

## Phonétogramme par registre laryngé

Bernard Roubeau<sup>a</sup> Michèle Castellengo<sup>b</sup> Patricia Bodin<sup>a</sup>  
Maryse Ragot<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Service d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Chirurgie Cervico-Faciale; Hôpital Tenon, et

<sup>b</sup>Laboratoire d'Acoustique Musicale, Université Paris 6, CNRS, Ministère de la Culture, Paris, France

### Key Words

Voice range profile · Phonetogram · Register ·  
Laryngeal mechanism · Voice dynamics · Singing

### Résumé

Le phonétogramme par registre (ou mécanisme vibratoire laryngé) résulte de la superposition de deux phonétogrammes élaborés séparément pour chacun des deux principaux registres vocaux. Il permet d'évaluer l'ensemble des possibilités de la voix suivant les deux axes amplitude et fréquence, en rendant compte des possibilités inhérentes à chaque mécanisme. Cette technique permet de mieux comprendre l'influence des zones de passage sur l'aspect général du tracé. Le calcul de l'aire des phonétogrammes par registre laryngé, appliqué à une population de 42 sujets issus de trois catégories: non-chanteurs, chanteurs amateurs et chanteurs confirmés des deux sexes, met en évidence le rôle de la technique vocale sur les potentialités acoustiques du vibrateur laryngé. Enfin, cette approche fournit des informations complémentaires précieuses pour la connaissance des registres vocaux.

### Registers as Shown in the Voice Range Profile

Voice range profile (VRP) is a well-known vocal test. Usually, it consists of a single diagram based on the whole voice range. When practised separately in each

individual laryngeal mechanism, VRP may offer much information on both the relative development of the different mechanisms used by the subject and the extension of the common area between two consecutive mechanisms. We present the results obtained from 42 subjects of both sexes who have different singing technique levels: professional singers, student and amateur singers, as well as subjects without any experience in singing. For each mechanism, the global VRP area and the dynamic range were computed. Results are discussed in relation to sex category and vocal training of subjects. Exploring systematically VRP for each mechanism gives new and valuable information on register managing in singing practice.

Copyright © 2004 S. Karger AG, Basel

### Introduction

La notion de registre vocal, ou mécanisme vibratoire laryngé, de même que le déterminisme du passage d'un registre à l'autre sont maintenant clairement établis, autant d'un point de vue physiologique et biomécanique qu'acoustique. Si l'étendue vocale a toujours intéressé les chanteurs autant que les physiologistes, les possibilités du vibrateur laryngé au sein de chaque registre en termes d'ampli-

### KARGER

Fax +41 61 306 12 34  
E-Mail [karger@karger.ch](mailto:karger@karger.ch)  
[www.karger.com](http://www.karger.com)

© 2004 S. Karger AG, Basel  
1021-7762/04/0565-0321\$21.00/0

Accessible online at:  
[www.karger.com/fpl](http://www.karger.com/fpl)

Bernard Roubeau, PhD

Service d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Chirurgie Cervico-Faciale  
Hôpital Tenon, 4, rue de la Chine, FR-75020 Paris (France)  
Tél. +33 1 56 01 61 79, Fax +33 1 56 01 70 10  
E-Mail [bernard.roubeau@tnn.ap-hop-paris.fr](mailto:bernard.roubeau@tnn.ap-hop-paris.fr)

tude et de fréquence n'ont été que partiellement explorées.

Le phonétogramme permet d'étudier la dynamique vocale sur l'ensemble de l'étendue en représentant le champ de liberté de l'instrument vocal suivant les deux paramètres amplitude et fréquence. Dès sa mise au point aux Etats-Unis dans les années 1930 [1, 2] au sein des laboratoires de la Bell Telephone, les chercheurs ont établi des phonétogrammes prenant en considération les registres [3]. Ainsi Wolf et al. [2], en 1935, avaient réalisé des profils vocaux en tenant compte du mécanisme d'émission chez plusieurs chanteurs. Les tracés obtenus étaient élaborés à partir des intensités maximales uniquement; ces premiers phonétogrammes n'étaient donc pas complets. Par la suite, Stout [4], en 1938, puis les différents auteurs qui se sont succédé ont abandonné la distinction des mécanismes et ont élaboré des phonétogrammes suivant la forme que l'on connaît actuellement. Ils sont constitués d'une aire définie par la courbe des intensités minimales comme limite inférieure et la courbe des intensités maximales comme limite supérieure, sur l'ensemble de l'étendue vocale [5–9]

Le rôle des registres sur la forme globale du phonétogramme a cependant été étudié car la zone de passage d'un registre à l'autre se traduit par une sorte de pincement de la forme générale [5, 7, 8, 10, 11]. Dans ce type d'étude, le registre d'émission est analysé à posteriori ou noté au cours de la production sans consigne précise imposée au sujet. Rares sont les auteurs qui réalisent un phonétogramme complet propre à chaque registre laryngé [12], pourtant cette méthode nous semble indispensable pour compléter la connaissance des registres ou mécanismes vibratoires.

Nous avons donc réalisé le phonétogramme de chacun des deux principaux registres laryngés. Ces deux registres sont respectivement désignés dans la littérature anglophone,

par les termes de «chest ou modal» et «falsetto (voix d'homme) ou head (voix de femme)». Dans la littérature francophone on emploie les termes de «voix de poitrine» et «voix de tête» ou bien mécanisme I et mécanisme II [13–16]. Cette dernière terminologie concerne aussi bien l'homme que la femme.

Outre l'observation qualitative que fournit le phonétogramme par registre, nous nous sommes intéressés à l'étendue et à la dynamique maximum des registres. Notre attention s'est portée tout particulièrement sur l'aire des formes obtenues [17, 18] pour chaque registre et sur son analyse en fonction des différents paramètres tels que le sexe et le niveau de technique vocale des sujets.

## Matériel et méthode

### *Méthode*

Un phonétogramme est élaboré séparément pour chaque mécanisme. L'étendue du mécanisme est parcourue par demi-ton en commençant par son milieu. Afin de limiter l'effet de fatigue lié à ce type d'épreuve, les sons de plus faible intensité sont produits d'abord et les plus forts ensuite, sur la voyelle /a/. La fréquence fondamentale du son à produire est donnée par un instrument à clavier. L'intensité est mesurée en dB(A) à l'aide d'un sonomètre de type 1560-P General Radio. Le sonomètre est placé à 1 m de la bouche du sujet afin de limiter les variations de mesures dues aux mouvements de tête du sujet. Les mesures sont effectuées dans une pièce calme, de grand volume (50 m<sup>3</sup>), pourvue d'une qualité acoustique confortable, mais traitée acoustiquement pour couper les réflexions et les résonances de basse fréquence [19]. Une attention toute particulière est portée au maintien de la distance constante entre le sujet et le microphone du sonomètre ainsi qu'à la position de la tête. Un enregistrement des séances de mesure est effectué sur magnétophone numérique DAT afin de permettre une ultime vérification des mécanismes utilisés et une éventuelle analyse spectrographique.

Le sujet débute par le mécanisme de son choix qui est exploré entièrement. Lorsqu'apparaît une incertitude sur la nature du mécanisme utilisé, notamment dans les sons faibles, il est demandé au sujet de produire un crescendo, voire un glissando. Si celui-ci s'effec-

**Tableau 1.** Population étudiée

Niveau vocal	Hommes		Femmes	
	effectif	âge	effectif	âge
Non-chanteurs	3	20–31	6	29–59
Chanteurs amateurs	11	20–45	10	23–46
Chanteurs confirmés	7	28–58	5	26–58

tue sans rupture, le mécanisme utilisé est bien celui annoncé [16, 20, 21].

Les phonétogrammes obtenus pour chaque mécanisme sont ensuite superposés. Les étendues sont mesurées de même que la dynamique maximum au sein de chaque mécanisme. Enfin la surface des phonétogrammes est calculée selon la technique d'intégration décrite par Sulter et al. [18] et analysée en fonction des différents facteurs caractérisant la population étudiée [22, 23].

Analyses de variance et test de Student – appariés et non appariés – ont permis une interprétation statistique des résultats en fonction des différents paramètres pris en considération.

Des phonétogrammes moyens par mécanisme ont été calculés pour l'ensemble de la population masculine d'une part et pour la population féminine de l'autre. Ces moyennes ont été effectuées à partir des données recueillies chez au moins 10 sujets de chaque sexe.

#### Population

42 sujets, hommes et femmes (tab. 1) de 20 à 58 ans répartis dans trois classes ont été explorés.

Les sujets ne présentaient pas de pathologie laryngée organique ou fonctionnelle et tous étaient capables de reproduire de façon précise une note donnée.

Les trois classes définies sont:

- les non-chanteurs, c'est-à-dire les sujets qui n'ont jamais entraîné leur voix au cours d'un travail particulier d'écoute ayant pour but d'en améliorer les qualités;
- les chanteurs confirmés, ceux qui, par un travail approfondi et continu, ont développé les qualités de leur voix dans l'esthétique du chant classique même si leur utilisation n'est pas lyrique;
- les chanteurs amateurs qui rassemblent les chanteurs ayant entraîné leur voix de façon épisodique; les sujets qui débutent un enseignement du chant ou enfin ceux qui sont choristes amateurs ou l'ont été, sont inclus dans cette classe.

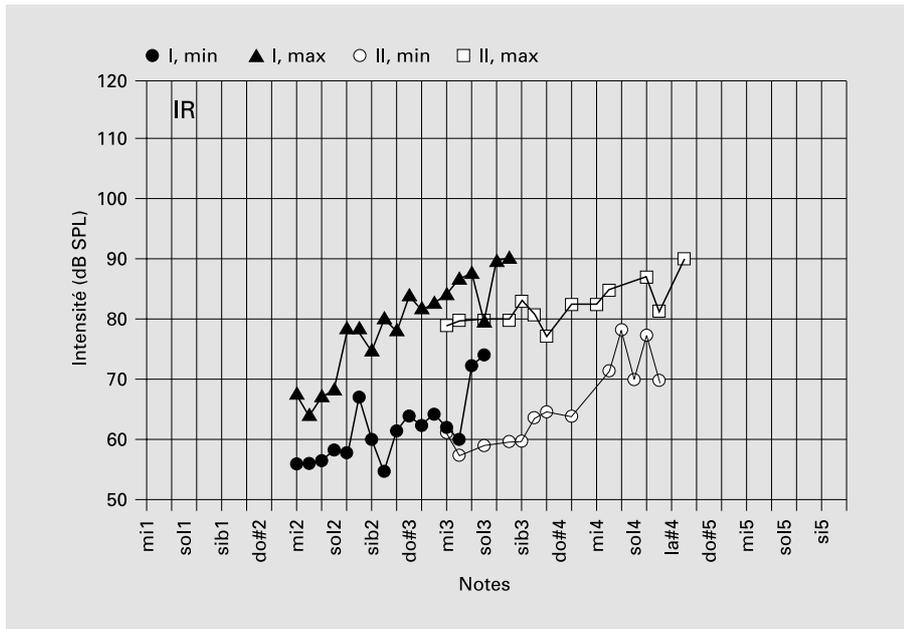
## Résultats

### Présentation des phonétogrammes types

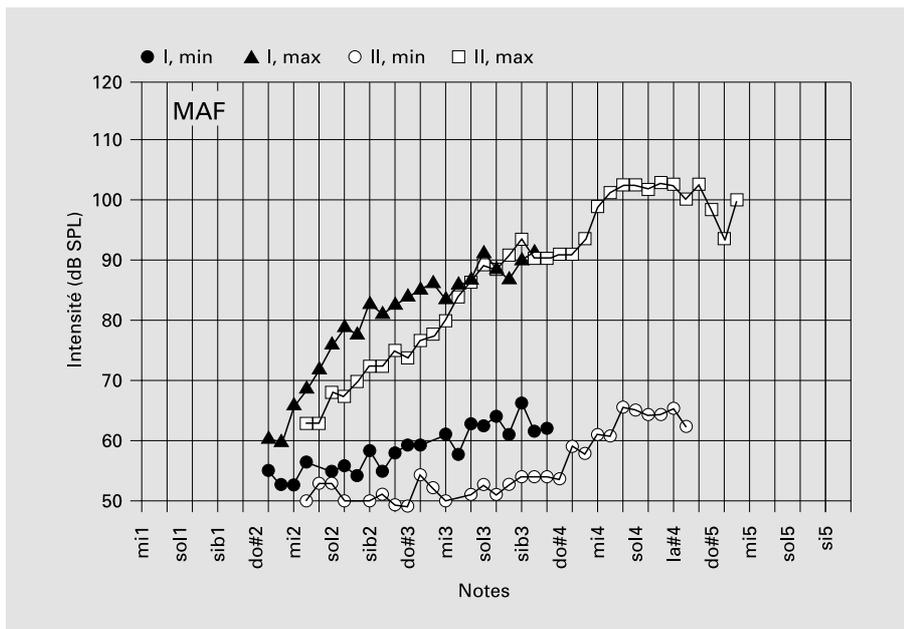
Deux exemples de phonétogrammes issus de sujets féminins sont présentés: figure 1 (non-chanteur) et figure 2, chanteur confirmé. Les phonétogrammes complets de chaque mécanisme sont représentés sur le même repère orthonormé (fréquence-amplitude) mais symbolisés différemment. Le mécanisme I s'étend vers le grave et le mécanisme II vers l'aigu. Il apparaît une zone de chevauchement des deux phonétogrammes correspondant à la zone commune aux deux mécanismes. La courbe des intensités maximales en mécanisme I n'est pas en continuité avec celle des intensités maximales en mécanisme II pour les mêmes fréquences, chez le non-chanteur (fig. 1). En ce qui concerne les intensités minimales, la discontinuité des courbes apparaît chez les deux sujets. Il est important de noter que les valeurs mesurées de l'intensité doivent être incrémentées de 10 dB pour être comparées à celles qui sont faites habituellement à 30 cm.

Pour le chanteur, la zone de chevauchement est très importante; le phonétogramme du mécanisme II est beaucoup plus développé que celui du mécanisme I. Les données quantitatives correspondant à ces observations sont développées ultérieurement grâce au calcul d'aire.

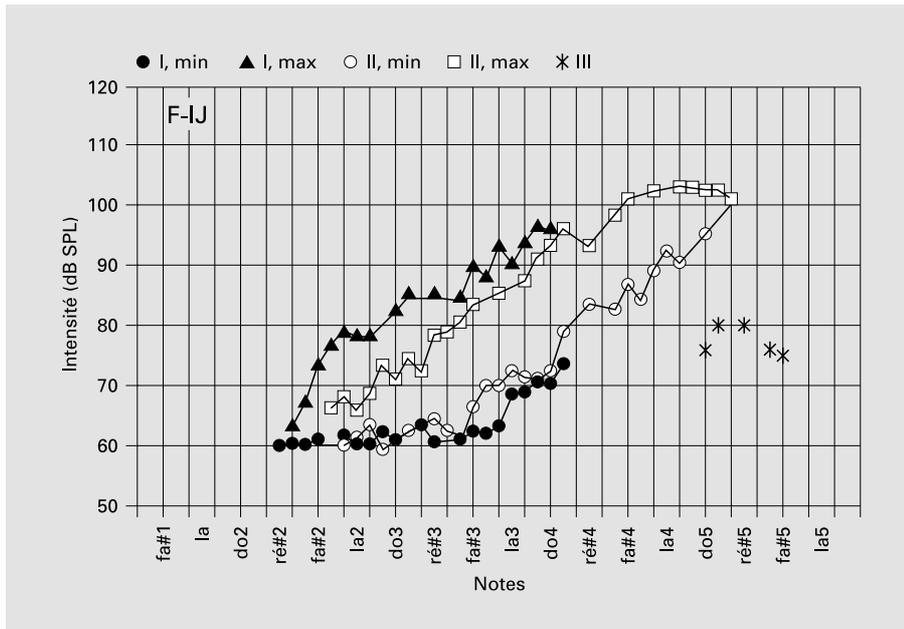
L'étude des phonétogrammes des chanteurs confirmés féminins (fig. 3) et masculins



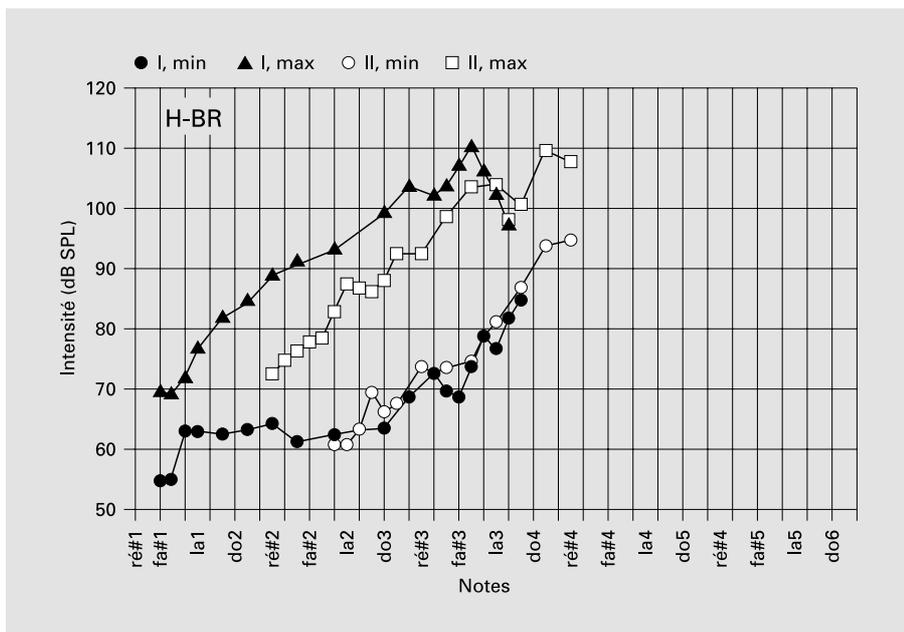
**Fig. 1.** Phonétogramme des mécanismes I et II. Sujet féminin non chanteur.



**Fig. 2.** Phonétogramme des mécanismes I et II. Sujet féminin chanteur confirmé.



**Fig. 3.** Phonétogramme des mécanismes I et II. Sujet féminin chanteur confirmé.



**Fig. 4.** Phonétogramme des mécanismes I et II. Sujet masculin chanteur confirmé.

**Tableau 2.** Etendues moyennes (moyenne  $\pm$  ET) des voix masculines par mécanisme (en demi-ton)

Hommes	I	II	I-II	Total
Non-chanteurs	20 $\pm$ 5,5	23 $\pm$ 10,7	11 $\pm$ 6,7	33 $\pm$ 9,5
Chanteurs amateurs	29 $\pm$ 3,7	25 $\pm$ 5,6	16 $\pm$ 4,2	39 $\pm$ 4,1
Chanteurs confirmés	33 $\pm$ 2,2	29 $\pm$ 6,9	21 $\pm$ 7,4	41 $\pm$ 3,6
Population totale	29 $\pm$ 5,4	26 $\pm$ 6,9	17 $\pm$ 6,5	39 $\pm$ 5,5

I-II = Chevauchement ou zone commune aux deux mécanismes.

(fig. 4) montre un chevauchement important des deux mécanismes. Le mécanisme II est développé vers l'aigu pour la femme et le mécanisme I vers le grave pour l'homme. Ces phénomènes sont également abordés quantitativement dans la suite de cette étude.

#### *Phonétogrammes moyens*

Les écarts types (ET) ne sont pas présentés sur les tracés dans le but d'en simplifier la lecture.

La comparaison des deux sexes (fig. 5, 6) montre le développement du mécanisme I dans le grave pour la population masculine et du mécanisme II dans l'aigu pour la population féminine. La zone commune aux deux mécanismes s'étend du Mi2 (165 Hz) au Fa#3 (370 Hz) pour l'homme et du Sol2 (196 Hz) au Sol3 (392 Hz) pour la femme. L'étendue du recouvrement des registres est de l'ordre d'une octave pour les deux sexes et se situe dans la même zone de fréquence.

#### *Etendue de chaque mécanisme*

L'étendue globale moyenne est respectivement de 39 demi-tons (ET = 5,5) pour les sujets masculins et de 35 demi-tons (ET = 2,9) pour les sujets féminins. Cette légère différence est significative ( $p = 0,005$ ).

#### *Etendue en demi-tons des sujets masculins*

Au sein de chaque classe, l'étendue du mécanisme I (tab. 2) est légèrement supérieure à celle du mécanisme II. Cette différence est significative (t apparié,  $p = 0,03$ ).

L'étendue des mécanismes I et II des chanteurs confirmés est significativement supérieure ( $p = 0,038$ ) à celle des non-chanteurs.

L'étendue de la zone de chevauchement est plus importante pour les chanteurs confirmés (21 demi-tons) que pour les non-chanteurs (11 demi-tons). La taille des effectifs ne permet pas de vérifier la valeur statistique de cette différence. Les chanteurs amateurs présentent des résultats intermédiaires.

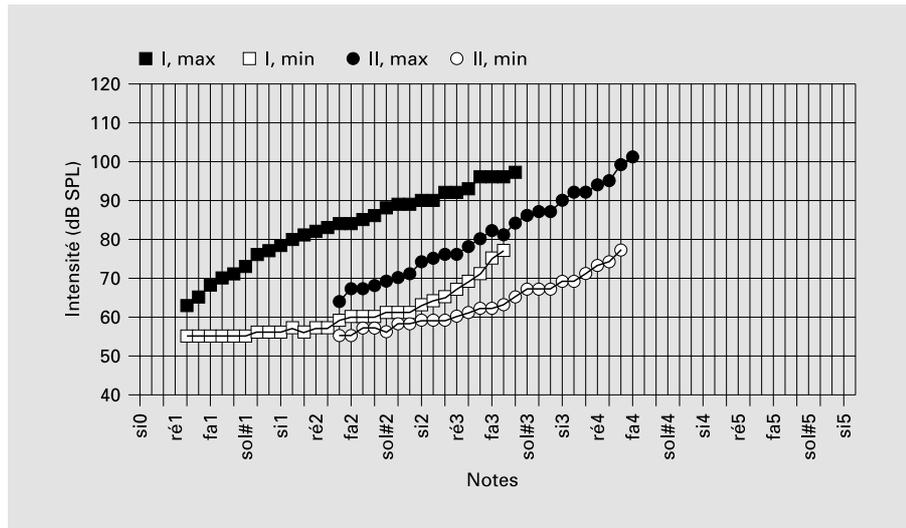
#### *Etendue en demi-tons des sujets féminins*

Quelle que soit la classe considérée (tab. 3) l'étendue du mécanisme II est très supérieure à celle du mécanisme I. Cette différence est toujours significative ( $p < 0,001$ ).

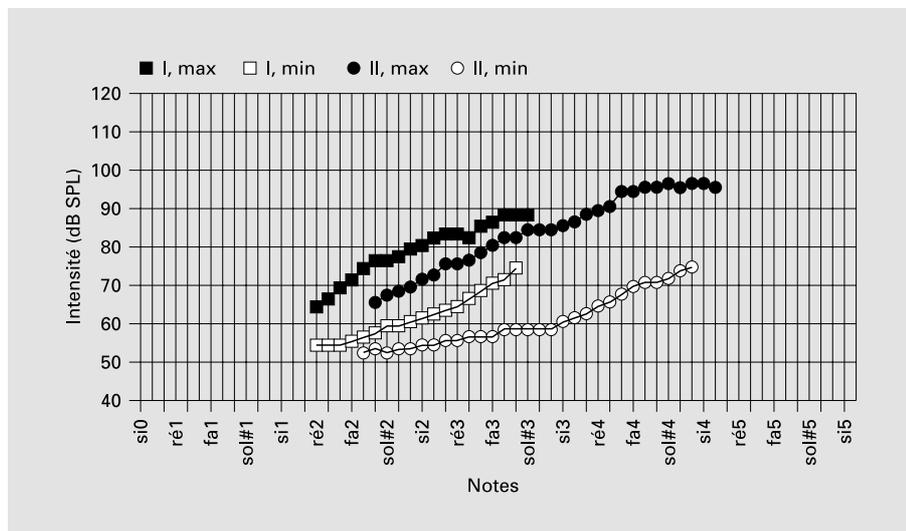
L'étendue de la zone de chevauchement est significativement ( $p = 0,017$ ) plus importante chez les chanteurs (18 demi-tons) que chez les non-chanteurs (10 demi-tons). Mais l'étendue totale est équivalente pour les trois classes de sujets (de 33.1 à 36.8 demi-tons).

#### *Etendue relative*

L'expression de l'étendue des mécanismes et du chevauchement en pourcentage de l'étendue totale (tab. 4) montre que le méca-



5



6

**Fig. 5.** Phonétogramme moyen des mécanismes I et II pour les sujets masculins.

**Fig. 6.** Phonétogramme moyen des mécanismes I et II pour les sujets féminins.

nisme I englobe 80% de l'étendue totale chez les hommes chanteurs confirmés au lieu de 61% pour les non-chanteurs. Le chevauchement englobe 48% du mécanisme II chez les non-chanteurs et 72% chez les chanteurs.

Pour les sujets féminins (tab. 4), le mécanisme II englobe 92% de l'étendue totale chez les chanteurs au lieu de 76% chez les non-chanteurs. On note également que le chevauchement entre les deux mécanismes englobe

**Tableau 3.** Etendues moyennes (moyenne  $\pm$  ET) des voix féminines par mécanisme (en demi-ton)

Femmes	I	II	I-II	Total
Non-chanteurs	18 $\pm$ 2,5	25 $\pm$ 4,9	10 $\pm$ 5,6	33 $\pm$ 2,1
Chanteurs amateurs	19 $\pm$ 3,2	31 $\pm$ 5,7	16 $\pm$ 5,2	35 $\pm$ 3,4
Chanteurs confirmés	21 $\pm$ 3,1	33 $\pm$ 3,8	18 $\pm$ 2,2	36 $\pm$ 2,1
Population totale	19 $\pm$ 3,0	30 $\pm$ 5,8	15 $\pm$ 5,5	35 $\pm$ 2,9

I-II = Chevauchement ou zone commune aux deux mécanismes.

**Tableau 4.** Etendue de chaque mécanisme exprimée en pourcentage de l'étendue totale (tot.) et étendue du chevauchement en pourcentage de l'étendue totale et de l'étendue de chaque mécanisme

	I % tot.	II % tot.	I-II % tot.	I-II % I	I-II % II
<b>H</b> Non-chanteurs	61	70	33	55	48
Chanteurs amateurs	74	64	41	55	64
Chanteurs confirmés	80	71	51	64	72
Population totale	74	67	44	59	65
<b>F</b> Non-chanteurs	55	76	30	56	40
Chanteurs amateurs	54	89	46	84	52
Chanteurs confirmés	58	92	50	86	55
Population totale	54	86	43	79	50

I-II = Chevauchement ou zone commune aux deux mécanismes.

86% du mode I chez les chanteurs contre 56% chez les non-chanteurs.

#### *Dynamique maximale*

L'écart maximum d'intensité en décibels (dynamique maximale) a été mesuré dans chaque mécanisme. Les données ont été moyennées pour les sujets masculins d'une part (tab. 5) et les sujets féminins de l'autre (tab. 6).

La dynamique maximale est de l'ordre de 30 dB (à 1 m) pour l'ensemble de la population; elle n'est pas significativement différente

entre les chanteurs et les non-chanteurs ( $p = 0,2$  en mécanisme I et  $p = 0,48$  en mécanisme II), ni entre les mécanismes ( $p = 0,47$ ).

La dynamique maximale en mécanisme I (32,4 dB) est atteinte par les sujets masculins ( $p < 0,001$ ) et en mécanisme II (32,6 dB) par les sujets féminins ( $p = 0,01$ ). Quel que soit le sexe ou le mécanisme étudié, la dynamique ne varie pas significativement avec le niveau de culture vocale.

**Tableau 5.** Dynamiques maximales des voix masculines, entre parenthèses figurent les intensités maximales atteintes (moyennes en dB)

Hommes	I	II
Non-chanteurs	34 (97)	31 (99)
Chanteurs amateurs	31 (97)	25 (94)
Chanteurs confirmés	34 (102)	30 (101)

**Tableau 6.** Dynamiques maximales des voix féminines, entre parenthèses figurent les intensités maximales atteintes (moyenne en dB)

Femmes	I	II
Non-chanteurs	23 (88)	28 (91)
Chanteurs amateurs	24 (91)	35 (99)
Chanteurs confirmés	25 (92)	33 (103)

**Tableau 7.** Aires moyennes (moyenne  $\pm$  ET) des phonétogrammes des voix masculines (en dB/demi-ton)

	I	II	I-II	Total
Non-chanteurs	481 $\pm$ 188	420 $\pm$ 197	102 $\pm$ 73	798 $\pm$ 10
Chanteurs amateurs	556 $\pm$ 117	343 $\pm$ 142	83 $\pm$ 73	825 $\pm$ 188
Chanteurs confirmés	689 $\pm$ 190	447 $\pm$ 221	173 $\pm$ 154	963 $\pm$ 235
Population totale	595 $\pm$ 163	388 $\pm$ 174	116 $\pm$ 109	867 $\pm$ 218
Accroissement avec le niveau d'entraînement vocal	43%	6%	69%	20%

### *L'aire des phonétogrammes*

L'aire des phonétogrammes intègre l'ensemble des données concernant la fréquence et l'intensité et complète les observations précédentes, on évalue donc ainsi la dynamique sur l'étendue totale. Des mesures relatives de développement des aires en fonction de l'entraînement vocal sont obtenues à partir du rapport entre les aires des phonétogrammes des non-chanteurs et des chanteurs professionnels. Le développement relatif (D) exprimé en pourcentage est obtenu à partir de la différence entre les aires des chanteurs (Ch) et des non-chanteurs (NCh) rapportée à l'aire des non-chanteurs.

$$D = [A(\text{Ch}) - A(\text{NCh})] / A(\text{NCh}).$$

Ce développement est calculé pour les deux sexes, les deux mécanismes et les trois catégories de sujets.

### *Sujets masculins*

Chez les sujets masculins (tab. 7), l'aire du phonétogramme en mécanisme I est significativement ( $p < 0,001$ ) plus importante qu'en mécanisme II, bien que les étendues soient très voisines.

L'aire du phonétogramme en mécanisme I de même que celle du chevauchement est beaucoup plus importante chez les chanteurs confirmés que chez les non-chanteurs.

Les développements relatifs (non-chanteurs versus chanteurs) de l'aire du mécanisme I (43%) et de l'aire du chevauchement (69%) sont particulièrement importants (tab. 7).

**Tableau 8.** Aires moyennes (moyenne  $\pm$  ET) des phonétogrammes des voix féminines (en dB/demi-ton)

	I	II	I-II	Total
Non-chanteurs	219 $\pm$ 115	420 $\pm$ 149	29 $\pm$ 31	610 $\pm$ 192
Chanteurs amateurs	295 $\pm$ 129	644 $\pm$ 171	119 $\pm$ 106	820 $\pm$ 164
Chanteurs confirmés	322 $\pm$ 162	707 $\pm$ 285	163 $\pm$ 145	866 $\pm$ 221
Population totale	280 $\pm$ 133	595 $\pm$ 220	104 $\pm$ 110	771 $\pm$ 205
Accroissement avec le niveau d'entraînement vocal	47%	68%	460%	41%

### *Sujets féminins*

Chez les sujets féminins (tab. 8), l'aire du phonétogramme en mécanisme II est supérieure à celle obtenue en mécanisme I ( $p < 0,001$ ), quelle que soit la classe considérée.

La comparaison entre les non-chanteurs et les chanteurs fait ressortir une différence significative: l'aire du phonétogramme en mécanisme II ( $p = 0,05$ ) et celle du chevauchement ( $p = 0,05$ ) étant plus importantes chez les chanteurs. Le développement relatif (non-chanteurs versus chanteurs) est très important au niveau des trois paramètres considérés: mécanisme II (68%), mécanisme I (47%) et chevauchement (460%).

Il est intéressant de remarquer que dans la population étudiée l'aire moyenne du mécanisme II chez les sujets féminins ( $M = 595$  dB/demi-ton,  $ET = 220$ ) est identique à celle du mécanisme I des sujets masculins ( $M = 595$  dB/demi-ton,  $ET = 163$ ).

Cette observation est à rapprocher de l'étude des phonétogrammes moyens (fig. 5, 6). De la même façon, l'aire du chevauchement apparaît identique pour les hommes (116 dB/demi-ton) et pour les femmes (104 dB/demi-ton).

### **Discussion**

#### *Forme combinée*

La séparation systématique des mécanismes, lors de la réalisation du phonétogramme, bien que peu développée [12] dans la littérature apparaît riche en informations. Elle permet tout d'abord la représentation aussi bien qualitative que quantitative du champ de liberté de la voix d'un individu en évaluant précisément la part de chaque mécanisme. La réunion des phonétogrammes par mécanisme aboutit à la forme unique décrite classiquement présentant un pincement attribué au changement de registre [5, 6, 7, 11, 24, 25].

#### *Protocole*

Contrairement aux réalisations standardisées [19] l'établissement du phonétogramme par mécanisme, avec un parcours de l'étendue par demi-ton, permet une description précise des phénomènes, bien qu'il présente un risque de fatigue plus important pour les sujets.

Il nous a semblé important de considérer trois catégories de sujets, ce qui permet d'effectuer une distinction plus subtile entre les sujets et de préciser les critères auxquels la notion de chanteur fait référence, ce qui est rarement le cas dans la littérature [17, 25, 26].

La catégorie des chanteurs amateurs, qui représente une part importante de la population générale est souvent négligée dans les études sur la voix. Nos observations confirment que cette catégorie présente souvent des comportements intermédiaires entre ceux des non-chanteurs et ceux des chanteurs confirmés. On conçoit alors la manière dont cette population peut modifier les résultats obtenus selon qu'elle est associée à celle des non-chanteurs – ne considérant comme chanteurs que les professionnels – ou à celle des chanteurs au sens large.

#### *Etendue*

Depuis longtemps l'étendue des registres a été étudiée par les chanteurs aussi bien que par les physiologistes. Nos résultats concordent avec les observations précédentes [6, 17, 27, 28] pour ce qui concerne la ressemblance des étendues globales des hommes et des femmes. L'étendue du chevauchement est identique pour les deux sexes, ce qui est rarement discuté dans la littérature [29, 30].

Les résultats concernant l'égalité de l'étendue globale des chanteurs comparée à celle des non-chanteurs s'accordent avec les publications antérieures [8, 17, 26, 27] en ce qui concerne les sujets féminins. Concernant les sujets masculins, nos résultats divergent de ceux de Sulter et al. [17], soit du fait de l'intention toute particulière que nous avons portée à parcourir entièrement l'étendue de chaque mécanisme soit, du fait de l'effectif de notre population, beaucoup plus réduit que celui de ces auteurs.

L'étendue du mécanisme I chez les sujets féminins est plus réduite que celle du mécanisme II et que celle de ces deux mécanismes chez les sujets masculins. Ce phénomène est probablement en rapport avec les capacités physiques du larynx. Un système vibrant comme le larynx serait plus limité dans les productions graves liées à la morphologie,

comme c'est le cas pour la femme, que dans les aigus qui dépendent non seulement de la morphologie mais aussi de la physiologie.

C'est le développement de la zone de chevauchement qui explique l'accroissement de chaque mécanisme bien que l'étendue globale demeure constante. Son étendue (44% de l'étendue totale pour les hommes et 43% pour les femmes) est liée au niveau d'entraînement vocal.

La technique vocale développée par les sujets que nous avons étudiés est celle du chant classique occidental qui privilégie l'emploi du mécanisme I chez l'homme et celui du mécanisme II chez la femme. Ceci permet d'expliquer le fait que l'étendue du mécanisme I se développe chez les hommes avec la pratique vocale (80% de l'étendue totale) en recouvrant 72% du mécanisme II, tandis que pour les femmes, c'est le mécanisme II (92% de l'étendue totale) qui se développe avec l'entraînement vocal en recouvrant 79% du mécanisme I.

Les chanteurs amateurs masculins et féminins présentent des résultats intermédiaires entre ceux des non-chanteurs et ceux des chanteurs, ce qui justifie la distinction d'une telle population, généralement négligée.

#### *La dynamique maximale*

La dynamique maximale est une donnée ponctuelle dont la valeur est à peu près constante et qui donc ne dépend pas du mécanisme, du sexe ni du niveau d'entraînement vocal. Si l'on n'exerce pas de contrainte concernant la hauteur, tout sujet possède la possibilité de produire un son très faible et un son très fort pour une même fréquence quel que soit le mécanisme utilisé.

La dynamique seule ne rend pas entièrement compte des qualités sonores d'une voix. Une mesure de la répartition de l'énergie contenue dans le spectre acoustique, ainsi que l'ont déjà suggéré quelques auteurs [31, 32]

apporterait une dimension supplémentaire. L'énergie située dans la zone de sensibilité maximum de l'oreille (2000–4000 Hz singing formant) serait la plus intéressante à noter pour rendre compte de l'efficacité acoustique de la voix et pourrait figurer la troisième dimension du phonétogramme par mécanisme.

#### *L'aire*

L'aire du phonétogramme fournit une donnée représentative de la dynamique sur l'ensemble de l'étendue, ce qui permet de quantifier le champ de liberté de chaque mécanisme et donc de l'ensemble de la voix.

Avec Sulter et al. [17] nous constatons un développement de l'aire globale des phonétogrammes en relation avec le niveau de technique vocale. Grâce à la réalisation des phonétogrammes par registre nous pouvons analyser plus en détail la contribution de chaque mécanisme au profil général de la voix.

Chez les sujets masculins, l'aire du mécanisme I est supérieure à celle du mécanisme II malgré l'équivalence des étendues. Ce phénomène est dû à l'importance de la dynamique dans l'ensemble de ce registre, dynamique qui s'accroît avec l'entraînement vocal.

L'aire globale du phonétogramme se développe de façon différente pour les deux sexes. Le mécanisme I se développe préférentiellement chez l'homme tandis que chez la femme les deux mécanismes se développent avec un facteur plus important pour le mécanisme II.

Un phénomène remarquable réside dans le fait que les mécanismes préférentiellement utilisés dans le chant présentent des phonétogrammes exactement de même surface pour les deux sexes (595 dB/demi-ton pour le mécanisme I chez l'homme et le mécanisme II chez la femme).

Il existe probablement un fondement culturel à ces phénomènes. En effet, la voix masculine dans notre contexte culturel classique occidental utilise de préférence le mécanisme I

pour la parole et le chant. Par contre, la voix féminine, utilise le plus souvent le mécanisme I pour la parole et le mécanisme II pour le chant. L'entraînement vocal, même s'il privilégie un mécanisme entraîne dans une moindre mesure aussi le développement de l'autre.

Le chevauchement chez l'homme comme chez la femme présente la même surface. Ce chevauchement, qui se situe dans la même zone de fréquences pour les deux sexes, serait la partie du champ de liberté vocal au sein de laquelle l'appareil vocal de l'homme et de la femme peuvent présenter exactement les mêmes caractéristiques physiologiques et biomécaniques.

Dans la suite de leurs travaux, les auteurs remplacent la notation romaine des mécanismes I, II et III par les abréviations M1, M2 et M3.

#### **Conclusion**

Le phonétogramme par registre prend en compte de façon objective la part de chaque mécanisme vibratoire dans le champ des possibilités en fréquence et en amplitude d'une voix. La mesure de sa surface permet de quantifier son développement. Cette approche complète en partie les connaissances sur les mécanismes vibratoires en fonction du sexe et du niveau d'entraînement vocal. Si les données moyennées sur une population sont intéressantes, l'étude détaillée du phonétogramme par mécanisme d'un sujet donné fournit de précieuses indications qualitatives quant à l'équilibre de sa voix. Une étude longitudinale effectuée au cours de l'apprentissage des chanteurs permettrait de mieux comprendre le développement ou la réduction des différentes potentialités vocales. Une étude chez l'enfant [23, 33] compléterait nos connaissances sur le développement de la voix en fonction de l'âge.

Le chevauchement des phonétogrammes par mécanisme apparaît comme un élément essentiel dans la caractérisation d'une voix. Son importance dépend du niveau d'entraînement vocal et il permet de mieux appréhender les ressemblances et les dissemblances des voix masculines et féminines qui seront exploitées dans l'art vocal.

## Remerciements

Cette recherche a bénéficié du soutien du Ministère de la Culture.

Les auteurs remercient D. Ambroise pour son aide dans le traitement statistique des données, ainsi que les sujets qui se sont aimablement prêtés au protocole du phonétogramme par registre.

## References

- 1 Wolf SK, Sette WJ: Some applications of the modern acoustic apparatus. *J Acoust Soc Am* 1935;6:160-168.
- 2 Wolf SK, Stanley D, Sette WJ: Quantitative studies on the singing voice. *J Acoust Soc Am* 1935;6:255-266.
- 3 Baken RJ, Orlikoff RF: *Clinical Measurement of Speech and Voice*, éd 3. San Diego, Singular Thomson Learning 2000.
- 4 Stout B: The harmonic structure of vowels in singing in relation to pitch and intensity. *J Acoust Soc Am* 1938;10:137-146.
- 5 Calvet J, Malhiac G: Courbes vocales et mue de la voix. *J Fr Oto-Rhino-Laryngol* 1952;1:115-124.
- 6 Coleman RF, Mabis JH, Hinson JK: Fundamental frequency-sound pressure level profiles of adult male and female voices. *J Speech Hear Res* 1977;20:197-204.
- 7 Coleman RF: Sources of variation in phonetograms. *J Voice* 1993;7:1-14.
- 8 Dejonckere Ph: Le phonétogramme, son intérêt clinique. *Cah Oto-Rhino-Laryngol* 1977;12:865-872.
- 9 Gramming P: Vocal loudness and frequency capabilities of the voice. *J Voice* 1991;5:144-157.
- 10 Airainer R, Klingholz F: Quantitative evaluation of phonetograms in the case of functional dysphonia. *J Voice* 1993;7:136-141.
- 11 Klingholz F: *Computer aided evaluation of phonetograms*. *Comput Methods Programs Biomed* 1992; 37:127-135.
- 12 Schutte HK: *The efficiency of voice production*; thèse, Groningen, 1980.
- 13 Hirano M, Vennard W, Ohala J: Regulation of register, pitch and intensity of voice: An electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles. *Folia Phoniatr* 1970;22:1-20.
- 14 Hollien H: On vocal registers. *J Phonet* 1974;2:125-143.
- 15 Murry T, Xu JJ, Woodson GE: Glottal configuration associated with fundamental frequency and vocal register. *J Voice* 1998;12:44-49.
- 16 Roubeau B, Chevrie-Muller C, Arabia-Guidet C: Electrolottographic study of the changes of voice registers. *Folia Phoniatr* 1987;39:280-289.
- 17 Sulter AM, Shutte HK, Miller DG: Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training. *J Voice* 1995;9:363-377.
- 18 Sulter AM, Wit HP, Shutte HK, Miller DG: A structured approach to voice range profile (phonetogram) analysis. *J Speech Hear Res* 1994; 37:1076-1085.
- 19 Schutte HK, Seidner W: Recommendation by the union of European Phoniarticians (UEP): Standardizing voice area measurement/phonetography. *Folia Phoniatr* 1983;35:286-288.
- 20 Roubeau B, Chevrie-Muller C, Arabia-Guidet C: Control of laryngeal vibration in register change; in Gauffin J, Hammaberg B (éds): *Vocal Cord Physiology*. San Diego, Singular, 1991, pp 279-286.
- 21 Svec J, Pesak T: Vocal breaks from the modal to the falsetto register. *Folia Phoniatr* 1994;46:97-103.
- 22 Bodin P: *Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés; mémoire d'orthophonie*, Université Paris 6, 1997.
- 23 Ragot M: *Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés et champ de liberté de la voix chantée chez l'enfant et l'adulte; mémoire d'orthophonie*, Université Paris 6, 1998.
- 24 Gramming P, Sundberg J, Akerlund L: Variability of phonetograms. *Folia Phoniatr* 1991;43:79-92.
- 25 Airainer R, Klingholz F: Quantitative evaluation of phonetograms in the case of functional dysphonia. *J Voice* 1993;7:136-141.
- 26 Awan SN: Phonetographic profiles and  $F_0$ -SPL characteristics of untrained versus trained vocal groups. *J Voice* 1991;5:41-50.
- 27 Coleman R, Mott J: Fundamental frequency and sound level profiles of young female singers. *Folia Phoniatr* 1978;30:94-102.
- 28 Hollien H, Dew D, Philips P: Phonational frequency ranges of adults. *J Speech Hear Res* 1971;14:755-760.
- 29 Garcia M: *Traité complet de l'art du chant*, éd 8. Paris, Heugel, 1884.
- 30 Hollien H: On vocal registers. *Acta Phoniatr Lat* 1984;6 (suppl):11-22.
- 31 Pabon JPH, Plomp R: Automatic phonetogram recording supplemented with acoustical voice-quality parameters. *J Speech Hear Res* 1988;31:710-722.
- 32 Pabon JPH: Objective acoustic voice-quality parameters in the computer phonetogram. *J Voice* 1991;5:203-216.
- 33 Casanova C: La mue de la voix chez les enfants chanteurs; in Cornut G (ed): *Actes du colloque: Moyens d'investigation et pédagogie de la voix chantée*, Lyon 2001, pp 109-116.