



## REGISTRES VOCAUX ET MÉCANISMES LARYNGÉS : LE CAS DE LA “VOIX MIXTE” FRANÇAISE

PACS: 43.75.Cs

Castellengo, Michèle<sup>1</sup>, Lamesch, Sylvain<sup>1</sup>, Henrich, Nathalie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IRDA-LAM, Université Paris 6, CNRS, Minist. Culture. Paris, France; [michele.castellengo@upmc.fr](mailto:michele.castellengo@upmc.fr)  
[lamesch@lam.jussieu.fr](mailto:lamesch@lam.jussieu.fr)

<sup>2</sup> GIPSA-lab, Parole et Cognition, CNRS, Grenoble, France; [Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr](mailto:Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr)

### ABSTRACT

When producing an ascending scale, e.g. from C2 to E5, two different laryngeal mechanisms, M1 and M2, are used one after the other. To smooth both laryngeal and timbre transitions, singers develop a vocal technique named “Voix mixte”. Contrary to general opinion, “Voix Mixte” register is not an intermediate laryngeal mechanism, but it is either produced in laryngeal mechanism M1 (mx1 voix mixte), or in laryngeal mechanism M2 (mx2 voix mixte)

A study has been conducted on two professional singers, a countertenor and a soprano. A voice range profile, or phonetogram, has been established in each laryngeal mechanism. Inside the overlapping frequency region where M1 and M2 can both be used, we recorded acoustic and electroglottographic (EGG) signals for musical sentences produced on the same pitches in different vocal registers: chest, male-falsetto or female-head, and “voix mixte”. As dynamic is larger in M1 than in M2, and shifted to higher vocal intensities, the imitation of M2-like voice quality for mx1 is essentially achieved by a decrease of vocal intensity, which goes with a decrease of high-harmonics spectral energy. On contrary, the imitation of M1-like voice quality for mx2 is achieved by timbre enrichment, which goes with an increase of loudness.

### 1- LA VOIX HUMAINE, SOURCE ACOUSTIQUE COMPLEXE.

La voix humaine d'un même individu peut couvrir plus de 5 octaves (de 40 Hz à 2000 Hz). Du grave à l'aigu l'organe vocal se transforme, ce qui entraîne des changements de qualités vocales diversement appréciés selon les cultures. On sait que la qualité du son perçue par l'auditeur est le résultat de l'élaboration complexe du son selon deux niveaux : d'une part la vibration laryngée, d'autre part l'ensemble de cavités de résonance traversées par la source vibratoire. Depuis toujours, les traités de chant partitionnent l'étendue des voix humaines en zones appelées « registres », mais il n'existe pas de consensus sur le nombre ni sur la dénomination de ces registres. Indépendamment des variables liées à la diversité des conceptions esthétiques sur la qualité vocale, la difficulté principale provient de la confusion entre les deux niveaux d'élaboration du son vocal. Même lorsqu'il en a le désir, un chanteur ne peut pas toujours discriminer sur lui-même si les changements de qualité sont dus principalement à la vibration laryngée ou aux cavités de résonance, ce qui est le cas pour la voix dite « mixte ». Nous avons donc entrepris cette recherche grâce à la complicité active de chanteurs de haut niveau désireux de mieux comprendre certains aspects de leur technique vocale. Pour y parvenir nous devons d'une part caractériser avec le maximum de certitude la configuration laryngée source de la vibration sonore, d'autre part adopter un vocabulaire de désignation de cette source, neutre et dépourvu d'ambiguïté.

### 2 – MÉCANISMES LARYNGÉS ET REGISTRES : LE PROBLÈME DU TROISIÈME REGISTRE.

Le concept de *mécanisme laryngé*, concerne la production du son laryngé. Dans la tessiture moyenne des voix lyriques qui s'étend de 100 à 1000 Hz, hommes et femmes confondus, deux mécanismes vibratoires sont utilisés : M1 pour les sons allant du grave au médium (modal, mécanisme lourd ou épais) ; M2 pour les sons allant du médium à l'aigu (loft, mécanisme léger ou mince).

Le concept de *registre* se fonde sur la perception d'une série consécutive de sons de qualité sonore homogène. Le nombre et la dénomination des registres diffère selon qu'il s'agit des voix

d'hommes ou de femmes, et varie selon les époques. Les auteurs qui ne considèrent que deux registres dans les voix ont tendance à poser une équivalence implicite entre le 1<sup>er</sup> registre (parfois nommé *poitrine*), et M1, et entre le 2<sup>ème</sup> registre (nommé aussi *fausset* ou *tête*) et M2. L'emploi d'un mot unique « registre » renvoyant à deux niveaux différents de l'élaboration du son génère des ambiguïtés de pensée qui, depuis Garcia [2, 6] ont pesé lourd dans l'histoire des techniques vocales depuis Garcia [Henrich, 2006 ; Castellengo [2005]. Le problème se complique dès que le nombre de registre est supérieur à 2.

*Le troisième registre et la voix mixte.* Les traités de chant français du début du 19<sup>ème</sup> siècle [13] proposent des exercices systématiques pour égaliser la transition entre « poitrine-fausset » chez les hommes, et « poitrine tête » chez les femmes. Dans le même temps se généralise le concept d'un troisième registre assurant la transition entre les deux autres appelé « voix medium », principalement chez la femme, répondant à une recherche de l'homogénéisation de la qualité vocale sur toute la tessiture<sup>1</sup>. L'expression « voix mixte<sup>2</sup> » apparaît en 1840 après la retentissante prestation vocale de Gilbert Duprez dans Guillaume Tell<sup>3</sup> et se généralisera peu à peu dans son sens actuel<sup>4</sup>. Dans la tradition anglo-saxonne le 3<sup>ème</sup> registre se nomme « mid, medium, middle ». Richard Miller [15,p.154] emploie le terme *mixture* pour désigner « toute qualité de timbre qui n'est ni entièrement de tête, ni entièrement de poitrine<sup>5</sup> ». La « mixture » ne semble pas être un registre vocal comme le « medium », mais une technique d'ajustement du timbre vocal.

La question qui se pose est la suivante. Le travail d'un registre mixte consiste-t-il à « mixer » les deux mécanismes vibratoires, ou s'agit-t-il seulement d'un travail de d'adaptation du système rés onantiel?

### **3 – ETUDE DE LA VOIX MIXTE.**

#### **Etudes antérieures.**

La plupart des recherches sur les registres « middle, medium » dont nous avons rendu compte en 2004 [1] manquent de documents objectifs identifiant avec certitude le mécanisme vibratoire mis en jeu, ou ne concernent pas le mixage proprement dit. En 2005 [14] D.G. Miller publie diverses analyses de la transition chest-falsetto dans la voix de femme. Si les données de l'EKG permettent de contrôler le changement de mécanisme laryngé, l'absence d'indication sur l'intensité des sons, dont verrons l'importance dans cet article, ne permet pas à l'auteur de décider de la nature glottique ou résonnante des sons ambigus pouvant être « mixés ».

#### **Définition de la voix mixte.**

Selon les nombreux chanteurs avec lesquels nous avons travaillé, la voix mixte désigne une portion réduite de la tessiture vocale, de l'ordre d'une quarte à une quinte, située dans la zone commune aux deux mécanismes M1 et M2. Dans cette zone le chanteur travaille de façon particulière les ajustements de dynamique et de qualité spectrale avec un *double objectif* : d'une part parfaire l'égalisation de la voix à la transition des deux mécanismes ; d'autre part disposer indifféremment des mêmes capacités d'expression sonore dans l'un ou l'autre mécanisme, de sorte que l'auditeur ne discerne pas le mécanisme utilisé.

#### **Objectifs de la recherche.**

Nous avons montré en 2004 [1] que les productions de voix mixte appartenaient clairement à l'un ou l'autre des deux mécanismes laryngés. Nous reprenons ici l'étude approfondie des mécanismes avec deux chanteurs travaillant électivement la voix mixte, dans des conditions

<sup>1</sup> au point que quelques auteurs clament que la voix ne doit pas avoir de registre (ou ne doit avoir qu'un seul registre sur toute son étendue).

<sup>2</sup> plus exactement le « sombrero mixte », ce que Gilbert Duprez désigne par « mixte fort » dans sa méthode de chant [4]. Même sens chez Garcia pour qui c'est un timbre spécial.

<sup>3</sup> elle désigne alors ce qui s'appellera plus tard la « couverture » dans l'aigu du M1 de la voix d'homme.

<sup>4</sup> Citons Mandl [12] : Quelques sons, par leur intonation, appartiennent aux deux registres et peuvent être donnés en voix de poitrine ou voix de tête. On appelle *voix mixte* les sons les plus élevés de la voix de poitrine, adoucis et sombrés, et chez les femmes, *medium ou fausset* le commencement du registre supérieur. » p. 39

<sup>5</sup> La voce mista est propre à l'homme; la femme utilise deux mixtures : la mixture de tête dans le grave de la tessiture et la mixture de poitrine dans le médium.

d'enregistrement très contrôlées afin d'objectiver l'égalisation sonore perçue du point de vue acoustique.

### Protocole expérimental

**Sujets.** L'étude est menée avec deux chanteurs professionnels, un contretenor (CT) et une soprano (S) qui pratiquent la voix mixte en M1 et en M2.

**Recueil et analyse des données.** L'enregistrement a lieu dans une pièce semi-anéchoïque. Le signal EGG est acquis sur ordinateur (MacIntosh) grâce à une carte d'acquisition, simultanément avec le signal audio capté par un microphone à condensateur placé à 30cm de la bouche du chanteur. Avant chaque séance une calibration de l'intensité est effectuée. On demande aux chanteurs de produire des sons isolés à différentes intensités, avec différentes voyelles ainsi que des extraits musicaux représentatifs de la voix mixte. Le signal EGG traité selon le protocole décrit par Henrich [8] fournit : DEGG, fo et Oq (Open Quotient). Du signal audio nous obtenons la courbe d'intensité et diverses analyses spectrales : sonagrammes, valeurs de FB2 et FB3 [11].4 - Résultats : caractérisation des productions laryngées : M1, M2.

Les chanteurs avec qui nous travaillons ont une claire conscience du mécanisme laryngé qu'ils utilisent, excepté pour la production de certains sons mixtes de faible intensité. Il importe donc de réunir le maximum de données permettant de caractériser objectivement les mécanismes vibratoires. Nous établissons tout d'abord les phonétogrammes.

#### 4a/ Phonétogramme M1-M2 et zone mixte de CT (figure 1)

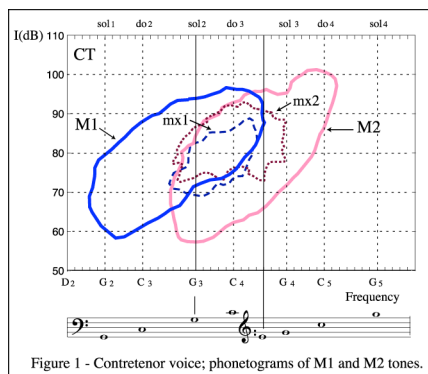


Figure 1 - Contretenor voice; phonetograms of M1 and M2 tones.

Le phonétogramme fournit la zone d'existence des sons produits en M1 et M2 associée à leurs possibilités dynamiques. Il est fondamental pour notre propos de séparer M1 et M2 cf [17]. La figure 1 montre en bleu l'aire de M1 et en rouge celle de M2. Le mécanisme 1 couvre l'étendue 85-330 Hz (F2-E4). Le mécanisme 2 couvre l'étendue E3-D5. (165-580 Hz). Après le phonétogramme le chanteur a enregistré une série de sons émis en voix mixte, en distinguant « les mixtes de poitrine des mixte de tête ». On voit que les sons mixtes (pointillés) se placent respectivement en M1 et en M2, dans la zone d'intersection des deux mécanismes située entre G3

et E4. Les deux zones mixtes se recouvrent et nous avons dit que le chanteur pouvait parfois manquer de certitude sur le mécanisme. Nous avons alors recours à la caractérisation du mécanisme par les données de l'EGG.

#### 4b/ Valeurs du quotient ouvert en M1 et M2 (figure2)

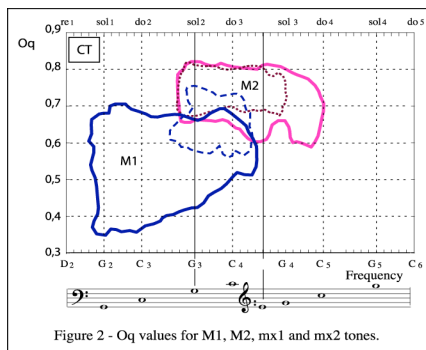


Figure 2 - Oq values for M1, M2, mx1 and mx2 tones.

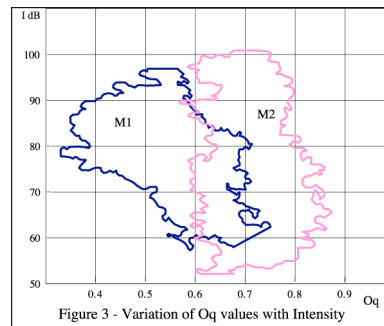


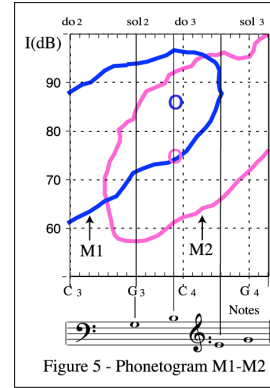
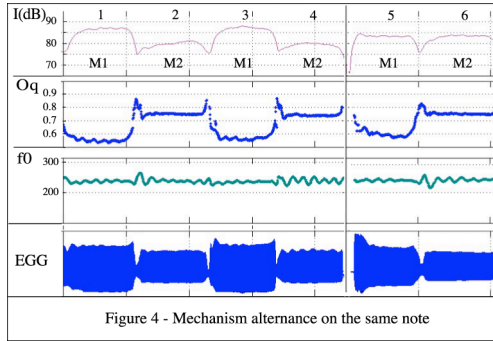
Figure 3 - Variation of Oq values with Intensity

Le quotient ouvert Oq est un bon indicateur des mécanismes laryngés [Henrich & al., 9]. Pour ce chanteur ,CT, les valeurs de Oq varient de 0,35 à 0,7 en mécanisme 1 et de 0,6 à 0,8 en mécanisme 2. Les sons mixtes du mécanisme 2 (pointillés fins) s'inscrivent totalement dans l'aire de M2 mais il n'en est pas de même des sons mixtes de M1 (tirets) dont une bonne partie a des valeurs de Oq communes avec M2. Or, pour certains chanteurs, Oq peut varier avec l'intensité d'émission en fonction du mécanisme laryngé [7].

#### 4c/ Variations du quotient ouvert avec l'intensité en M1 et M2 (figure 3).

Le diagramme de la figure 3 montre un effet sensible de l'intensité sur le quotient ouvert, pour les sons du mécanisme 1 :  $Oq$  varie en raison inverse de l'intensité sonore. Ces variations seront donc à prendre en considération pour l'interprétation des sons chantés en mixte 1.

#### 4d/ Variations d'intensité dans la zone commune en M1 et M2 (figures 4)



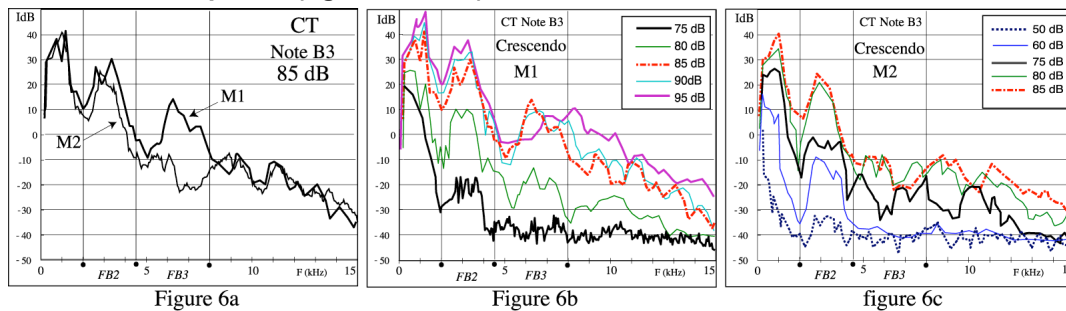
On demande au chanteur CT de passer rapidement de M1 à M2 sur une note commune, tout d'abord de façon « spontanée », sans effectuer d'ajustement : figure 4, sons 1 à 4. On constate d'importantes variations d'intensité : L'intensité de M1 est supérieure à celle de M2, d'environ 8 à 10 dB. On observe simultanément des variations dans l'amplitude de l'EGG, et dans les valeurs de  $Oq$  : ici de 0,55 (M1) à 0,75 (M2). On demande ensuite au chanteur d'égaliser l'intensité en M1 et en M2 : sons 5 et 6 de la figure 4. Les variations de l'amplitude de l'EGG et de  $Oq$ , bien qu'atténuées, fournissent toujours une bonne discrimination des mécanismes.

#### 4d/ Egaliser l'intensité dans la zone commune aux deux mécanismes (figure 5)

La figure 5, qui représente la partie centrale des phonétogrammes de la figure 1, correspond à la zone de travail des sons mixtes de CT. Si l'on demande au chanteur de chanter la note B3 de façon « confortable » pour l'émission, on remarque, comme précédemment une importante différence d'intensité selon qu'il émet le son en M1 : 85 dB, ou en M2 : 75 dB. Pour disposer dans cette zone des mêmes variations de dynamiques sans risquer de changer de mécanisme de façon inopinée, le chanteur travaille le Mécanisme 1 dans le sens des nuances piano : c'est mx1, et le mécanisme 2 dans le sens des nuances forte : c'est mx2.

### 5 – RÉSULTATS : CARACTÉRISATION ACOUSTIQUE ET PERCEPTIVE DES SONS M1, M2, MX1, MX2.

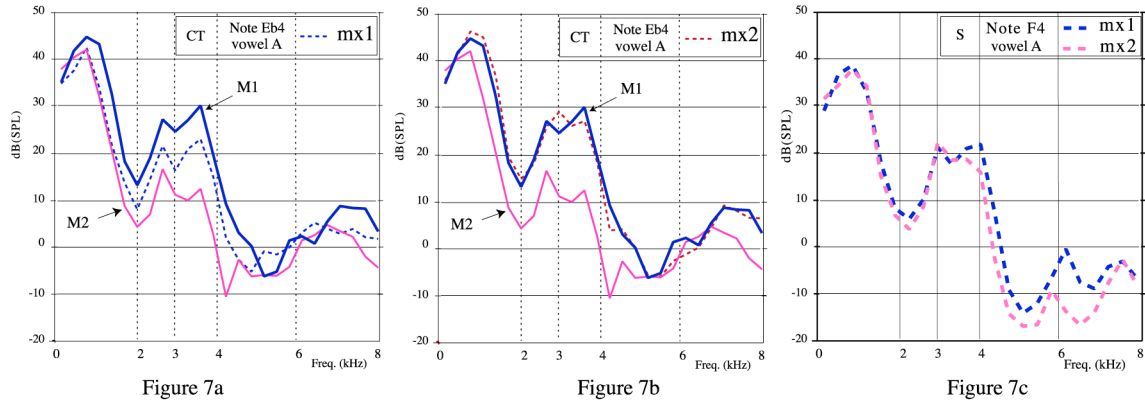
#### 5a/Intensité et spectre (figure 6a, b, c)



A l'écoute de sons émis en M1 et en M2 avec la même intensité, les auditeurs remarquent que les sons de M1 paraissent plus forts, et qu'ils semblent avoir un timbre plus « riche », plus « brillant ». Comparons les spectres de la note B3, voyelle A, chantée à la même intensité (85 dB), dans la zone commune aux deux mécanismes. Il s'agit de sons caractéristiques des deux mécanismes, sans registre mixte. La figure 6a met en évidence d'importantes différences dans le contenu spectral de M2 par rapport à M1 : (-10 dB) dans la zone 2 – 4,5 kHz (FB2 [11]) qui est celle du formant du chanteur, et (-20dB) dans la zone 4 - 8 kHz (FB3, [11]) déjà signalée par C. Pillot [16]. Ces importantes différences spectrales expliquent les changements perçus.

Nous avons réalisé une succession de spectres de cette même note chantée à des intensités différentes lors d'un crescendo. On voit qu'à intensité comparable, l'énergie dans les bandes de fréquences n'évolue pas de la même façon en M1 et M2. Le travail de la voix mixte consiste justement à égaliser, non seulement l'intensité, mais aussi la qualité sonore perçue.

### 5b/ L'égalisation de sonorité : sons mixtes. (figure 7a, b, c)



Lors des séances de travail les chanteurs ont réalisé des suites de sons de qualité sonore similaire mais produits dans des mécanismes différents. Figures 7a et 7b on voit l'analyse spectrale moyennée (LTAS) des sons mixtes et des mécanismes de référence produits par CT.

Ajustements en voix mixte 1. De M1 (89,5dB) à mx1(85,5dB) le CT diminue l'intensité de 4dB. L'ensemble du spectre se translate dans la direction de M2 sans l'atteindre. Dans la bande 6-8 kHz on remarque que le maximum se décale en fréquence pour s'ajuster sur celui de M2

Ajustements en voix mixte 2. De M2 (87dB) à mx2 (90,5dB) CT augmente l'intensité de 3,5 dB. La quasi superposition des spectres de mx2 sur M1 témoigne de la parfaite maîtrise de ce contreténor.

La chanteuse S a réalisé des couples de sons émis respectivement en mx1 et mx2, à la même intensité, dont la similitude spectrale est visiblement très achevée (figure 7c).

Ces analyses confirment le fait que, malgré les disparités manifestes entre les deux mécanismes : tant en intensité (figure 5) qu'en répartition spectrale (figure 6) les chanteurs parviennent à ajuster leur émission pour égaliser les sons au point que les auditeurs se laissent tromper. Une différence subsiste toutefois, celle du vibrato.

### Vibrato et mécanismes

Le vibrato intervient de façon importante dans la perception de l'intensité sonore et dans l'appréciation globale de la qualité sonore [5]. En mécanisme 2 le chanteur CT use systématiquement d'un vibrato plus ample lorsqu'il est en registre mixte. Si l'on désigne par  $f_0$  la fréquence moyenne et par  $f_M$  et  $f_m$  les limites supérieures et inférieures de la modulation de fréquence, la valeur du rapport  $(f_M - f_m) / f_0$  est comprise entre 0,04 et 0,09 en M2, et est de 0,20 en mx2 ce qui correspond respectivement à des intervalles de 76, 168 et 340 cents.

## 6 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

Les analyses présentées confirment les conclusions de notre précédente étude [11]. Les chanteurs produisent la *Voix mixte* soit en mécanisme M1 soit en mécanisme M2. Ceci est en accord avec l'intuition qu'ont les chanteurs du mécanisme qu'ils utilisent.

Pour parvenir à simuler en M1 les qualités sonores de M2 - et réciproquement - les chanteurs réalisent en voix mixte plusieurs sortes d'ajustements. A la source, l'intensité est adaptée de façon à compenser le décalage entre les dynamiques des deux mécanismes dans la zone commune du phonétogramme. Mais l'intensité perçue, qui seule compte pour l'auditeur, dépend également de la répartition de l'énergie dans le spectre ainsi que des caractéristiques du vibrato. Malgré les contraintes spectrales inhérentes à chaque mécanisme les chanteurs jouent simultanément sur les positions en fréquence et en intensité des maxima du spectre, sans pour autant changer les formants responsables de la « justesse » vocalique. Les

adaptations spectrales fines et complexes de la voix mixte relèvent principalement d'adaptations résonnantes, mais nous avons également observé des ajustements laryngés précis<sup>6</sup> [10] qui ne sont que des nuances du mécanisme principal toujours parfaitement identifiable. Une étude fine du signal EGG, la prise en compte des double pics, jointes à l'observation de la vibration laryngée en cinématographie ultra-rapide sont nécessaires pour en décider et font actuellement l'objet de notre recherche. Il s'agit d'un travail de longue haleine car les adaptations de la voix mixte changent selon l'intensité, selon la voyelle et se modifient très rapidement avec la fréquence d'émission. Les voix d'alto dont le cœur de la tessiture est la zone de transition entre les deux mécanismes sont des *orfèvres de l'art vocal* [3].

Les auteurs remercient chaleureusement les chanteurs dont la collaboration généreuse et les discussions enrichissantes leur ont permis de réaliser cette recherche.

## REFERENCES

- [1] Castellengo M, Chuberre B., Henrich N., (2004) – Is Voix Mixte, the vocal technique used to smoothe the transition across the two main laryngeal mechanisms, en independent Mechanism?, Proceedings of ISMA conference, Nara (Japan)
- [2] Castellengo M. - Manuel Garcia jr, a clear-sighted observer of human voice production. Logopedics Phoniatrics Vocology, 30, p.163-170.
- [3] Chuberre, B. (2000) - Les registres et passages dans la voix chantée, Mémoire de phoniatry. Université de Nantes.
- [4] Duprez G., (1845) - L'art du chant, Au ménestrel, (123 p.), Paris.
- [5] Garnier M., Henrich N., Dubois D., Castellengo M., Poitevineau J., Sotiropoulos D. (2005) - Etude de la qualité vocale dans le chant lyrique, SCOLIA, 20, Blackwell Munksgaard, Oxford, p. 151-169.
- [6] Henrich N., (2006) - Mirroring the voice from Garcia to the present day: some insights into singing voice registers; Logopedics Phoniatrics Vocology, 31 (1), pp. 7-14.
- [7] Henrich N., d'Alessandro C., Castellengo M., Doval, B. (2005), Glottal open quotient in singing: Measurements and correlation with laryngeal mechanisms, vocal intensity, and fundamental frequency, J. Acous. Soc. Am. 117(3), 1417-1430.
- [8] Henrich N., d'Alessandro, C. & Doval, B. (2004) - On the use of the derivate of electroglottographic signals for the characterisation of nonpathological phonation, J. Acous. Soc. Am 115(3), 1321-1332.
- [9] Henrich N., Roubeau B., Castellengo M., (2003) - On the use of electroglottography for characterisation of the laryngeal mechanisms. In Proc. SMAC 03, Stockholm.
- [10] Lamesch S., (2006) - Caractérisation de la voix mixte en termes de mécanismes laryngés, Master's thesis, Université Paris 6.
- [11] Lamesch S., Doval B. (2007) - What are the spectral differences for singing sounds produced by different laryngeal mechanisms in the same pitch range ? Proceeding of 19th ICA, Madrid
- [12] Mandl Dr.L.,(1876) - Hygiène de la voix parlée ou chantée suivie du formulaire pour le traitement des affections de la voix. Baillière et fils, Paris.
- [13] Méthode de chant du Conservatoire, Paris 1803
- [14] Miller, D.G., Schutte, H. (2005) - Mixing the Registers: Glottal Source or Vocal Tract?, Folia Phoniatr Logop 57, 278-291.
- [15] Miller, R. (1990) - La structure du chant, lpmc.
- [16] Pillot C. (2004) - L'efficacité vocale dans le chant lyrique: Aspects physiologique, cognitif, acoustique et perceptif, PhD thesis, Université Paris 3.
- [17] Roubeau B., Castellengo M., Bodin P., Ragot M., (2004) - Phonétogramme par registre laryngé; Folia phoniatrica; 56:321-333, Karger publ, Bâle.

---

<sup>6</sup> principalement mx2