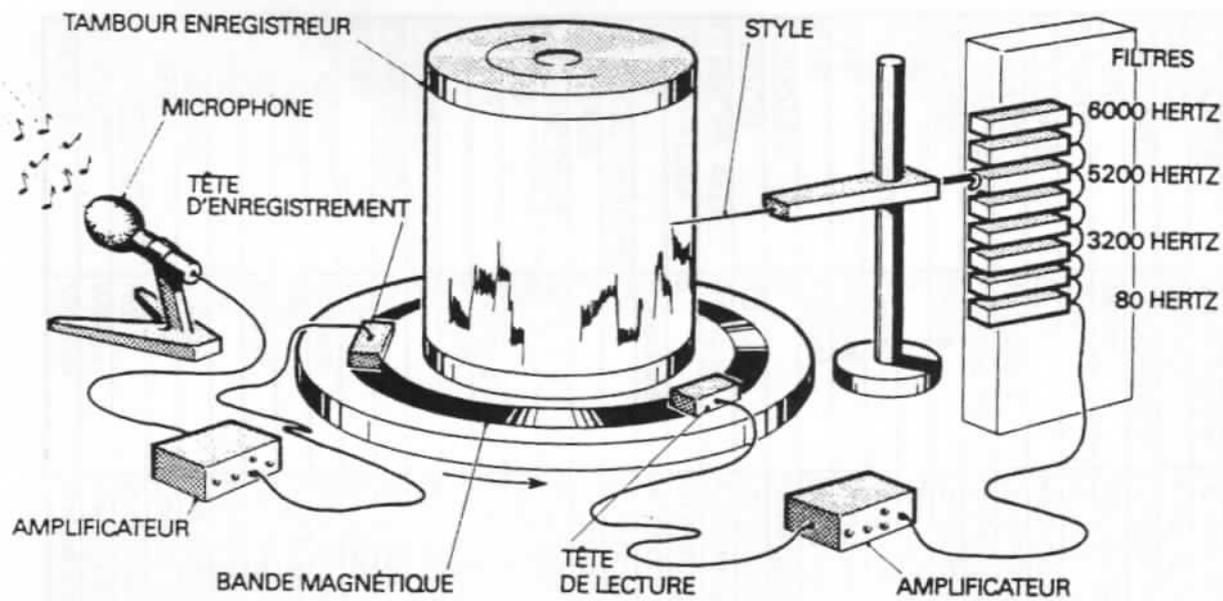


Distribution en fréquences de la puissance pour un orchestre et pour un ténor.

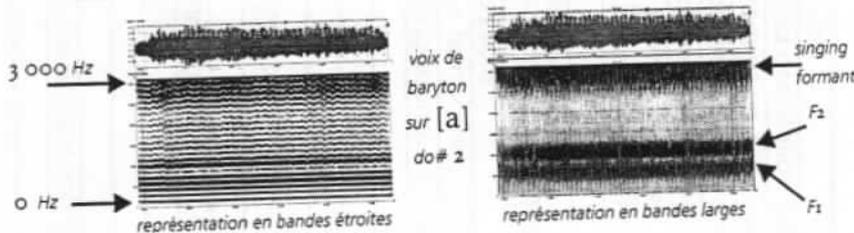
D'après les actes du colloque 2001
"Moyens d'investigation et pédagogie
de la voix chantée"

Dr. Virginie Woisard



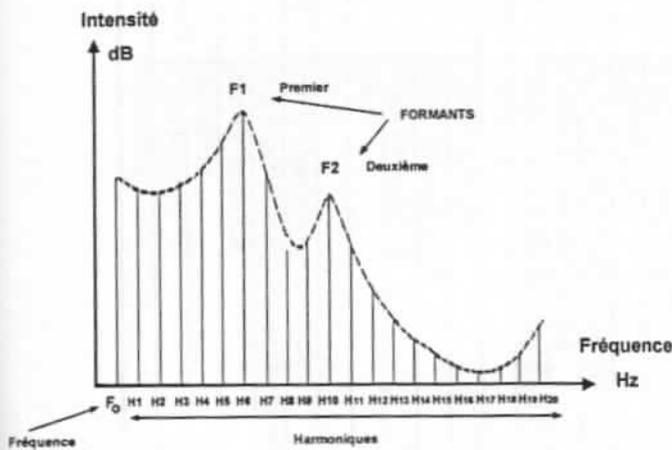


§.1 LE SONAGRAPHE est un appareil qui donne une représentation graphique des sons commode à interpréter. Le son émis par un animal est capté par un micro et, après amplification, enregistré sur une bande magnétique disposée en cercle sur un disque tournant. La durée d'enregistrement, qui correspond à la longueur de la bande, est de 2,4 secondes. Lorsque la bande passe devant la tête de lecture, le signal enregistré est capté et envoyé successivement à travers de nombreux filtres de bandes passantes égales. Le signal à la sortie de chaque filtre correspond à l'enregistrement dans une certaine bande de fréquence; son intensité est inscrite à chaque instant sur le papier du tambour rotatif. On utilise, en général, pour l'inscription, une feuille de papier qui brûle à chaque fois qu'une étincelle électrique apparaît à l'extrémité de la pointe, c'est-à-dire lorsqu'il y a un son à cette fréquence et à cet instant précis. Sur le papier, apparaît un dessin représentatif d'un son donné : c'est un sonagramme.

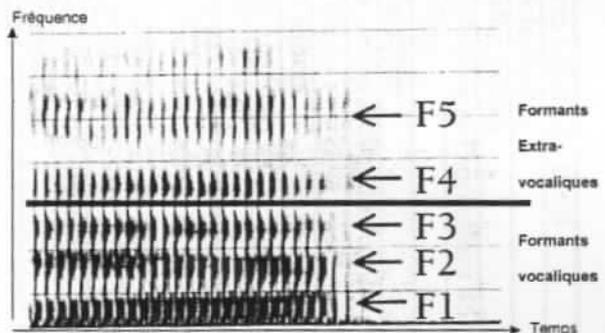


§.2 Exemples de sonagrammes.

D'après les actes de colloque 2001 "Noyens d'investigation et pédagogie de la voix chantée"



§.3 Les formants sur une analyse spectrale.



§.4 Formants vocaliques et extra-vocaliques analysés sur un sonagramme

BIBLIOGRAPHIE

| | | | | |
|------------------|----------------|--|------------------------------------|------|
| APPELMAN | Ralph | The science of vocal pedagogy: theory and application | Indiana university press | 1997 |
| ALTENMULLER | E | Music learning produces changes in brain activation ... (Chouard) | Int J Arts Med 5 | 2004 |
| CASTAREDE | Marie France | La voix et ses sortilèges | Les belles lettres | 2004 |
| CHOQUE | Dainouri | Actes du séminaire -Approches corporelles et sensorielles de la voix | Musicothérapie Expressions 45 | 2004 |
| CHOUARD | Claude-Henri | L'oreille musicienne | Gallimard | 2001 |
| COFFIN | Berton | The sounds of singing | Pruette press | 1976 |
| CORNUT | Guy | La voix - Que sais-je | Presse universitaire de France | 1990 |
| COULOMBEAU | Bruno | Méthodes d'évaluation clinique de la voix : actes de colloque Vocalidées | Symétrie | 2001 |
| DAMASIO | Antonio R | Le sentiment même de soi | Odile Jacob | 1999 |
| DEJONCKERE | Philippe Henri | Techniques de base d'évaluation de la voix | Cabay Louvain | 1985 |
| DELATTRE | Pierre | La radiographie des voyelles françaises et sa corrélation acoustique | French review | 1968 |
| EVERS | S | The cerebral haemodynamics of music preception (Chouard) | Brain 122 | 1999 |
| GILLIE GUILBERT | Clair | Et la voix s'est fait chair, Naissance, Essence, sens du geste vocal | | |
| HART | Michel | L'analyse sonographique: un nouveau moyen pédagogique | Journal de l'AFPC n°9 | 2002 |
| HART | Michel | Utilisation de l'analyse sonographique de la voix chantée | Journal de l'AFPC n°9 | 2002 |
| HOUDARD | R | Le langage de l'homme et l'immatérialité du cerveau ... (Chouard) | Bul de l'acad de méd 181 | 1997 |
| HUSSON | Raoul | La voix chantée | Gauthier-Villars | 1960 |
| LE HUCHE, ALLALI | François | Anatomie et physiologie des organes de la voix, tome 2 | Masson | 1991 |
| LECHEVALLIER | B | La perception des sons musicaux : apport de la camera (Chouard) | Bul de l'acad de méd 181 | 1997 |
| LEVIN | Théodore | Le chant des Trouvas, dossier: le monde des sons | Pour la science n°265 | 1999 |
| LIEGEOIS CHAUVEL | C | Contribution of different cortical areas the temporal ... (Chouard) | Brain 121 | 1998 |
| McADAMS | S | Organization and discrimination of repeating sound... (Chouard) | J acoust soc am 89 | 1997 |
| MERLEAU PONTY | Maurice | Phénoménologie de la perception | Gallimard | 1945 |
| MILLER | Richard | Training tenor voices | Schrimmer Books New York | 1993 |
| MILLER | Richard | Training soprano voices | Oxford university press | 2000 |
| NAIR | Garyth | Voice tradition and technology | Singular publishing group San | 1999 |
| OHGUSHI | J | On teh role of temporal cues in frequency recognition (Chouard) | JASA 64 | 1978 |
| ORMEZANO | Yves | Le guide de la voix | Odile Jacob | 2000 |
| PERRY | D.W | Localization of cerebral activity during simpling singing (Chouard) | Brain imaging 10 | 1999 |
| SATALOFF | Robert | La voix : le monde des sons (Dossier hors série) | Pour la science | 2001 |
| SCHAEFFER | Pierre | Traité des objets musicaux | Seuil | 1966 |
| SERRES | Michel | Les cinq sens | Seuil | 1974 |
| SPENCE | MJ | Newborn infants prefer the maternal low-pass filtered voice (Chouard) | Infant behavior and dev 19 | 1996 |
| SUNDBERG | Johan | The science of the singing voice | Northern Illinois university press | 1987 |
| TOMATIS | Alfred | L'oreille et le langage | points Science | 1978 |
| TRAN QUANG | Hai | La découverte du chant diphonique, actes de colloque Vocalidées | Symétrie | 2001 |
| VENNARD | William | singing the mecanism and the technic | Carl Fischer | 1967 |
| WOZARD | Virginie | Phonétique et articulation, actes de colloque Vocalidées | Symétrie | 2001 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| MOTS CLES - THESE | 1 |
| INTRODUCTION | 2 |
| | |
| <u>PREAMBULE</u> | 4 |
| | |
| 1 PRINCIPES GENERAUX ACOUSTIQUES | 4 |
| 1-1 Le son | 4 |
| 1-2 L'onde | 4 |
| 1-3 La fréquence | 4 |
| 1-3.1 Hauteur et tonie | 4 |
| 1-3.2 Fréquence fondamentale | 5 |
| 1-4 Sons complexes périodiques : les harmoniques | 5 |
| 1-5 Le spectre, le spectrogramme | 6 |
| 1-6 Les ondes sonores, système acoustique | 6 |
| 1-7 La résonance | 6 |
| 1-8 Les formants | 6 |
| | |
| 2 ACOUSTIQUE DE L'APPAREIL VOCAL HUMAIN | 7 |
| 2 -1 Généralités et définition | 7 |
| 2-1.1 La voix | 7 |
| 2-1.2 L'appareil vocal humain | 8 |
| 2-2 Résonance et résonateurs | 8 |
| 2-2.1 Résonateurs | 8 |
| 2-2.2 Registre résonantiel et accord phonorésonantiel | 9 |
| 2-3 Théorie de la source et du filtre : production et mise en forme de la voix | 9 |
| 2-3.1 Fréquence fondamentale | 10 |
| 2-3.2 Harmoniques | 10 |
| 2-3.3 Filtre du conduit vocal | 10 |
| 2-3.4 Caractéristique du rayonnement | 10 |
| 2-4 Les formants | 11 |
| 2-4.1 Les fréquences des formants | 11 |
| 2-4.2 Les voyelles | 12 |
| 2-4.3 Modélisation du processus | 13 |
| 2-4.4 Les formants de la voix chantée | 13 |
| 2-4.4.1 Le singing formant ou formant du chanteur | 14 |
| 2-4.4.2 Le renforcement des harmoniques dans le chant diphonique | 15 |
| 2-5 Timbre vocal en bilan phoniatrice | 15 |
| 2-5.1 Analyse subjective du timbre vocal | 15 |
| 2-5.2 L'analyse objective du timbre par le sonagramme | 16 |
| 2-5.2.1 Timbre vocalique et harmoniques graves | 17 |
| 2-5.2.2 Timbre extra-vocalique et harmoniques aigus | 18 |

| | |
|--|-----------|
| PREMIER PARTIE : ENTENDRE ET EMETTRE LES SONS | 19 |
| LA BOUCLE AUDIOPHONATOIRE | |
| 1 DEVELOPPEMENT DE L'AUDITION | 20 |
| 1-1 Embryologie et audition fœtale | 20 |
| 1-2 Audition du nouveau-né et du nourrisson | 21 |
| 1-3 Audition de l'enfance à l'âge adulte, notion de plasticité cérébrale | 21 |
| | |
| 2- LES CHEMINS DU SON MUSICAL AU CERVEAU | 22 |
| 2-1 Codage des sons dans la cochlée | 22 |
| 2-1-1 Mécanisme passif | 22 |
| 2-1-2 Mécanisme actif | 23 |
| 2-2 Codage des sons dans le nerf auditif | 23 |
| 2-2-1 Codage temporel | 23 |
| 2-2-2 Codage spatial | 24 |
| 2-3 Les chemins du son dans l'encéphale | 24 |
| 2-3-1 Du tronc cérébral au colliculus inférieur | 24 |
| 2-3-2 Le chemin des sons dans Le cortex cérébral | 25 |
| 2-3-2.1 Aires auditives corticales | 25 |
| 2-3-2.2 Paramètres musicaux et localisation cérébrale | 25 |
| 2-3-2-2-1 Reconnaissance de la tonie, participation de l'aire visuelle | 25 |
| 2-3-2-2-2 Reconnaissance de l'intervalle, chroma | 26 |
| 2-3-2-2-3 Reconnaissance du timbre | 26 |
| 2-3-2-2-4 Contour mélodique | 26 |
| | |
| 3- LA BOUCLE AUDIOPHONATOIRE, EXPERIENCES DE TOMATIS | 27 |
| 3-1 L'oreille musicale | 27 |
| 3-1-1 Zone de contrôle de la voix chantée | 28 |
| 3-1-2 Audiogramme de musiciens | 28 |
| 3-1-3 Sonagramme de musiciens | 28 |
| 3-2 Lien entre audition et qualité de l'émission vocale | 29 |
| 3-2-1 Diaphragme auditif sélectif | 29 |
| 3-2-1-1 Facteurs environnementaux | 29 |
| 3-2-1-2 Facteurs psychologiques | 30 |
| | |
| 4- LA BOUCLE SOCIOPHONATOIRE | |
| 4-1 Mémoire du geste vocal | 30 |
| 5-2 Percevoir, recevoir, écouter le geste vocal | 30 |
| | 31 |

DEUXIEME PARTIE : ENTENDRE ET EMETTRE LES HARMONIQUES

32

| | |
|---|-----------|
| 1- LE CHANT DES TOUVAS | 32 |
| 1 – 1 Aspect ethnologique | 32 |
| 1 – 2 Aspect acoustique | 33 |
| 1-2- 1 Ajustement des harmoniques | 33 |
| 1-2-2 Allongement de la phase de fermeture des cordes vocales | 34 |
| 1-2-3 Amplification et sélectivité du conduit vocal | 35 |
| 1- 3 Techniques du chant diphonique | 35 |
| | |
| 2 PERCEPTION AUDITIVE ET EMISSION VOCALE DES HARMONIQUES | 36 |
| 2 -1 Evolution de l'audition avec l'âge | 36 |
| 2 – 2 Ecoute ouverte et écoute fermée | 37 |
| 2 – 3 Espaces de résonance | 37 |
| 2 – 3 - 1 Résonance du conduit vocal | 37 |
| 2 – 3 - 2 Résonance du lieu | 38 |
| 2 – 3 - 3 Résonance du chœur | 38 |
| 2 – 4 Perception des harmoniques | 38 |
| 2-4-1 Test de perception des harmoniques | 38 |
| 2-4-2 filtrage auditif | 38 |
| 2-4-3 Ecoute osseuse et écoute aérienne | 38 |
| 2 – 5 Emission des harmoniques | 39 |
| 2-5-1 Son tenu à l'unisson, bouche fermée | 39 |
| 2-5-1-1 Seuil d'audibilité | 39 |
| 2-5-1-2 Résonance collective | 40 |
| 2-5-2 Son tenu à l'unisson, sur la voyelle o | 41 |
| 2-5-3 Unisson sur différentes voyelles o eu é i ou | 41 |
| 2-5-4 Unisson sur la série harmonique ; les formants voyelliques | 42 |
| 2 -6 Harmoniques et son du chœur | 42 |
| 2-6-1 Spatialisation du son | 42 |
| 2-6-2 Unisson, accord et justesse | 43 |
| 2 - 7 Effets bénéfiques des harmoniques sur le geste vocal | 44 |
| 2-7-1 Réglage pneumophonique | 44 |
| 2-7-2 Posture et tension musculaire | 44 |

TROISIEME PARTIE : VISUALISER POUR ENTENDRE ET EMETTRE

45

L'ANALYSE SONOGRAPHIQUE : OUTILS PEDAGOGIQUE ET DE REEDUCATION VOCALE

| | |
|--|-----------|
| 1 PRESENTATION DU MATERIEL SONOGRAPHIQUE | 45 |
| 1- 1 Le sonagramme | 45 |
| 1- 2 Le spectrogramme | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 2 APPLICATIONS DE L'ANALYSE SONAGRAPHIQUE | 46 |
| 2-1 En linguistique et phonétique | 47 |
| 2-2 En pédagogie du chant : | 47 |
| 2-2-1 Recherche fondamentale | 47 |
| 2-2-2 Actualité pédagogiques | 48 |
| 2-2-3 Expérience personnelle | 49 |
| 2-3 En phoniatry | 50 |
| 2-3-1 Utilisation de la sonographie dans la littérature | 50 |
| 2-3-2 Présentation de mon travail personnel en bilan phoniatry | 50 |
| 2-3-2-1 Objectifs | 50 |
| 2-3-2-2 Les paramètres recherchés et analysés | 51 |
| 2-3-2-3 Les exercices proposés | 51 |
| 2-3-2-3-1 Modalités pratiques | 51 |
| 2-3-2-3-2 Le bilan phoniatry : | 52 |
| 2-3-2-3-3 Le suivi en rééducation phoniatry | 52 |
| 2-3-2-4 Présentation de cas clinique | 53 |
| 2-3-2-4-1 Troubles dysphoniques | 53 |
| 2-3-2-4-2 Autres pathologies vocales | 54 |
| | |
| 3 SONAGRAMMES | 55 |
| Exercices Sonagrammes | |
| 3-1 Texte en voix soutenue | 56 |
| 3-2 Voix d'appel | 58 |
| 3-3 Test S/Z | 60 |
| 3-4 Sirène sur Z | 61 |
| 3-5 Note tenue sur a | 62 |
| 3-6 Début de son sur a | 63 |
| 3-7 Série voyellique | 64 |
| 3-8 Jeux articulatoires et vocaux | 67 |
| 3-9 Jeux vocaux | 69 |
| 3-10 Harmoniques | 72 |
| 3-11 Chansons | 74 |
| 3-12 Chanteurs lyriques | 75 |
| | |
| <u>EPILOGUE</u> | 77 |
| | |
| <u>ANNEXES</u> | 79 |
| | |
| Schémas | 80 |
| | |
| Bibliographie | 87 |
| | |
| Sommaire | 88 |