



**HAL**  
open science

# Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés chez l'enfant

Émilie Hareau, Naïs Alonso

► **To cite this version:**

Émilie Hareau, Naïs Alonso. Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés chez l'enfant. Sciences cognitives. 2013. dumas-00873438

**HAL Id: dumas-00873438**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00873438>**

Submitted on 30 Oct 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Académie de Paris  
Université Paris VI Pierre et Marie Curie

MEMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

PHONETOGRAMMES DES MECANISMES  
VIBRATOIRES LARYNGES CHEZ L'ENFANT

Directeur de mémoire :  
M. Bernard ROUBEAU

Année Universitaire 2012-2013

HAREAU Emilie  
Née le 09/12/1989

ALONSO Naïs  
Née le 29/01/1990



Notre sincère reconnaissance s'adresse en tout premier lieu à l'établissement du Conservatoire de Vincennes qui nous a accueillies et sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Nous tenons également à remercier tout particulièrement Claire Marchand, chef de chœur, responsable et coordinatrice de la filière voix et Jean-Philippe Zielinski chef de chœur, chargé de la formation vocale des enfants et des jeunes professeurs de chant, pour l'investissement dont ils ont fait preuve et la gentillesse avec laquelle ils nous ont reçues.

Nous adressons nos profonds remerciements à tous les enfants, du Conservatoire et de notre entourage, ayant accepté de participer à notre étude et sans qui ce mémoire n'aurait pu être mené à terme. Merci à eux d'avoir consacré une partie de leur temps et d'avoir manifesté autant de curiosité et d'intérêt.

Notre entière reconnaissance s'adresse à M. Bernard Roubeau, orthophoniste et physiologiste à l'hôpital Tenon, pour nous avoir permis de contribuer à son étude des plus intéressante. Sa disponibilité, le temps qu'il nous a consacré, ses conseils précieux et les connaissances qu'il a mises à notre disposition ont été indispensables à l'élaboration de notre travail.

Enfin, nous exprimons toute notre gratitude envers nos familles et proches respectifs pour nous avoir encouragées et soutenues tout au long de cette année.

## ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Nous soussignées ALONSO Naïs et HAREAU Emilie, déclarons être pleinement conscientes que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, nous nous engageons à citer toutes les sources que nous avons utilisées pour écrire ce mémoire.

## Sommaire

Introduction .....	1
<b><u>Chapitre I : Etat de la question</u></b> .....	<b>2</b>
<b>I – Particularités de la voix de l’enfant</b> .....	<b>2</b>
1. Les paramètres vocaux.....	2
1. 1. Fréquence fondamentale.....	2
1. 2. Etendue vocale .....	3
1. 3. Intensité .....	3
2. Mise en place de la voix chantée .....	4
3. La mue .....	5
4. Le larynx infantile.....	6
4. 1. Taille et forme .....	6
4. 2. Plis vocaux et histologie.....	7
5. Souffle phonatoire.....	9
<b>II – Mécanismes vibratoires laryngés</b> .....	<b>9</b>
1. Les différents mécanismes .....	10
2. Passage.....	12
<b>III – Les phonétogrammes</b> .....	<b>14</b>
1. Fonctionnement général et historique .....	14
1. 1. Définition .....	14
1. 2. Terminologie .....	14
2. Conditions d’expérimentation.....	14
2. 1. Lieu.....	15
2. 2. Matériel .....	15
2. 3. Le choix de la voyelle .....	15

3. Méthode .....	15
4. Evolution : des 1ers phonétogrammes aux connaissances actuelles.....	16
5. Intérêts et limites du phonétogramme .....	18
5. 1. Intérêts .....	18
5. 2. Limites.....	18
6. Le phonétogramme par mécanisme laryngé ou « global » .....	18
7. Phonétogrammes physiologique ou musical.....	20
8. Phonétogrammes chez les adultes.....	21
8. 1. Différences hommes / femmes .....	21
8. 1. 1. Etendue vocale.....	21
8. 1. 2. Intensité .....	21
8. 1. 3. Ecart dynamique .....	21
8. 1. 4. Aire .....	21
8. 2. Effet de l'entraînement vocal .....	22
8. 2. 1. Etendue vocale / tessiture .....	22
8. 2. 2. Intensité .....	23
8. 2. 3. Aire du phonétogramme .....	24
8. 2. 4. La courbe d'enveloppe .....	24
9. Phonétogrammes chez les enfants .....	24
9. 1. Etendue vocale / tessiture .....	24
9. 1. 1. Non-chanteurs.....	25
9. 1. 2. Chanteurs .....	25
9. 2. Intensité / écart dynamique.....	27
9. 2. 1. Non-chanteurs.....	27
9. 2. 2. Chanteurs .....	28
9. 3. Aire.....	30
9. 3. 1. Non-chanteurs.....	30

9. 3. 2. Chanteurs .....	30
10. Comparaison adultes chanteurs / enfants chanteurs.....	31
11. Comparaison par mécanisme laryngé .....	32
11. 1. Etendue.....	32
11. 2. Ecart dynamique.....	32
11. 3. Aire.....	33
Conclusion.....	33
<b><u>Chapitre II : Etude expérimentale</u></b> .....	<b>35</b>
<b>I – Méthodologie</b> .....	<b>35</b>
1. Population .....	35
1. 1. Les témoins (non-chanteurs) .....	35
1. 2. Les chanteurs.....	36
2. Dispositif acoustique.....	37
2. 1. Local.....	37
2. 2. Distance .....	37
2. 3. Sonomètre.....	37
2. 4. Enregistreur .....	37
3. Protocole de passation.....	38
4. Traitement des données.....	40
4. 1. Phonétoigrammes .....	40
4. 2. Etendue.....	40
4. 3. Intensité / Dynamique .....	40
4. 4. Aire.....	40
4. 5. Traitement statistique .....	41
<b>II – Résultats</b> .....	<b>41</b>
1. Présentation d'un phonétoigramme .....	41
2. Chanteurs .....	43

2. 1. Etendue.....	43
2. 2. Intensité / Dynamique .....	44
2. 2. 1. Intensité .....	44
2. 2. 2. Dynamique.....	45
2. 3. Aire.....	45
2. 4. Effet du sexe.....	46
2. 5. Effet de l'âge .....	47
2. 6. Effet du niveau .....	48
2. 7. Effet de la pratique d'un instrument de musique et de l'environnement musical.	49
2. 8. Effet du poids et de la taille.....	49
3. Témoins et comparaison avec les chanteurs .....	49
3. 1. Etendue.....	49
3. 2. Intensité / Dynamique .....	50
3. 2. 1. Intensité .....	50
3. 2. 2. Dynamique.....	51
3. 3. Aire.....	52
3. 4. Effet du sexe.....	53
3. 5. Effet de l'âge .....	54
3. 6. Effet du niveau .....	55
4. Phonétogramme moyenné des enfants chanteurs .....	56
5. Phonétogramme musical versus physiologique .....	56
6. Etude longitudinale .....	59
7. Cas de la voix de sifflet.....	61
<b>III – Discussion .....</b>	<b>63</b>
1. Méthodologie .....	63
1. 1. Choix du phonétogramme .....	63
1. 2. Variabilité de la mesure.....	63

1. 3. Identification des mécanismes .....	64
2. Discussion des résultats .....	65
2. 1. Présence du mécanisme I .....	65
2. 2. Etendue.....	65
2. 2. 1. Chanteurs .....	65
2. 2. 2. Témoins et comparaison avec les chanteurs.....	66
2. 3. Intensité / Dynamique .....	67
2. 3. 1. Chanteurs .....	67
2. 3. 2. Témoins et comparaison avec les chanteurs.....	68
2. 4. Aire.....	69
2. 4. 1. Chanteurs .....	69
2. 4. 2. Témoins et comparaison avec les chanteurs.....	70
2. 5. Effet du sexe.....	70
2. 6. Effet de l'âge .....	71
2. 7. Effet de l'entraînement vocal .....	72
2. 8. Comparaison enfants / adultes.....	73
2. 9. Phonétogramme physiologique versus musical .....	75
<b>Conclusion.....</b>	<b>77</b>
Bibliographie.....	
Annexes.....	

## Tableaux

Tableau n°1 : Description du développement musical de l'enfant [41].	4
Tableau n°2 : Comparaison des performances entre les hommes et les femmes selon les différents auteurs	22
Tableau n°3 : Comparaison des résultats portant sur les étendues et tessitures selon différents auteurs	26
Tableau n°4 : Intensités et dynamiques relevées en fonction des différents auteurs chez des enfants chanteurs et non-chanteurs.	29
Tableau n° 5 : Comparaison des résultats portant sur l'aire entre les enfants chanteurs et non-chanteurs selon différents auteurs.	30
Tableau n°6 : Comparaison des performances des adultes et des enfants.	33
Tableau n° 7 : Répartition des enfants selon l'âge et le sexe.	35
Tableau n° 8 : Répartition des enfants non-chanteurs.	35
Tableau n° 9 : Répartition des enfants chanteurs.	36
Tableau n°10 : Comparaison des étendues des phonétogrammes physiologique et musical...	58
Tableau n°11 : Comparaison des intensités minimales et maximales des phonétogrammes physiologique et musical.	58
Tableau n°12 : Comparaison des aires moyennes des phonétogrammes physiologique et musical.	58
Tableau n°13 : Comparaison des étendues à 5 mois d'intervalle.	60
Tableau n°14 : Comparaison des dynamiques maximales et moyennes à 5 mois d'intervalle.	60
Tableau n°15 : Comparaison des aires moyennes à 5 mois d'intervalle.	60

## Table des figures

Figure n°1 : Evolution de la fréquence fondamentale de la voix [42]. .....	2
Figure n°2 : Descente verticale du larynx au cours de la vie [42]. .....	6
Figure n°3 : Description de la structure du pli vocal [23]. .....	8
Figure n°4 : Mécanisme de la vibration laryngée dans le M1 [13]. .....	10
Figure n° 5 : Mécanisme de la vibration laryngée dans le M2 [13]. .....	11
Figure n° 6: Comparaison de l'étendue des deux mécanismes vocaux principaux entre l'adulte et l'enfant [28]. .....	12
Figure n°7 : Illustration de l'activité musculaire lors de l'élévation de la fréquence [38]. .....	13
Figure n° 8 : Exemple de phonétogramme par mécanisme laryngé d'un sujet féminin chanteur confirmé [39]. .....	19
Figure n° 9 : Exemple d'un phonétogramme « normal » d'un homme [48]. .....	19
Figure n° 10 : Comparaison des contours du phonétogramme physiologique et musical [26]. .....	20
Figure n° 11 : Comparaison de l'étendue vocale entre des enfants chanteurs et non-chanteurs [35]. .....	27
Figure n° 12 : Phonétogramme standardisé pour des enfants entre 7 et 10 ans [6]. .....	28
Figure n°13 : Phonétogramme d'un garçon de 11 ans niveau 3 .....	42
Figure n°14 : Etendue moyenne des enfants chanteurs par mécanisme. ....	43
Figure n°15 : Intensités maximales et minimales des enfants chanteurs en fonction des mécanismes 1 et 2. ....	44
Figure n°16 : Dynamiques maximales et moyennes des enfants chanteurs en fonction des mécanismes 1 et 2. ....	45
Figure n° 17: Aire moyenne des enfants chanteurs par mécanisme. ....	45
Figure n° 18 : Effet du sexe sur l'aire générale. ....	46

Figure n° 19 : Evolution de l'intensité maximale du M2 en fonction de l'âge chez les chanteurs.....	47
Figure n°20 : Evolution de l'aire générale en fonction de l'âge chez les chanteurs. ....	47
Figure n°21 : Evolution de l'aire générale en fonction du niveau chez les chanteurs. ....	48
Figure n°22 : Comparaison des résultats des enfants chanteurs et non-chanteurs en fonction de l'étendue moyenne. ....	49
Figure n° 23 : Comparaison entre les résultats des enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau des intensités maximales et minimales .....	50
Figure n°24 : Comparaison entre les enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau des dynamiques maximales et moyennes .....	51
Figure n°25 : Comparaison entre les enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau de l'aire moyenne. ....	52
Figure n°26 : Effet du sexe sur différents paramètres chez les non-chanteurs. ....	53
Figure n°27 : Evolution des différents paramètres en fonction de l'âge chez les non-chanteurs. ....	54
Figure n°28 : Comparaison entre les chanteurs et les non-chanteurs au niveau de l'étendue et de l'aire générale. ....	55
Figure n°29 : Phonétogramme moyenné des enfants chanteurs.....	56
Figure n°30 : Phonétogramme physiologique de Margot, âgée de 11 ans classée niveau 2....	57
Figure n°31 : Phonétogramme musical de Margot, âgée de 11 ans, classée niveau 2. ....	57
Figure n° 32 : Phonétogramme de Madeleine âgée de 10 ans, classée niveau 1. ....	59
Figure n°33 : Phonétogramme de Madeleine âgée de 10 ans, classée niveau 1, réalisé 5 mois plus tard. ....	59
Figure n°34 : Phonétogramme de Clément, 12 ans classé niveau 3.....	61

## Table des annexes

Annexe n° 1 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 0.....	1
Annexe n° 2 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 1.....	1
Annexe n° 3 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 2.....	1
Annexe n° 4 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 3.....	1
Annexe n° 5 : Questionnaire chanteurs.....	2
Annexe n° 6 : Questionnaire témoins.....	3
Annexe n° 7 : Etendue des chanteurs (en demi-tons).....	4
Annexe n° 8 : Notes extrêmes des chanteurs.....	5
Annexe n° 9 : Intensités maximales et minimales et écarts dynamiques maximaux et moyens des chanteurs (en dB).....	6
Annexe n° 10 : Aires des chanteurs (en dB.demi-tons).....	7
Annexe n° 11 : Etendue des témoins (en demi-tons).....	8
Annexe n° 12: Notes extrêmes des témoins.....	9
Annexe n° 13 : Intensités maximales et minimales et écarts dynamiques maximaux et moyens des témoins (en dB).....	10
Annexe n° 14 : Aires des témoins (en dB.demi-tons).....	11
Annexe n° 15 : Etude longitudinale, phonétogramme de Clara M, le 13/11/12.....	12
Annexe n° 16 : Etude longitudinale, phonétogramme de Clara M, le 12/03/13.....	12
Annexe n° 17 : Etude longitudinale, phonétogramme d'Isée, le 01/11/12.....	13
Annexe n° 18 : Etude longitudinale, phonétogramme d'Isée, le 12/03/12.....	13
Annexe n° 19 : Phonétogramme d'Eline.....	14
Annexe n° 20 : Phonétogramme de Corentin.....	14
Annexe n° 21 : Phonétogramme d'Esther.....	15

Annexe n° 22 : Phonétogramme de Juliette. ....	15
Annexe n° 23 : Phonétogramme de Vassilissa.....	16
Annexe n°24 : Phonétogramme d'un témoin. ....	16
Annexe n° 25 : Phonétogramme d'un témoin. ....	17

## Abréviations

M1 : mécanisme 1

M2 : mécanisme 2

M1^M2 : recouvrement entre le M1 et le M3

M3 : mécanisme 3

dB : décibel

dB.demi-tons : décibels par demi-tons

# INTRODUCTION

Premier instrument de musique, la voix, qu'elle soit éduquée ou non, est d'abord le moyen d'expression naturel de l'être humain. Ses modes d'expressions sont variés et parfois opposés sur le plan esthétique.

La notion de mécanisme vocal a été approfondie tout au long des recherches s'y référant. Le phonéto gramme apparaît alors comme le moyen d'investigation préférentiel afin d'explorer le champ de liberté dans lequel la voix peut évoluer.

Le but de notre étude est de suivre l'évolution de chaque mécanisme chez l'enfant. Pour cela, nous avons tout d'abord analysé les performances des enfants chanteurs et celles des enfants non-chanteurs, pour ensuite les comparer. Forts de ces résultats, nous avons pu mettre en exergue les différents paramètres ayant un effet sur le développement des capacités vocales de l'enfant.

Dans la perspective de contribuer à l'enrichissement des travaux réalisés auparavant, il paraît nécessaire de préalablement définir ce qu'est le fonctionnement physiologique de la voix de l'enfant ainsi que ses particularités anatomiques. Par ailleurs, l'utilisation du phonéto gramme ne peut se faire sans l'avoir, dans un premier temps, étudié et défini.

# CHAPITRE I : ETAT DE LA QUESTION

Encore immature, le larynx infantile est par bien des aspects différent de celui de l'adulte ; ce qui confère à l'enfant des caractéristiques et des capacités qui lui sont propres. Ainsi, le phonétogramme de l'adulte et celui de l'enfant ne sont pas tout à fait semblables. Bien que ne tenant pas compte des qualités du timbre, le phonétogramme permet une exploration précise du champ de liberté de la voix par l'étude de l'intensité et de la fréquence.

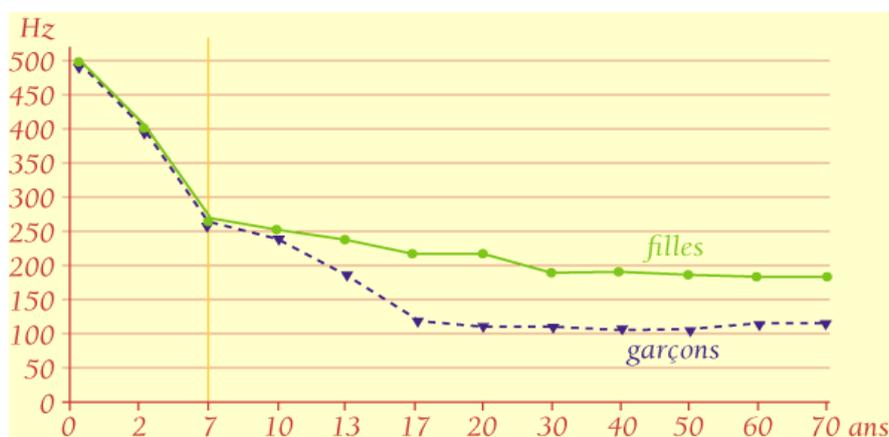
## I – Particularités de la voix de l'enfant (Rédigé par Nais ALONSO)

Tout au long de la croissance, la voix change et évolue en fonction des modifications physiques et histologiques qui s'opèrent. Tous ces changements vont alors se répercuter sur de nombreux paramètres acoustiques et ainsi permettre une meilleure efficacité vocale ainsi qu'une stabilisation de la fréquence fondamentale.

### 1. Les paramètres vocaux

#### 1.1. Fréquence fondamentale

Progressivement, le fondamental laryngé va s'abaisser. Alors qu'insignifiante jusqu'à 7 ans, la différence entre les fréquences fondamentales du garçon et de la fille s'accélère pour se faire réellement sentir vers 13 ans. C'est au moment de la mue que cette différence se fait la plus nette et persiste.



**Figure n°1** : Evolution de la fréquence fondamentale de la voix (Sarfati [42]).

- La fréquence fondamentale diminue avec l'âge et est plus basse chez les garçons que chez les filles d'après **Glaze, Bless et coll.** [17]. Ces résultats sont corroborés par l'étude de **Nicollas, Garrel et coll.** [31] qui trouvent qu'entre 6 et 12 ans elle passe de 269 à 234 Hz chez les garçons et de 261 à 239 Hz chez les filles. **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35] trouvent également une corrélation entre l'augmentation de l'âge et la diminution de la fréquence fondamentale ainsi que de la fréquence la plus basse chez les garçons. Toutefois, à la différence des deux études précédentes, cela n'est pas retrouvé chez les filles.
- Il semblerait par ailleurs que l'énergie spectrale se distribue différemment avec l'âge. Ainsi, **Sergeant et Welch** [45] ont remarqué la présence de changements de l'énergie spectrale des hautes fréquences aux basses fréquences avec l'augmentation de l'âge. Il y aurait donc un déplacement de la répartition de l'énergie spectrale. Cela est à rapprocher de l'étude de **Hacki et Heitmüller** [21] qui ont étudié la voix d'enfants de 4 à 12 ans et trouvent que l'abaissement de la hauteur habituelle de la voix parlée se produit chez les filles entre 7 et 8 ans et chez les garçons entre 8 et 9 ans. Ces résultats diffèrent de ceux de **Böhme et Stuchlik** [6] qui avaient trouvé que la hauteur habituelle ne changeait pas entre 7 et 11 ans.

### 1.2. Etendue vocale

- Dans l'étude de **Sergeant et Welch** [45] portant sur des enfants entre 4 et 11 ans, l'étendue fréquentielle recouvre 24 demi-tons. Ils trouvent une association linéaire significative entre l'augmentation de l'âge et l'extension de l'étendue vocale, mais qu'à partir de 10ans (2 ans plus tôt pour les filles).
- **Böhme et Stuchlik** [6] trouvent une étendue vocale qui s'étend sur 29 demi-tons chez les garçons et les filles de 7 à 10 ans. A partir de 10 ans, eux aussi trouvent que l'étendue vocale augmente, ils spécifient que c'est vers les fréquences graves.

### 1.3. Intensité

- **Hacki et Heitmüller** [21] relèvent qu'après une augmentation continue de l'intensité maximale de la parole à partir de 4 ans, elle décroît à un âge compris entre 7 et 8 ans chez la fille et 8 et 9 ans chez le garçon.

→ Parallèlement à l'étendue vocale qui s'élargit, notamment vers les fréquences graves, la fréquence fondamentale diminue avec l'âge. Quant à l'intensité maximale de la voix parlée, elle semble diminuer aux alentours de 8 ans.

## 2. Mise en place de la voix chantée

Le développement du comportement musical de l'enfant se fait de manière progressive. Ainsi la constitution, le potentiel biologique, la maturation, l'expérience, l'intérêt, l'éducation et surtout des conditions socio-culturelles sont autant de facteurs qui vont l'influencer (Schneider, Zumtobel et coll. [43]).

La voix chantée de l'enfant naît de sa voix parlée. Les jeux vocaux, présents très tôt, sont porteurs de structures mélodiques et constituent les prémisses de la voix chantée. Pour cette dernière, l'appareil respiratoire paraît compétent à partir du moment où il acquiert son architecture définitive vers huit ans. (Woisard, Percodani et coll. [51])

Le mécanisme vocal que l'enfant utilise en chantant correspond habituellement à celui de sa voix parlée. La plupart parlent et chantent en M2 avec un timbre assez léger ; à l'opposé, ceux qui ont une voix parlée grave et rauque chantent en M1 (Cornut [12]).

De plus, le développement du comportement musical est jalonné de nombreuses étapes :

Age	Comportement observable
0 – 1 an	Réagit aux sons
1 – 2 ans	Fait spontanément de la musique ( <i>intonation, variation de hauteur, babillage...</i> )
2 – 3 ans	Commence à reproduire des bribes de chansons
3 – 4 ans	Saisit le plan général d'une mélodie
4 – 5 ans	Peut discriminer grossièrement les hauteurs et reproduire les rythmes simples
5 – 6 ans	Peut comparer les variations d'intensité, les rythmes et les réalisations tonales dans les cas les plus simples
6 – 7 ans	La justesse du chant se perfectionne
7 – 8 ans	Recherche de la consonance, évite la dissonance
8 – 9 ans	Améliore les réalisations rythmiques
9 – 10 ans	Acquiert le sens de la cadence

**Tableau n°1** : Description du développement musical de l'enfant d'après Shuter-Dison, cité par Sarfati [41].

### 3. La mue

Dans cette étude, nous parlerons de mécanisme 1 (M1), ce qui s'apparente à la voix de poitrine, et de mécanisme 2 (M2) pour la voix de tête. La notion de mécanisme sera développée plus loin.

La puberté est le moment de transition entre l'enfance et l'âge adulte. Après celle-ci, l'individu possède ses caractéristiques vocales définitives grâce aux structures qui sont arrivées à maturation.

Chez la fille, la mue survient généralement entre 11 et 13 ans ; elle passe le plus souvent inaperçue. Chez le garçon, elle est plus tardive, vers 12-14 ans, mais surtout plus spectaculaire. Elle peut durer de quelques mois à 1 an.

Durant cette période, de nombreuses modifications s'opèrent, parfois brutalement.

Ainsi, le larynx grandit de 34% chez la fille et de 64% chez le garçon. L'angle antérieur du cartilage thyroïde se ferme à 90° chez le garçon, chez la fille il reste ouvert à 120°. Les plis vocaux s'allongent, s'épaississent et atteignent leur taille adulte (17-23 mm pour le garçon et 12.5-17 mm pour la fille). Il est à noter une accélération de la différenciation histologique (entre la couche élastique et la couche de fibres de collagène). Tous les résonateurs se développent, participant ainsi à la modification du timbre. Enfin, la soufflerie se développe avec la cage thoracique qui s'élargit, la musculature qui gagne en puissance et les volumes d'air mobilisés qui sont donc plus importants.

Toutes ces modifications vont impacter sur les paramètres acoustiques qui vont eux aussi se modifier.

Ainsi, on peut observer chez le garçon la baisse d'une octave (188 à 110 Hz), alors que chez la fille, cette baisse n'est que de deux tons à une tierce (248 à 220 Hz).

Avec l'aggravation de la voix un changement de mécanisme laryngé préférentiel va s'opérer. Ainsi, d'après **Casanova** [8], le M1 se développe et une perte transitoire des possibilités du M2 en découlerait. Enfin, une fois que le M1 serait bien installé, l'individu retrouverait ses possibilités d'utilisation du M2. A la fin de la mue, les deux mécanismes sont alors tous deux utilisables. Selon elle, le M1 apparaîtrait donc seulement au moment de cette période ; tout comme pour **Calvet et Malhiac** [7], mais cela n'éclipserait pas pour autant le M2. Ce point fera l'objet d'une partie de notre discussion.

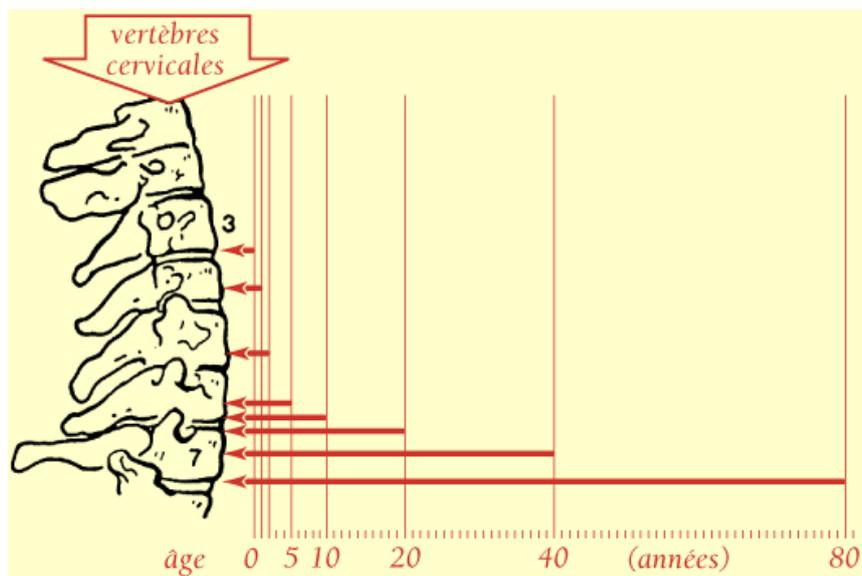
Parfois, lors de sa maturation, la voix peut devenir instable les deux mécanismes coexistant, et l'adolescent passe de l'un à l'autre de manière involontaire et incontrôlable. Ce sont les « couacs » de cette période qui ne durent habituellement que quelques mois (**Cornut** [12]).

L'étendue vocale n'est pas diminuée en voix parlée pendant cette période mais est perturbée par une instabilité qui limite l'utilisation de la voix chantée, en particulier dans la zone de recouvrement des mécanismes (**Woisard, Percodani et coll.** [51]).

→ **Toutes les disparités que nous venons de voir peuvent être expliquées par des structures et des comportements qui ne sont pas arrivés à maturité auxquels l'enfant doit donc s'adapter.**

#### 4. Le larynx infantile

Le larynx du nouveau-né est situé beaucoup plus haut dans le cou qu'à l'âge adulte. Sa descente commence dès la naissance et continue tout au long de la vie.



**Figure n°2** : Descente verticale du larynx au cours de la vie d'après Wind, cité par Sarfati [42].

##### 4.1. Taille et forme

Pendant la croissance, parallèlement à son abaissement dans le cou, le larynx grandit dans ses différents axes. Ainsi, le fait que les cartilages grandissent, durcissent et s'éloignent les uns des autres entraîne une augmentation de la taille du larynx. L'axe antéropostérieur s'accroît lui

avec la longueur des plis vocaux qui se développent rapidement dans les premiers mois de la vie. En effet, ces derniers s'amincissent et la portion membraneuse domine progressivement la portion cartilagineuse (**Woisard, Percodani et coll.** [51]).

En fonction de l'âge, on pourra ainsi constater une augmentation à la fois du volume de la cavité sus-glottique, de la masse des plis vocaux et également de leur amplitude de vibration.

#### 4.2. Plis vocaux et histologie

- D'après les travaux d'**Hirano** [23], le pli vocal est constitué de plusieurs couches, chacune ayant des propriétés mécaniques différentes.

Le pli vocal est tout d'abord recouvert d'une fine capsule appelée épithélium.

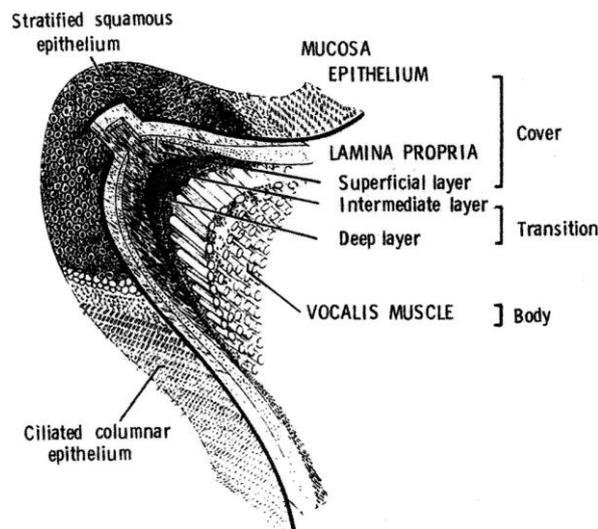
Sous cette dernière se trouve la lamina propria, qui peut être divisée en trois couches :

- La couche superficielle qui possède peu de fibres élastiques est composée d'un tissu fibreux très lâche baignant dans un tissu gélatineux riche en acide hyaluronique. Elle est donc souple et extrêmement importante pour la voix chantée car c'est cette couche qui bouge le plus nettement durant les vibrations du pli vocal.
- La couche intermédiaire qui se compose essentiellement de fibres élastiques.
- La couche profonde, composée principalement de fibres de collagène.

Ces deux dernières couches réunies constituent le ligament vocal. Elles forment une structure élastique résistante aux efforts longitudinaux du pli vocal (étirement).

Sous la lamina propria se trouve le muscle vocal (muscle thyro-aryténoïdien), le corps principal du pli vocal.

- D'un point de vue mécanique, les cinq couches histologiques peuvent être reclassées en trois parties :
  - la couverture, composée de l'épithélium et de la couche superficielle de la lamina propria,
  - la transition, comprenant les couches intermédiaire et profonde de la lamina propria (ligament vocal),
  - le corps constitué par le muscle vocal.



**Figure n°3** : Description de la structure du pli vocal. (Hirano [23])

- La portion membraneuse des plis vocaux des adultes (11 à 16 mm chez l'homme et 8 à 11.5 mm chez la femme) est largement supérieure à celle des enfants, chez qui cette dernière équivaut à la longueur de la portion cartilagineuse (3 à 4 mm).

La longueur de la portion membraneuse du pli vocal s'accroît de 0,4 mm/an chez la fille et de 0,7 mm/an chez le garçon jusqu'à environ 20 ans.

Les plis vocaux s'accroissent donc progressivement (grâce à l'augmentation de la portion membraneuse vibrante) en fonction de l'âge passant de 5 mm à la naissance, à 6 mm à 1 an, puis de 8 mm à environ 12 mm à 11 ans ; pour atteindre 16 à 23 mm chez l'homme adulte et 12.5 à 17 mm chez la femme adulte.
- D'après **Hartnick et Rehbar** [22], une différenciation histologique peut être vue très tôt. En effet, dès deux mois, les premiers signes d'une structure bilaminaire sont perçus, avec des populations cellulaires de densités distinctes.

Ce n'est qu'à l'âge de 13 ans que la structure de la lamina propria définie par une composition de différentes fibres (fibres élastiques et de collagène) est présente. Ces fibres sont produites par les macula flava et ce, dès le plus jeune âge.

Ainsi, la différenciation des multiples structures s'effectue progressivement, entre 6 et 15 ans et le ligament vocal qui s'individualise progressivement ne sera entièrement mature que vers la période de la mue.

De plus, l'épaisseur de la muqueuse s'affine entre l'enfance et l'âge adulte.

## 5. Souffle phonatoire

Outre les différences acoustiques, il est à noter des différences dans le comportement vocal. En effet, l'enfant doit s'adapter à ses caractéristiques morphologiques qui ne sont pas encore arrivées à maturation, tout comme la taille et la forme de la cage thoracique. Tout ceci fait que la mécanique respiratoire ne s'adapte pas d'emblée à la phonation. En effet, la respiration du nourrisson est quasi exclusivement abdominale et la fréquence respiratoire rapide.

- D'après **Sergeant** et **Welch** [45], l'enfant surmonte toutes ces limites en utilisant plus d'air dans le processus de phonation. Au fur et à mesure que les enfants grandissent, le volume pulmonaire requis pour la parole diminue et finit par converger avec celui de l'adulte entre 12 et 14 ans. Ainsi le flux d'air devient moins coûteux et la pression sous-glottique s'amoindrit. Cela a pour conséquences une augmentation de l'intensité des productions vocales et une amélioration de la stabilité de la voix permettant de ce fait une utilisation vocale de plus en plus fine.

Ainsi, le comportement respiratoire est différent de celui de l'adulte. Cela peut être expliqué par les contraintes du rythme respiratoire, plus rapide chez l'enfant.

**→ Contrairement à l'adulte qui a fini sa croissance et dont la mue est terminée, le larynx de l'enfant ainsi que les différentes structures intervenant dans la phonation ne sont pas encore matures. Tout cela confère donc à l'enfant une voix caractéristique avec un fondamental laryngé plus élevé, une dynamique réduite, un timbre particulier ainsi qu'une gestion différente du souffle phonatoire.**

## II – Mécanismes vibratoires laryngés

Chaque mécanisme a sa propre configuration laryngée qui implique divers réglages de l'appareil vibratoire. Ces derniers nous permettent alors de couvrir l'ensemble de l'étendue vocale, des fréquences les plus graves aux plus aiguës. Le terme de mécanisme, qui fait référence à la vibration laryngée, se substitue à la terminologie classique de voix de tête et voix de poitrine (**Roubeau** [37]).

Il est à distinguer du registre résonantiel qui résulte de l'ajustement des cavités buccales et nasales qui servent de résonateurs.

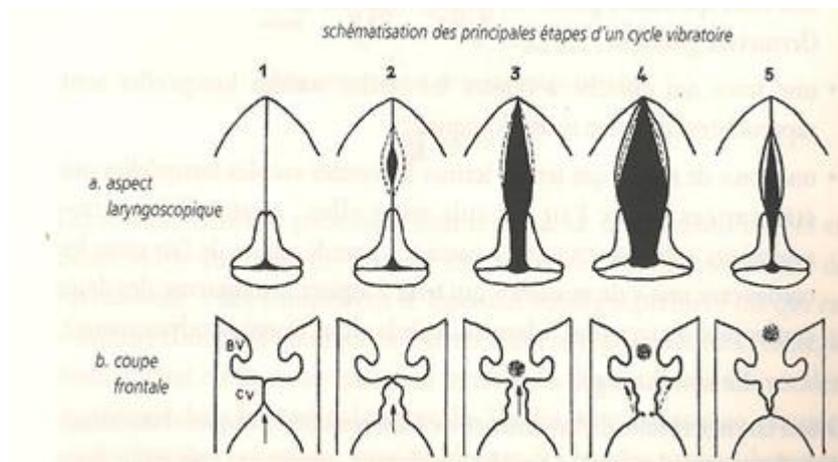
## 1. Les différents mécanismes

D'après **Roubeau** [37], ils sont au nombre de quatre, bien que le M1 et le M2 soient les plus utilisés chez l'adulte.

- Le mécanisme 0 : « fry »

Ce mécanisme permet de réaliser les fréquences les plus basses de quelques Hertz à 80-100 Hz. Les plis vocaux sont très épais et très courts, la masse vibrante est donc importante et donne lieu à une grande amplitude vibratoire de la muqueuse. La vibration est caractérisée par une durée d'ouverture glottique très brève. Il est défini par une activité minimale du muscle vocal et du crico-thyroïdien, toutes les couches des plis vocaux sont donc souples et détendues. La pression sous-glottique est faible.

- Le mécanisme I :



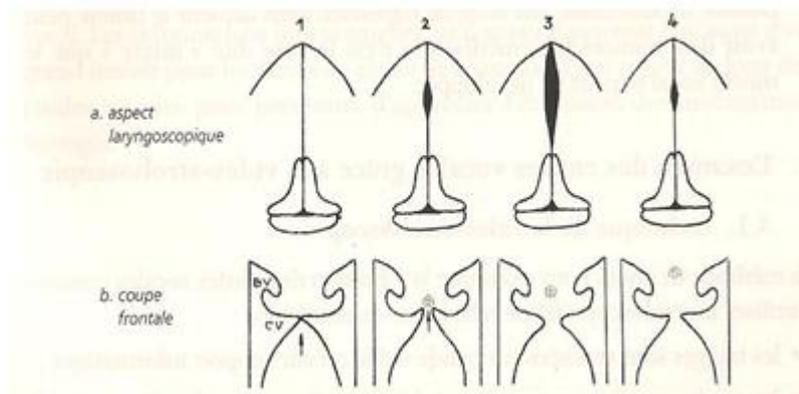
**Figure n°4** : Mécanisme de la vibration laryngée dans le M1, cité par Cornut d'après Vennard [13].

Il permet de couvrir les fréquences de 80-100Hz jusqu'à 300-400Hz.

Il se caractérise par des plis vocaux qui se présentent en bourrelets épais, l'ouverture intéresse tout le pli vocal jusqu'aux aryténoïdes. Les plis vocaux sont donc larges et la muqueuse est souple et vibre amplement ; l'ensemble du pli vocal participe à la masse vibrante en action. Le contact entre les 2 bords libres se fait sur une profondeur de plusieurs millimètres. Dans le haut du mécanisme, la dynamique est réduite et les piani difficiles à réaliser alors que dans le médium, l'intensité est forte.

L'existence de ce mécanisme chez l'enfant est un point que nous traiterons dans la partie expérimentale.

- Le mécanisme II :



**Figure n° 5 :** Mécanisme de la vibration laryngée dans le M2, cité par Cornut d’après Vennard [13].

Il permet de produire les fréquences de 300 à 600-700 Hz.

Il se caractérise par une configuration en bourrelets minces des plis vocaux. L’activité du muscle vocal est plus faible avec cette fois-ci une forte activité du crico-thyroïdien, ce qui entraîne une fermeture incomplète de la glotte. Les vibrations n’intéressent plus le muscle vocal mais la « couverture » (muqueuse et sous-muqueuse) et la masse vibrante s’en trouve donc fortement diminuée. Cette configuration ne permet qu’une intensité limitée par rapport au mécanisme I et le timbre est moins riche à hauteur égale.

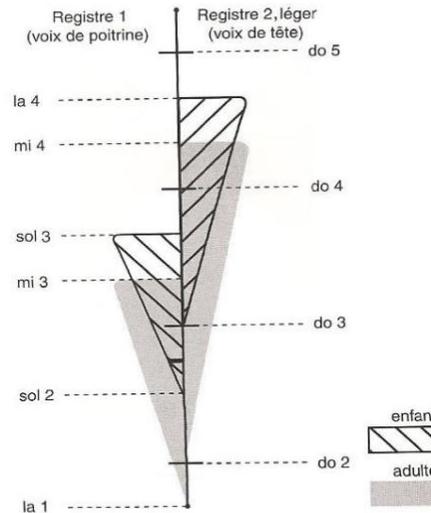
- Le mécanisme III : « sifflet »

Il permet d’atteindre les fréquences les plus hautes.

Les plis vocaux sont extrêmement tendus et très fins. La vibration glottique est parfois limitée à une partie des plis et est difficilement observable. Ce mécanisme ne correspond pas à l’extrême aigu du mécanisme 2.

**→ Les différents mécanismes sont donc justifiés par l’implication de différentes structures.**

Tout comme l’adulte, l’enfant va lui aussi utiliser différents mécanismes en fonction du son émis. Mais son mécanisme laryngé préférentiel reste le mécanisme II. Il peut également utiliser le mécanisme III dans le cri.



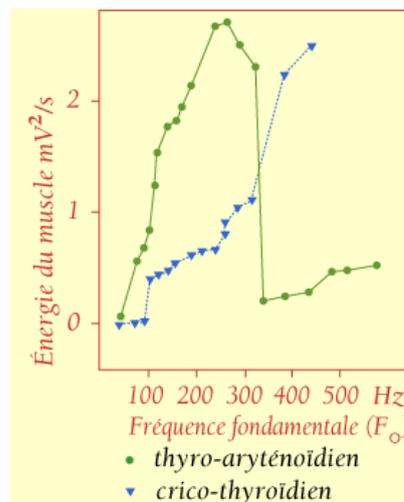
**Figure n° 6:** Comparaison de l'étendue des deux mécanismes vocaux principaux entre l'adulte et l'enfant [28].

## 2. Passage

- D'après **Hirano** [23], le mécanisme vocal est essentiellement régulé par le ratio de l'activité du muscle vocal et du crico-thyroïdien. Lorsque le rapport est modifié très progressivement, le changement de mécanisme n'est pas clairement noté. Si le rapport change de façon brutale, le changement de mécanisme est clairement entendu. Lorsque c'est associé à une discontinuité de vibration des plis vocaux, une rupture en résulte. Ainsi, lors d'un glissando ascendant, qui sollicite deux mécanismes, cela va être représenté par un saut brutal de la fréquence vers le haut ainsi que d'une modification transitoire du timbre. Le phénomène inverse se produit lors d'un glissando descendant (**Roubeau** [38]).
- L'investigation à l'électroglottographe (EGG) menée par **Roubeau, Henrich et coll.** [40], nous permet de mieux comprendre les caractéristiques du passage entre les différents mécanismes. En effet, l'EGG permet d'étudier la surface d'accolement des plis vocaux. Ainsi, plus l'amplitude du signal est grande, plus le degré d'accolement des plis vocaux est important. Ceci permet donc de déceler les variations de configuration glottique.
  - Lors du passage du M1 au M2, il est peut être vu une réduction de l'amplitude du signal EGG, qui correspond à une réduction de la surface d'accolement des plis vocaux par l'amincissement brutal de ceux-ci. Cet amincissement va ainsi augmenter la fréquence de vibration et de ce fait les notes les plus aiguës vont pouvoir être émises.

Tout ceci est relié à une augmentation de l'activité des deux muscles antagonistes : le crico-thyroïdien et le thyro-aryténoïdien, qui provoque une augmentation de la raideur des cordes vocales. L'élévation importante de la fréquence provoque un relâchement du thyro-aryténoïdien, ce qui permet alors au pli vocal de vibrer à une fréquence plus élevée.

- Lors du passage du M2 au M1, il se produit les événements inverses ; les plis vocaux s'épaississent brutalement, entraînant une chute de la fréquence provoquée par la reprise de l'activité du thyro-aryténoïdien.



**Figure n°7** : Illustration de l'activité musculaire lors de l'élévation de la fréquence [38].

- Recouvrement

A l'intérieur de cet intervalle de passage, les mécanismes se « recouvrent », c'est-à-dire que la voix humaine est capable d'émettre la même note dans deux mécanismes voisins. Les deux mécanismes coexistent largement sur certaines fréquences, certaines notes peuvent ainsi être produites à la fois en M1 et en M2. Si l'on passe d'un mécanisme à l'autre sans interrompre l'émission vocale, on entend une sorte de ressaut qui correspond à un « couac » lorsqu'il survient par accident, ou « yodel » lorsqu'il est voulu (comme dans le chant tyrolien). L'étendue de cette zone de recouvrement varie d'un individu à l'autre mais est également influencée par l'effet de l'entraînement vocal. Une absence de recouvrement est courante dans les voix qui ne sont pas travaillées.

➔ **Les quatre mécanismes sont décrits chez l'adulte, mais qu'en est-il chez l'enfant ? Certains auteurs affirment que le M1 n'est pas présent chez l'enfant avant la mue. Cependant une étude a commencé à démontrer le contraire. Ces résultats contradictoires nous incitent à approfondir le sujet.**

### III. Les phonétoqrammes (Rédigé par Emilie HAREAU)

#### 1. Fonctionnement général et historique

##### 1.1. Définition

**Dejonckere** [15] en donne la définition suivante « représentation graphique du champ dynamique vocal obtenue en quantifiant les intensités sonores maximale et minimale en fonction de la hauteur tonale du son fondamental sur toute l'étendue de la voix ».

Le phonétoqramme permet donc d'étudier la dynamique vocale sur l'ensemble de l'étendue en représentant le champ de liberté de l'instrument vocal en fonction de l'intensité et de la fréquence (**Roubeau, Castellengo et coll.** [39]).

Le phonétoqramme est donc une courbe d'enveloppe du champ dynamique. Il peut être établi pour la voix parlée ou la voix chantée.

Il permet d'établir les capacités vocales des chanteurs, mais il peut aussi aider au diagnostic chez des patients dysphoniques. De plus, il est souvent utilisé pour mesurer l'effet d'un traitement ainsi que l'effet de l'entraînement vocal. (**Bless et Baken** [5]).

##### 1.2. Terminologie

Le terme utilisé pour désigner cette représentation graphique a beaucoup évolué : « courbes vocales » (**Calvet et Malhiac** [7]) ou encore « voice area » (traduction de « Stimmefled » en allemand cité par **Bless et Baken** [5]), « voice profile » (**Böhme et Stuchlik** [6]), « F0-SPL profile » (**Awan** [4]). Dans de nombreuses publications il apparaît sous le terme de « Voice Range Profile » (**Sulter, Wit et coll.** [48]) ou « phonetogram » (**Gramming, Sundberg et coll.** [19] et **Damsté** [14]). Dans les rares publications françaises, le terme de « phonétoqramme » est le plus employé. (**Roubeau, Castellengo et coll.** [39] et **Dejonckere** [15]).

#### 2. Conditions d'expérimentation

Le protocole du phonétoqramme est standardisé par l'Union des Phoniatries Européens (UEP) (**Schutte et Seidner** [44]). Les fréquences sont portées en abscisses et les amplitudes en ordonnées. La procédure du phonétoqramme normalisé proposée par l'UEP est plus lourde bien qu'automatisée sur micro-ordinateur (**Sulter, Wit et coll.** [48]).

L'intensité s'exprime en dB SPL, et peut se mesurer en dB A ou en dB C :

- Le dB-A mesure l'énergie perçue par le sonomètre, il a été beaucoup utilisé. Il offre l'avantage d'atténuer les bruits basses fréquences, ces derniers étant difficilement perceptibles. Les mesures effectuées correspondent donc à l'impression auditive, due à la sensation de réduction des basses fréquences ressentie par l'oreille. (**Gramming et Sundberg** [18]).
- Le dB C représente quant à lui l'énergie émise par le sujet, sans aucune atténuation. Certains chercheurs pensent que c'est le seul moyen pour enregistrer précisément les sons les plus bas.

### 2.1. Lieu

La passation du phonétogramme doit se faire dans une salle adaptée, pourvue d'une qualité acoustique confortable, dont le niveau de bruit ne dépasse pas 50 dB.

### 2.2. Matériel

- Le phonétogramme automatique est en général enregistré à l'aide d'un microphone omnidirectionnel, placé à 30 cm de la bouche du sujet.
- Pour le phonétogramme manuel, il faut placer le sonomètre à 30 cm de la bouche du sujet afin de récolter les intensités des notes émises par ce dernier. La note est émise par un instrument type clavier, orgue ou piano. Certains placent le sonomètre à 1m de la bouche du sujet afin de limiter les effets des mouvements de tête/corps du sujet lors de l'enregistrement.

### 2.3. Le choix de la voyelle

Il est différent selon les auteurs :

- **Schutte et Seidner** [44] recommandent d'utiliser une des voyelles suivantes : « a,i,u ».
- **Gramming** [20] recommande d'après ses recherches, d'utiliser la voyelle « a » car « i » et « u » n'apportent pas d'informations supplémentaires.

Il a été prouvé que le choix de la voyelle avait une influence sur le phonétogramme (**Lamesch** [27]).

## 3. Méthode

Le sujet doit se tenir debout, à 30 cm/1m du sonomètre et limiter ses mouvements pendant la durée du protocole.

L'examineur demande alors au chanteur de reproduire la note jouée au piano, sur un /a/ en général, dans un premier temps pianissimo afin de limiter l'effet de fatigue. L'étendue vocale est parcourue par demi-tons, à partir de son milieu. Une fois les mesures faites en pianissimo, l'examineur réitère ses mesures mais cette fois-ci en demandant au sujet de reproduire les notes le plus fort possible.

Les données récoltées sont alors reportées sur un graphique avec les fréquences en abscisses et les intensités en ordonnées. Nous obtenons ainsi un phonétogramme, représentation graphique de l'étendue vocale du sujet.

L'enregistrement peut se faire de façon manuelle ou automatique. Différentes méthodes existent :

- Le phonétogramme cumulé, moyenné est le plus communément utilisé. Il s'agit de moyenniser des phonétogrammes à fréquence donnée. Cette méthode a le désavantage de ne pas pouvoir décrire une grande population, au sein de laquelle il y a nécessairement des différences de tessiture. (**Wolf et Sette**, 1935 [52]).
- Pour y remédier, **Hacki** (1990) (cité par **Lamesch** [27]) a proposé d'établir des phonétogrammes moyens par tessiture vocale. Pour cela, il choisit de ne retenir que l'ensemble des points phonétographiques atteints par un pourcentage donné de leurs sujets (50 % par exemple).
- Une autre méthode initiée par **Coleman et Mott** (1978) [10], puis développée par **Sulter, Wit et coll.** (1994) [48], nommée la Rescaling method, consiste à exprimer la tessiture du chanteur en pourcentage de son étendue totale. Les intensités (minimales et maximales) sont alors calculées par intervalle de 10%. Ainsi, cette méthode permet de comparer les différents phonétogrammes à position donnée au sein de la tessiture. Toutefois, cette méthode a de nombreux inconvénients en particulier la déformation non négligeable du phonétogramme : ainsi le phonétogramme d'un chanteur aura la même forme que celui d'un non-chanteur, malgré la différence d'octaves.

#### 4. Evolution : des 1ers phonétogrammes aux connaissances actuelles

- Le concept du phonétogramme a été introduit par **Wolf et Sette** [52] en 1935. Ils ne mesuraient alors que l'intensité maximale de la voix chantée en fonction de la fréquence. Ils ont montré que l'intensité augmentait avec la fréquence.
- En 1938, **Stout** [47] a poursuivi les recherches sur la voyelle chantée en fonction de la hauteur et de l'intensité. Il a exploré deux conditions : l'une où la fréquence était

constante et où l'intensité était manipulée, et l'autre où la fréquence était manipulée et où l'intensité était constante. Il a obtenu des résultats similaires à ceux de **Wolf et Sette** [52]. Au regard de ses résultats, **Stout** [47] a introduit le concept d'aire en regardant systématiquement l'étendue de l'intensité pour chaque note chantée.

- En 1952, **Calvet et Malhiac** [7] ont commencé à introduire l'intensité minimale (mesurée alors en phones). Désormais, les auteurs utiliseront systématiquement l'intensité maximale comme limite supérieure, et l'intensité minimale comme limite inférieure.
- En 1962, **Husson** [24] est le premier à tracer des phonétogrammes par mécanismes, suivi par **Dejonckere** (1977) [15], **Roubeau** [37] ou encore **Airainier et Klingholz** (1993) [1]. Ces derniers les représentaient sous forme d'ellipses.
- Dans les années 1970, le phonétogramme a connu un regain d'intérêt grâce à **Damsté** [14]. En effet, il a centré son étude sur l'application du phonétogramme dans la compréhension des troubles vocaux. Il a été le premier à aborder l'affichage graphique.
- En 1977, **Coleman, Mabis et coll.** [9], se sont particulièrement intéressés à la forme du phonétogramme, déterminée par la limite supérieure ainsi que la limite inférieure. De nombreux auteurs ont poursuivi ces recherches.
- Le protocole du phonétogramme a été standardisé en 1983 par l'Union Européenne des Phoniatries (**Schutte et Seidner** [44]).
- Les premiers phonétogrammes informatisés ont été évoqués dans les années 1980. **Gross** (cité par **Lamarche** [26]) a développé un phonétogramme semi-automatique, mais le concept du phonétogramme automatique est réellement apparu à l'issue des travaux de **Bloothoof** (cité par **Lamarche** [26]) qui a élaboré la cartographie des contours en fonction d'un système de coordonnées graphiques. Avec ces nouvelles découvertes, le phonétogramme a évolué et est passé d'un ensemble de courbes à une surface.
- **Pabon et Plomp** [32] ont proposé une méthode d'enregistrement automatique du phonétogramme augmenté de paramètres acoustiques décrivant la qualité vocale (qui n'était jusqu'alors pas prise en compte). Selon eux l'utilisation de tels phonétogrammes permet de relever des changements de qualités vocales pertinents en termes de description des voix pathologiques.
- Actuellement, de nombreux programmes aptes à réaliser des phonétogrammes sont disponibles : Phog 2.50, LingWAVES, Voice Profiler 4.0, Dr. SPEECH, Phonetogram v.4, Sesane v.3.2 (français), Voice Range Profile Model 4325, Protrain, Phonomat 84 (répertoriés par **Lamarche** [26]).

## 5. Intérêts et limites du phonétogramme

### 5.1. Intérêts

Le phonétogramme permet d'appréhender le champ de liberté de la voix en étudiant la fréquence et l'intensité. Il permet ainsi d'explorer l'étendue vocale ou la tessiture selon le type de phonétogramme réalisé et la dynamique (différence entre la limite supérieure et inférieure de l'intensité). De ce fait, l'aire générale peut être calculée à partir de ces deux paramètres. Nous avons ainsi une représentation graphique des possibilités vocales.

Le phonétogramme par mécanisme laryngé permet une étude plus approfondie en mettant en évidence les différents mécanismes du sujet, ainsi que leur zone de recouvrement. De plus, il permet de voir en quelles proportions chaque mécanisme est présent.

Cet outil d'investigation permet de standardiser les possibilités vocales selon le sexe ou l'âge, et permet ainsi de comparer différentes populations entre elles. Il est utilisé pour de multiples raisons dont l'analyse théorique de la voix, l'étude de la voix dans une perspective clinique, l'évolution de la thérapie, ou encore les caractéristiques diagnostiques de certains groupes spécifiques de patients.

### 5.2. Limites

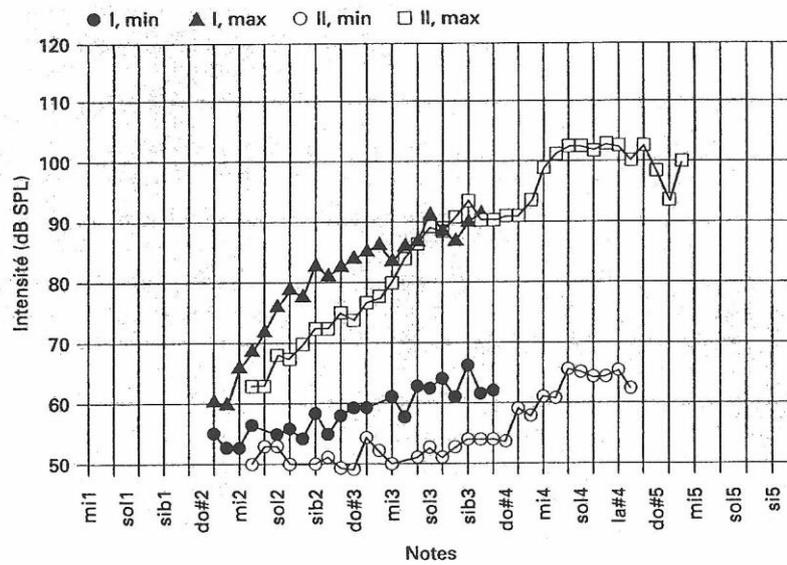
Bien que représentatif des possibilités vocales, il ne prend cependant pas en compte le timbre de la voix et ne permet donc pas une analyse qualitative. Certains auteurs ont tenté de remédier à cela (**Pabon et Plomp** [32]) en mettant au point un phonétogramme qui combine représentation graphique et acoustique. Pour cela, l'analyse du timbre est ajoutée à celles, quantitatives, de la fréquence et de l'intensité. Toutefois, les mécanismes ne sont pas pris en compte dans la passation et sont définis à posteriori par une procédure automatique. De ce fait, nous ne pouvons pas savoir si le sujet utilise toutes ses potentialités dans chaque mécanisme. Les zones de recouvrement n'apparaissent pas bien que les zones de passage soient visibles.

## 6. Le phonétogramme par mécanisme laryngé ou « global »

- Le phonétogramme par mécanisme laryngé

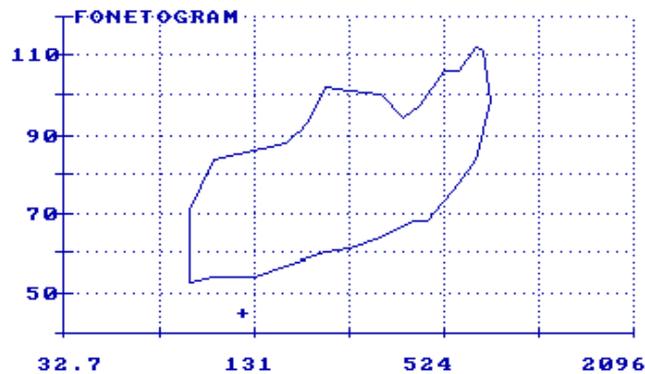
Il résulte de la superposition de deux phonétogrammes élaborés séparément pour chacun des deux principaux registres vocaux. Il prend en compte de façon objective la part de chaque

mécanisme vibratoire dans le champ des possibilités en fréquences et en amplitude d'une voix (Roubeau, Catellengo et coll. [39]).



**Figure n° 8 :** Exemple de phonétogramme par mécanisme laryngé d'un sujet féminin chanteur confirmé. D'après Roubeau, Castellengo et coll. [39].

- Le phonétogramme « global » :

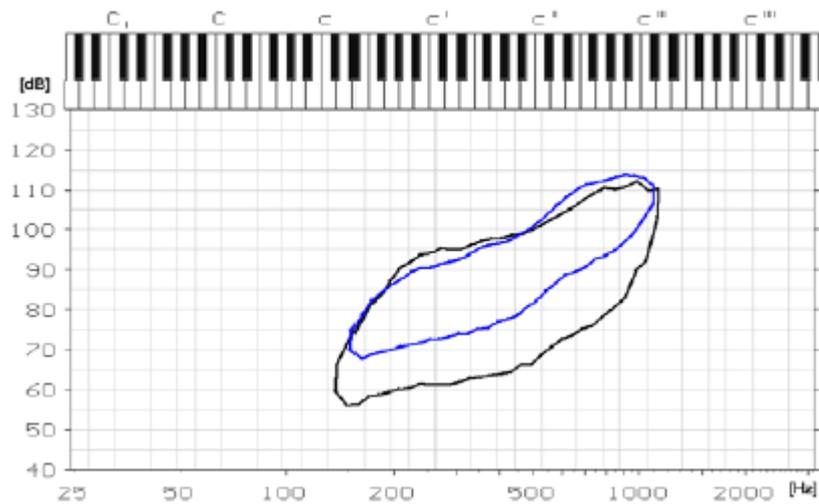


**Figure n° 9 :** Exemple d'un phonétogramme « normal » d'un homme [48].

Dans la littérature, l'appellation « phonétogramme » correspond au phonétogramme ci-dessus. Nous le nommerons phonétogramme « global », en opposition au phonétogramme par mécanisme laryngé.

Il ne tient pas compte des différents mécanismes, il se contente de relever les capacités vocales du chanteur quel que soit le mécanisme utilisé. Le phonétogramme « normal » a une forme « patatoïde », avec les limites supérieure et inférieure qui se rejoignent aux extrémités.

## 7. Phonétogrammes physiologique ou musical



**Figure n° 10** : Comparaison des contours du phonétogramme physiologique (en noir) et musical (en bleu) pour un groupe de 16 chanteurs (Lamarche [26]).

En ce qui concerne la voix chantée, il est nécessaire de distinguer deux types de phonétogrammes :

- Le phonétogramme physiologique : il représente l'ensemble des notes que le sujet est capable de produire, sans tenir compte de la qualité de la voix. Le vibrato est exclu de cette mesure.
- Le phonétogramme musical : il représente l'ensemble des sons que le sujet est susceptible d'utiliser en pratique, répondant plutôt à des règles esthétiques, et tenant compte de la qualité du timbre.

La différence entre ces deux phonétogrammes réside dans le contraste entre ce qui est vocalement possible (physiologique) et ce qui est vocalement probable (musical) (**Coleman** [11]).

Cette distinction est au cœur des enregistrements phonétographiques depuis leurs débuts, puisque **Wolf, Stanley et coll.** [53] avaient déjà choisi de ne pas tenir compte de la voix de tête des hommes, car ceux-ci ne l'utilisaient pas dans le chant. **Coleman et Mott** [10] ont ensuite proposé de définir des phonétogrammes physiologiques et des phonétogrammes musicaux. Toutefois, ils n'ont tenu compte de cette considération que pour déterminer l'étendue fréquentielle à explorer (**Lamesch** [27]).

## 8. Phonétogrammes chez les adultes

### 8.1. Différences hommes / femmes

Les auteurs ont relevé de nombreuses différences entre les hommes et les femmes au niveau des paramètres du phonétogramme. Les résultats de la littérature sont répertoriés plus bas (cf. Tab. n°2).

#### 8.1.1. Etendue vocale

De nombreux résultats apparaissent dans la littérature mais tous s'accordent à dire que l'étendue des sujets adultes est toujours supérieure à 30 demi-tons (environ 2 octaves  $\frac{1}{2}$ ) et qu'elle est à peu près équivalente chez les hommes et chez les femmes. Cependant, une comparaison de l'étendue homme/femme est complexe étant donné la disparité des résultats pouvant s'expliquer par des méthodes d'analyse différentes ainsi que des échantillons inégaux.

#### 8.1.2. Intensité

Toutes les mesures ont été réalisées à 30 cm. Les auteurs s'accordent à dire qu'il n'y a pas d'effet du sexe sur l'intensité minimale. Toutefois, l'intensité maximale semble légèrement supérieure chez les hommes que chez les femmes.

#### 8.1.3. Ecart dynamique

Les auteurs trouvent tous que les hommes ont une dynamique plus importante que les femmes. La nette différence observée entre les résultats de **Coleman, Mabis et coll.** [9] et **Sulter, Schutte et coll.** [49] et ceux de **Dejonckere** [15] peut être associée à la nature du phonétogramme (musical chez Dejonckere) où le son doit respecter des règles esthétiques.

#### 8.1.4. Aire

**Roubeau, Castellengo et coll.** [39] étudient les aires des phonétogrammes par mécanisme laryngé chez des hommes et des femmes (chanteurs). Il ressort de cette étude que les hommes ont une aire générale supérieure à celle des femmes, mais ces dernières ont un M2 plus développé.

Auteurs	Hommes					Femmes					
	Etendue (demi-tons)	Int min (dB)	Int max (dB)	Dyn max (dB)	Aire (dB.demi-tons)	Etendue (demi-tons)	Int min (dB)	Int max (dB)	Dyn max (dB)	Aire (dB.demi-tons)	
Awan [4]	Entre 32 et 38		98			33					
Coleman, Mabis et coll. [9]		51	126	55		37	48	122	51		
Sulter, Schutte et coll. [49]		47				43	51	104	39		
Dejonckere [15]				30 à 40					30 à 40		
Roubeau, Castellengo et coll. [39]	M1	29			33	595	19			24	280
	M2	26			29	388	30			32	595

**Tableau n° 2:** Comparaison des performances entre les hommes et les femmes selon les différents auteurs.

Les différences entre les auteurs peuvent être expliquées par la différence de méthodologie employée ainsi que le nombre de sujets différents.

## 8.2. Effet de l'entraînement vocal

### 8.2.1. Etendue vocale / tessiture

- **Awan [4]** a étudié des phonétogrammes qu'on pourrait qualifier de musicaux. Il a alors constaté une nette augmentation de la tessiture grâce à l'entraînement vocal (sans distinction de sexe). En effet, il observe une différence de 6 demi-tons entre les chanteurs et les non-chanteurs. **Sulter, Schutte et coll. [49]** arrivent à la même conclusion mais uniquement pour les femmes.
- L'étude longitudinale de **LeBorgne et Weinrich [29]** révèle que l'enseignement vocal permet une augmentation de la tessiture par une diminution de la limite inférieure.
- **Mürbe, Sundberg et coll. [30]** ont quant à eux constaté que l'entraînement vocal avait un effet positif sur le niveau global et que la dépendance entre la hauteur et l'intensité s'amointrissait.

- L'étendue vocale est plus développée chez les chanteuses que chez les non chanteuses. Toutefois, cette augmentation de l'étendue vocale n'est pas observée chez les hommes, ce qui pourrait être imputable au fait que tous les chanteurs n'utilisent pas la voix de tête (**Husson** [24]).

➔ **L'entraînement vocal provoque donc une augmentation de la tessiture, qui est toutefois plus marquée chez les femmes que chez les hommes.**

### 8.2.2. Intensité

- **Sulter, Schutte et coll.** [49] trouvent que les femmes chanteuses ont des intensités maximales plus élevées et des intensités minimales plus faibles que les non-chanteuses. Toutefois, ceci n'est pas observé chez les hommes. Ces constats sont en accord avec les résultats de **Siupsinskiene et Lycke** [46].
  - **Husson** [24] trouve que les chanteurs ont une meilleure dynamique que les non-chanteurs.
  - Pour **Awan** [4], concernant l'intensité maximale moyenne, les chanteurs ont de meilleures performances que les non-chanteurs (93 dB > 79 dB). En revanche, chez les non-chanteurs, l'intensité minimale moyenne est de 70 dB alors qu'elle est de 76 dB chez les chanteurs. Ici, les non-chanteurs ont de meilleurs minima que les chanteurs ce qui n'est pas tout à fait en accord avec les résultats vus plus haut. Ceci peut sans doute expliquer par la non prise en compte des différences de profils et de tessiture.
  - D'après les résultats de **Gramming et coll.** ([2] ; [19] ; [20]) il n'y a pas de réelle influence de l'entraînement vocal chez les hommes, mais une légère augmentation de la limite supérieure chez les femmes, qui serait liée à une augmentation très importante de la pression sous-glottique (**Akerlund et Gramming** [3]).
  - **Coleman et Mott** [10] ont montré que le paramètre « intensité vocale » marquait souvent la différence entre le chanteur débutant et le chanteur d'un niveau plus avancé.
- ➔ **D'après les différents auteurs, les chanteurs ont de meilleures possibilités en termes d'intensité que les non-chanteurs, plus particulièrement les femmes.**

### 8.2.3. Aire du phonétogramme

- **Roubeau, Castellengo et coll.** [39] ont étudié des phonétogrammes par mécanisme laryngé chez des hommes et des femmes de niveaux vocaux différents. Il ressort de cette étude que l'aire du mécanisme utilisé dans le chant augmente avec l'entraînement vocal. De plus, cette dernière est toujours supérieure à celle du mécanisme peu ou pas utilisé.
  - **Siupsinskiene et Lycke** [46] comparent les aires des chanteurs et des non-chanteurs :
    - L'aire moyenne des femmes chanteuses est significativement plus élevée (1054 dB.demi-tons) que celle des non-chanteuses (907 dB.demi-tons).
    - L'aire moyenne des hommes chanteurs est de 1206 dB.demi-tons contre 1098 dB.demi-tons pour les non-chanteurs ce qui n'est toutefois pas significatif. Ce constat va dans le sens des résultats publiés par **Sulter, Schutte et coll.** [49].
- ➔ **Il y aurait donc d'après ces études un effet significatif de l'entraînement vocal sur l'aire du phonétogramme chez les femmes. Cet effet n'est cependant peu/pas relevé chez les hommes.**

### 8.2.4. La courbe d'enveloppe

Quel que soit le type de phonétogramme (physiologique ou musical), les auteurs (**Sulter, Schutte et coll.** [49]) notent que la courbe d'enveloppe est plus constante chez les chanteurs, le changement de mécanisme étant moins marqué du fait d'une meilleure maîtrise vocale.

- ➔ **Pour résumer, l'entraînement vocal semble porter à la fois sur la tessiture ainsi que sur l'augmentation des capacités vocales avec, chez la femme en particulier, une hausse de la limite supérieure (donc de ce fait un accroissement de l'aire).**

## 9. Phonétogrammes chez les enfants

### 9.1. Etendue vocale / tessiture

La terminologie anglo-saxonne pour désigner l'étendue vocale et la tessiture est souvent identique : « voice range, frequency range, pitch range ». Mis à part l'adjonction du qualificatif « musical » ou « physiologique », nous ne pouvons donc pas déterminer avec certitude le type de phonétogramme réalisé et de ce fait savoir s'il s'agit de l'étendue vocale ou de la tessiture.

Les données relevées dans la littérature sont rassemblées plus bas (cf. Tab. n°3).

### 9.1.1. Non-chanteurs

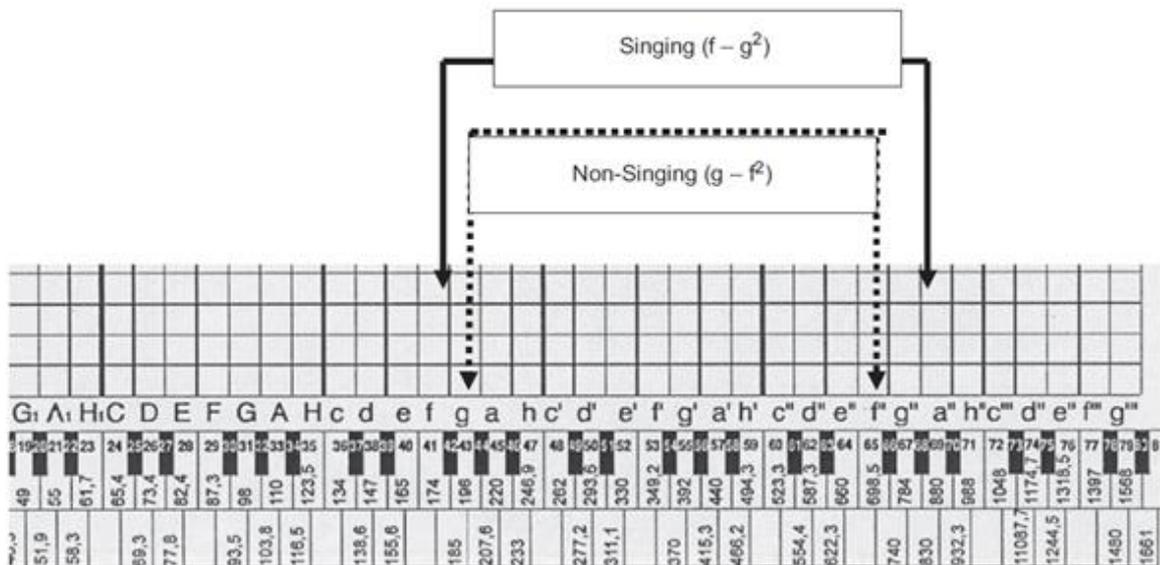
- Les auteurs s'accordent à dire que l'étendue vocale des enfants avoisine les 2 octaves (**Schneider, Zumtobel et coll** [43], **Siupsinskiene et Lycke** [46], **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35]).
- Entre 0 et 5 ans, **Van Oordt et Drost** [50] n'utilisent pas les phonétogrammes mais une méthodologie basée sur le cri. Il en ressort une étendue vocale allant de 2.5 à 3 octaves. Entre 6 ans et la puberté, ils trouvent que l'étendue vocale s'accroît avec l'âge de façon modérée. Toutefois, la tessiture est nettement moins développée que l'étendue vocale
- En dessous de 7 ans, d'après **Böhme et Stuchlik** [6], on n'obtient pas de phonétogramme valide chez le non-chanteur. Ils trouvent comme **Van Oordt et Drost** [50] que l'étendue vocale n'évolue pas entre 7 et 14 ans, sans distinction de sexe.

### 9.1.2. Chanteurs

- D'après **Hacki et Heitmüller** [21], les limites inférieures et supérieures de l'étendue vocale s'élargissent entre 4 et 8 ans.
- D'après les études de **Calvet et Malhiac** [7] portant sur l'étude de la voix des garçons chanteurs entre 4 et 7 ans, la tessiture est inférieure à une octave. Ceci peut s'expliquer par l'utilisation exclusive du registre de tête. Ils ont ensuite étudié les phonétogrammes musicaux d'enfants chanteurs entre 7 et 10 ans et ont noté que la tessiture atteignait et dépassait une octave.
- D'après **Coleman et Mott** [10], l'étendue vocale est nettement supérieure à la tessiture chez des fillettes chanteuses âgées de 10 à 14 ans.
- **Ragot** [36] est la seule à faire, chez les enfants, des phonétogrammes par mécanisme laryngé. Ses résultats concernant l'étendue générale sont en accord avec ceux de **Coleman** [11]. Les enfants (sans distinction de sexe) ont une limite inférieure située dans l'octave 2 et une limite supérieure dans l'octave 4 ou 5.
- **Siupsinskiene et Lycke** [46] et **Pribuisiene Uzola et coll.** [35] trouvent une étendue vocale moyenne (chez des enfants de 12 ans) légèrement inférieure à celle des autres auteurs. Une différence de méthodologie ainsi que du choix de la population entrent sans doute en jeu dans la différence finale.

Auteurs	Etendue des non-chanteurs	Etendue des chanteurs	Tessiture des chanteurs
Van Oordt et Drost [50]	De 2.5 à 3 octaves	X	X
Böhme et Stuchlik [6]	29 demi-tons	X	X
Frank & Sparber (cité par Schneider, Zumtobel et coll [43])	>24 demi-tons	X	X
Siupsinskiene et Lycke [46]	22 demi-tons	27 demi-tons	X
Pribuisiène Uzola et coll. [35]	22 demi-tons	26 demi-tons	X
Calvet et Malhiac [7]	X	X	>à 1 octave
Ragot [36]	X	33 demi-tons	X
Coleman et Mott [10]	X	30 demi-tons	20 demi-tons
Schneider, Zumtobel et coll [43]	2 octaves		X

**Tableau n° 3** : Comparaison des résultats portant sur les étendues et tessiture selon différents auteurs.



**Figure n° 11** : Comparaison de l'étendue vocale entre des enfants chanteurs et non-chanteurs [35].

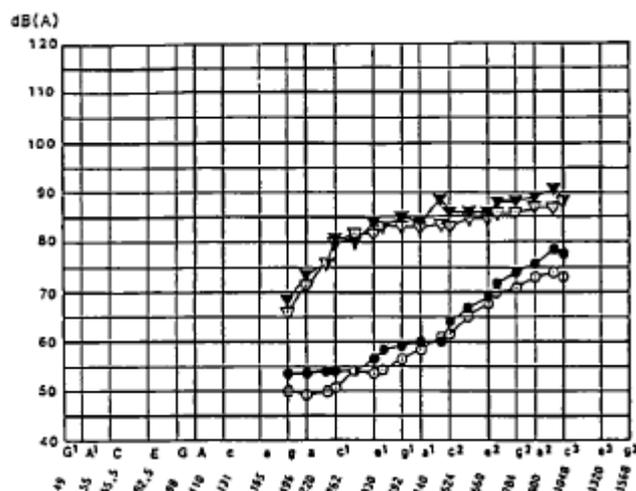
→ Les auteurs s'accordent à dire que l'étendue physiologique n'évolue que très peu entre l'enfance et l'âge adulte. En effet, elle va de 2 à 3 octaves sans distinction de sexe, et est établie dès la petite enfance. Contrairement à l'étendue vocale, la tessiture est plus restreinte. Elle augmente progressivement de la naissance à l'âge adulte, jusqu'à se rapprocher de l'étendue vocale tout en restant dans ses limites. Ainsi le travail vocal n'influe pas sur l'étendue mais sur la tessiture, l'entraînant vers des fréquences plus graves.

## 9.2. Intensité / écart dynamique

Pour les données détaillées, se référer au Tableau n°4.

### 9.2.1. Non-chanteurs

- Les résultats de **Böhme et Stuchlik** [6] montrent qu'entre 7 et 10 ans, l'intensité et la dynamique moyennes sont un peu plus élevées chez les garçons que chez les filles ce qui leur permet d'établir un phonétogramme standardisé pour chaque sexe (cf. Fig n°12), travaux repris par **Wuyts, Heylen et coll.** [54]. Chez les garçons comme chez les filles, l'intensité augmente avec la fréquence et le champ dynamique vocal se développe de manière identique à partir de 10 ans à savoir une augmentation de la dynamique sur les fréquences les plus basses.



**Figure n° 12** : Phonétogramme standardisé pour des enfants entre 7 et 10 ans (noir pour les garçons, blanc pour les filles) [6].

- Les résultats de **Siupsinskiene et Lycke** [46] sont en accord avec les résultats **Böhme et Stuchlik** [6] quant à l'intensité minimale et maximale.
- Entre 10 et 14 ans, l'intensité augmente rapidement (**Komiyama, Watanabe et coll.** [25]) Cet accroissement est plus marqué chez les garçons que chez les filles, ce que les auteurs expliquent par une cage thoracique plus développée chez les garçons.

### 9.2.2. Chanteurs

- **Calvet et Malhiac** [7] effectuent une étude sur la mue des jeunes chanteurs. Alors que l'intensité est très constante entre 7 et 10 ans, lors de la mue une instabilité de l'intensité est notée, notamment dans le registre de poitrine et au niveau du passage registral, marqué par un pincement de la courbe.
- Dans le phonétogramme physiologique chez des fillettes âgées entre 10 et 13 ans, **Coleman et Mott** [10] relèvent des intensités minimales identiques mais des intensités maximales et des écarts dynamiques plus élevées par rapport au phonétogramme musical.
- **Siupsinskiene et Lycke** [46] sont en accord avec les résultats de **Coleman** [11] concernant l'intensité minimale mais trouvent une intensité maximale inférieure ce que l'on peut expliquer par un effectif différent. Quant à la dynamique, elle est significativement supérieure à celle des non-chanteurs.
- **Pedersen** [34] étudie la voix d'enfants chanteurs, à différents âges. Ses résultats révèlent qu'au moment de la puberté, les filles ont une intensité moindre en voix de

tête. Il remarque qu'en post puberté chacun développe sa tessiture dans la zone fréquentielle la plus utilisée.

- **Fuchs, Meuret et coll.** [16] trouvent que les garçons ont une intensité vocale maximale meilleure par rapport aux filles, en accord avec les remarques de **Hacki et Heitmüller** [21] et les résultats de **Böhme et Stuchlik** [6] chez les non-chanteurs.
- **Sergeant et Welch** [45] ont quant à eux constaté que l'intensité augmentait proportionnellement à l'âge chronologique du chanteur.

Auteurs	Non- Chanteurs					Chanteurs		
	Int min (dB)		Int max (dB)		Dyn max	Int min (dB)	Int max (dB)	Dyn max
	Garçons	Filles	Garçons	Filles				
Böhme et Stuchlik [6]	53	50	90	88				
Siupsinskiene et Lycke [46]	51		87		36	52	91	39
Coleman et Mott [10]						Musical 52 Phys. 53	Musical 106 phys. 117	
Fuchs, Meuret et coll. [16]							♂ > ♀ de 3.7 dB	

**Tableau n° 4:** Intensité et dynamique relevées en fonction des différents auteurs chez des enfants chanteurs et non-chanteurs.

➔ Il résulte de ces données que les chanteurs ont une meilleure dynamique et intensité maximale que les non-chanteurs. Toutefois, ce n'est pas le cas pour l'intensité minimale. De plus, les garçons auraient une meilleure intensité maximale que les filles avant la puberté.

### 9.3. Aire

Les données de la littérature sont répertoriées ci-dessous (cf. Tab n°5).

#### 9.3.1. Non-chanteurs

De nombreux auteurs ont étudié l'aire des phonétogrammes des enfants entre 6 et 13 ans, chanteurs et non-chanteurs. Toutefois les résultats sont assez variés. En effet, chez les non-chanteurs les résultats de **Pribuisiene, Uzola et coll** [35] et **Siupsinskiene et Lycke** [46] sont différents de plus de 200 dB.demi-tons.

#### 9.3.2. Chanteurs

Il en est de même pour les chanteurs :

	Population		Aires des phonétogrammes (dB.demi-tons)	
	Chanteurs	Non-chanteurs	Chanteurs	Non-chanteurs
Ragot [36]	7	X	484	X
Pribuisiene, Uzola et coll [35]	44	31	410	350
Siupsinskiene et Lycke [46]	81	61	699	573
Pedersen, Moller et coll. [33]	< 48	X	608	X

**Tableau n° 5** : Comparaison des résultats portant sur l'aire entre les enfants chanteurs et non-chanteurs selon différents auteurs.

L'écart important entre ces résultats peut s'expliquer par une population plus importante chez **Pribuisiene, Uzola et coll** [35] et **Siupsinskiene et Lycke** [46] que chez **Ragot** [36] ce qui entraîne ainsi des variations inter catégorielles plus contrastées. Les enfants appartiennent cependant à la même tranche d'âge, mais la médiane n'est pas précisée, il se peut qu'une majorité d'enfants soit plus proche des 13 ans ou inversement plus proche des 6 ans, ce qui influencerait sur les résultats. Le nombre d'enfants n'est cependant pas précisé chez **Pedersen, Moller et coll.** [33], nous savons seulement qu'il a étudié une population de 48 enfants, qu'il a divisée en 3 groupes.

→ **Malgré la disparité des résultats de la littérature (due notamment à des populations différentes), les auteurs s'accordent à dire que l'aire du phonétogramme des chanteurs est statistiquement supérieure à celle des non-chanteurs.**

### **10. Comparaison adultes chanteurs / enfants chanteurs**

La forme du phonétogramme est globalement la même chez l'enfant et chez l'adulte. Toutefois, le phonétogramme adulte est plus développé au niveau des basses fréquences, et la dynamique est plus importante.

**L'étendue vocale des enfants est plus réduite que celle des adultes, bien que du même ordre de grandeur.**

- Entre 33 (**Awan [4]**) et 43 demi-tons (**Sulter, Schutte et coll. [49]**) chez les femmes,
- Entre 32 et 38 demi-tons chez les hommes (**Awan [4]**),
- Entre 26 demi-tons (**Pribuisiene, Uzola et coll. [35]**) et 33 demi-tons (**Ragot [36]**) chez les enfants.

**Toutefois, aucune différence au niveau du sexe n'est relevée chez les enfants alors qu'elle est présente chez les adultes.**

**Coleman [11]** a comparé les résultats de fillettes (Coleman et Mott [10]) avec ceux de femmes adultes (Coleman, Mabis et coll. [9]). **Il ressort de son étude que l'étendue vocale de l'enfant est inférieure d'une ½ octave à celle de la femme. La tessiture quant à elle est nettement inférieure chez l'enfant et évolue progressivement jusqu'à l'âge adulte.** L'intensité minimale est plus basse et l'intensité maximale plus élevée chez l'adulte, ainsi **l'écart dynamique est plus important chez l'adulte que chez l'enfant.**

Les auteurs affirment que le développement de l'aire du phonétogramme est significativement corrélé à l'âge. L'aire du phonétogramme des enfants chanteurs se situe entre 410 (**Pribuisiene, Uzola et coll [35]**) et 699 dB.demi-tons (**Siupsinskiene et Lycke [46]**) sans différence de sexe ; alors que l'aire moyenne des femmes chanteuses est de 1054 dB.demi-tons et celle des hommes chanteurs est de 1206 dB.demi-tons. (**Siupsinskiene et Lycke [46]**).

→ **L'aire du phonétogramme des adultes est nettement supérieure à celle des enfants. Cette évolution entre l'enfance et l'âge adulte est principalement due à l'accroissement de l'écart dynamique puisque l'étendue vocale évolue peu. L'absence de différence entre les sexes chez les enfants n'existe plus après la mue puisque les**

**hommes ont une aire plus développée que celle des femmes. Toutefois, les performances des chanteurs restent supérieures à celles des non-chanteurs, chez les adultes comme chez les enfants.**

## **11. Comparaison par mécanisme laryngé.**

Bien que des études aient comparé les performances des adultes et des enfants (**Coleman, Mabis et coll.** [9]) aucune n'a pris en compte les mécanismes laryngés. Grâce aux résultats de **Ragot** [36] et de **Roubeau, Castellengo et coll.** [39] nous allons comparer les performances en termes de mécanismes des adultes et des enfants (cf. Tab. n°6), ce qui sera ultérieurement repris avec nos propres résultats. **Calvet et Malhiac** [7] et **Casanova** [8] affirment que le M1 n'apparaît qu'après la mue, ce que **Ragot** [36] réfute par les présents résultats. Son étude porte sur un effectif réduit (7 enfants), elle pose les prémisses d'une réflexion à partir de ses observations qui ne sont toutefois que partielles et restent à confirmer.

### 11.1. Etendue

Chez l'homme, le M1 est légèrement plus développé que le M2 tandis que chez la femme le M2 est largement plus développé que le M1. L'enfant tendrait à se rapprocher de la femme quant à l'étendue par mécanisme. En effet, on note une légère différence entre le M1 de l'enfant et celui de la femme mais un M2 quasi identique. Le recouvrement d'étendues est quant à lui presque identique bien que légèrement inférieur chez les enfants (hommes : 17 demi-tons; femmes : 15 demi-tons ; enfants 11 demi-tons).

### 11.2. Ecart dynamique

L'écart dynamique est légèrement supérieur chez l'homme dans le M1 tandis que celui de la femme l'est dans le M2. Toutefois, les écarts dynamiques des deux sexes sont comparables dans leur mécanisme de prédilection. Le M2 est nettement plus développé que le M1 chez l'enfant, comme chez la femme. La dynamique de l'enfant est nettement inférieure à celle de l'adulte quant au M1, mais elle est proche de celle du M2 de l'homme.

### 11.3. Aire

L'aire du M1 de l'homme est identique à celle du M2 chez la femme. Ainsi l'aire est identique chez les adultes quant au mécanisme préférentiel. Toutefois, celle de l'enfant est nettement en deçà des résultats des adultes concernant le M1, mais est identique à celle du M2 de l'homme.

Auteurs	Hommes						Femmes						Enfants						
	Etendue		Dyn max (dB)		Aire (dB.demi-tons)		Etendue (demi-tons)		Dyn max (dB)		Aire (dB.demi-tons)		Etendue (demi-tons)		Dyn max (dB)		Aire (dB.demi-tons)		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Ragot [36]														13	30	19	26	73	397
Roubeau, Castellengo et coll. [39]	29	26	32	27	595	388	19	30	24	33	280	595							

**Tableau n°6 :** Comparaison des performances des adultes et des enfants.

→ Ainsi, il semblerait que l'enfant présente le même mécanisme préférentiel que la femme (M2) tout en restant dans les proportions de celui de l'homme quant à ce mécanisme.

#### → Conclusion :

Le phonétogramme a évolué au cours du temps pour apparaître aujourd'hui comme l'outil de référence dans le domaine de l'exploration de la voix. Il est utilisé dans de nombreuses études, chez les adultes comme chez les enfants. Au travers des résultats répertoriés, il s'avère que les adultes ont de meilleures capacités vocales que les enfants. Un larynx ainsi que des comportements encore immatures confèrent à l'enfant des caractéristiques et des capacités qui lui sont propres ce qui transcrit la différence avec l'adulte. Le phonétogramme objective par ailleurs de meilleures capacités vocales chez les chanteurs que chez les non-chanteurs (adultes comme enfants).

Outre l'exploration du champ dynamique et des limites de la voix, le phonétogramme a permis d'objectiver la présence des différents mécanismes chez l'adulte. Cependant, la présence du M1 chez l'enfant prépubaire fait débat : la plupart des auteurs affirment qu'il n'apparaît qu'au moment de la mue. Néanmoins, une étude pose les jalons de l'idée contraire.

Le phonétogramme de l'enfant a été abordé dans la littérature, à l'exception qu'il n'a été étudié que dans sa globalité, mais qu'en est-il au niveau des mécanismes laryngés ?

Une étude partielle pose les prémisses de la recherche concernant l'existence du M1 chez l'enfant avant la mue, ce que nous soutenons également et tenterons d'objectiver à travers cette étude. C'est pourquoi, notre recherche s'est principalement orientée sur les phonétogrammes par mécanisme laryngé des enfants chanteurs et non-chanteurs.

Nous nous attendons ainsi à trouver une dichotomie entre les paramètres du phonétogramme des chanteurs et des non-chanteurs au profit des plus expérimentés, comme cela a été vérifié chez l'adulte. De plus, un probable effet de l'entraînement vocal, de l'âge et du sexe sur les capacités vocales des enfants sont autant d'hypothèses à vérifier.

Le but de notre expérimentation est donc, dans un premier temps, d'explorer la voix des chanteurs afin voir si certains paramètres ont plus d'impact que d'autres sur les capacités vocales ; pour ensuite évaluer les points communs et les différences entre les performances des chanteurs et des non-chanteurs.

## CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE

(Rédigé par Naïs ALONSO et Emilie HAREAU)

Afin d'affirmer ou d'infirmer nos hypothèses, nous avons établi les phonétogrammes par mécanisme laryngé de 46 enfants chanteurs et non-chanteurs.

### I. Méthodologie

#### 1. Population

Notre population est constituée d'une part d'un groupe d'enfants suivant des cours de chant au Conservatoire de Vincennes et d'autre part d'un groupe d'enfants témoins (non-chanteurs) n'ayant jamais suivi de cours de chant. En totalité, elle se compose de 18 garçons et 28 filles dont les âges s'étendent de 8 à 15 ans.

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	1	2	4	8	1	1	0	1	18
Filles	0	3	9	6	2	5	3	0	28
Totaux âge	1	5	13	14	3	6	3	1	<b>46</b>

Tableau n° 7 : Répartition des enfants selon l'âge et le sexe.

##### 1.1. Les témoins (non-chanteurs)

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	0	1	1	3	0	1	0	0	6
Filles	0	1	2	2	0	1	0	0	6
Totaux âge	0	2	3	5	0	0	0	0	<b>12</b>

Tableau n° 8 : Répartition des enfants non-chanteurs.

Cette population a été recrutée dans notre entourage, elle se compose de 6 filles et 6 garçons dont les âges s'échelonnent de 9 à 13 ans. Ces sujets n'ont jamais eu d'entraînement vocal que ce soit au Conservatoire ou ailleurs.

## 1.2. Les chanteurs

N'est pas admis au Conservatoire qui veut. En effet, afin de pouvoir suivre les cours de chant du Conservatoire et de faire partie du chœur, il faut avant tout passer une audition qui permet d'appréhender l'état vocal, la justesse de la voix ou encore son étendue à travers différentes épreuves. Il s'agit d'un test de chant sur une partition choisie par l'enfant. Selon l'âge sont ensuite proposés des tests d'imitation vocale et rythmique ainsi qu'une épreuve de mémorisation auditive. Pour les plus âgés, peuvent être proposés des vocalises ainsi que du déchiffrage musical. Ce test permet aussi de jauger la motivation et la concentration des enfants.

Après réussite, 30 minutes de cours de chant par semaine sont dispensées aux enfants, par groupes de 2 ou 3. De plus, de nombreux concerts jalonnent l'année scolaire (entre 6 et 8), en découlent donc de nombreuses répétitions (2h15 par semaine ainsi qu'une demi-journée par mois) qui viennent s'ajouter à la ½ heure hebdomadaire habituelle. Le niveau attendu à l'entrée du conservatoire témoigne ainsi des bonnes capacités des chanteurs.

Sans distinction de niveau, la population des enfants chantant au Conservatoire se répartit de la façon suivante :

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	1	1	3	5	1	0	0	1	12
Filles	0	2	7	4	2	4	3	0	22
Totaux âge	1	3	10	9	3	4	3	1	<b>34</b>

**Tableau n° 9 : Répartition des enfants chanteurs.**

Afin de répondre à notre problématique, nous avons établi une classification des sujets en fonction de leur ancienneté au Conservatoire.

Les enfants du groupe « niveau 0 » entament leur première année de chant au Conservatoire. La réussite de l'audition témoigne donc de leurs bonnes capacités. Ce groupe est formé de 2 garçons et de 4 filles, âgés de 9 à 14 ans (cf annexe n°1).

Les enfants du groupe « niveau 1 » suivent des cours de chant au Conservatoire depuis 2 ans. Ce groupe se compose de 2 garçons et 5 filles, dont les âges vont de 8 à 14 ans (cf annexe n°2).

Les enfants du groupe « niveau 2 » suivent un entraînement vocal au Conservatoire depuis 3 ans. Ce groupe compte 8 filles et 2 garçons, âgés entre 9 et 11 ans (cf annexe n°3).

Les enfants du groupe « niveau 3 » sont au Conservatoire depuis plus de 3 ans. Cette catégorie comporte 5 filles et 6 garçons ayant tous entre 10 et 15 ans (cf annexe n°4).

## 2. Dispositif acoustique

### 2.1. Local

Nous disposons au sein du conservatoire de Vincennes, d'une pièce dotée d'une qualité acoustique favorable à nos passations. Le bruit de fond était systématiquement inférieur à 50 dB et la réverbération réduite.

### 2.2. Distance

Dans notre protocole, les enfants sont placés à 1 mètre de la source d'enregistrement. Nous avons choisi cette distance plutôt que les 30 cm préconisés par **Schutte et Seidner** [44] afin de limiter les effets de mouvement de la tête ou du corps des sujets. En effet, n'oublions pas qu'il s'agit ici d'enfants, aussi disciplinés soient-ils, proscrire le moindre mouvement s'avère difficile. Limiter les effets de ces mouvements est donc indispensable.

Chaque enfant est debout derrière une chaise, celle-ci permettant d'endiguer les mouvements les plus amples. Une fois le sujet en place, le sonomètre est positionné à la distance convenue, à l'aide d'un mètre. La hauteur de ce dernier est également adaptée afin qu'il soit au niveau de la bouche de l'enfant. Si le sujet bouge de façon trop évidente, la distance est réajustée et la mesure reprise afin d'assurer la rigueur de nos résultats.

### 2.3. Sonomètre

Nous avons fait toutes nos mesures avec un sonomètre de type Voltcraft 329. Nous avons choisi le canal dB C, afin de récolter les mesures du son tel quel, sans aucune atténuation des basses fréquences (ce qui aurait été le cas avec des mesures en dB A).

### 2.4. Enregistreur

Chaque passation était enregistrée avec un Zoom H4. Ainsi, lorsque nous avons un doute, il nous était possible de réécouter les enregistrements.

### 3. Protocole de passation

- Information :

Dans un premier temps, nous avons expliqué globalement à l'enfant ce dont il était question, sans aucune référence anatomique ni fonctionnelle. Il s'agissait de le mettre à l'aise et de ne pas le stresser afin d'obtenir la représentation de ses possibilités vocales la plus fidèle possible. Le plus souvent, nous les avons guidés en leur présentant le modèle vocal attendu, le mimétisme étant plus étayant que toute explication.

- Echauffement

Un bref échauffement vocal était proposé afin de ne pas débiter la passation « à froid », et que les mesures ne soient pas faussées par la suite. Des exercices de type sirènes, vocalises, gammes étaient réalisés pendant quelques minutes. Tous les enfants n'y ont pas été soumis puisqu'ils sortaient de leur cours de chant et étaient donc déjà échauffés.

Par ailleurs, l'inhibition vocale du début de séance pouvait empêcher l'enfant d'être au maximum de ses capacités et la voix pouvait continuer à se chauffer au fur et à mesure de la passation. Pour éviter ces biais, nous avons à nouveau parcouru l'étendue des premières notes proposées, jusqu'à ce que les valeurs soient constantes, nous permettant ainsi de conserver seulement les valeurs extrêmes.

- Passation :

Nous avons décidé d'établir des phonétogrammes physiologiques, le but de notre recherche étant d'étudier le champ de liberté de l'enfant et non seulement sa zone de confort. Nos passations duraient en moyenne 30 minutes. La plupart du temps, nous commençons par explorer le mécanisme 2 étant donné que c'est celui exclusivement utilisé au Conservatoire. Il était alors demandé à l'enfant de reproduire la note exacte donnée au piano, sur la voyelle /a/, le plus fort/faible possible, pendant 3 à 5 secondes, le temps que le son soit stable et que la mesure soit interprétable. Nous proposons une tierce car le mécanisme est plus simple à identifier sur un mouvement de hauteur que sur une note isolée.

Pour les témoins, nous avons dû adapter notre passation en fonction non pas des notes que l'on demandait, mais des notes que l'enfant produisait : une fois la note émise, nous recherchions sur le clavier à quelle note musicale elle correspondait. Les témoins ont eu besoin de beaucoup plus de stimulation de notre part et le modèle vocal était indispensable.

Contrairement à ce qui est recommandé dans la littérature, nous n'avons pas commencé par l'exploration des piani mais par celle des forte, où la distinction des mécanismes s'avérait plus franche. Ainsi, nous partions du milieu de l'étendue vocale jusqu'aux limites physiologiques

de l'enfant, supérieures puis inférieures. Il était demandé aux enfants de ne pas crier dans les forte, et de ne pas chuchoter dans les piani.

S'agissant des notes à reproduire, nous avons proposé une progression à la fois par ton, au cœur du mécanisme et par demi-ton aux extrémités et dans la zone de recouvrement. Ce choix d'exploration permettait de ne pas trop fatiguer l'enfant (tons) tout en s'assurant une précision quant à l'attribution des mécanismes (demi-tons).

A la fin de la passation, un questionnaire était proposé aux enfants. Nous relevions l'âge, le poids et la taille, l'expérience en chant (niveau 0, 1, 2 ou 3) et la pratique d'un instrument de musique de l'enfant comme de son entourage familial (pratique : 1 ; ne pratique pas : 0). De plus, un texte lu nous permettait d'identifier le mécanisme utilisé en voix parlée (cf annexe n°5 & 6).

- Exploration des mécanismes

Les difficultés de l'attribution des mécanismes apparaissaient au niveau de la zone de recouvrement (piano comme forte).

Nous proposons donc une vocalise descendante, accrochant ainsi le mécanisme 2 pour obtenir les notes les plus graves du M2. Au contraire, lorsque nous voulions explorer le M1, nous proposons une vocalise montante afin d'accrocher le M1 jusqu'aux notes les plus aiguës. Si le doute persistait, nous proposons un glissando, lui aussi ascendant ou descendant, pour localiser auditivement le lieu du passage (couac) et ainsi déterminer le mécanisme dans lequel se situait la note.

Les piani étaient plus délicats à discriminer car les enfants avaient tendance à les détimbrer. On demandait alors au sujet de produire la note forte, le mécanisme étant plus facilement discriminable à forte intensité, et de la réduire progressivement jusqu'à parvenir à la note piano. C'était alors au lecteur de l'écran du sonomètre de relever l'intensité obtenue avant qu'il n'y ait passage.

- Examineurs

Nous étions toujours au minimum deux voire trois, l'un au piano donnant la note à reproduire et si besoin le modèle vocal, l'autre à côté du sonomètre récoltant les mesures et les reportant sur la feuille de passation. Le fait d'être plusieurs est utile à la confrontation perceptive.

## 4. Traitement des données

### 4.1. Phonétogrammes

Nous avons réalisé un phonétogramme par mécanisme laryngé pour chaque enfant, chanteur comme témoin ; chaque mécanisme étant représenté par une courbe supérieure correspondant aux sons forte et une courbe inférieure pour les piani. Sur chaque phonétogramme, les fréquences étaient portées sur l'axe des abscisses, et les intensités sur l'axe des ordonnées. La même échelle a été appliquée pour chaque phonétogramme, facilitant ainsi la comparaison : les intensités allaient de 40 à 110 dB et les fréquences (notées en unités musicales) partaient de Do<sub>2</sub> jusqu'à La#<sub>5</sub>.

### 4.2. Etendue

Nous n'avons pas tenu compte de l'esthétique des sons et avons donc poussé les notes jusqu'aux limites physiologiques. Ainsi nous avons mesuré l'étendue vocale et non pas la tessiture. Nous avons calculé l'étendue de chaque mécanisme, le recouvrement entre les deux ainsi que l'étendue totale du phonétogramme, tous mécanismes confondus.

### 4.3. Intensité / dynamique

Pour chaque phonétogramme nous avons calculé l'intensité maximale et moyenne par mécanisme. De plus, nous avons calculé la dynamique maximale et moyenne pour chaque mécanisme. Il s'agit de la différence entre l'intensité maximale et minimale. Elle est représentative des possibilités vocales du sujet à hauteur donnée.

### 4.4. Aire

Tout comme pour l'étendue vocale, nous avons calculé l'aire de chaque mécanisme, de leur recouvrement ainsi que l'aire globale du phonétogramme. Les aires sont calculées en décibels par demi-tons. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode des trapèzes, calculant ainsi l'aire sous chaque courbe. Puis nous avons soustrait l'aire sous la courbe des piani à celle sous les forte, nous donnant ainsi l'aire entre les 2 courbes. Cette méthode nécessitant des mesures par demi-tons, nous avons donc extrapolé les valeurs inexistantes lorsque les mesures avaient été faites par tons.

#### 4.5. Traitement statistique

Nous avons fait un test statistique (Anova, Test de Student, corrélations estimées par la méthode maximum de vraisemblance restreint) pour chaque population, chanteurs et témoins.

- Comparaisons de moyennes entre chanteurs/témoins au niveau de multiples variables : étendue, dynamique, intensité, aires.
- Comparaison chez les chanteurs des différentes variables (étendue, dynamique, intensité, aire) sur les paramètres (sexe, âge, taille, poids, niveau de chant)
- Comparaison chez les témoins des différentes variables (étendue, dynamique, intensité, aire) sur les paramètres (sexe, âge, taille, poids)
- Analyse de corrélation entre les différentes variables

## **II. Résultats**

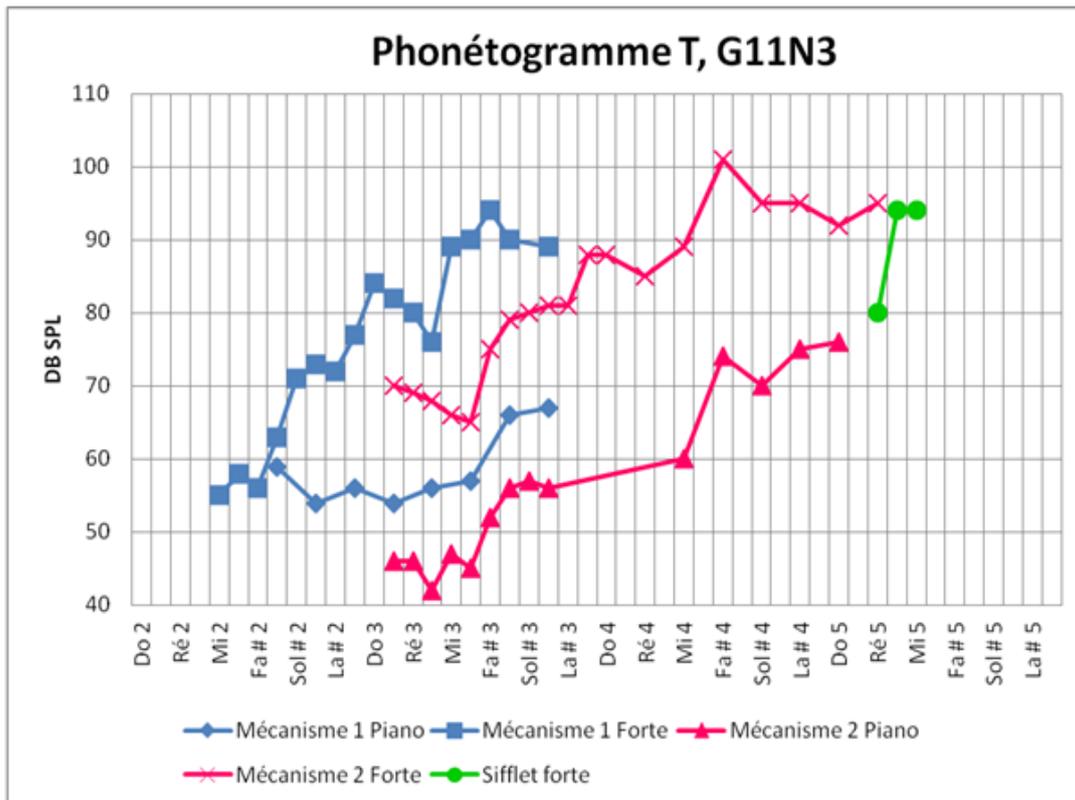
L'étude des phonétogrammes par mécanisme laryngé chez les enfants prépubaires révèle la présence du mécanisme 2 chez tous les sujets ainsi que celle du mécanisme 1 chez tous excepté trois.

Le mécanisme 3 a lui aussi été rencontré, mais nous ne l'avons pas exploré car ce n'est pas l'objet principal de notre étude.

Aucun enfant n'avait la notion de mécanisme laryngé. Cependant certains chanteurs ont rapidement pris conscience de la distinction entre M1 et M2. Cela a donc facilité la réalisation de la note dans le mécanisme attendu lors de la passation. En revanche, cela n'a pas été le cas pour les témoins, ce qui a rendu leur passation plus complexe majorée par les problèmes de justesse.

### **1. Présentation d'un phonétogramme**

A titre illustratif, voici le phonétogramme typique d'un enfant chanteur avant la mue. La figure n°13 met en évidence la présence des deux principaux mécanismes.



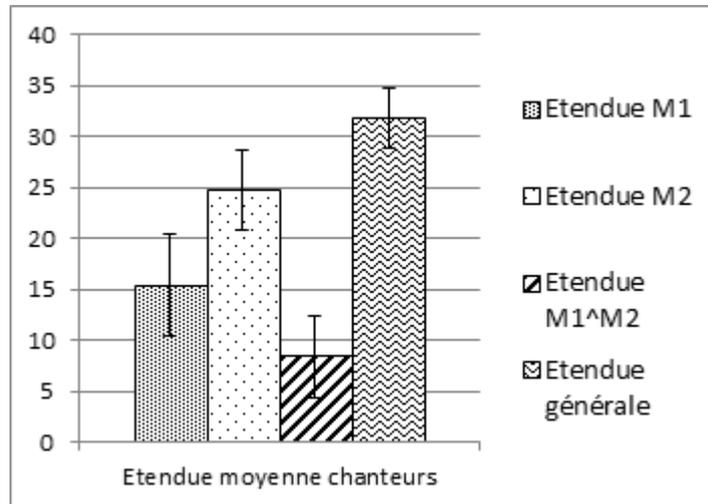
**Figure n°13** : Phonétogramme d'un garçon de 11 ans niveau 3

- L'axe général du phonétogramme est orienté vers le haut à droite.
- Nous constatons la présence des trois mécanismes.
- Les courbes des maxima et des minima du M1 se rejoignent au niveau de l'extrémité inférieure. Par ailleurs, elles ont tendance à s'éloigner dans les médiums de chaque mécanisme.
- Le M2 est plus développé que le M1, notamment en étendue. En effet, il couvre les 2/3 du phonétogramme général.
- Les courbes d'enveloppe présentent une certaine irrégularité, caractérisée par des sauts d'intensités. Dans les fréquences les plus aiguës de chaque mécanisme, on note un pic d'intensité croissant.
- On constate une large dynamique dans ce phonétogramme, cette dernière étant relativement similaire dans les deux mécanismes.
- On relève un recouvrement égal d'étendues et d'aires. Ce recouvrement s'étend de Do#3 à La3. Cela signifie que les mesures ont été obtenues à la fois en piano et forte dans les deux mécanismes.

- Le M3 est caractérisé, au niveau de Ré5, par la chute d'intensité par rapport à la dernière note du M2. D'après les données présentes, il n'y a pas de recouvrement entre le M2 et le M3.
- Dans la zone de recouvrement, on remarque que pour les forte comme pour les piani, la courbe du M1 passe au-dessus du M2.

## 2. Chanteurs.

### 2.1. Etendue (cf annexe n°7)



**Figure n°14** : Etendue moyenne des enfants chanteurs par mécanisme.

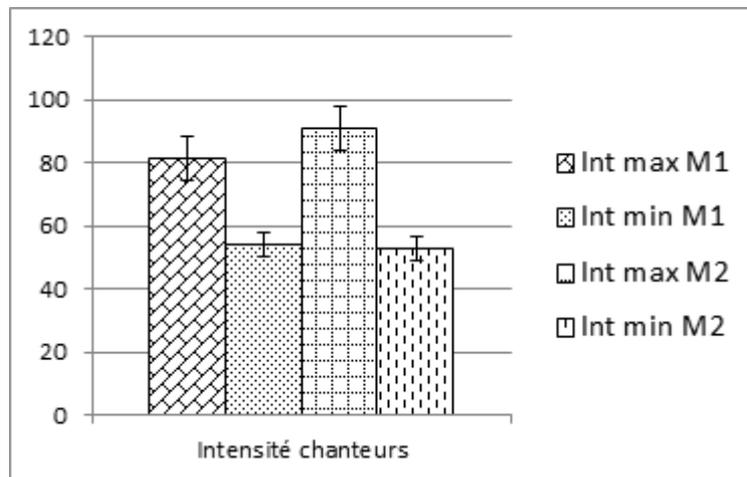
- L'étendue du M2 est significativement plus importante que l'étendue du M1. En effet, l'étendue moyenne du M1 est de 15 demi-tons (allant de 1 à 26), tandis que l'étendue du M2 est de 25 demi-tons (allant de 15 à 32). Notons que l'enfant qui a le M1 le plus petit est aussi celui qui a le M2 le plus grand. (cf annexe n°7, Madeleine)
- Il est intéressant de noter que le M1 est présent chez tous les enfants excepté un.
- Le recouvrement moyen d'étendues est de 8 demi-tons (allant de 1 à 15). Il s'étend de la limite supérieure du M1 à la limite inférieure du M2. Seulement 5 enfants n'ont pas de recouvrement d'étendues entre le M1 et le M2.
- L'étendue générale moyenne est de 32 demi-tons (allant de 23 à 37). En M1, la fréquence la plus basse (Ré2) est émise par un garçon et la plus aiguë (Mi4) par une fille. En M2, la fréquence minimale (Sol2) est émise par un garçon et la plus aiguë (Fa#5) par une fille. (cf annexe n° 8).

- De plus, l'étendue des forte (18 demi-tons) est largement supérieure à celle des piani (12 demi-tons) dans le M1, ce qui n'est pas le cas dans le M2 où l'étendue des piani et des forte est équivalente (23 demi-tons). (cf annexe n°7)

L'analyse de corrélation révèle que plus l'étendue du M1 augmente, plus le recouvrement de l'étendue des deux mécanismes augmente, et plus l'étendue du M2 augmente, plus l'étendue générale augmente.

## 2.2. Intensité / Dynamique (cf annexe n°9)

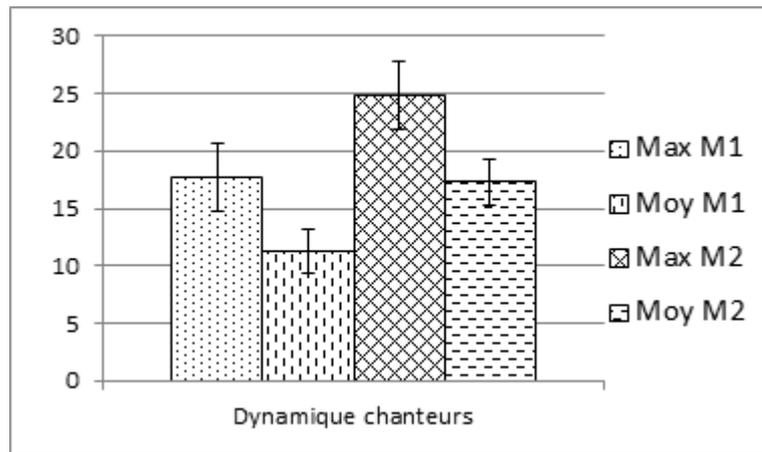
### 2.2.1. Intensité



**Figure n°15 :** Intensités maximales et minimales des enfants chanteurs en fonction des mécanismes 1 et 2.

- L'intensité maximale moyenne du M2 (qui s'étend de 78 à 105dB) est significativement ( $p=0.0001$ ) plus importante que celle du M1 (allant de 68 à 97dB).
- Cependant, il n'y a pas de différence entre l'intensité minimale moyenne des deux mécanismes. En effet, l'intensité minimale moyenne est de 54dB pour le M1 et 53dB pour le M2. Les intensités minimales des deux mécanismes sont plus homogènes que les intensités maximales.
- Les intensités maximales sont obtenues en M2 tandis que les intensités minimales sont obtenues à la fois en M1 et en M2.

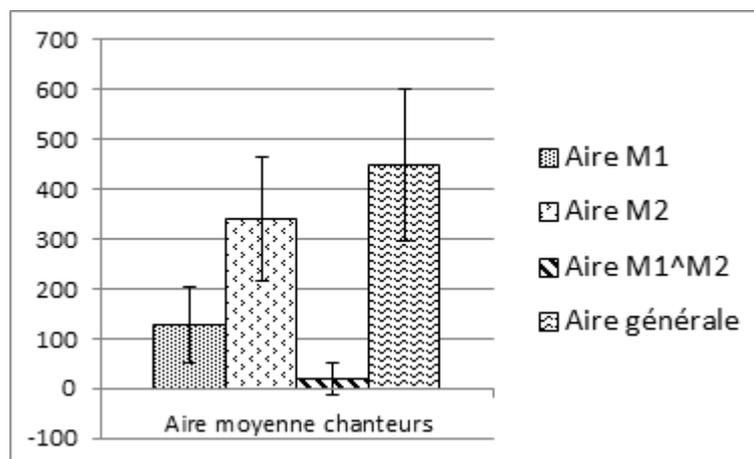
### 2.2.2. Dynamique



**Figure n°16 :** Dynamiques maximales et moyennes des enfants chanteurs en fonction des mécanismes 1 et 2.

- Qu'il s'agisse de la dynamique maximale ou moyenne, on note une différence significative entre les données des deux mécanismes. En effet, la dynamique maximale moyenne du M2 est de 25 dB contre 18 dB pour le M1 et la dynamique moyenne du M2 est de 17 dB contre 11 dB pour celle du M1.
- Les données de la dynamique M2 maximale s'échelonnent de 12 à 42 dB, celles de la dynamique moyenne vont de 7 à 29 dB. Quant aux résultats du M1, la dynamique maximale s'échelonne de 10 à 33 dB, la dynamique moyenne de 5 à 21 dB.
- On note donc une grande variabilité des résultats, mais malgré cela, la dynamique (qu'elle soit maximale ou moyenne) est toujours plus développée dans le M2 que dans le M1, ce qui signifie une meilleure amplitude dans ce mécanisme.

### 2.3. Aire (cf annexe n° 10).



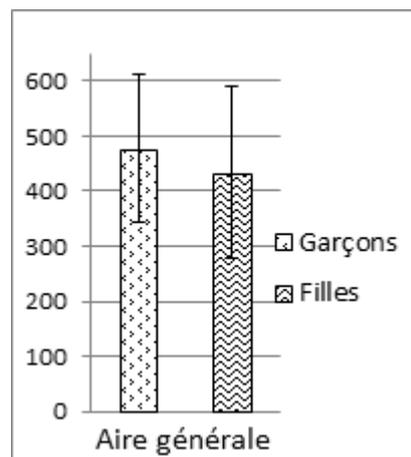
**Figure n°17 :** Aire moyennes des enfants chanteurs par mécanismes

- L'aire du M2 est significativement supérieure à celle du M1. En effet, la valeur moyenne de l'aire du M2 est de 340 dB.demi-tons (allant de 180 à 737 dB.demi-tons) et celle du M1 est de 128 dB.demi-tons (allant de 27 à 333 dB.demi-tons).
- L'aire générale moyenne est de 449 dB.demi-tons. Celle-ci s'échelonne de 216 à 984 dB.demi-tons.
- Le recouvrement quant à lui, n'est présent que chez 14 enfants. Sa valeur moyenne est de 19 dB.demi-tons et s'étend de 11 à 134 dB.demi-tons.

L'analyse de corrélation révèle que l'aire du M1 est corrélée au recouvrement, l'aire du M1 et du M2 sont corrélées à l'aire générale. Enfin, il y a une corrélation entre l'aire générale et l'aire du recouvrement. Cela signifie que plus l'aire générale augmente, plus le recouvrement se développe.

Le recouvrement d'étendues est systématiquement présent, contrairement au recouvrement d'aires. Cela est à mettre en lien avec une dynamique parfois inexistante.

#### 2.4. Effet du sexe



**Figure n° 18:** Effet du sexe sur l'aire générale.

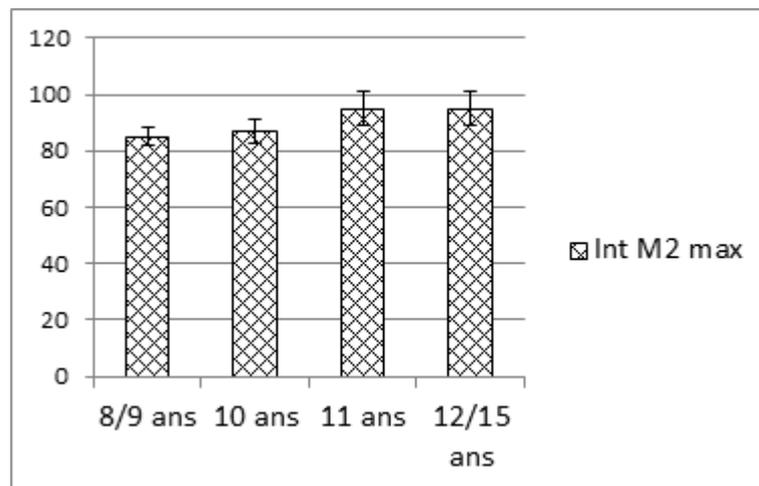
Chez les enfants chanteurs, il n'y a pas de différence significative entre les garçons et les filles. Nous traiterons donc les résultats suivants sans distinction de sexe.

En effet, l'étendue générale des garçons est de 31 demi-tons contre 32 demi-tons pour les filles. Cette différence n'est pas significative ( $p=0.38$ ) selon l'analyse statistique T de Student. Le recouvrement d'étendues est d'environ 8 demi-tons pour les garçons et les filles. Là encore, cette différence ( $p=0.9$ ) n'est pas significative. Quant à l'aire générale, on note une certaine différence entre celle des garçons (477 dB.demi-tons) et celle des filles (433 dB.demi-tons). Toutefois, elle n'est pas significative ( $p=0.41$ ). Ceci pourrait s'expliquer par

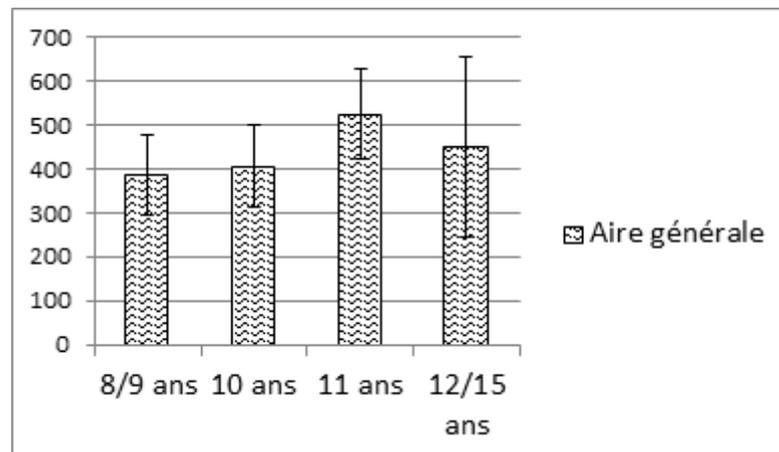
un écart type important compte tenu de l'hétérogénéité des résultats. Les garçons présentent un recouvrement d'aires de 31 dB.demi-tons tandis que celui des filles est de 33 dB.demi-tons. Là encore, la différence n'est pas significative ( $p=0.87$ ).

### 2.5. Effet de l'âge

Les résultats statistiques montrent une légère corrélation à 0.4 entre l'âge des enfants chanteurs et l'intensité maximale du M2. Toutefois l'effet de l'âge n'est retrouvé sur aucun autre paramètre.



**Figure n° 19 :** Evolution de l'intensité maximale du M2 en fonction de l'âge chez les chanteurs.



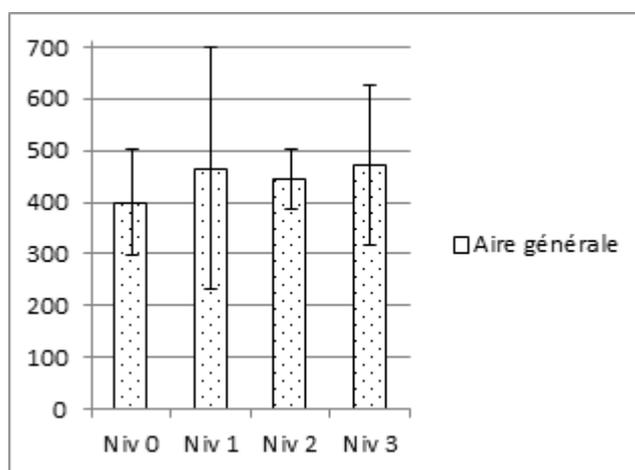
**Figure n° 20 :** Evolution de l'aire générale en fonction de l'âge chez les chanteurs.

En effet, l'analyse de corrélation ne montre pas d'effet de l'âge sur les autres paramètres. Ainsi, la corrélation entre l'étendue générale et l'âge est de 0.18. Celle entre le recouvrement d'étendues et l'âge est de 0.21. L'aire générale n'est corrélée avec l'âge que de 0.16. Même si les valeurs entre 8/9 ans et 12/15 ans sont différentes, les écarts types importants peuvent

expliquer l'absence de corrélation. La corrélation entre l'âge et le recouvrement d'aires est de 0.13. Quant à l'intensité, elle est corrélée à 0.4 avec l'âge, ce qui commence à être un rapport intéressant.

## 2.6. Effet du niveau

Nous avons comparé les niveaux 0 et 3 en fonction des différentes variables. Il ne ressort pas d'effet significatif du niveau d'entraînement vocal sur aucune des variables. Il en est de même pour la comparaison des autres niveaux entre eux. Que l'enfant soit dans sa première année au conservatoire ou qu'il y soit depuis 5 ans, il n'y a pas de différence significative.



**Figure n°21 :** Evolution de l'aire générale en fonction du niveau chez les chanteurs.

En effet, l'analyse statistique montre que les différences relevées ne sont pas significatives. L'étendue générale du niveau 0 (33 demi-tons) et du niveau 3 sont relativement équivalentes (32 demi-tons). Cette différence non significative ( $p=0.65$ ) va même à l'encontre de ce à quoi on pourrait s'attendre. Le recouvrement d'étendues est de 8 demi-tons pour les niveaux 0 et 9 demi-tons chez les niveaux 3. Là encore, cette différence ( $p=0.67$ ) n'est pas significative. Quant à l'aire générale, il y a une nette différence entre celle des niveaux 0 (399 dB.demi-tons) et celle des niveaux 3 (471 dB.demi-tons), mais elle n'est cependant pas significative selon le T de Student ( $p=0.3$ ). Ceci pourrait s'expliquer par l'écart-type important qui témoigne de l'hétérogénéité des résultats obtenus par les enfants. Les niveaux 0 présentent un recouvrement d'aires de 21 dB.demi-tons tandis que celui des niveaux 3 est de 24 dB.demi-tons. Ici encore, la différence n'est pas significative ( $p=0.85$ )

### 2.7. Effet de la pratique d'un instrument de musique et de l'environnement musical.

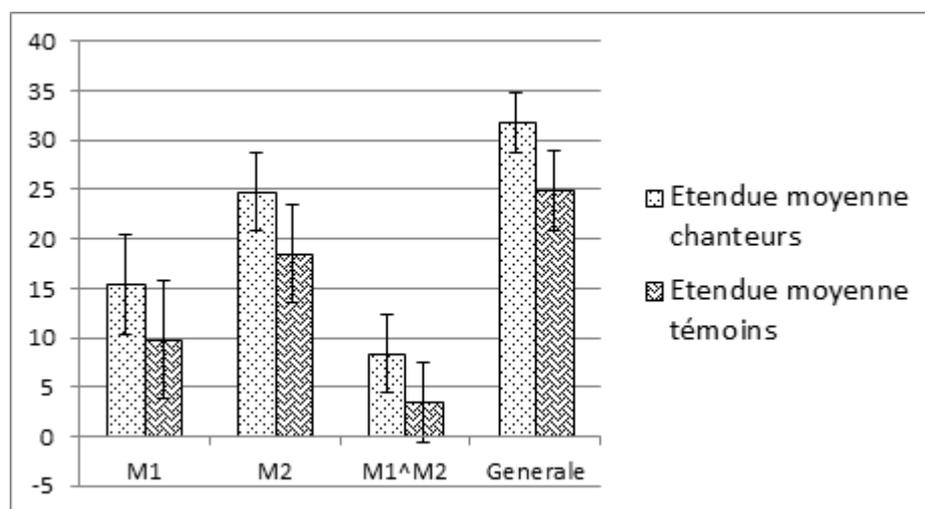
Grâce au questionnaire, nous avons classé les sujets selon leur degré d'exposition à la musique (cf annexe n°5). Après analyse statistique des données, il ne ressort pas d'effet significatif de la pratique d'un instrument ni de l'environnement musical sur les différentes variables.

### 2.8. Effet du poids et de la taille.

Aucune corrélation n'est supérieure à 0.3. Le poids et la taille n'ont donc pas d'influence sur les paramètres du phonétogramme (cf annexe n°5).

## 3. Témoins et comparaison avec les chanteurs

### 3.1. Etendue (cf annexe n° 11)



**Figure n°22 :** Comparaison des résultats des enfants chanteurs et non-chanteurs en fonction de l'étendue moyenne.

Tout comme chez les chanteurs, les témoins ont une étendue du mécanisme 2 significativement plus importante que celle du M1. De plus, il est intéressant de noter que le M1 est inexistant seulement chez 2 filles sur les 12 enfants témoins.

La comparaison entre les chanteurs et les témoins met en évidence de meilleures performances chez les chanteurs :

- L'étendue moyenne du M1 est de 10 demi-tons pour les non-chanteurs contre 15 demi-tons pour les chanteurs ( $p=0,01$ ).
- L'étendue moyenne du M2 est de 25 demi-tons pour les chanteurs contre 18 demi-tons pour les non-chanteurs ( $p=0,001$ ).

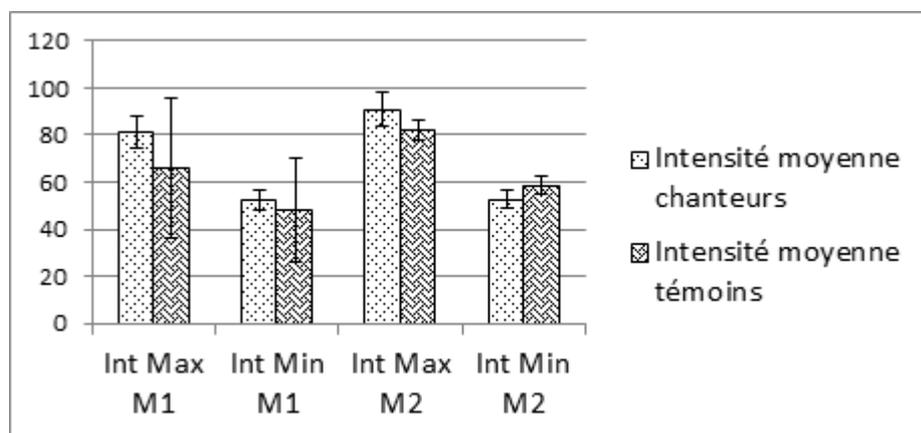
- Le recouvrement des chanteurs (8 demi-tons) est significativement ( $p=0,0008$ ) supérieur à celui des non-chanteurs (3 demi-tons) présent chez seulement 8 enfants.
- L'étendue générale est significativement supérieure ( $p=0,0001$ ) chez les chanteurs (32 demi-tons) par rapport aux non-chanteurs (25 demi-tons). La fréquence la plus basse des chanteurs se situe au niveau de Ré2, contre Sol 2 pour les témoins et la plus aiguë au niveau de Fa#5 pour les chanteurs contre Ré 5 pour les témoins (cf annexe n° 12).
- De plus, chez les témoins, l'étendue des forte est supérieure à celle des piani, que ce soit dans le M1 (11>7 demi-tons) ou le M2 (18 >16 demi-tons) ; ce qui est retrouvé chez les chanteurs seulement dans le M1.

L'analyse de corrélation concernant les témoins révèle que le recouvrement est corrélé à l'étendue du M1 (corrélation  $> 0.81$ ). Comme chez les chanteurs, plus l'étendue du M1 est développée, plus le recouvrement de l'étendue des deux mécanismes est important et plus l'étendue du M2 est grande, plus l'étendue générale l'est aussi (corrélation  $> 0.54$ ). Enfin, il existe une corrélation négative ( $> -0.54$ ) entre l'étendue du M1 et du M2, en faveur du M2

**→ Au vu des données présentées ci-dessus, il ressort que les chanteurs ont de meilleurs résultats que les non-chanteurs au niveau de l'étendue du M1, du M2, du recouvrement ainsi que de l'étendue générale. Malgré la supériorité des chanteurs, les paramètres évoluent de la même façon dans les deux populations au niveau qualitatif. En effet, le M2 est toujours supérieur au M1, l'étendue générale est influencée par la taille du M2 et le recouvrement par celle du M1.**

### 3.2. Intensité / Dynamique (cf annexe n° 13)

#### 3.2.1. Intensité



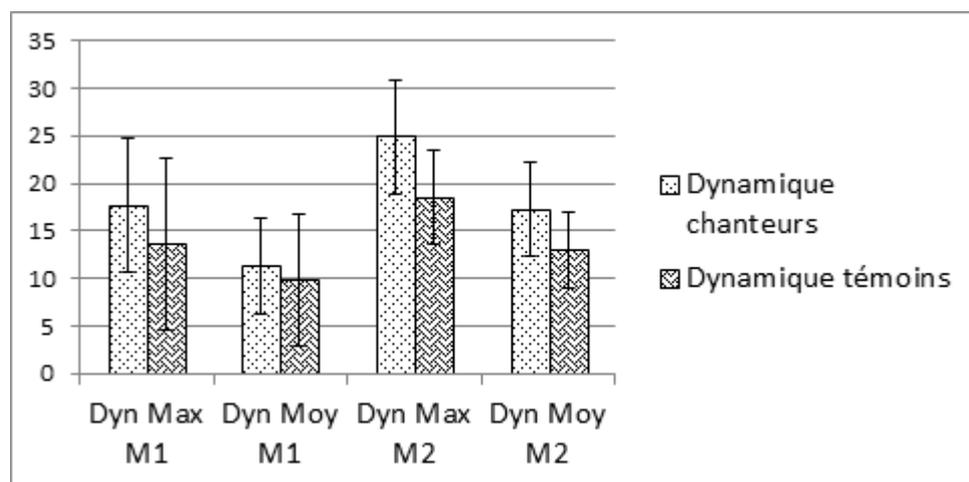
**Figure n°23 :** Comparaison entre les résultats des enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau des intensités minimales et maximales.

- Comme chez les chanteurs, l'intensité maximale moyenne du M2 des témoins, dont la valeur est de 82 dB (s'étendant de 71 à 88 dB) est supérieure à celle du M1 dont la valeur est de 66 (allant de 64 à 88 dB). Cependant, cette différence n'est pas significative.
- Chez les témoins, il n'y a pas de différence significative entre l'intensité minimale moyenne du M1 qui est de 48 dB (allant de 51dB à 63 dB) et celle du M2 qui est de 59 dB (qui va de 49 à 63 dB), ce qui est aussi retrouvé chez les chanteurs.
- L'intensité maximale moyenne du M2 des chanteurs (91 dB) est significativement supérieure ( $p=0.0001$ ) à celle des non-chanteurs (82 dB).
- L'intensité minimale moyenne du M2 des chanteurs (53 dB) est statistiquement meilleure ( $p=0,0075$ ) que celle des témoins (59 dB).
- Si l'intensité maximale moyenne du M1 des chanteurs (81 dB) est plus élevée que celle des non-chanteurs (66dB), cette différence n'est pas pour autant significative. Il en est de même pour l'intensité minimale moyenne du M1 (52 dB pour les chanteurs contre 48 dB pour les non-chanteurs).

Chez les témoins, les résultats de l'analyse statistique objectivent une corrélation entre l'intensité maximale du M1 et l'intensité minimale du M1 (corrélation  $> 0.97$ ) et une entre les intensités minimales des mécanismes 1 et 2 (corrélation  $> 0.6$ ).

→ **Les performances des chanteurs au niveau de l'intensité sont supérieures à celles des non-chanteurs, excepté pour l'intensité minimale du M1.**

### 3.2.2. Dynamique

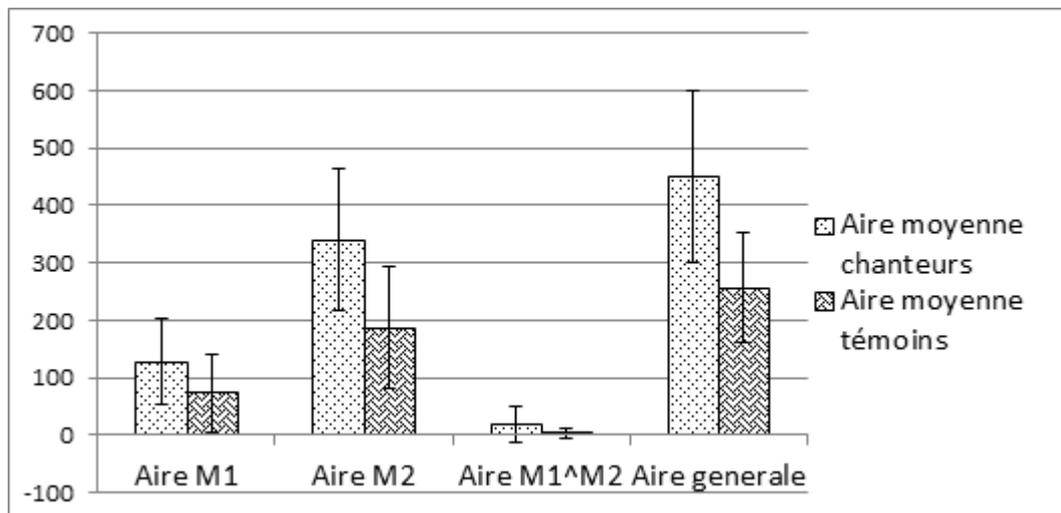


**Figure n°24 :** Comparaison entre les enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau des dynamiques maximales et moyennes

- Tout comme chez les chanteurs, qu'il s'agisse de la dynamique maximale ou moyenne, les valeurs sont meilleures dans le M2 que dans le M1 chez les témoins. En effet, la dynamique maximale moyenne du M2 est de 18 dB contre 14 dB pour le M1 et la dynamique moyenne du M2 est de 13 dB contre 10 dB pour celle du M1.
- Chez les témoins, les données de la dynamique M2 maximale s'échelonnent de 12 à 29 dB, celles de la dynamique moyenne vont de 7 à 22 dB. Quant aux résultats pour le M1, la dynamique maximale s'échelonne de 7 à 27 dB, ceux de la dynamique moyenne vont de 6 à 21 dB.
- La dynamique maximale moyenne du M2 des chanteurs (25 dB) est significativement supérieure ( $p=0,0013$ ) à celle des non-chanteurs (18 dB). On retrouve cette même constatation ( $p=0,0071$ ) concernant la dynamique moyenne du M2 (17 dB chez les chanteurs pour 13dB chez les non-chanteurs).

→ D'après les résultats ci-dessus, les chanteurs ont de meilleures performances par rapport aux non-chanteurs, que ce soit au niveau de la dynamique moyenne ou maximale, dans chacun des mécanismes, même si cela n'est significatif que dans le M2.

### 3.3. Aire (cf annexe n° 14)



**Figure n°25** : Comparaison entre les enfants chanteurs et non-chanteurs au niveau de l'aire moyenne.

- Comme chez les chanteurs, l'aire du M2 est significativement supérieure à celle du M1 chez les témoins. En effet, la valeur moyenne de l'aire du M2 est de 187 dB.demi-

tons (allant de 78 à 267 dB.demi-tons) et celle du M1 est de 73 dB.demi-tons (allant de 6 à 171 dB.demi-tons).

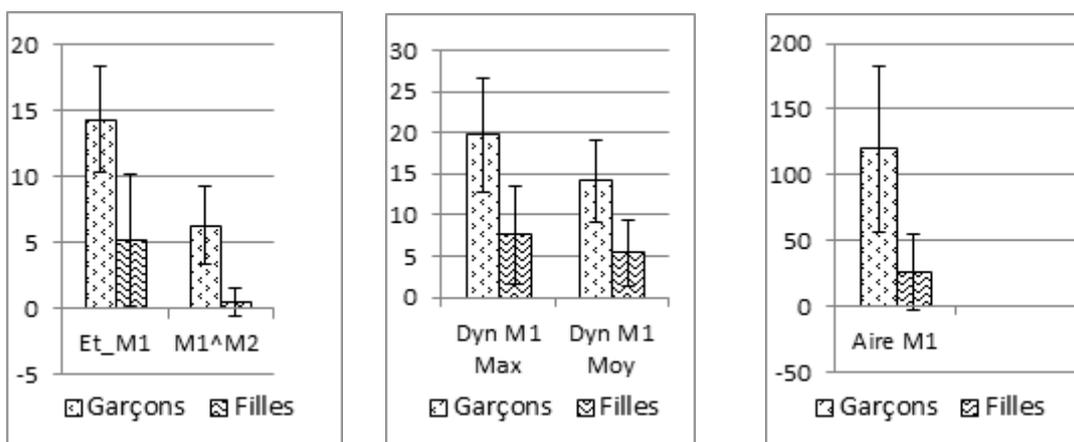
- Avec une aire de 128 dB.demi-tons pour le M1, les chanteurs surpassent les non-chanteurs qui ont une aire de 73 dB.demi-tons ( $p=0.03$ )
- S'agissant du M2, l'aire des chanteurs est de 341 dB.demi-tons, valeur largement supérieure à celle des non-chanteurs avec 187dB.demi-tons ( $p=0.0006$ ).
- Le recouvrement étant quasi inexistant chez les non-chanteurs (3 dB.demi-tons), il en découle donc une différence significative au profit des chanteurs dont l'aire de recouvrement est de 19 dB.demi-tons ( $p=0.01$ ). Un seul témoin présente un recouvrement d'aires (36 dB.demi-tons), la moyenne n'est donc pas représentative.
- Ici aussi, l'aire générale est supérieure chez les chanteurs (449 dB.demi-tons) par rapport aux non-chanteurs (257 dB.demi-tons).

L'analyse statistique révèle qu'il y a une corrélation entre l'aire du M2 et l'aire générale (corrélation  $> 0.8$ ) chez les témoins.

→ **D'après les résultats ci-dessus, les chanteurs ont de meilleures performances par rapport aux non-chanteurs, que ce soit au niveau de l'aire du M1, du M2, du recouvrement et de l'aire générale.**

### 3.4. Effet du sexe

Contrairement aux résultats obtenus chez les chanteurs, on trouve un effet du sexe sur différentes variables chez les témoins, systématiquement en faveur des garçons.



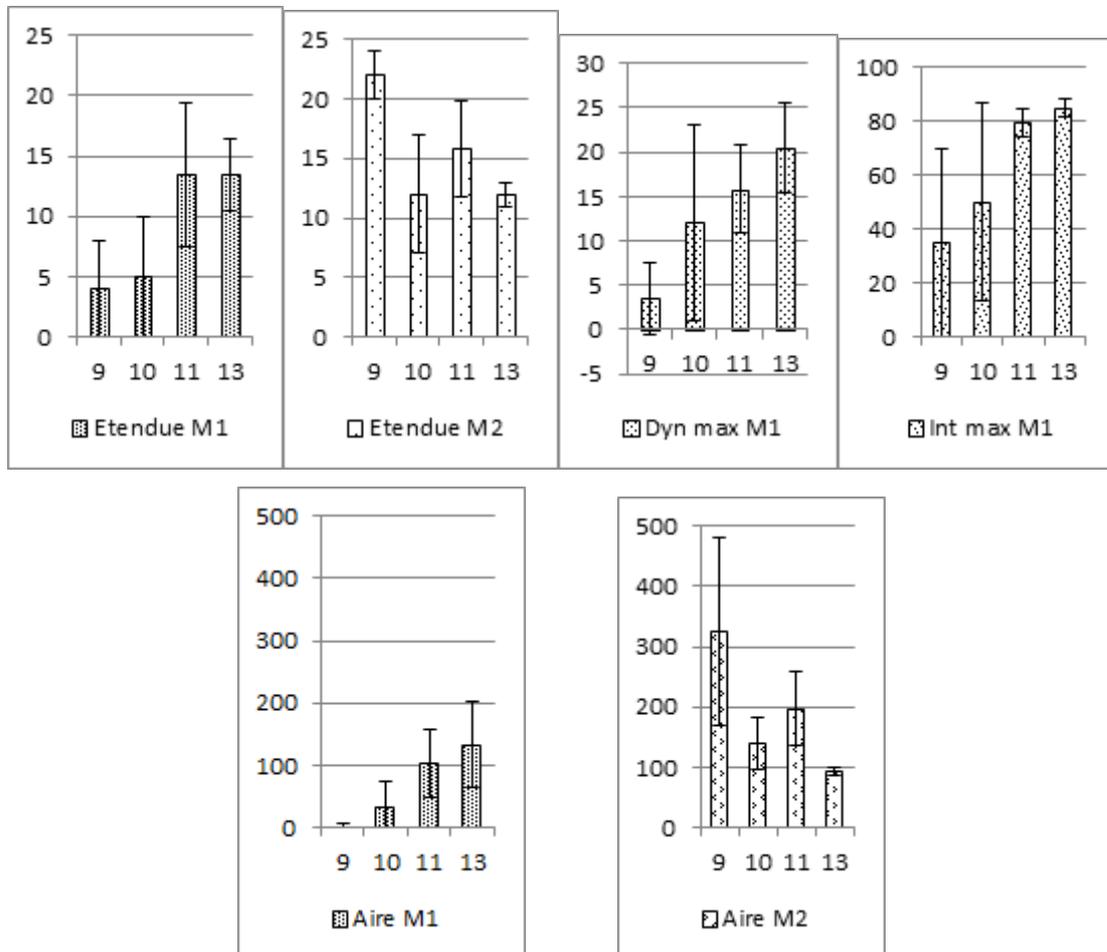
**Figure n°26 : Effet du sexe sur différents paramètres chez les non-chanteurs.**

Il y a donc un effet du sexe sur l'étendue du M1 ( $p=0.01$ ), sur le recouvrement d'étendues ( $p=0.0037$ ), sur la dynamique maximale et moyenne du M1 ( $p=0.01$ ), et sur l'aire du M1 ( $p=0.02$ ).

→ Ainsi, nous pouvons conclure que les garçons non-chanteurs ont de meilleures performances sur quasiment tous les paramètres concernant le M1 par rapport aux filles.

### 3.5. Effet de l'âge

Contrairement à l'absence d'effet chez les chanteurs, chez les témoins, on remarque que l'âge a un effet positif sur de nombreux paramètres, notamment sur ceux du M1.



**Figure n°27 :** Evolution des différents paramètres en fonction de l'âge chez les non-chanteurs.

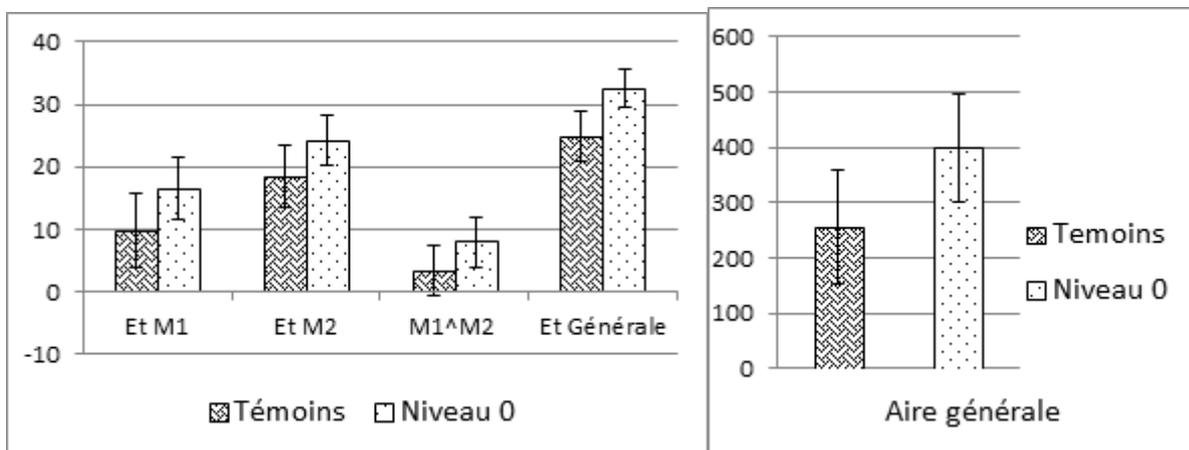
En effet, l'analyse de corrélation révèle que plus l'âge augmente plus l'étendue du M1 augmente (corrélation à 0.55) en revanche celle du M2 diminue (corrélation à -0.58). Par

ailleurs, plus l'âge augmente, plus les dynamiques maximales et moyennes du M1 augmentent (corrélation à 0.56), plus l'intensité maximale du M1 augmente (corrélation à 0.54) et plus l'aire du M1 augmente (corrélation à 0.64). En revanche, l'aire du M2 diminue avec l'âge (corrélation à -0.5).

→ L'âge a un effet positif sur l'étendue, la dynamique et l'aire du M1. Toutefois, l'étendue et l'aire du M2 semblent diminuer avec l'âge chez les témoins.

### 3.6. Effet du niveau

Il existe une différence entre les témoins et les niveaux 0, alors qu'il n'y en a pas entre les niveaux 0 et les niveaux 3 des chanteurs.



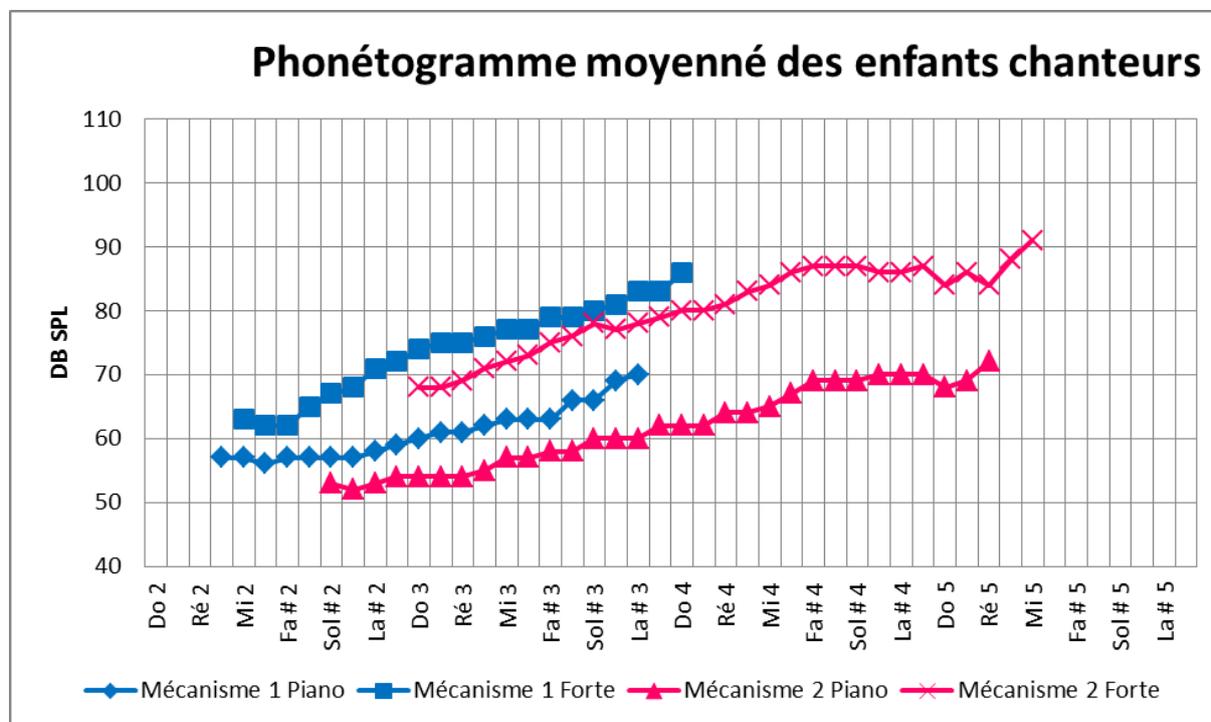
**Figure n°28 :** Comparaison entre les chanteurs et les non-chanteurs au niveau de l'étendue et de l'aire générale.

Cet effet peut être relevé sur différents paramètres à savoir l'étendue du M1 ( $p=0.03$ ), l'étendue du M2 ( $p=0.02$ ), le recouvrement d'étendues ( $p=0.04$ ), l'étendue générale ( $p=0.0008$ ) et l'aire générale ( $p=0.03$ )

→ Ainsi, les chanteurs débutants ont de meilleurs résultats quant à l'étendue (M1, M2, M1^M2, générale) et l'aire générale que les non-chanteurs.

#### 4. Phonétogramme moyenné des enfants chanteurs

Grâce aux résultats relevés chez les enfants chanteurs, nous avons élaboré un phonétogramme moyenné, permettant ainsi d'illustrer leurs performances. La moyenne a été effectuée seulement lorsque la note était produite par au moins cinq enfants.



**Figure n°29 : Phonétogramme moyenné des enfants chanteurs.**

Sur ce phonétogramme, la présence du M1 est indéniable. Avec une large étendue et une dynamique plus développée au cœur du mécanisme qu'aux extrémités, il couvre environ la moitié du phonétogramme complet.

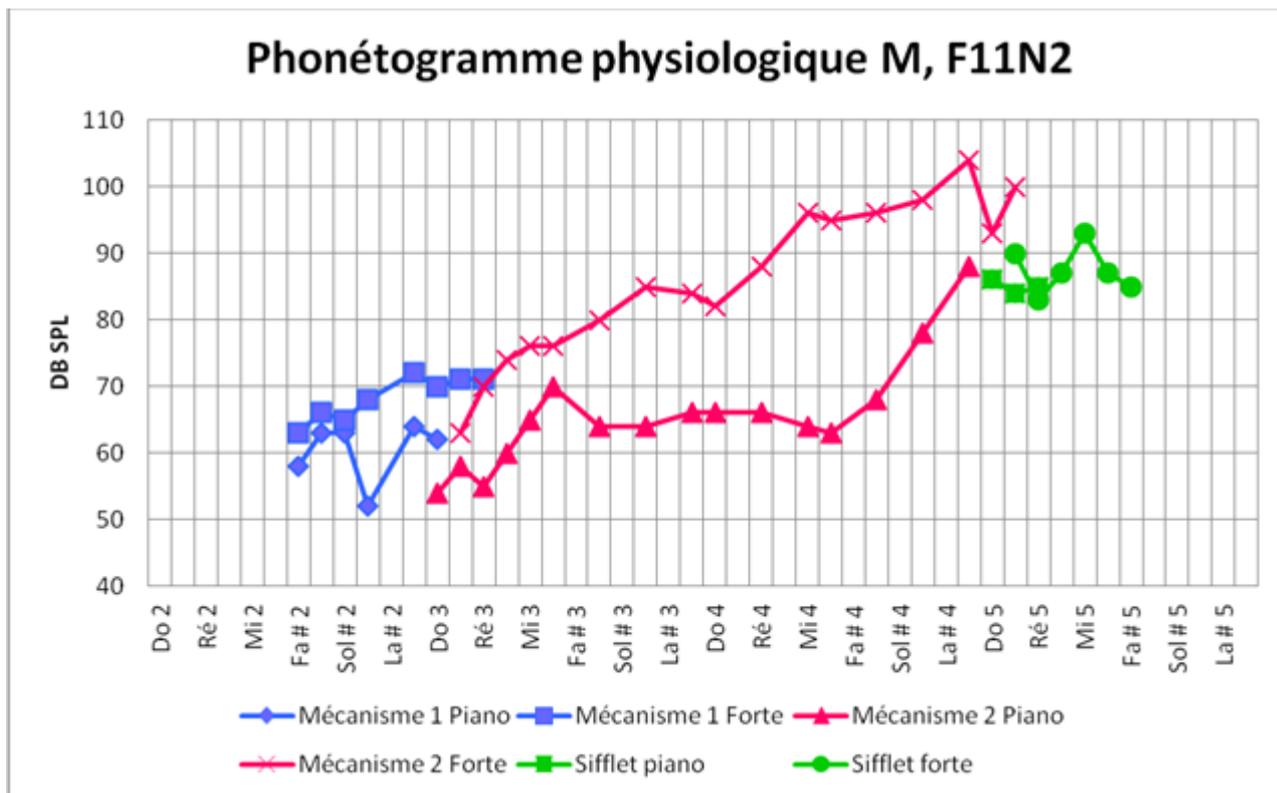
Le M2 est quant à lui plus étendu, couvrant plus des  $\frac{3}{4}$  du phonétogramme complet. Toutefois, sa dynamique est quasi identique sur l'ensemble des notes, ce qui peut être expliqué par la moyenne effectuée.

Le recouvrement, à la fois d'étendues et d'aires, est largement présent, conférant ainsi aux enfants chanteurs la possibilité d'émettre une même note dans les deux mécanismes sur environ une octave.

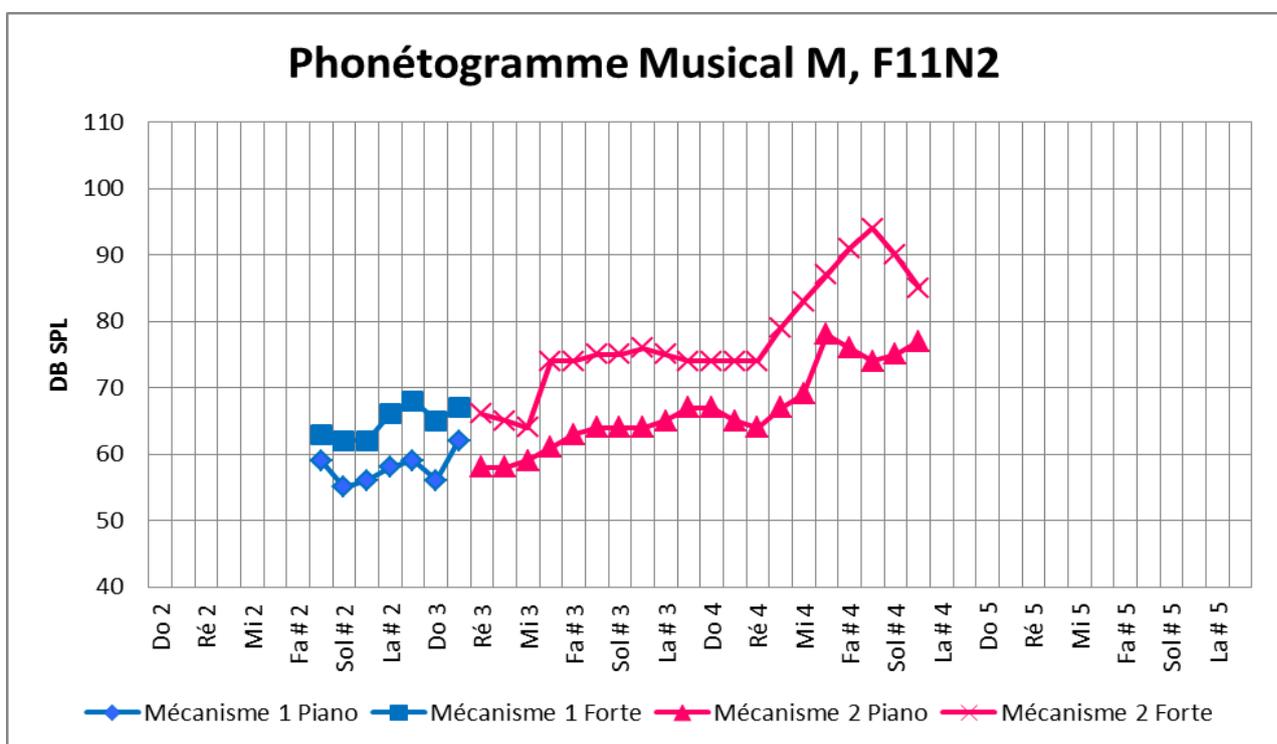
Le M2 reste supérieur au M1, tant en étendue, qu'en dynamique.

#### 5. Phonétogramme musical versus physiologique.

Nous avons comparé à titre d'illustration le phonétogramme physiologique et musical d'un même sujet.



**Figure n°30** : Phonétogramme physiologique de Margot, âgée de 11 ans classée niveau 2.



**Figure n°31** : Phonétogramme musical de Margot, âgée de 11 ans, classée niveau 2.

- Etendue

<b>Etendue</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M1^M2</b>	<b>Générale</b>
Phonétogramme physiologique	9	26	3	32
Phonétogramme musical	7	20	0	27

**Tableau n°10** : Comparaison des étendues des phonétogrammes physiologique et musical.

L'étendue (M1, M2, générale) ainsi que le recouvrement du phonétogramme physiologique sont supérieurs aux données du phonétogramme musical.

- Intensité / Dynamique

<b>Intensité/dynamique</b>	<b>Int M1 max</b>	<b>Int M1 min</b>	<b>Int M2 max</b>	<b>Int M2 min</b>	<b>Dyn M1 Max</b>	<b>Dyn M1 Moy</b>	<b>Dyn M2 Max</b>	<b>Dyn M2 Moy</b>
Phonétogramme physiologique	71	58	104	54	16	8	32	18
Phonétogramme musical	68	58	94	58	9	7	20	11

**Tableau n°11** : Comparaison des intensités minimales et maximales des phonétogrammes physiologique et musical.

Les valeurs du phonétogramme physiologique sont à chaque fois supérieures ou égales à celles du phonétogramme musical. En effet, dans le phonétogramme musical, une certaine qualité du son est attendue. Ainsi, les sons trop soufflés ou trop criés ne sont pas acceptés, ce qui restreint la dynamique.

- Aire

<b>Aire</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M1^M2</b>	<b>Globale</b>
Phonétogramme physiologique	46	425	0	472
Phonétogramme musical	43	206	0	250

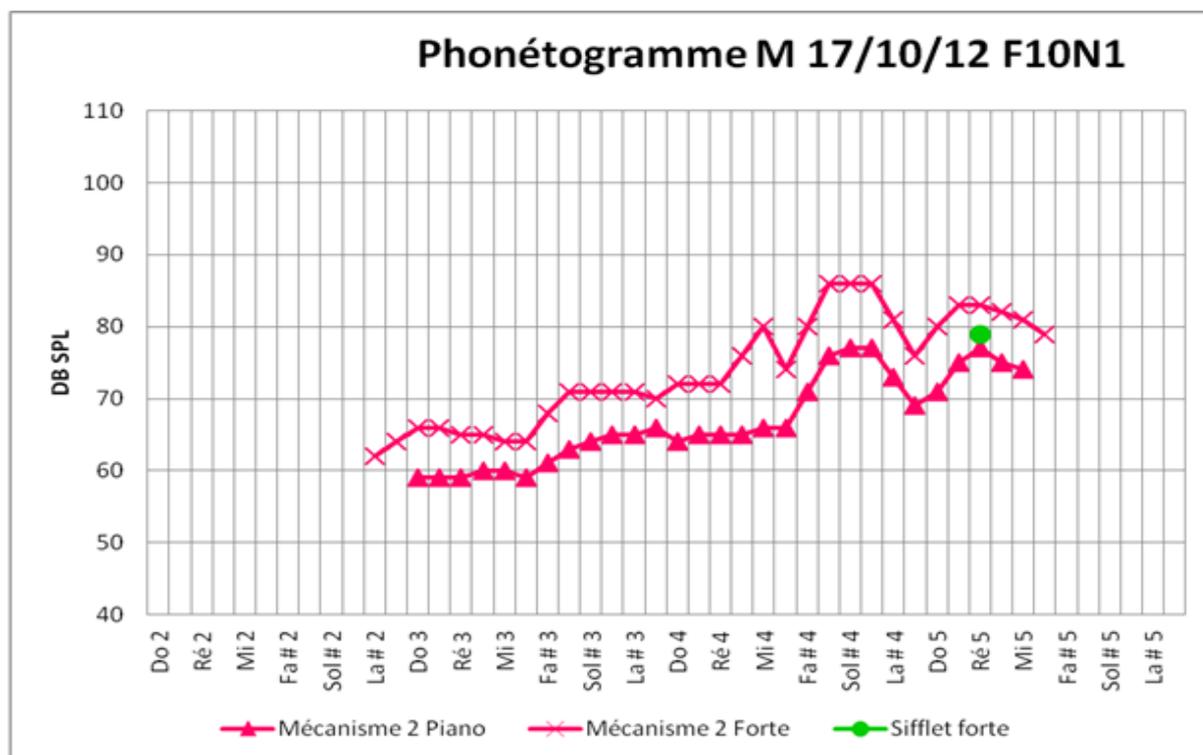
**Tableau n°12** : Comparaison des aires moyennes des phonétogrammes physiologique et musical.

Là encore, les valeurs du phonétogramme physiologique sont supérieures à celles du phonétogramme musical.

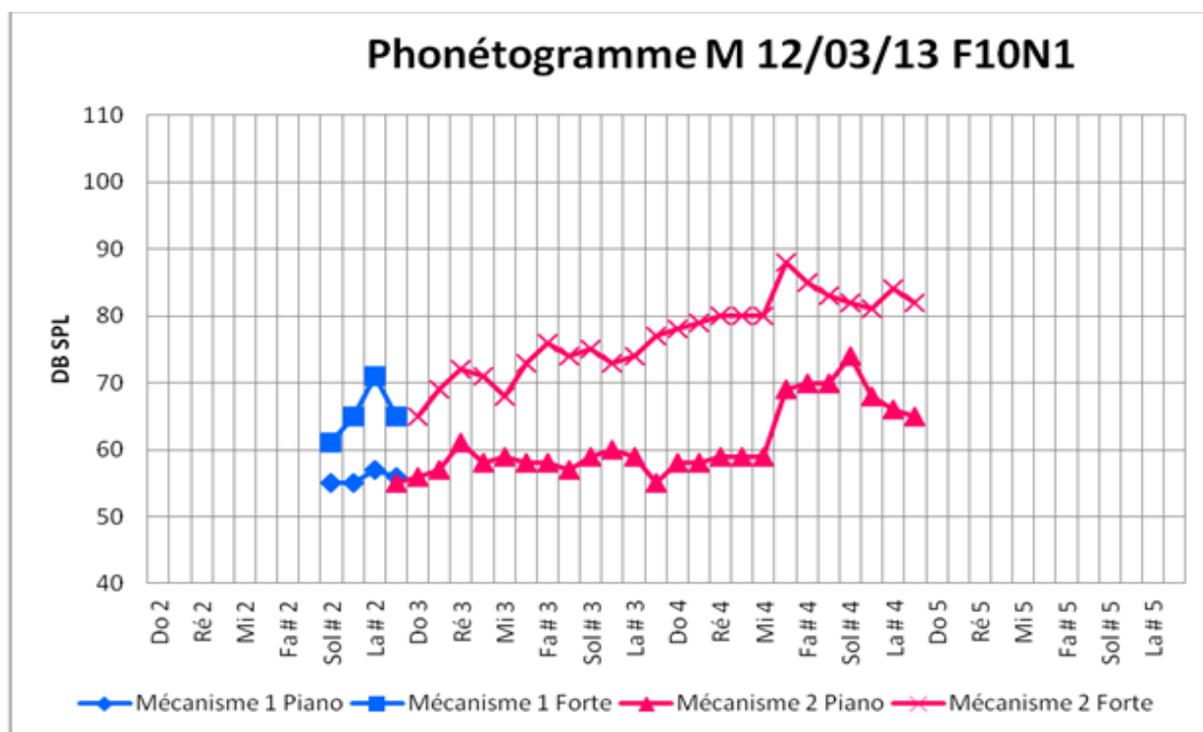
**→ Les valeurs du phonétogramme physiologique sont systématiquement meilleures que celles du phonétogramme musical.**

## 6. Etude longitudinale

Nous avons comparé à titre illustratif les deux phonétogrammes d'un même sujet à cinq mois d'intervalle.



**Figure n° 32** : Phonétogramme de Madeleine âgée de 10 ans, classée niveau 1.



**Figure n°33** : Phonétogramme de Madeleine âgée de 10 ans, classée niveau 1, réalisé 5 mois plus tard.

- Etendue

<b>Etendue</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M1^M2</b>	<b>Générale</b>
M 17/10/12	0	32	0	32
M 12/03/13	4	25	1	27

**Tableau n°13** : Comparaison des étendues à 5 mois d'intervalle.

- Nous pouvons constater qu'entre les deux dates, le M1 se met progressivement en place. Avec lui, le recouvrement apparaît mais reste toutefois faible.
- Il est à noter que le M2 perd quelques demi-tons en quelques mois. Toutefois, il reste majoritairement présent par rapport au M1. Du fait de cette légère diminution, l'étendue générale s'en retrouve amoindrie, mais reste globalement identique.

- Dynamique

<b>Dynamique</b>	<b>Dyn M1 max</b>	<b>Dyn M1 moy</b>	<b>Dyn M2 max</b>	<b>Dyn M2 moy</b>
M 17/10/12	0	0	14	7
M 12/03/13	14	10	22	16

**Tableau n°14** : Comparaison des dynamiques maximales et moyennes à 5 mois d'intervalle.

Concernant le M2, on note un important développement des dynamiques (maximales et moyennes). Les intensités recueillies lors de la seconde session permettent d'établir une dynamique pour le M1. Malgré l'apparition de ce dernier, la dynamique du M2 reste largement supérieure.

- Aire

<b>Aire</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M1^M2</b>	<b>Générale</b>
M 17/10/12	0	209	0	209
M 12/03/13	31	364	0	395

**Tableau n°15** : Comparaison des aires moyennes à 5 mois d'intervalle.

Nous constatons une nette augmentation de la surface du M2 ainsi que de l'aire générale. Si l'aire du M1 apparaît elle aussi, elle reste cependant largement en-deçà de celle du M2. Malgré la présence du M1, le recouvrement n'est toujours pas visible.

→ **On voit donc une évolution entre les deux passages. Cependant, elle n'est pas retrouvée dans les deux autres études longitudinales effectuées (cf annexes 15 et 16 ; annexes 17 et 18).**

## 7. Cas de la voix de sifflet

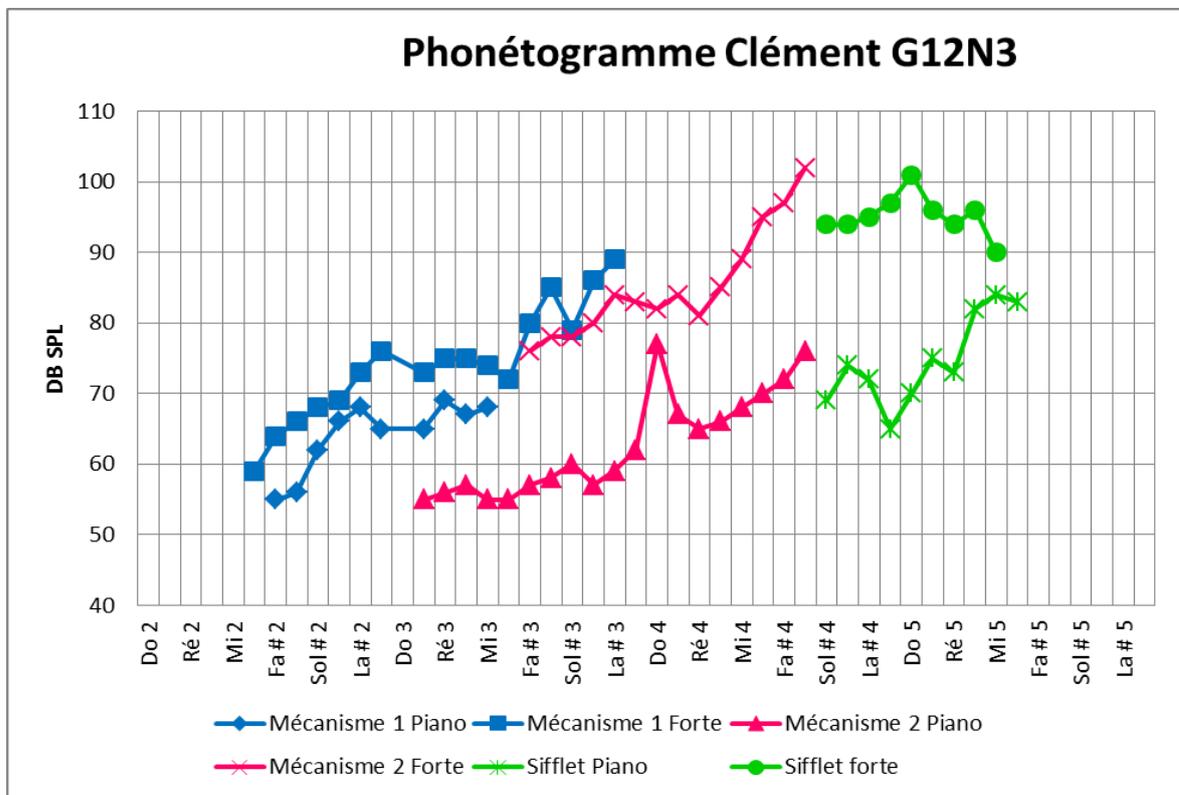
Bien que nous ne l'ayons pas exploré systématiquement, nous avons été confrontés au M3 chez de nombreux enfants, des garçons comme des filles.

Il apparaît lorsque le M2 n'est plus suffisant pour produire les notes trop aiguës demandées. Il se traduit dans les piano comme les forte par une chute d'intensité caractéristique ainsi qu'un changement de timbre.

Parmi les sujets chez qui nous l'avons rencontré, tous l'utilisent sans en avoir conscience. Le passage du 2 au 3 se fait donc involontairement.

La fréquence la plus basse à laquelle il survient est le Sol4.

A titre d'illustration, nous avons choisi un phonétogramme où le M3 est bien visible.



**Figure n°34** : Phonétogramme de Clément, 12 ans classé niveau 3.

Ici, le M3 de Clément apparaît à Sol#4 et s'étend sur 10 demi-tons. On peut observer une chute d'intensité caractéristique (ici 8 dB) entre le passage du M2 au M3. Sa dynamique maximale est de 32 dB, cependant, une telle dynamique n'est retrouvée que chez lui.

→ **RESUME** :

Toutes populations confondues, on remarque que le M2 ainsi que le M1 sont présents.

Le M2 est toujours plus développé que le M1, que ce soit en termes d'étendue, d'intensité, de dynamique ou d'aire. Il est à noter que le M1 n'est pas retrouvé seulement chez trois enfants.

L'étendue globale s'étend de 11 demi-tons à 2 octaves  $\frac{1}{2}$  et les notes extrêmes sont atteintes par des chanteurs.

Le M1 couvre environ une octave, hormis chez les témoins où il souvent moindre. Le M2 quant à lui dépasse généralement 2 octaves.

Dans les deux mécanismes, les intensités minimales sont assez stables à travers la population contrairement aux intensités maximales qui sont plus dispersées. Les intensités maximales sont retrouvées en M2. Les faibles intensités étant peu variés, la dynamique est donc développée par les fortes intensités.

Le recouvrement d'étendues est présent chez quasiment tous les enfants, en revanche ce n'est pas le cas pour le recouvrement d'aires, ainsi il se fait davantage en termes d'étendues que d'aires.

Les chanteurs se révèlent plus performants que les témoins sur la majorité des paramètres du phonétogramme.

Chez les chanteurs, aucun effet du sexe, de l'âge ni du niveau n'est relevé. En revanche, une distinction de performances entre les garçons et les filles ainsi qu'un effet de l'âge sont retrouvés chez les témoins. De plus, les chanteurs débutants (niveau 0) sont meilleurs que les témoins.

La comparaison entre le phonétogramme physiologique et musical met en évidence de meilleurs résultats concernant le phonétogramme physiologique.

L'étude longitudinale de Madeleine semble être un cas particulier et ne reflète pas l'évolution retrouvée chez les autres.

Le M3 est lui aussi présent chez les enfants, notamment chez les chanteurs.

### III. Discussion

#### 1. Méthodologie

##### 1.1. **Choix du phonétogramme**

Nous avons étudié les productions vocales d'enfants entre 8 et 15 ans à travers le phonétogramme par mécanisme laryngé, tout comme **Roubeau, Castellengo et coll.** [39], **Ragot** [36] **et Lamesch** [27]. Cet outil d'investigation permet en effet d'analyser la fréquence et la dynamique du champ de liberté de la voix. Toutefois, cette méthode présente des limites ; en effet elle ne prend pas en compte la qualité du timbre. Ainsi à phonétogramme similaire, la qualité de la voix n'est pas forcément identique.

Pour se rapprocher d'une voix plus esthétique, certains auteurs (**Coleman et Mott** [10], **Dejonckere** [15]) ont réalisé des phonétogrammes musicaux, mesurant ainsi la tessiture des enfants. Une certaine qualité du son est attendue, ainsi les notes trop soufflées ou trop criées ne sont pas acceptées. Dans notre étude, nous avons toutefois réalisé des phonétogrammes physiologiques. En revanche, les auteurs ne précisent pas toujours le type de phonétogramme réalisé (**Fuchs, Meuret et coll.** [16], **Hacki et Heitmuller** [21]), de ce fait nous ne savons pas toujours de quoi il est question. Ainsi, les données de la littérature et les nôtres ne réfèrent pas toujours à la même chose (tessiture / étendue vocale) ce qui entraîne des difficultés de comparaison des résultats.

##### 1.2. **Variabilité de la mesure**

Bien qu'il existe une standardisation de la méthodologie (**Schutte et Seidner** [44]), des points de divergence peuvent être à l'origine d'une variabilité dans les résultats.

Ainsi dans la majorité des études (**Böhme et Stuchlik** [6], **Siupskiene et Lycke** [46]), les enfants sont placés à 30 cm du sonomètre, ce qui n'est pas notre cas. En effet, la distance d'un mètre nous semble indispensable afin d'endiguer les mouvements de l'enfant qui pourraient induire une variation de l'intensité ; ces derniers ayant un impact beaucoup plus important à 30 cm qu'à un mètre sur les valeurs relevées. Il n'est pas précisé dans leurs études comment ils sont parvenus à empêcher l'enfant de bouger. Nous sommes donc en droit de nous demander si leurs mesures n'ont pas été parfois biaisées de ce fait.

Dans la littérature, il est recommandé de commencer l'exploration des piani par tons pour ne pas fatiguer l'enfant. Or nous avons commencé par les forte par ton, et sommes rapidement passés par demi-ton pour l'exploration de la zone de recouvrement. Nous n'avons toutefois

pas noté de fatigue, au contraire cela a contribué à prolonger l'échauffement. De ce fait plusieurs mesures étaient réalisées afin d'être sûrs de ne récolter que les notes extrêmes. Il n'est pas précisé dans la littérature s'ils réitèrent leurs mesures, ce qui n'élimine pas le biais des améliorations des performances au cours de la passation. Il faut donc tenir compte du fait que le phonétogramme a un effet sur l'état vocal qui évolue pendant la passation. En outre, bien que ceci n'ait pas été précisé dans les précédentes études, nous trouvons qu'il est indispensable de réaliser un échauffement vocal étant donnée l'impact sur les mesures, afin de ne pas avoir une représentation erronée des capacités de l'enfant.

De plus, les variations intra-individuelles peuvent elles aussi retentir sur les mesures et sont donc à prendre en considération. Certains auteurs ont établi un phonétogramme moyenné de toute leur population (**Böhme et Stuchlik** [6]), mais il serait intéressant de l'appliquer à chaque enfant afin de gérer les variations intra-individuelles.

Par ailleurs, le niveau des non-chanteurs n'est pas précisé dans la littérature. Sont-ils choisis au hasard ? Sont-ils sélectionnés seulement s'ils arrivent à reproduire les notes données ? Il est probable que les exigences soient différentes d'une étude à l'autre. Pour notre part, les témoins étaient choisis dans notre entourage et présentaient des problèmes de justesse quant aux notes à reproduire. Cette potentielle différence de niveau entre les non-chanteurs peut expliquer les résultats inférieurs de nos témoins par rapport aux non-chanteurs d'autres études.

### **1.3. Identification des mécanismes**

Certains auteurs ont utilisé un électroglottographe (**Roubeau, Henrich et coll.** [40]) pour plus de précision mais les contraintes logistiques et déontologiques ne nous l'ont pas permis. Toutefois, nous nous sommes bien garanti l'attribution des mécanismes grâce à l'utilisation des demi-tons dans les zones d'incertitude, les glissando et les decrescendo.

La modification de l'intensité (brutalement plus faible) et du timbre différent permettait d'identifier le passage entre le M2 et le M3 présent chez certains sujets.

Toutefois, sur certains phonétogrammes, les courbes des M1 et M2 se confondent sur quelques notes, notamment dans la zone de recouvrement. Cette confusion peut se retrouver à la fois dans les forte (cf annexes n° 19, 20, 21) et dans les piani (cf annexes n°22 et 23). Il s'agit sans doute d'une mauvaise discrimination du mécanisme. Ainsi, dans certains cas les incertitudes persistent. En l'absence d'électroglottographe, l'ambiguïté n'a pas pu être

totalelement levée, ce qui constitue une limite du protocole purement perceptif du phonétogramme.

## **2. Discussion des résultats**

### **2.1. Présence du mécanisme I**

Tout au long de notre étude, l'identification des mécanismes nous a permis d'objectiver la présence du M1 chez les enfants, chanteurs comme non-chanteurs, même si l'étendue et la dynamique sont moins développées que dans le M2. Nos résultats ne sont cependant pas en accord avec ceux de **Calvet et Malhiac** [7] et **Casanova** [8] qui affirment que le M1 n'existe pas avant la mue. Toutefois **Ragot** [36] a elle aussi pu constater la présence du M1 chez l'enfant au même titre que chez l'adulte (**Roubeau, Castellengo et coll.** [39]).

On peut cependant expliquer ces différences entre les résultats par le fait que ces auteurs n'avaient pas cherché à objectiver le M1, alors que nous avons parfois poussé l'enfant à produire des notes dans ce mécanisme, ce qu'il n'aurait pas fait spontanément. En effet, au Conservatoire, le M1 n'est pas travaillé, l'enfant n'en a donc pas toujours conscience et ne l'utilise de ce fait pas.

L'investigation par mécanisme laryngé menée dans cette étude, permet de confirmer notre hypothèse concernant la présence du M1 avant la mue.

### **2.2. Etendue**

#### **2.2.1. Chanteurs**

- Dans notre étude, l'étendue globale des enfants chanteurs est de 32 demi-tons, ce qui est en accord avec les résultats de **Coleman, Mabis et coll.** [9] ainsi que ceux de **Ragot** [36]. Toutefois, nos résultats sont supérieurs à ceux d'autres études (**Pribuisiene, Uloza et coll.** [35] **Siupsinskiene et Lycke** [46]) où l'étendue générale est moindre. Ceci peut être expliqué par des différences d'âge ou encore des niveaux d'exigence différents des notes acceptées.
- Les résultats de **Ragot** [36] (30 demi-tons) sont légèrement supérieurs aux nôtres (25 demi-tons) concernant l'étendue du M2 et du recouvrement (11 demi-tons contre 8 demi-tons). Cependant, nous avons de meilleurs résultats (15 demi-tons) concernant l'étendue du M1 par rapport aux données de **Ragot** [36] (13 demi-tons). Les différences peuvent s'expliquer par l'effectif réduit de **Ragot** [36] (7 enfants). Tout

comme dans notre étude, le M1 était inexistant chez un seul enfant, également une fille (cf annexe n°7).

- Les résultats vus plus hauts objectivent une corrélation entre l'étendue du M2 et l'étendue générale. On peut donc supposer que la supériorité de la taille du M2 par rapport à celle du M1 influence plus l'étendue générale. Toutefois, ce résultat peut être faussé par le biais de recrutement des chanteurs qui sont sélectionnés à l'entrée du Conservatoire uniquement sur leurs performances en M2.
- Les enfants ayant tous une large étendue en M2, le recouvrement sera d'autant plus grand que leur étendue de M1 sera grande, permettant ainsi d'augmenter les fréquences communes.
- Il est plus difficile de chanter à faible intensité. Or, l'étendue des *piani* et des *forte* est identique dans le M2, ce qui n'est pas le cas dans le M1 où l'étendue des *forte* est largement supérieure à celle des *piani*. Cette dichotomie peut être expliquée par le fait qu'au Conservatoire, seul le M2 est travaillé ce qui confère aux enfants une meilleure technique et une meilleure aisance dans ce mécanisme. De plus, il est possible que des *piani* identifiés comme étant du M2 ne le soient pas.
- Il est à noter que l'utilisation d'un seul mécanisme n'implique pas forcément une étendue générale plus restreinte. (cf annexe n° 7).

### 2.2.2. Témoins et comparaison avec les chanteurs

- L'étendue générale des enfants non-chanteurs est de 25 demi-tons, ce qui est en accord avec les résultats de **Siupsinskiene et Lycke** [46] et **Schneider, Zumtobel et coll.** [43]. Elle est donc nettement inférieure à celle des chanteurs, comme le trouvent **Siupsinskiene et Lycke** [46] **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35] De plus, les deux populations présentent un M2 plus développé en termes d'étendue que le M1.
- En revanche, d'autres auteurs trouvent des étendues légèrement supérieures aux nôtres (**Van Oordt et Drost** [50] : 2.5 à 3 octaves et **Böhme et Stuchlik** [6] : 29 demi-tons). Là encore, une différence de méthodologie, de l'effectif et de l'exigence des examinateurs peut expliquer ces disparités.
- Etant donné que les chanteurs ont une meilleure étendue et que les notes extrêmes sont retrouvées chez eux, il semblerait que l'étendue des témoins se trouve dans les limites de celle des chanteurs (cf annexes n° 8 et 12).

- Comme pour les chanteurs, l'étendue du M2 influence l'étendue générale tandis que l'étendue du M1 influence la zone de recouvrement. Il est à noter que les bornes inférieures des deux mécanismes sont identiques quelle que soit la taille de l'étendue, en revanche, les enfants ayant une plus grande étendue voient leur borne supérieure se développer vers l'aigu. Ainsi, ceux qui ont un recouvrement important ont un M1 plus étendu vers l'aigu ; ceux qui ont une étendue générale plus développée ont un M2 plus étendu vers l'aigu. Avant la mue, la différence d'étendue entre les enfants ne serait pas un fait morphologique mais plutôt fonctionnel avec une tension de l'appareil vibratoire plus élevée chez ceux ayant une étendue plus large. Après la mue, le phénomène inverse va être observé. En effet, les modifications morphologiques du larynx vont permettre d'accroître l'étendue vers les graves.
- Il est à noter que l'étendue des forte est supérieure à celle des piani, que ce soit dans le M1 ou le M2. Ainsi quel que soit le mécanisme, les piani sont plus difficilement réalisables tandis que les chanteurs maîtrisent mieux les piani dans le M2, mécanisme le plus travaillé.

### 2.3. Intensité / dynamique.

#### 2.3.1. Chanteurs

- Nos résultats concernant l'intensité minimale (53 dB) sont en accord avec ceux de **Coleman et Mott** [10], (53 dB) et **Siupsinskiene et Lycke** [46] (52dB) ce qui pourrait s'expliquer par un probable effet plancher du sonomètre malgré une distance différente. Ainsi, en-deçà d'une certaine intensité les mesures se rapprochent et se confondent avec le bruit de fond (50 dB). Ceci pourrait expliquer le fait que nos minima soient similaires à ceux de la littérature. En revanche, s'agissant de l'intensité maximale, nos résultats (86 dB) sont moins élevés (91 dB **Siupsinskiene et Lycke** [46] et 117 dB **Coleman et Mott** [10]), ce qui peut s'expliquer par un effet de la distance au sonomètre (1 mètre contre 30 cm).
- Les intensités minimales des deux mécanismes sont presque identiques (54 dB en M1 et 53 dB en M2) ce qui n'est pas le cas pour les intensités maximales (81 dB en M1 et 91 dB en M2). La proximité des résultats pour les intensités minimales pourrait en partie s'expliquer par une voix souvent soufflée lors de la passation. La dynamique semble donc se développer grâce aux fortes intensités, les minimales ne connaissant qu'une faible variation.

- La valeur de la dynamique maximale moyenne dans notre étude est de 21 dB ce qui est en accord avec les résultats trouvés par **Ragot** [36] (23 dB). Toutefois, ils sont largement inférieurs à ceux de **Siupsinskiene et Lycke** [46] (39 dB) où nous renvoyons à une possible variabilité due à la distance au micro
- La dynamique maximale est toujours plus développée dans le M2 que dans le M1, en accord avec les données de **Ragot** [36]. En effet, les enfants ayant un larynx encore immature, ils utiliseraient plus aisément le M2, plus rentable en termes d'énergie et d'efficacité et serait donc plus développé que le M1 avant la mue. Ce phénomène va s'inverser après la mue, notamment chez l'homme.

### 2.3.2. Témoins et comparaison avec les chanteurs

- Nos résultats (53 dB) sont en accord avec ceux de **Siupsinskiene et Lycke** [46] (51 dB) et **Böhme et Stuchlik** [6] (51 dB) quant à l'intensité minimale. Ils restent toutefois en-deçà au niveau de l'intensité maximale (74 dB contre 87 ou 88 dB). Les chanteurs ont donc de meilleurs résultats quant à l'intensité maximale, mais ce n'est pas le cas pour l'intensité minimale, comme l'ont également trouvé **Siupsinskiene et Lycke** [46].
- Les intensités minimales des deux mécanismes sont corrélées, ce qui signifierait que la maîtrise des piani est équivalente dans les deux mécanismes chez les témoins.
- Les résultats des témoins présentés précédemment montrent une corrélation entre l'intensité maximale du M1 et l'intensité minimale du M1. Dans ce mécanisme, les deux limites évoluent donc de manière parallèle. Toutefois il peut être vu une dissociation des paramètres de hauteur et d'intensité chez les chanteurs ce qui n'est pas le cas des non-chanteurs (cf annexes n°24 et 25). Ce phénomène permet un accroissement de la dynamique des chanteurs au cœur du mécanisme tout comme **Mürbe, Sundberg et coll.** [30] l'ont trouvé à propos des adultes. C'est cette notion de variation de la dynamique par rapport à la hauteur qui confère à la voix chantée sa qualité, ce qui n'est pas retrouvé chez les non-chanteurs.
- Les données de la littérature (**Siupsinskiene et Lycke** [46]) concernant la dynamique maximale (36 dB) des témoins sont largement supérieures aux nôtres (16 dB). Mais nous renvoyons une fois de plus à des conditions expérimentales différentes ainsi qu'à un possible effet de la distance au sonomètre.

- Le M1 est aussi peu développé en termes d'intensité et donc de dynamique chez les chanteurs que chez les témoins.

## 2.4. Aire

### 2.4.1. Chanteurs

- Nos résultats concernant l'aire générale (450 dB.demi-tons) se situent entre ceux de **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35] (410 dB.demi-tons) et ceux de **Ragot** [36] (484 demi-tons). En revanche, ils restent nettement inférieurs à ceux de **Pedersen, Moller et coll.** [33] (608 dB.demi-tons) et **Siupsinskiene et Lycke** [46] (699 dB.demi-tons). Se dessinent donc deux fourchettes de résultats, les plus faibles pouvant être rapprochés de phonétogrammes musicaux tandis que les plus élevés seraient plus physiologiques. Ces résultats peuvent être expliqués par des divergences de protocoles (notamment l'effet de distance) mais surtout des niveaux d'exigence différents, difficiles à standardiser. De plus, les protocoles ne précisent pas toujours de façon explicite s'il s'agit d'un phonétogramme physiologique ou musical.
- Alors qu'une similarité de nos résultats et de ceux de **Ragot** [36] est trouvée quant à l'aire générale, il s'avère que la répartition entre les mécanismes est différente. Ainsi, elle obtient des valeurs supérieures aux nôtres pour le M2 (397 > 341 dB.demi-tons) alors que les valeurs pour le M1 sont supérieures dans notre étude (128 > 73 dB.demi-tons). Nous ne pouvons cependant pas comparer le recouvrement d'aires car il est seulement présent chez deux sujets chez **Ragot** [36]. Malgré la différence d'effectif, nos résultats sont similaires, ce qu'on pourrait imputer à une méthodologie commune. Pour elle aussi, l'aire du M2 est supérieure à celle du M1, à mettre en lien avec un larynx encore immature.
- D'après nos résultats, la corrélation trouvée entre l'aire du M1 et le recouvrement d'aires signifie qu'il est dû davantage à l'amplitude de l'aire du M1. Bien qu'existante, la participation du M2 est donc moindre.
- Il est également trouvé une corrélation entre les aires des deux mécanismes et l'aire générale. Ainsi, l'aire de chacun des mécanismes contribue à accroître l'aire générale. Toutefois, il paraît difficile d'établir dans quelles proportions l'intensité et l'étendue jouent un rôle.

#### 2.4.2. Témoins et comparaison avec les chanteurs

- Nos résultats (257 dB.demi-tons) sont largement inférieurs à ceux relevés dans les articles de **Siupsinskiene et Lycke** [46] (573 dB.demi-tons) et **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35] (350 dB.demi-tons). Ceci peut être dû à une méthodologie différente (distance au micro et exigence des examinateurs) et à notre effectif plus restreint. De plus, le niveau des non-chanteurs n'est pas clairement explicité dans la littérature.
- Les chanteurs se distinguent des non-chanteurs avec des valeurs supérieures, ce qui va dans le sens des résultats de **Pribuisiene, Uzola et coll.** [35] et **Siupsinskiene et Lycke** [46].
- Alors que quasiment tous les témoins ont une aire en M1, seulement un enfant présente un recouvrement d'aires (cf annexe n°14). Etant donné que tous les enfants présentent un recouvrement d'étendues, l'absence de recouvrement d'aires serait due à l'absence de dynamique dans la zone de recouvrement.
- Chez les témoins, le fait que l'aire du M2 et l'aire générale soient corrélées, signifie que plus l'aire du M2 est grande, plus l'aire générale l'est aussi. Ainsi, l'aire générale dépend davantage de l'aire du M2 que de celle du M1 chez les non-chanteurs. L'aire générale n'est donc pas développée par les mêmes facteurs entre les deux populations. En effet, elle dépend de l'aire du M1 et du M2 chez les chanteurs. Chez ces derniers, les deux mécanismes semblent donc liés, ainsi si l'enfant a une dynamique en M2, elle sera aussi présente en M1. Le développement du M2 n'exclurait donc pas le développement du M1.
- La comparaison des différents paramètres objective de meilleures performances concernant l'étendue du M1 chez les chanteurs. Toutefois, dans ce même mécanisme la dynamique n'est pas significativement supérieure à celles des non-chanteurs. L'aire des chanteurs étant elle aussi significativement supérieure à celle des non-chanteurs, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'étendue participe davantage au développement de l'aire du M1 que la dynamique chez les chanteurs. Cependant, dans le M2, tous les paramètres sont significativement supérieurs chez les chanteurs, nous ne pouvons donc pas en tirer de conclusion.

#### 2.5. Effet du sexe

Les caractéristiques vocales liées au sexe ne semblent pas exister avant la puberté chez les chanteurs, contrairement à ce que l'on pensait. Il ne semble donc pas pertinent d'étudier séparément les deux sexes dans ces âges-là. Ce constat est en accord avec les résultats de

nombreuses études où aucun effet du sexe n'est retrouvé (**Pribuisiene, Uloza et coll.** [35], **Siupsinskiene et Lycke** [46]). Cependant, **Böhme et Stuchlik** [6] a réalisé des phonétogrammes standardisés par sexe, trouvant quelques différences entre les garçons et les filles. De plus, de nombreux auteurs (**Fuchs, Meuret et coll.** [16], **Böhme et Stuchlik** [6]) s'accordent à dire que les garçons ont une intensité maximale meilleure que celle des filles, ce qui n'a pas été mis en évidence dans notre étude.

En revanche, une différence entre les garçons et les filles apparaît nettement chez les témoins sur de nombreux paramètres.

Nous sommes donc en droit de nous demander si la pratique du chant et l'entraînement vocal n'homogénéiserait pas les performances des garçons et des filles avant la mue. En effet, au Conservatoire les enfants travaillent tous le même mécanisme (M2). Toutefois après la mue, les hommes vont préférentiellement utiliser le M1 et les femmes le M2 ce qui, majoré par les différences morphologiques, va entraîner les différences liées au sexe.

## 2.6. Effet de l'âge.

Chez les chanteurs, avant la puberté aucun effet de l'âge n'est relevé sur les paramètres vocaux dans notre étude. Bien que ceci soit en accord avec les résultats de **Pribuisiene, Uloza et coll.** [35], cela infirme notre hypothèse de départ concernant l'effet de l'âge.

Toutefois, chez les témoins on relève un effet positif de l'âge sur tous les paramètres du M1 ce qui est en accord avec les résultats de **Böhme et Stuchlik** [6] qui trouvent une augmentation de la dynamique vers des fréquences plus graves à partir de 10 ans. En revanche, au niveau du M2, un effet inverse est trouvé : l'étendue et l'aire du M2 diminuent avec l'âge tandis que ces mêmes paramètres augmentent pour le M1. Ces résultats soulèvent la question d'une éventuelle restriction des capacités en M2 parallèlement au développement du M1. Néanmoins, ce phénomène observé pourrait n'être que temporaire. Ici aussi, l'effectif réduit ne nous permet pas d'élargir ce constat à l'ensemble de la population.

Les témoins ont de meilleures performances en fonction de l'âge, ce qui n'est pas retrouvé chez les chanteurs. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les chanteurs sont recrutés grâce à l'important niveau de leurs capacités vocales en M2 ; leurs performances déjà élevées évoluent peu avec l'âge. En revanche, les témoins, de par leur niveau moindre, ont encore la possibilité d'évoluer avec l'âge.

Toutefois, on peut supposer que les chanteurs vont évoluer sur un plan qualitatif ce qui pourrait être observé sur un phonétogramme musical, et non physiologique comme nous l'avons fait.

## 2.7. Effet de l'entraînement vocal

- Niveau 0 / témoins

Les débutants du Conservatoire (niveau 0) ont des performances nettement meilleures que celles des témoins. Ceci confirme alors notre hypothèse quant à l'existence d'une dichotomie entre les chanteurs et les non-chanteurs.

Il est à noter que la passion du chant mais aussi l'intérêt porté à notre étude sont des facteurs qui peuvent impacter sur les prestations vocales entre les témoins et les niveaux 0. De plus, les enfants débutants du Conservatoire ont dû passer une audition, et ont donc été choisis selon de nombreux critères. Ainsi, ils ont déjà une certaine prédisposition au chant (justesse, technique, ...). C'est sans doute ce critère de recrutement qui fait la différence entre les chanteurs débutants du Conservatoire et les non-chanteurs (témoins) et permet d'expliquer leurs meilleures performances.

D'après la comparaison entre les chanteurs et les non-chanteurs, la pratique du chant aurait donc un effet sur l'étendue et l'aire, en revanche elle semble n'avoir d'influence que sur le M2 au niveau de l'intensité et de la dynamique. Cela est dû à un recrutement des enfants du Conservatoire pour leurs performances en M2 ce qui constitue un biais, tout comme le travail quasi exclusif du M2 au Conservatoire.

- Niveau 0 / Niveau 3

Nous avons pu constater qu'au sein des chanteurs, il n'y avait pas de d'effet de l'ancienneté de l'entraînement vocal au Conservatoire. **Pribuisiène, Uloza et coll.** [35] et **Schneider, Zumtobel et coll** [43] s'accordent eux aussi à dire qu'il n'y a pas de différence au niveau du phonétogramme quant aux paramètres vocaux.

En revanche dans l'étude longitudinale de Madeleine, nous pouvons noter l'apparition timide du M1 après quelques mois. Il est parallèlement relevé une légère perte au niveau de l'étendue du M2. Toutefois nous ne pouvons pas tirer de conclusion de cette observation : la différence relevée est-elle due à l'évolution des performances entre les deux passages ou à la différence de mesure liée à la variabilité intra-individuelle des performances du sujet (état de santé, échauffement, fatigue, stress) ?

En revanche, nous pouvons nous demander si l'apparition du M1 ne se fait pas au détriment du M2, ne serait-ce que transitoirement, le temps d'acquérir une maîtrise suffisante comme cela a été observé chez les témoins où l'étendue du M2 diminue légèrement avec l'âge.

L'évolution de Madeleine n'est donc pas habituelle. Elle a appris à solliciter son M1 et la dynamique s'est accentuée au cœur du M2, signe d'une dissociation entre la hauteur et l'intensité. Tous ces phénomènes la font passer d'un comportement de non-chanteuse à un comportement de chanteuse.

Toutefois, ceci n'est pas observé dans les deux autres études longitudinales (cf annexes n°15, 16, 17 et 18) ce qui confirmerait qu'il n'y a pas d'effet de l'entraînement vocal avant la mue, contrairement à la supposition que nous avons émise.

Par ailleurs, les capacités physiologiques seraient sélectionnées dès l'audition à l'entrée au Conservatoire. On peut alors penser que ces dernières évolueraient peu, mais que l'entraînement vocal agirait sur la qualité du chant (timbre, agilité, maîtrise), qui n'est toutefois pas évaluée par le phonétogramme physiologique. Cela expliquerait l'absence de différence entre les différents niveaux dans notre étude.

## 2.8. Comparaison enfants / adultes

- Etendue

Dans notre étude, elle avoisine 32 demi-tons chez les enfants, ce qui tend à se rapprocher de celle des adultes (entre 32 et 38 demi-tons pour **Awan** [4]). Ainsi, les valeurs quant à l'étendue générale sont quasiment identiques, chez les adultes et les enfants, comme le confirment **Coleman, Mabis et coll.** [9] ce qui tend à prouver qu'elle est établie très tôt et évolue peu au cours de la vie. Toutefois, elle n'est pas située dans les mêmes octaves ce qui peut s'expliquer par la différence des caractéristiques du larynx. En effet, la taille de l'étendue dépendrait des capacités fonctionnelles (tension du vibrateur) tandis que la place de l'étendue dans les octaves serait plus liée à la morphologie du vibrateur (un petit vibrateur entraîne des sons aigus, et inversement un vibrateur plus gros va donner des sons plus graves).

- Intensité/dynamique

Une grande différence est relevée entre les enfants et les adultes. En effet, nous trouvons une intensité maximale moyenne de 86 dB chez les enfants contre des données s'échelonnant de 98 (**Awan** [4]) à 126 dB (**Coleman, Mabis et coll.** [9]) chez les adultes. Ces derniers ont donc une intensité maximale largement supérieure à celle des enfants, ce qui est en accord avec les recherches de **Coleman, Mabis et coll.** [9].

Quant à l'intensité minimale, les différences sont moindres mais toutefois présentes. En effet les données des adultes s'échelonnent de 47 dB (**Sulter, Schutte et coll.** [49]) à 51 dB (**Coleman, Mabis et coll.** [9]) selon les auteurs, tandis qu'elle est de 53 dB dans notre population. Malgré la proximité des résultats, les adultes ont tout de même une intensité minimale plus basse que celle des enfants.

De par l'intensité minimale plus basse, et l'intensité maximale plus haute, la dynamique des adultes est donc nettement supérieure à celle des enfants selon **Coleman et Mott** [10], ce que nos résultats confirment : l'écart dynamique maximal moyen des enfants est de 21 dB contre 39 dB (**Sulter, Schutte et coll.** [49]) à 55 dB (**Coleman, Mabis et coll.** [9]) en fonction des différentes études menées chez les adultes.

- Aire

Avec une aire de 449 dB.demi-tons, les résultats de notre population sont là encore largement en-deçà de ceux des adultes, qu'ils soient hommes ou femmes, chanteurs ou non. En effet, dans l'étude de **Siupsinskiene et Lycke** [46], les aires sont toutes supérieures à 900 dB.demi-tons.

Etant donné les résultats vus plus haut, l'augmentation de l'aire entre l'enfance et l'âge adulte est certainement corrélée à l'accroissement de la dynamique et non de l'étendue qui n'évolue que très peu, ce qui se justifie par la croissance du larynx et de la force musculaire ainsi qu'une meilleure adaptation du souffle phonatoire.

- Comparaison par mécanismes : (**Roubeau, Castellengo et coll.** [39])

- Au niveau de l'étendue, pour le M1 les données des enfants (15 demi-tons) sont légèrement en-deçà des résultats des femmes (19 demi-tons), mais largement inférieurs aux données du mécanisme préférentiel de l'homme (29 demi-tons). Quant au M2, les données des enfants (25 demi-tons) avoisinent celles des hommes (26 demi-tons) mais sont inférieures à celles de la femme (30 demi-tons).
- Le recouvrement d'étendues des adultes, hommes comme femmes (17 et 15 demi-tons) est nettement au-dessus de celui des enfants (8 demi-tons). Les adultes ont de meilleures performances par rapport aux enfants dans leur mécanisme préférentiel, en revanche la différence tend à disparaître dans l'autre. Ainsi, l'étendue générale des enfants (32 demi-tons) se rapproche de celle des adultes (homme 39 demi-tons, femme 35 demi-tons), chez qui la répartition entre les deux mécanismes est différente selon le sexe.

- La dynamique des adultes (hommes : 32 dB, femme 24 dB) est largement supérieure à celle des enfants (18 dB) dans le M1. Toutefois en M2, celle des enfants (25 dB) est proche de celle des hommes (28 dB) mais reste inférieure à celle des femmes (32 dB).
  - L'aire des adultes concernant le M1 (hommes : 595 dB.demi-tons, femmes : 280 dB.demi-tons) est supérieure à celle des enfants (128 dB.demi-tons). Quant à l'aire du M2, celle des femmes est largement supérieure (595 dB.demi-tons) à celle des enfants (341 dB.demi-tons), qui tend toutefois à se rapprocher de celle des hommes (388 dB.demi-tons).
  - Le recouvrement d'aires des enfants est seulement de 19 dB.demi-tons, ce qui est nettement inférieur à celui des adultes (hommes 116 et femmes 104 dB.demi-tons).
- ➔ **Les adultes ont donc de meilleures performances par rapport aux enfants, qu'il s'agisse du M1 ou du M2 ce qui va dans le sens des résultats trouvés par Roubeau, Castellengo et coll. [39] et Ragot [36]. Toutefois, les données de l'enfant quant au M2 tendent à se rapprocher de celles de l'homme.**

## 2.9. Phonétogramme physiologique versus musical.

Il ressort de nos observations (cf Tab n° 10, 11 et 12) que le phonétogramme musical est plus restreint et reste toujours dans les limites du phonétogramme physiologique. Nos hypothèses sont confirmées par les résultats de **Coleman et Mott** [10] et **Calvet et Malhiac** [7] chez l'enfant ainsi que chez **Ragot** [36] concernant les adultes. La qualité du timbre exigée est différente entre les deux phonétogrammes, ce qui est dû à la qualité d'accolement des plis vocaux.

Le fait que les valeurs du M2 soient supérieures dans le phonétogramme physiologique par rapport à celles du musical, laisse penser que certaines notes sont possibles mais inconfortables et de ce fait non utilisées habituellement. En revanche, le M1 n'étant pas abordé au Conservatoire, il semble logique que la différence soit moins notable entre les deux phonétogrammes. Il est à noter que le M3, pourtant présent dans le phonétogramme physiologique, ne l'est plus dans le musical. En effet ce dernier n'explore pas les limites extrêmes de la voix mais privilégie la qualité du timbre de la note. Il ne s'agit donc pas d'un manque de capacités de sa part mais de notre niveau d'exigence plus élevé.

Nous avons donc pu réaliser à la fois un phonétogramme physiologique et musical chez le même enfant, ce qui est peu retrouvé dans la littérature (**Coleman et Mott** [10]). En général, physiologiques et musicaux sont comparés mais ne proviennent pas des mêmes études, les

populations sont donc différentes. Cette comparaison est intéressante et mériterait d'être appliquée systématiquement sur chaque enfant d'une même étude.

## CONCLUSION

Force est de constater que la voix de l'enfant reste un domaine encore peu étudié, notamment en termes de mécanismes. L'identification de ces derniers ainsi que la terminologie employée, suscitent de nombreux débats et le manque de consensus à ce sujet ne demande qu'à être éclairci. Le phonétogramme, de par sa méthodologie simple et efficace, permet d'explorer de façon fiable et complète le champ de liberté de la voix. Outil reconnu, il est utilisé dans de nombreuses recherches, y compris chez l'enfant.

Au travers d'une population composée de 34 enfants du Conservatoire de Vincennes et de 12 enfants non-chanteurs, nous avons exploré les mécanismes vibratoires laryngés et le champ de liberté de leur voix chantée grâce au phonétogramme.

Nos résultats nous permettent d'affirmer que le M1 est présent avant la mue. En effet, nous avons pu l'objectiver chez tous les enfants excepté trois, ce qui confirme notre hypothèse principale.

Le M2 est lui aussi présent chez tous les enfants et reste le mécanisme le plus développé quels que soient les paramètres. Ainsi, grâce à la présence des deux mécanismes, un phénomène de recouvrement est observé chez la plupart des enfants. Ce dernier se fait beaucoup plus en termes d'étendues que d'aires. Par ailleurs, chez certains sujets, en grande partie chanteurs, nous avons pu constater la présence du M3.

La comparaison entre les performances des adultes et des enfants révèle une étendue du même ordre de grandeur. Ainsi, c'est le développement de la dynamique qui confère aux adultes un meilleur phonétogramme.

Nous avons toutefois eu la surprise de constater que certaines hypothèses que nous avons posées au début de l'étude ont été partiellement réfutées par nos résultats en fonction de la population étudiée. En effet, chez les chanteurs, l'âge et le sexe n'impactent pas sur les paramètres du phonétogramme contrairement à ce qui a été relevé chez les témoins. Chez ces derniers, les garçons sont systématiquement meilleurs que les filles, et les paramètres du M1 évoluent avec l'âge.

Notre étude met en exergue de meilleures capacités chez les chanteurs (y compris les débutants) que chez les non-chanteurs en termes d'étendue, de dynamique et d'aire, comme

nous l'avions supposé. Le travail exclusif du M2 au Conservatoire confère aux chanteurs un M2 beaucoup plus développé que celui des non-chanteurs alors que le M1, non travaillé, est quasi similaire dans les deux populations. La comparaison entre les chanteurs de différents niveaux ne montre pas d'effet de l'entraînement vocal. Ainsi, les capacités des chanteurs, nettement supérieures à celles des non-chanteurs, sont expliquées par l'audition à l'entrée du Conservatoire. C'est donc ce recrutement qui crée la différence entre les deux populations.

D'après nos observations, l'effet de la méthode semble primer sur celui de l'effectif. Ainsi, il paraît primordial de bien en définir tous les paramètres afin de faciliter la comparaison entre les études et de limiter les divergences de résultats.

Nous n'avons pas relevé de différence quantitative entre les groupes de chanteurs. En revanche nous pouvons supposer qu'il existe une amélioration qualitative avec l'entraînement vocal et que de ce fait, ce serait le phonétogramme musical qui évoluerait chez les chanteurs et non le physiologique. Il faudrait donc réaliser les deux types de phonétogrammes pour chaque enfant afin de vérifier cette hypothèse.

De plus, il serait intéressant de réaliser un phonétogramme moyenné par enfant pour limiter les sources de variation. Enfin, dans le but de conforter les résultats du phonétogramme quant à l'identification des mécanismes laryngés, l'électroglottographe serait un outil précieux dans d'éventuelles études ultérieures.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Airainer, R., Klingholz, F. (1993). Quantitative evaluation of phonetograms in the case of functional dysphonia. *Journal of Voice*, 7(2), 136-141.
2. Akerlund, L., Gramming, P., Sundberg, J. (1992). Phonetogram and averages of sound pressure levels and fundamental frequencies of speech: comparison between female singers and nonsingers. *Journal of voice*, 6(1), 55-63.
3. Akerlund, L., Gramming, P. (1994). Average loudness level, mean fundamental frequency, and subglottal pressure : comparison between female singers and nonsingers. *Journal of voice*, 8(3), 263-270.
4. Awan, S.N. (1991). Phonetographic profiles and Fo-SPL characteristics of untrained versus trained vocal groups. *Journal of Voice*, 5(1), 41-50.
5. Bless, D., Baken, R. (1992). International Association of Logopedics and Phoniatics (IALP) voice committee discussion of assessment topics. *Journal of voice*, 6 (2), 194-21.
6. Böhme, G., Stuchlik, G. (1995). Voice profiles and standard voice profile of untrained children. *Journal of voice*, 9(3), 304-307.
7. Calvet, J., Malhiac, G. (1952). Courbes vocales et mues de la voix. *Journal Français d'Oto-Rhino-Laryngologie*, 1(2), 115-124.
8. Casanova, C. (2001). La mue de la voix chez les enfants chanteurs. In *Moyen d'investigation et pédagogie de la voix chantée* – Lyon, 01 (pp. 103-107). Lyon : Symétrie.
9. Coleman, R. F., Mabis, J.H., Hinson, J.K. (1977). Fundamental frequency-sound pressure level profiles of adult male and female voices. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20(2), 197-204.
10. Coleman, R. F., Mott, J. B. (1978). Fundamental frequency and sound pressure level profiles of young female singers. *Folia Phoniatica*, 30(2), 94–102.
11. Coleman, R. F. (1993). Source of variation in phonetogram. *Journal of voice*, 7(1), 1-14.
12. Cornut, G. (1983). *La voix*. Paris : P.U.F, coll. Que sais-je ? n°627, 4<sup>e</sup> édition, 125 p.

13. Cornut, G. (2001). La vibration laryngée. In *Moyen d'investigation et pédagogie de la voix chantée* – Lyon, 01 (pp. 103-107). Lyon : Symétrie.
14. Damsté, P. (1970). The phonetogram. *Practica-Oto-Rhino-Laryngologica*, 32(3), 185-187.
15. Dejonckere, P. (1977), Le phonétogramme, son intérêt clinique. *Les cahiers d'Oto-Rhino-Laryngologie*, 12, 865-872.
16. Fuchs, M., Meuret, S., Thiel, S., Täschner, R., Dietz, A., Gelbrich, G. (2009) Influence of singing activity, age, and sex on voice performance parameters, on subjects' perception and use of their voice in childhood and adolescence. *Journal of voice*, 23(2), 182-189.
17. Glaze, L., Bless, D., Milenkovic, P., Susser, R. (1988). Acoustic characteristics of children's voice. *Journal of voice*, 2(4), 312-319.
18. Gramming, P., Sundberg, J. (1988). Spectrum factors relevant to phonetogram measurement. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83(6), 2352-2360.
19. Gramming, P. Sundberg, J. Ternström, S. Leanderson, R., Perkins, W.H. (1988). Relationship between changes in voice pitch and loudness. *Journal of voice*, 2(2), 118-126.
20. Gramming, P. (1991). Vocal loudness and frequency capabilities of the voice. *Journal of voice*, 5(2), 144–157.
21. Hacki, T., Heitmuller, S. (1999). Development of the child's voice: premutation, mutation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49, 141-144.
22. Hartnick, C. J., Rehbar, R. (2005). Development and maturation of the pediatric human vocal fold lamina propria. *The Laryngoscope*, 115, 4-15.
23. Hirano, M. (1988). Vocal mechanisms in singing: laryngological and phoniatric aspects. *Journal of Voice*, 2(1), 51-69.
24. Husson, R. (1962). *Physiologie de la phonation*. Paris : Masson, 590 p.
25. Komiyama, S., Watanabe, H., Ryu, S. (1984). Phonographic relationship between pitch and intensity of the human voice. *Folia Phoniatica*, 36(1), 1-7.
26. Lamarche, A. (2009). Putting the singing voice on the map. Towards improving the quantitative evaluation of voice status in professional female singers. Thèse de doctorat, KTH School of Computer Science and Communication, Stockholm.

27. Lamesch, S. (2010). Mécanismes laryngés et voyelles en voix chantée. *Dynamique vocale, phonétogrammes de paramètres glottiques et spectraux, transitions de mécanismes*. Thèse de doctorat, Université Paris VI.
28. Le huche, F., Allali, A. (2001). *La voix ; t II : Pathologies vocales d'origine fonctionnelle*. Paris : Masson, coll. Phoniatrie, 3<sup>e</sup> édition, 200 p.
29. Leborgne, W. D., Weinrich, B. D. (2002). Phonetogram changes for trained singers over a nine-month period of vocal training. *Journal of voice*, 16(1), 37-43.
30. Mürbe, D., Sundberg, J., Iwarsson, J., Pabst, F. , Hofmann, G. (1999). Longitudinal study of solo singer education effects on maximum SPL and level in the singers' formant range. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 24(4), 178-186.
31. Nicollas, R., Garrel, R., Ouaknine, M., Giovanni, A., Nazarian, B., Triglia, J.M. (2008). Normal voice in children between 6 and 12 years of age : database and nonlinear analysis. *Journal of voice*, 22(6), 671-675.
32. Pabon, J.P.H., Plomp, R. (1988). Automatic phonetogram recording supplemented with acoustical voice-quality parameters. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31(4), 710-722.
33. Pedersen, M.F., Moller, S., Krabbe, S., Munk, E., Bennett, P. (1985). A multivariate statistical analysis of voice phenomena related to puberty in choir boys. *Folia phoniatica*, 37(5-6), 271-278.
34. Pedersen, M. (1997). Biological development and the normal voice in puberty. Thèse de l'université Ouluensis, Finland.
35. Pribuisiene, R., Uloza, V., Kardisiene, V. (2011). Voice characteristics of children aged between 6 and 13 years: Impact of age, gender, and vocal training. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 36(4), 150-155.
36. Ragot, M. (1997-1998). *Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés et champ de liberté de la voix chantée chez l'enfant et l'adulte*. Mémoire pour l'obtention du certificat de capacités d'orthophoniste, Paris VI, 100pp.
37. Roubeau, B. (1993). Mécanismes vibratoires laryngés et contrôle neuro-musculaire de la fréquence fondamentale. Thèse de doctorat, Université Paris XI, Orsay.
38. Roubeau, B. (2001). Registres vocaux et passages. In *Moyen d'investigation et pédagogie de la voix chantée* – Lyon, 01 (pp. 103-107). Lyon : Symétrie
39. Roubeau, B., Castellengo, M., Bodin, P., Ragot, M. (2004). Phonétogramme par registres laryngés. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 56(5), 321-333.

40. Roubeau, B., Henrich, N., Castellengo, M. (2009). Laryngeal vibratory mechanisms: the notion of vocal register revisited. *Journal of Voice*, 23(4), 425-438.
41. Sarfati, J. (1998). Le chant chez l'enfant et ses difficultés. *Rééducation Orthophonique*, 194, 51-55.
42. Sarfati, J. (2001). La voix de l'enfant qui chante. In *Moyen d'investigation et pédagogie de la voix chantée* – Lyon, 01 (pp. 103-107). Lyon : Symétrie.
43. Schneider, B., Zumtobel, M., Prettenhofer, W., Aichstill, B. , Jocher, W. (2010). Normative voice range profiles in vocally trained and untrained children aged between 7 and 10 years. *Journal of voice*, 24(2), 153-160.
44. Schutte, H., Seidner, W. (1983). Recommendations by the Union of European Phoniaticians (UEP): Standardizing voice area measurement/phonetography. *Folia Phoniatica*, 35(6), 286-288.
45. Sergeant, D.C., Welch, GF. (2008). Age related changes in the long-term average spectra of children's voices. *Journal of Voice*, 22(6), 658-670.
46. Siupsinskiene, N., Lycke, H. (2011). Effects of vocal training on singing and speaking voice characteristics in vocally healthy adults and children based on choral and nonchoral data. *Journal of voice*, 25(4), 177-189.
47. Stout, B. (1938). The harmonic structure of vowels in singing in relation to pitch and intensity. *Journal of the acoustical society of America*, 10(2), 137-146.
48. Sulter, A.M., Wit, H.P. Schutte, H.K., Miller, D.G. (1994). A structured approach to voice range profile (phonetogram) analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 37(5), 1076-1085.
49. Sulter, A.M., Schutte, H.K., Miller, D.G. (1995). Differences in phonetogram features between male and female subjects with and without vocal training. *Journal of voice*, 9(4), 363-377.
50. Van oordt, H.W.A., Drost, H.A. (1963). Development of the frequency range of the voice in children. *Folia Phoniatica*, 15(4), 289-298.
51. Woisard, V., Percodani, J., Serrano, E., Pessay, J.J. (1996). The voice of the child, morphological evolution of the larynx and its acoustic consequences. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, 117(4), 313-317.
52. Wolf, S.K., Sette, J.W. (1935). Some applications of modern acoustic apparatus. *Journal of the acoustical society of America*, 6(3), 160-168.

53. Wolf, K., Stanley, D., Sette, W.J. (1935). Quantitative studies on the singing voice. *Journal of the acoustical society of America*, 6(3), 255-266.
54. Wuyts, FL., Heylen, L., Mertens, F., De Bodt, M., Van de Heyning, PH. (2002). Normative voice range profiles of untrained boys and girls. *Journal of Voice*, 16(4), 460-465.

## ANNEXES

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Filles	0	0	1	0	1	1	1	0	4
Totaux âge	0	1	2	0	1	1	1	0	<b>6</b>

Annexe n° 1 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 0.

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	1	0	0	1	0	0	0	0	2
Filles	0	0	3	0	1	0	1	0	5
Totaux âge	1	0	3	1	1	0	1	0	<b>7</b>

Annexe n° 2 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 1.

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Filles	0	2	3	3	0	0	0	0	8
Totaux âge	0	2	3	5	0	0	0	0	<b>10</b>

Annexe n° 3 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 2.

	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans	13 ans	14 ans	15 ans	Totaux sexe
Garçons	0	0	2	2	1	0	0	1	6
Filles	0	0	0	1	0	3	1	0	5
Totaux âge	0	0	2	3	1	3	1	1	<b>11</b>

Annexe n° 4 : Répartition des enfants chanteurs du niveau 3.

Sujet	Niveau	Sexe	Âge	Taille	Poids	Musicien	Environnement musical	Voix parlée
Barbara	0	♀	14 ans	1m56	48 kg	1	1	M1
Clara	0	♀	10 ans	1m41	34 kg	1	1	M2
Corentin	0	♂	9 ans	1m37	27,5 kg	1	1	M2
Juliette	0	♀	12 ans	1m63	47 kg	1	1	M2
Kaisha	0	♀	13 ans	1m52	39 kg	1	1	M2
Yvan	0	♂	10 ans	1m33	29 kg	1	1	M2
Alix	1	♀	10 ans	1m45	40 kg	1	1	M2
Charles	1	♂	11 ans	1m53	38 kg	1	1	M2
Clara L.	1	♀	10 ans	1m36	28 kg	1	0	M2
Léna	1	♀	14 ans	1m72	60 kg	1	1	M2
Madeleine	1	♀	10 ans	1m43	30 kg	1	1	M2
Raphaël	1	♂	8 ans	1m30	25 kg	1	1	M2
Zelda	1	♀	12 ans	1m65	40 kg	1	1	M2
Anastasia	2	♀	10 ans	1m42	48 kg	1	1	M2
Antonin	2	♂	11 ans	1m45	33,5 kg	1	0	M2
Eline	2	♀	10 ans	1m56	38,5 kg	1	1	M2
Isée	2	♀	10 ans	1m40	28 kg	1	1	M2
Lucie	2	♀	9 ans	1m34	24,5 kg	1	1	M2
Margot	2	♀	11 ans	1m53	39,5 kg	1	1	M2
Sarah	2	♀	11 ans	1m47	46 kg	0	0	M2
Solal	2	♂	11 ans	1m45	32 kg	1	1	M1
Stella	2	♀	11 ans	1m45	35 kg	1	1	M2
Vassilissa	2	♀	9 ans	1m47	39 kg	1	0	M2
Adriana	3	♀	11 ans	1m50	50 kg	1	0	M2
Adrien	3	♂	10 ans	1m51	42 kg	1	1	M2
Charlotte	3	♀	13 ans	1m62	43 kg	1	1	M2
Clement	3	♂	12 ans	1m52	40 kg	1	0	M2
Eloi	3	♂	10 ans	1m53	34 kg	1	1	M2
Esther	3	♀	13 ans			1	1	M2
Hugo	3	♂	11 ans	1m42	38,5 kg	1	1	M2
Mahmoud	3	♂	15 ans	1m77	57 kg	1	0	M2
Margot L.	3	♀	13 ans	1m60	40 kg	1	1	M2
Marie	3	♀	14 ans	1m53	42 kg	1	1	M2
Tanguy	3	♂	11 ans	1m41	37 kg	1	1	M2

**Annexe n° 5 : Questionnaire chanteurs.**

Sujet	Sexe	Âge	Taille	Poids	Musicien	Environnement musical	Voix parlée
Nadège	♀	10 ans	1m36	27 kg		Père : piano	M2
Anaïs	♀	13 ans	1m44	32 kg		Père : piano	M2
Arthur	♂	11 ans	1m55	39 kg			M2
Tony	♂	13 ans	1m45	70 kg			M1
Ryan	♂	12 ans	1m59	45 kg	2ème année de guitare	Mère : piano Sœur : guitare	M2
Jade	♀	12 ans	1m45	34kg	2ème année de piano	Mère + frère : guitare	M2
Steeven	♂	9 ans	1m26	20 kg	A commencé le piano cette année	Sœur : piano	M2
Tiphaine	♀	10 ans	1m30	29 kg		Sœur : piano	M2
Léonie	♀	10 ans	1m45	45 kg	4ème année de violon		M2
Lucas	♂	10 ans	1m34	31 kg			M2
Malo	♂	11 ans	1m50	37 kg			M2
Jeanne	♀	9 ans	1m30	25 kg			M2

**Annexe n° 6 : Questionnaire témoins.**

<b>Enfants</b>	<b>Niveau</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I ^II</b>	<b>Générale</b>
Barbara	0	9	22	1	29
Clara	0	19	24	9	33
Corentin	0	18	25	7	36
Juliette	0	11	29	8	32
Kaisha	0	21	28	14	36
Yvan	0	21	17	9	29
<b>Moyenne niveau 0</b>		<b>16,5</b>	<b>24,2</b>	<b>8</b>	<b>32,5</b>
Alix	1	13	27	9	31
Charles	1	12	30	9	33
Clara.L	1	17	24	9	32
Lena	1	16	30	11	35
Madeleine	1	0	32	0	32
Raphael	1	10	18	2	23
Zelda	1	18	28	11	35
<b>Moyenne niveau 1</b>		<b>12,4</b>	<b>27</b>	<b>7,3</b>	<b>31,7</b>
Anastasia	2	18	24	13	29
Antonin	2	12	27	9	30
Eline	2	19	26	13	32
Isee	2	18	15	7	26
Lucie	2	15	22	7	30
Margot	2	9	26	3	32
Sarah	2	26	22	11	37
Solal	2	15	28	9	36
Stella	2	19	21	9	31
Vassilissa	2	16	21	5	32
<b>Moyenne niveau 2</b>		<b>16,7</b>	<b>23,2</b>	<b>8,6</b>	<b>31,5</b>
Adriana	3	20	28	15	33
Adrien	3	7	26	1	31
Charlotte	3	14	23	8	29
Clement	3	18	19	10	27
Eloi	3	18	31	13	36
Esther	3	15	23	5	35
Hugo	3	16	18	8	26
Mahmoud	3	15	28	13	30
Margot. L	3	11	31	5	37
Marie	3	18	23	11	30
Tanguy	3	18	26	9	35
<b>Moyenne niveau 3</b>		<b>15,5</b>	<b>25,1</b>	<b>8,9</b>	<b>31,7</b>
<b>Moyenne Totale</b>		<b>15,3</b>	<b>24,9</b>	<b>8,2</b>	<b>31,9</b>

**Annexe n° 7 : Etendue des chanteurs (en demi-tons).**

Mécanisme	I		II		I^II		G	
	Note min	Note max						
Adriana	Fa 2	Do 4	La#2	Do#5	La#2	Do 4	Fa 2	Do#5
Adrien	Sol#2	Do#3	Do#3	Ré 5	Do#3	Do#3	Sol#2	Ré 5
Alix	Sol#2	Sol#3	Do 3	Ré 5	Do 3	Sol#3	Sol#2	Ré 5
Anastasia	Fa#2	Si 3	Si 2	La#4	Si 2	Si 3	Fa#2	La#4
Antonin	Fa 2	Mi 3	Sol#2	La#4	Sol#2	Mi 3	Fa 2	La#4
Barbara	Fa 2	Do 3	Do 3	La 4	Do 3	Do 3	Fa 2	La 4
Charles	Fa#2	Fa 3	La 2	Ré 5	La 2	Fa 3	Fa#2	Ré 5
Charlotte	Sol 2	Sol#3	Do#3	Si 4	Do#3	Sol#3	Sol 2	Si 4
Clara	Fa#2	Do 4	Mi 3	Ré#5	Mi 3	Do 4	Fa#2	Ré#5
Clara L	Sol 2	Si 3	Ré#3	Ré 5	Ré#3	Si 3	Sol 2	Ré 5
Clément	Fa 2	La#3	Do#3	Sol4	Do#3	La#3	Fa 2	Sol 4
Corentin	Fa#2	Si 3	Fa 3	Fa 5	Fa 3	Si 3	Fa#2	Fa 5
Eline	Fa 2	Si 3	Si 2	Do 5	Si 2	Si 3	Fa 2	Do 5
Eloi	Ré 2	Sol 3	Sol 2	Do#5	Sol 2	Sol 3	Ré 2	Do#5
Hugo	Fa#2	La 3	Ré 3	Sol 4	Ré 3	La 3	Fa#2	Sol 4
Isée	Fa 2	La#3	Mi 3	Fa#4	Mi 3	La#3	Fa 2	Fa#4
Juliette	Fa 2	Ré#3	Sol#2	Do 5	Sol#2	Ré#3	Fa 2	Do 5
Kaisha	Fa 2	Ré 4	Do#3	Mi 5	Do#3	Ré 4	Fa 2	Mi 5
Léna	Ré#2	Fa#3	Sol#2	Do#5	Sol#2	Fa#3	Ré#2	Do#5
Lucie	Sol#2	La#3	Mi 3	Do#5	Mi 3	La#3	Sol#2	Do#5
Madeleine			La#2	Fa 5			La#2	Fa 5
Mahmoud	Ré#2	Fa 3	Fa 2	Sol#4	Fa 2	Fa 3	Ré#2	Sol#4
Margot	Fa#2	Ré 3	Do 3	Do#5	Do 3	Ré 3	Fa#2	Do#5
Margot L	Fa#2	Mi 3	Do 3	Fa#5	Do 3	Mi 3	Fa#2	Fa#5
Raphaël	Si 2	Sol#3	Mi 3	La 4	Mi 3	Sol#3	Si 2	La 4
Sarah	Ré#2	Mi 4	Fa#3	Ré#5	Fa#3	Mi 4	Ré#2	Ré#5
Solal	Fa#2	Sol#3	Do 3	Fa 5	Do 3	Sol#3	Fa#2	Fa 5
Stella	Fa#2	Do 4	Mi 3	Do 5	Mi 3	Do 4	Fa#2	Do 5
Tanguy	Mi 2	La 3	Do#3	Ré 5	Do#3	La 3	Mi 2	Ré 5
Vassilissa	Fa#2	La 3	Fa 3	Do#5	Fa 3	La 3	Fa#2	Do#5
Yvan	Fa 2	Do#4	Fa 3	La 4	Fa 3	Do#4	Fa 2	La 4
Zelda	Ré 2	Sol 3	La 2	Do 5	La 2	Sol 3	Ré 2	Do 5

**Annexe n° 8 : Notes extrêmes des chanteurs.**

Mécanismes		I				II			
Enfants	Niveau	Int max	Int min	Dyn Max	Dyn Moy	Int max	Int min	Dyn Max	Dyn Moy
Barbara	0	68	53	11	5	84	57	20	11
Clara	0	85	54	20	15	78	55	17	11
Corentin	0	82	46	16	11	85	48	24	19
Juliette	0	78	55	12	7	98	54	31	18
Kaisha	0	88	54	21	14	105	53	32	19
Yvan	0	97	60	20	11	86	63	18	10
Moyenne niveau 0		83	54	17	10	89	55	24	15
Alix	1	84	57	21	13	90	52	27	22
Charles	1	78	53	19	18	94	52	34	16
Clara.L	1	74	50	16	9	86	50	25	18
Lena	1	94	54	30	21	98	47	42	29
Madeleine	1	62	X	0	0	86	59	14	7
Raphael	1	70	53	11	10	80	53	20	16
Zelda	1	79	50	14	10	91	49	23	18
Moyenne niveau 1		77	53	16	11	89	52	26	18
Anastasia	2	86	42	26	20	87	46	27	17
Antonin	2	78	57	16	10	84	50	23	18
Eline	2	81	56	19	12	89	56	25	17
Isee	2	80	53	19	14	84	54	23	17
Lucie	2	78	57	12	6	89	52	22	15
Margot	2	71	58	16	7	104	54	32	18
Sarah	2	86	54	23	12	94	61	26	18
Solal	2	82	51	25	12	98	52	31	26
Stella	2	77	53	20	13	86	54	24	17
Vassilissa	2	79	56	20	11	85	57	22	16
Moyenne niveau 2		80	54	20	12	90	54	26	18
Adriana	3	90	55	12	6	91	50	23	18
Adrien	3	72	59	11	6	95	51	25	18
Charlotte	3	77	57	12	8	94	63	16	10
Clement	3	89	55	11	7	102	55	26	20
Eloi	3	86	53	15	9	86	51	21	18
Esther	3	83	58	10	6	96	50	31	23
Hugo	3	83	55	28	17	99	51	34	29
Mahmoud	3	87	58	20	14	89	53	12	8
Margot. L	3	84	56	23	15	95	50	27	19
Marie	3	81	47	21	14	90	48	20	12
Tanguy	3	94	54	33	21	101	42	29	23
Moyenne niveau 3		84	55	18	11	94	51	24	18
Moyenne Totale		81	54	18	11	91	53	25	17

**Annexe n° 9 : Intensités maximales et minimales et écarts dynamiques maximaux et moyens des chanteurs (en dB).**

Mécanisme	Niveau	I	II	I^II	G
Barbara	0	29	206	0	234
Clara	0	241	229	46	424
Corentin	0	190	384	55	519
Juliette	0	63	351	0	412
Kaisha	0	125	407	23	509
Yvan	0	121	180	0	301
Moyenne		128	293	21	400
Alix	1	61	425	0	486
Charles	1	105	394	0	499
Clara L.	1	89	277	0	366
Lena	1	304	737	56	985
Madeleine	1	0	216	0	216
Raphael	1	67	198	0	265
Zelda	1	134	348	34	448
Moyenne		108	371	13	466
Anastasia	2	224	327	65	485
Antonin	2	99	430	29	500
Eline	2	112	330	34	408
Isee	2	153	204	0	357
Lucie	2	82	295	0	376
Margot	2	47	426	0	472
Sarah	2	160	323	0	483
Solal	2	169	382	11	540
Stella	2	189	240	0	429
Vassilissa	2	150	271	33	388
Moyenne		138	323	17	444
Adriana	3	114	356	0	470
Adrien	3	27	512	0	539
Charlotte	3	61	211	0	272
Clement	3	75	258	0	332
Eloi	3	148	358	21	485
Esther	3	55	319	0	374
Hugo	3	130	393	0	523
Mahmoud	3	202	230	0	432
Margot L.	3	95	581	8	667
Marie	3	201	221	134	288
Tanguy	3	333	570	100	803
Moyenne		131	364	24	471
Moyenne Totale		128	341	19	449

**Annexe n° 10** : Aires des chanteurs (en dB.demi-tons).

<b>Enfants</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I ^ II</b>	<b>Générale</b>
Lucas	11	12	5	19
Steeven	8	20	5	23
Tiphaine	4	24	0	28
Leonie	3	25	0	28
Arthur	18	18	11	25
Tony	16	13	4	25
Ryan	19	19	9	29
Jade	13	14	2	25
Anais	11	11	1	21
Nadege	0	20	0	20
Jeanne	0	24	0	24
Malo	14	22	4	32
<b>Moyenne</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>25</b>

**Annexe n° 11** : Etendue des témoins (en demi-tons).

Mécanisme	I		II		I <sup>^</sup> II		G	
	Note min	Note max	Note min	Note max	Note min	Note max	Note min	Note max
Lucas	Sol#2	Fa#3	Ré 3	Ré 4	Ré 3	Fa # 3	Sol#2	Ré 4
Steeven	Si 2	Fa#3	Ré 3	La 4	Ré 3	Fa # 3	Si 2	La 4
Tiphaine	Sol 2	La#2	Si 2	La#4			Sol 2	La#4
Leonie	Sol#2	La#2	Si 2	Si 4	Si 2	La#2	Sol#2	Si 4
Arthur	Sol 2	Do 4	Ré 3	Sol 4	Ré 3	Do 4	Sol 2	Sol 4
Tony	Fa#2	La 3	Fa#3	Fa#4	Fa#3	La 3	Fa#2	Fa#4
Ryan	Mi 2	La#3	Ré 3	Sol#4	Ré 3	La#3	Mi 2	Sol#4
Jade	Fa#2	Fa#3	Fa 3	Fa#4	Fa 3	Fa#3	Fa#2	Fa#4
Anais	La 2	Sol 3	Sol 3	Fa 4	Sol 3	Sol 3	La 2	Fa 4
Nadege			La#2	Fa 4			La#2	Fa 4
Jeanne			La 2	La 4			La 2	La 4
Malo	Sol 2	Sol#3	Fa 3	Ré 5	Fa 3	Sol#3	Sol 2	Ré 5

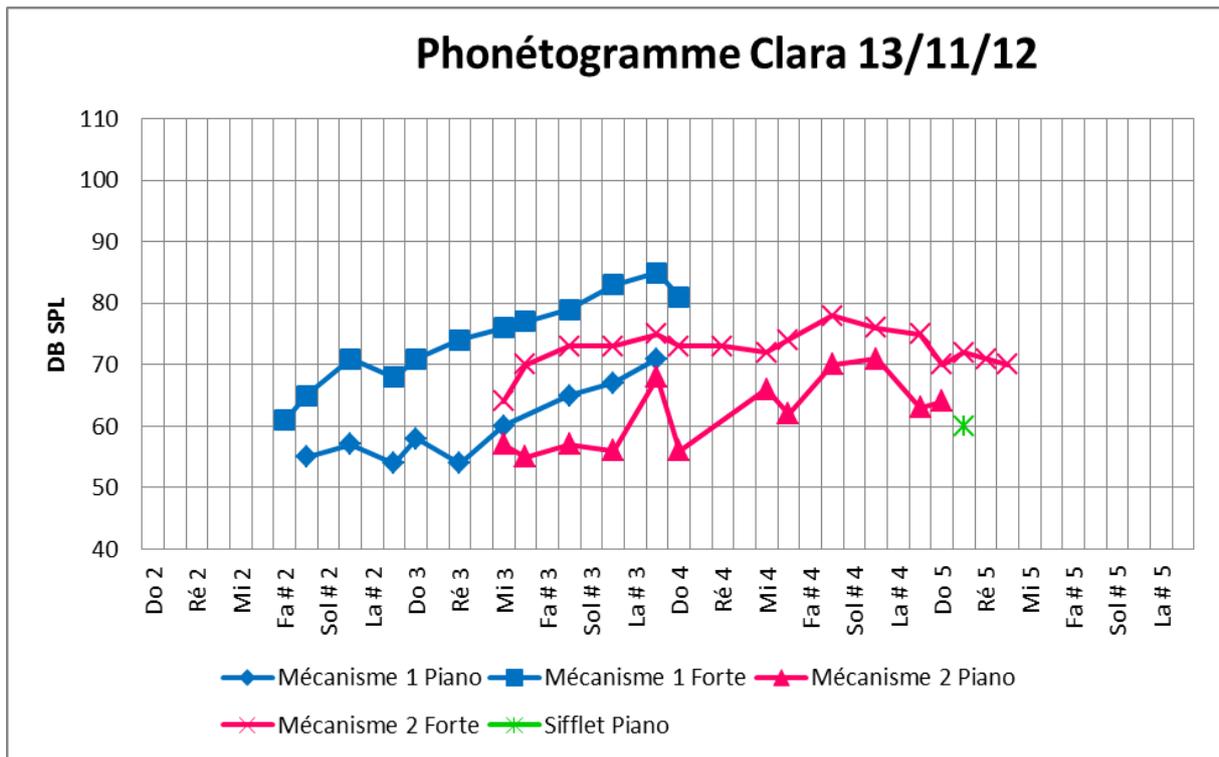
**Annexe n° 12: Notes extrêmes des témoins.**

Mécanismes	I				II			
	Int max	Int min	Dyn Max	Dyn Moy	Int max	Int min	Dyn Max	Dyn Moy
Lucas	88	54	27	21	83	61	17	13
Steeven	70	58	7	6	76	54	18	11
Tiphaine	64	51	9	6	71	57	12	7
Leonie	70	61	9	7,3	84	54	24	14
Arthur	83	61	17	14	83	61	19	15
Tony	88	61	25	20	83	62	19	17
Ryan	83	55	23	12	81	60	13	9
Jade	80	62	11	7	85	62	16	11
Anais	82	63	16	12	82	63	15	10
Nadege	0	0	0	0	84	57	17	11
Jeanne	0	0	0	0	83	49	29	22
Malo	81	55	19	12	88	63	23	17
Moyenne	66	48	14	10	82	59	19	13

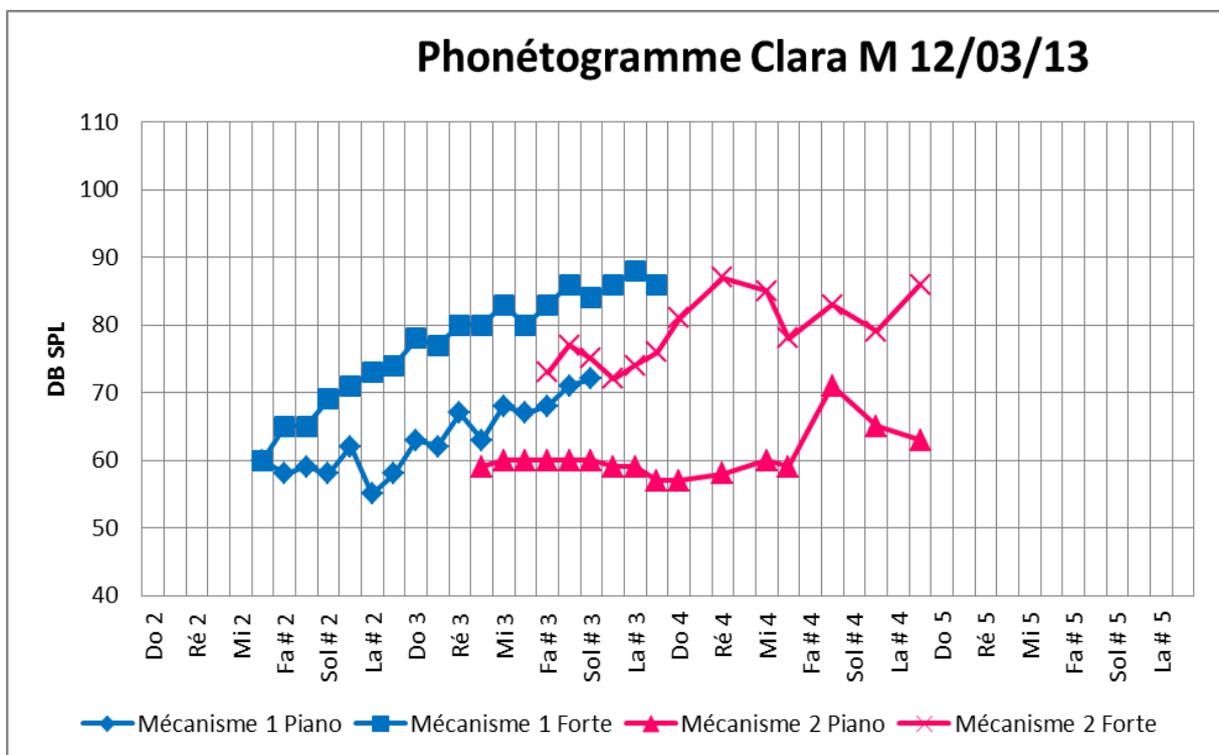
**Annexe n° 13** : Intensités maximales et minimales et écarts dynamiques maximaux et moyens des témoins (en dB).

<b>Mécanisme</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>I^II</b>	<b>G</b>
Lucas	89	79	0	168
Steeven	6	171	0	177
Tiphaine	12	155	0	167
Leonie	15	268	0	282
Arthur	172	211	36	346
Tony	202	100	0	302
Ryan	144	115	0	259
Jade	72	142	0	213
Anais	64	88	0	151
Nadege	0	183	0	183
Jeanne	0	481	0	481
Malo	109	253	0	361
<b>Moyenne</b>	<b>74</b>	<b>187</b>	<b>3</b>	<b>257</b>

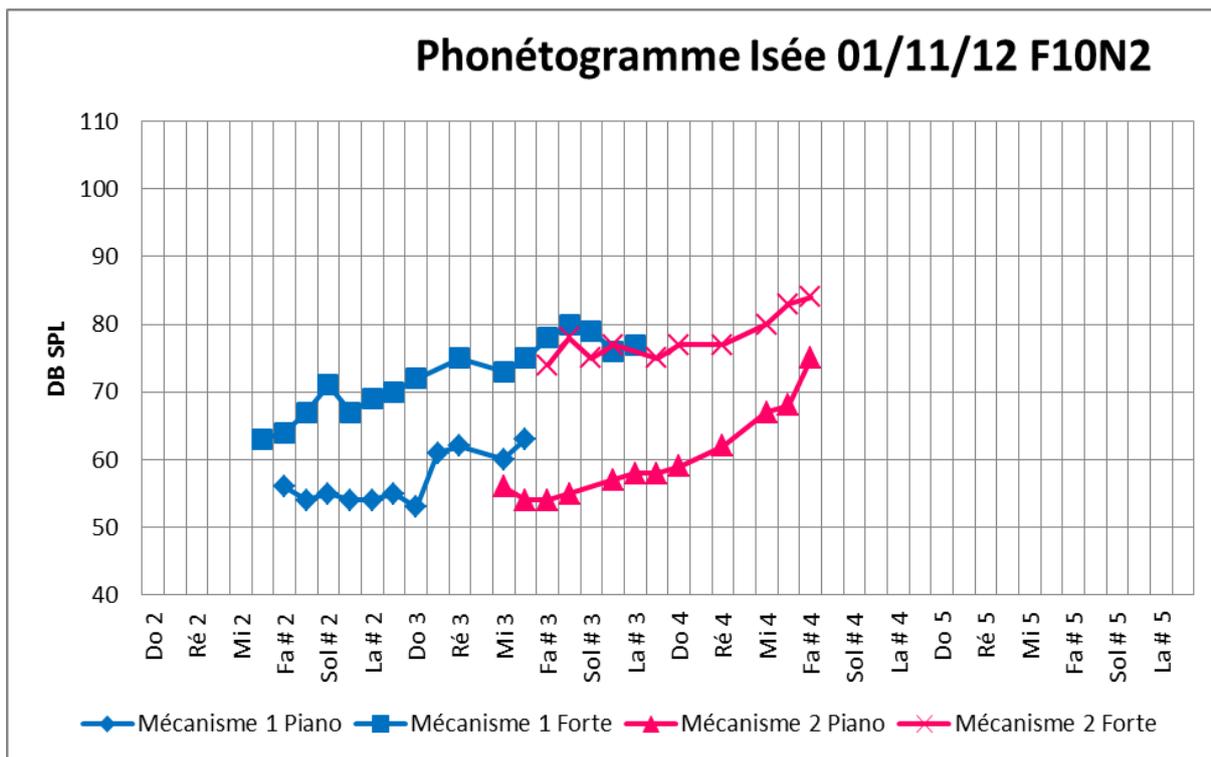
Annexe n° 14 : Aires des témoins (en dB.demi-tons).



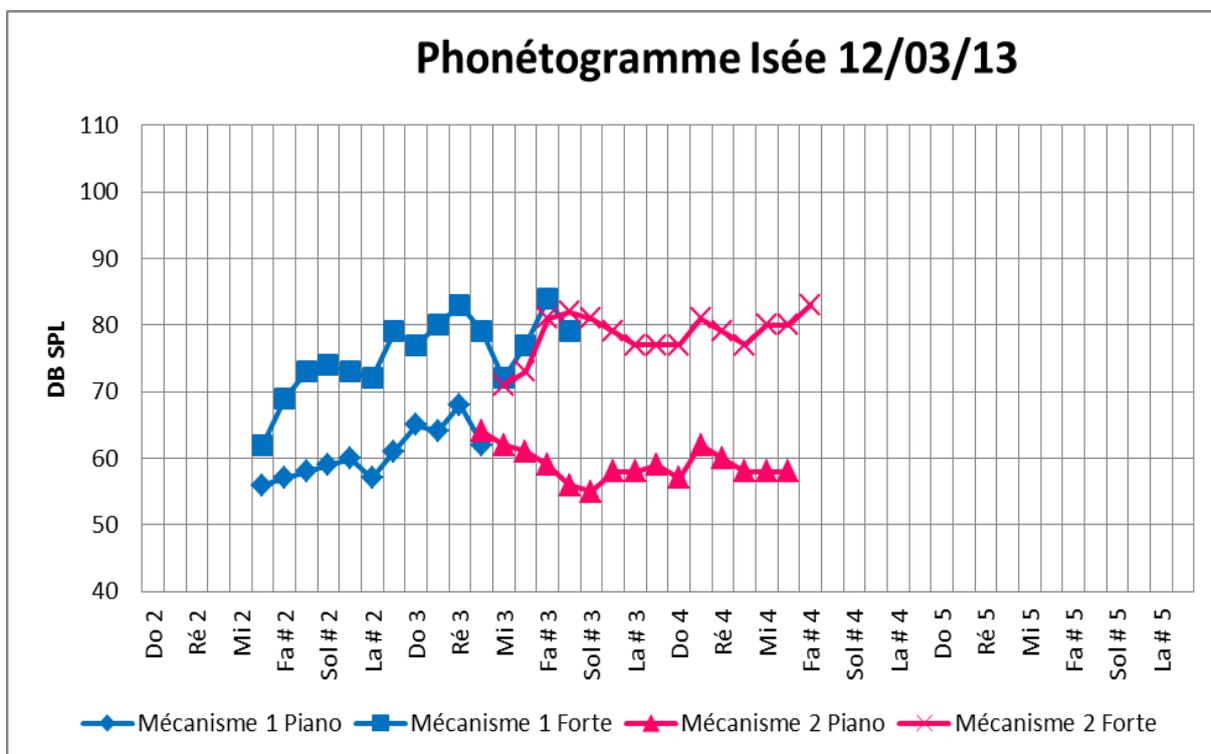
**Annexe n° 15** : Etude longitudinale, phonétogramme de Clara M, le 13/11/12



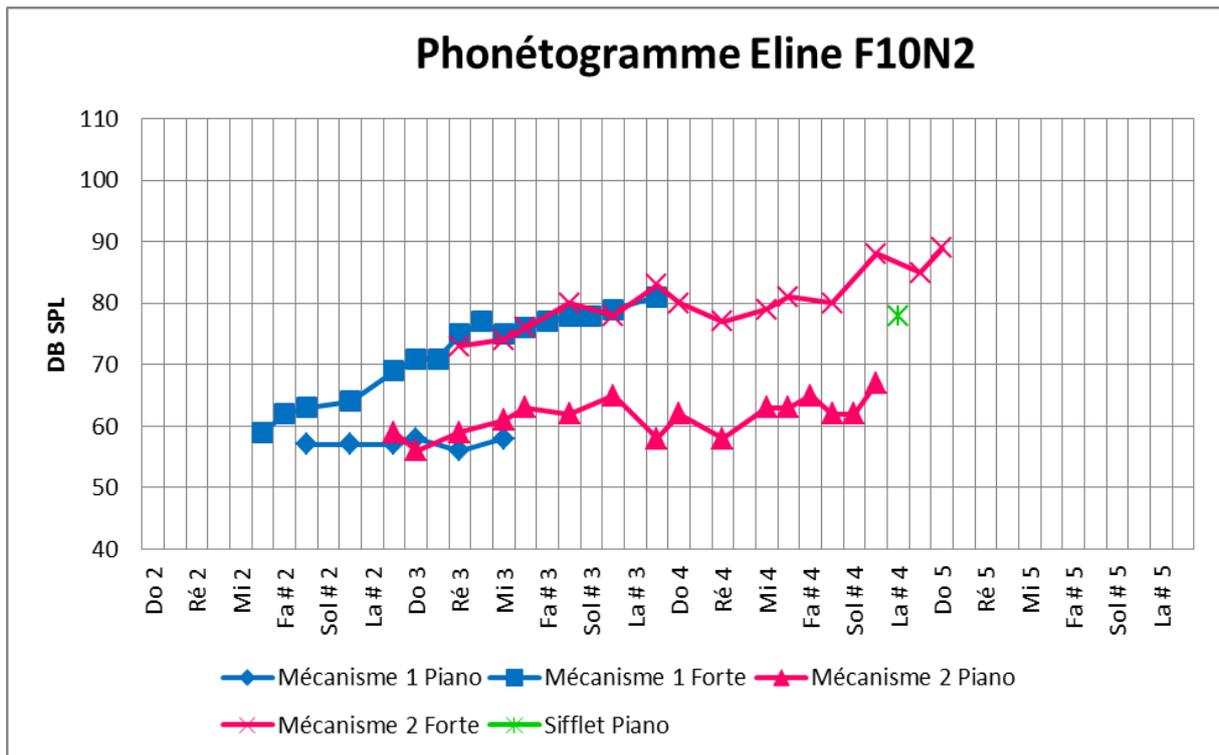
**Annexe n° 16** : Etude longitudinale, phonétogramme de Clara M, le 12/03/13



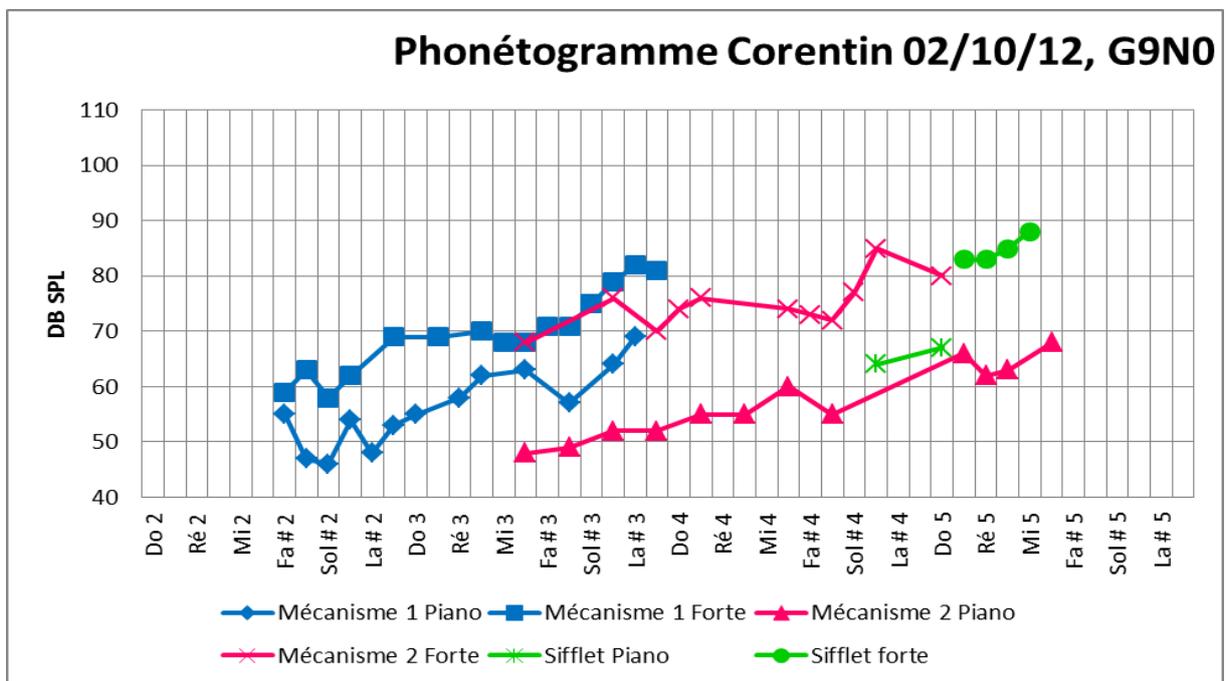
**Annexe n°17 : Etude longitudinale, phonétogramme d'Isée, le 01/11/12**



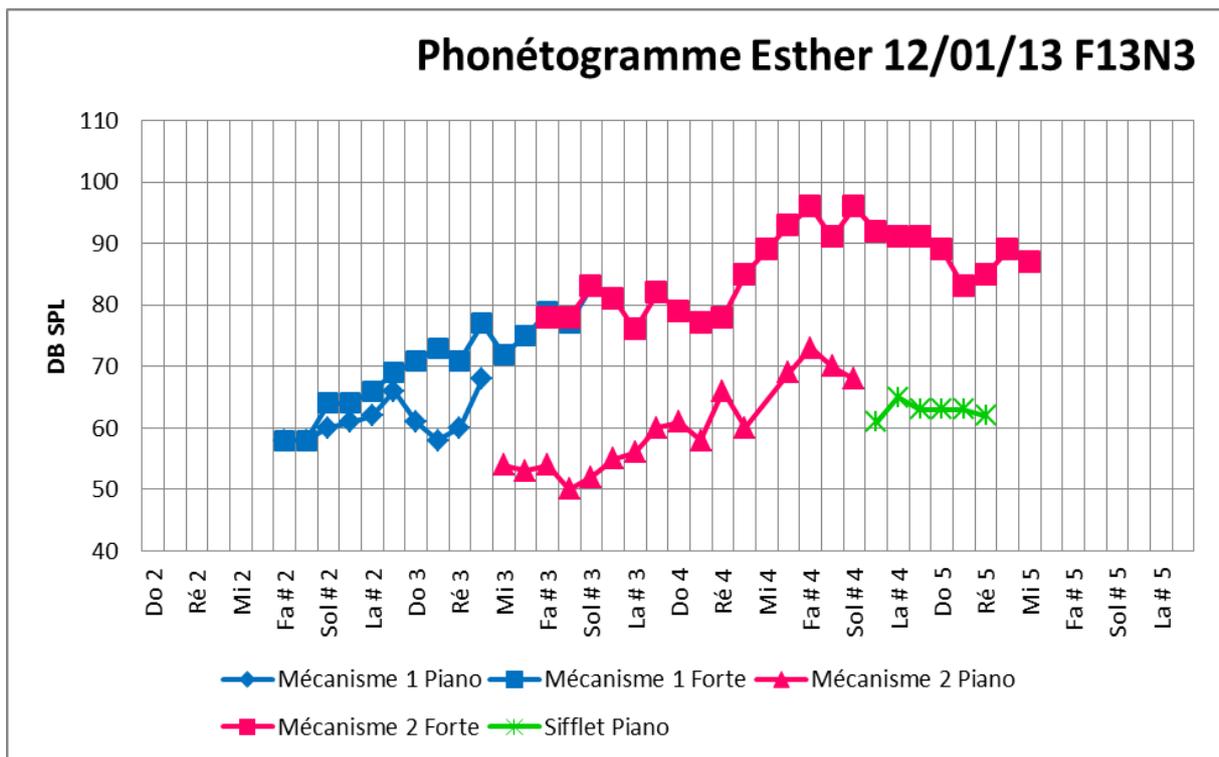
**Annexe n°18 : Etude longitudinale, phonétogramme d'Isée, le 12/03/12**



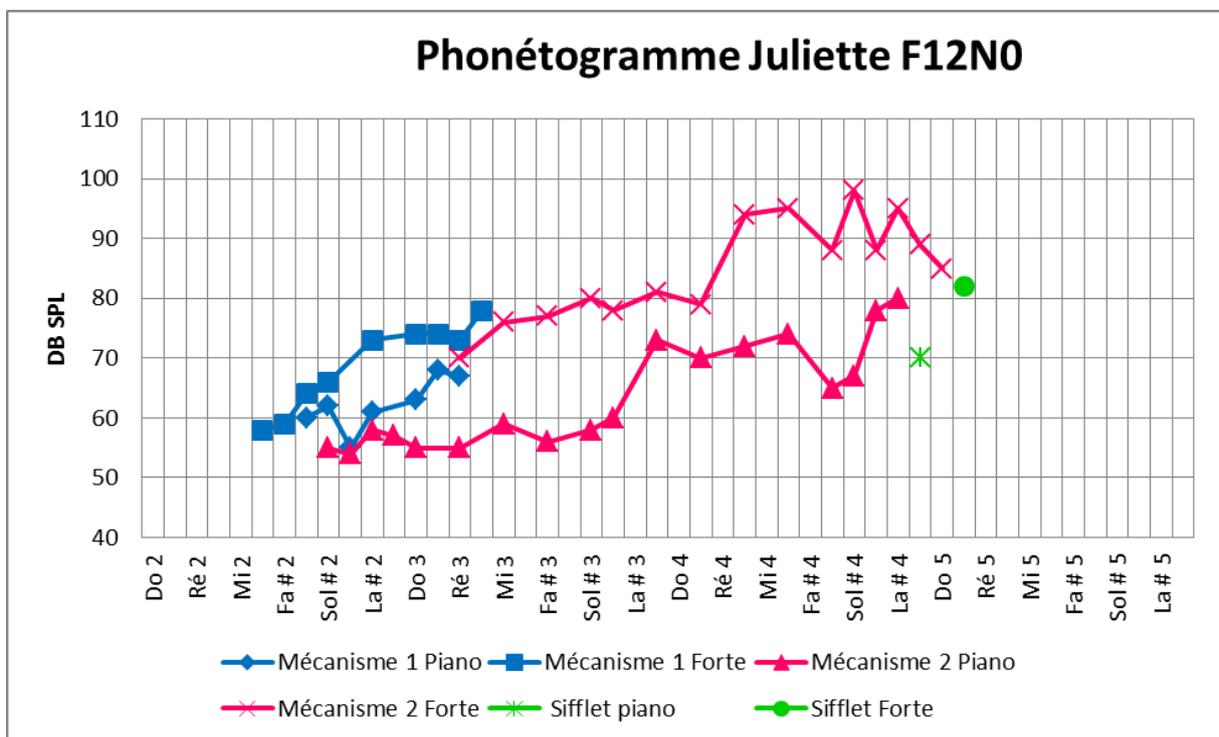
Annexe n°19 : Phonétogramme d'Eline.



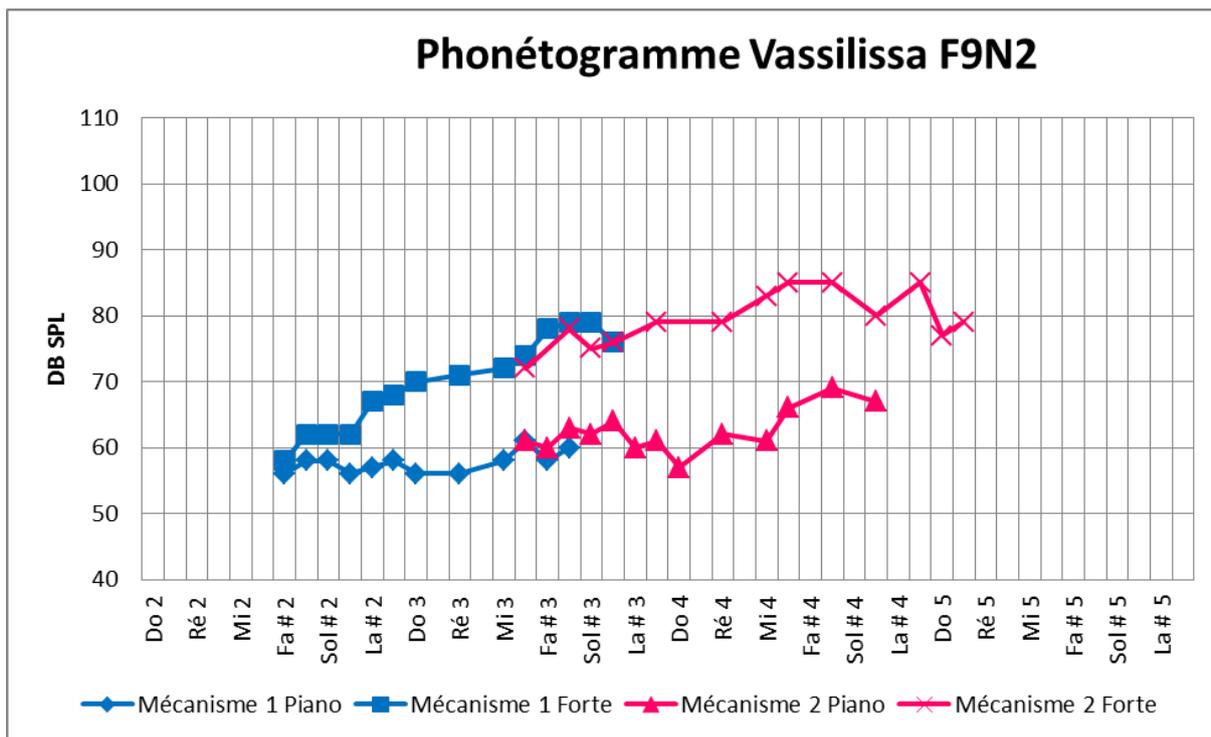
Annexe n°20 : Phonétogramme de Corentin.



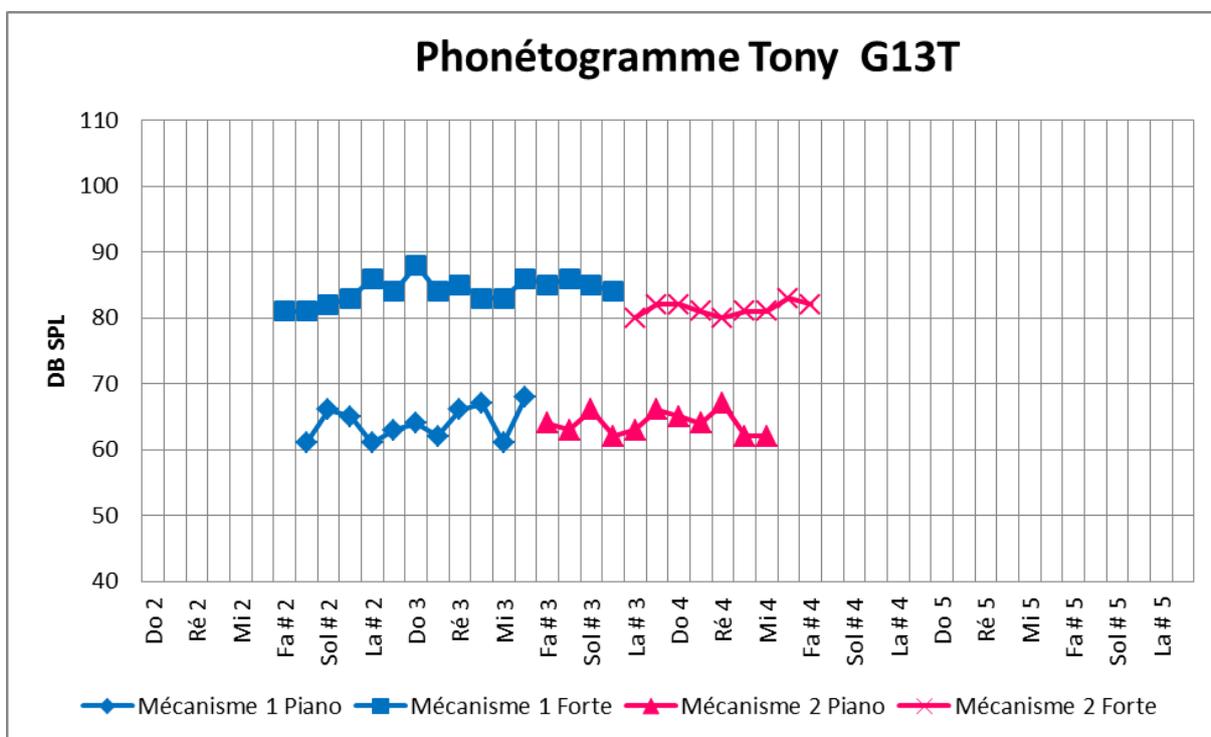
Annexe n° 21 : Phonétogramme d'Esther.



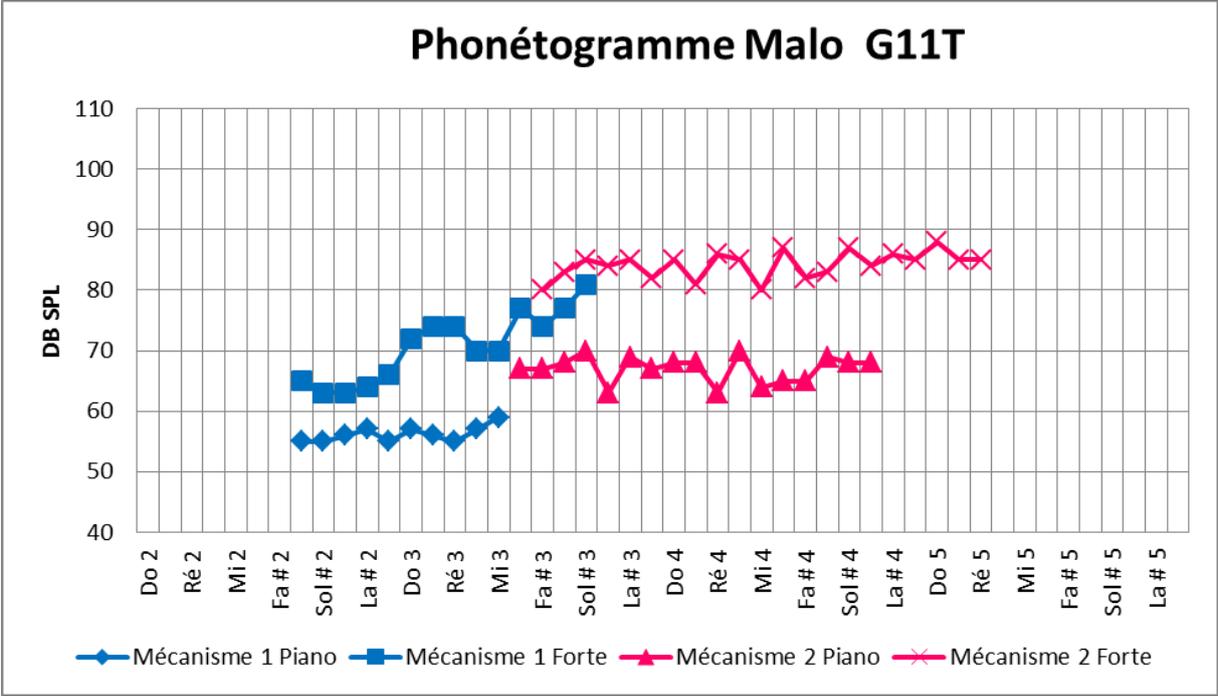
Annexe n° 22 : Phonétogramme de Juliette.



Annexe n° 23 : Phonétogramme de Vassilissa.



Annexe n°24 : Phonétogramme d'un témoin.



**Annexe n° 25 : Phonétogramme d'un témoin.**

# PHONETOGRAMMES DES MECANISMES VIBRATOIRES LARYNGES CHEZ L'ENFANT

## Résumé

Le phonétogramme en tant qu'outil d'investigation nous a permis d'explorer les mécanismes vibratoires laryngés chez l'enfant et son champ de liberté. Ainsi la question s'est-elle posée des facteurs les plus prégnants quant au développement de la voix de l'enfant. Il ressort avant tout que le mécanisme 1 est présent avant la puberté. Bien qu'aucun effet de l'entraînement vocal ne soit retrouvé au sein des chanteurs, ils présentent de meilleures capacités que les non-chanteurs. Aucun effet du sexe ni de l'âge n'est relevé chez les chanteurs.

Mots-clés :

- Phonétogramme
- Mécanismes vibratoires laryngés
- Enfants
- Chanteurs
- Non-chanteurs
- Voix chantée

Nombre de pages : 95 dont 17 pages d'annexes

Nombre de références bibliographiques : 54

## Abstract

Voice range profile has allowed us to explore children's laryngeal vibratory mechanisms and the limits of their voices. We wanted to find out what were the most influential factors in the development of children's voice. The role of mechanism 1 prior to puberty was objectified. No impact of vocal training was evidenced for singers, however the singers present better capacities than the nonsingers. No impact of age or sex was evidenced in singers.

Key words :

- Voice range profile
- Laryngeal vibratory mechanisms
- Children
- Singers
- Nonsingers
- Singing voice