



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



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

Par

**COURBIS Anne**  
**MONTERYMARD Stéphanie**

**LA VOIX DE L'ENFANT PREPUBERE DE 8 A 10 ANS:**

*Etendue vocale et mécanismes laryngés*

Directeurs de Mémoire

**HENRICH Nathalie**

**SARFATI Jocelyne**

Membres du Jury

**GAUTHIER Jérôme**

**GENTIL Claire**

**LANDREAU Isabelle**

Date de Soutenance

**26 juin 2014**

---

# ORGANIGRAMMES

---

## 1. Université Claude Bernard Lyon1

Président  
**Pr. GILLY François-Noël**

Vice-président CEVU  
**M. LALLE Philippe**

Vice-président CA  
**M. BEN HADID Hamda**

Vice-président CS  
**M. GILLET Germain**

Directeur Général des Services  
**M. HELLEU Alain**

### 1.1 Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Directeur **Pr. ETIENNE Jérôme**

U.F.R d'Odontologie  
Directeur **Pr. BOURGEOIS Denis**

U.F.R de Médecine et de  
maïeutique - Lyon-Sud Charles  
Mérieux  
Directeur **Pr. BURILLON Carole**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directeur **Pr. VINCIGUERRA Christine**

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

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (C.C.E.M.)  
**Pr. GILLY François Noël**

Département de Formation et Centre  
de Recherche en Biologie Humaine  
Directeur **Pr. SCHOTT Anne-Marie**

### 1.2 Secteur Sciences et Technologies :

U.F.R. de Sciences et Technologies  
Directeur **M. DE MARCHI Fabien**

Ecole Supérieure du Professorat et de  
l'Education  
Directeur **M. MOUGNIOTTE Alain**

U.F.R. de Sciences et Techniques  
des Activités Physiques et  
Sportives (S.T.A.P.S.)  
Directeur **Prag. VANPOULLE  
Yannick (doctorat)**

POLYTECH LYON  
Directeur **M. FOURNIER Pascal**

Ecole Supérieure de Chimie Physique  
Electronique de Lyon (ESCPE)  
Directeur **M. PIGNAULT Gérard**

Institut des Sciences Financières et  
d'Assurance (I.S.F.A.)  
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

IUT LYON 1  
Directeur **M. VITON Christophe**

Observatoire Astronomique de  
Lyon  
Directeur **M. GUIDERDONI Bruno**

---

2. **Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION**  
**ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR  
**Yves MATILLON**  
**Professeur d'épidémiologie clinique**

Directeur de la formation  
**Agnès BO, Professeur Associé**

Directeur de la recherche  
**Agnès WITKO**  
**M.C.U. en Sciences du Langage**

Responsables de la formation clinique  
**Claire GENTIL**  
**Fanny GUILLON**

Chargées de l'évaluation des aptitudes aux études  
en vue du certificat de capacité en orthophonie  
**Anne PEILLON, M.C.U. Associé**  
**Solveig CHAPUIS**

Secrétariat de direction et de scolarité  
**Stéphanie BADIOU**  
**Corinne BONNEL**

---

## REMERCIEMENTS

---

Nous tenons d'abord à remercier chaleureusement nos directeurs de mémoire Nathalie Henrich et Jocelyne Sarfati pour leur encadrement, leur soutien et les conseils qu'elles ont su nous prodiguer tout au long de notre projet.

Nous remercions également l'équipe du Gipsa-lab de Grenoble et plus particulièrement Silvain Gerbers, pour sa contribution à nos analyses statistiques, et Christophe Savariaux pour son aide lors des enregistrements de la base de données de 2011.

Un grand merci à tous les enfants qui ont participé à notre expérimentation avec enthousiasme ainsi qu'à leurs parents de les y avoir autorisés. Nous remercions leurs enseignants et les directeurs des écoles qui ont contribué au bon déroulement des rencontres.

Nous remercions tous les professionnels de la voix qui ont pris le temps de répondre à notre enquête.

Nous sommes reconnaissantes envers Agnès Witko, Responsable des mémoires, pour sa rigueur et son énergie qu'elle déploie afin de nous aider à finaliser nos projets de recherche.

Nous remercions Jérôme Gauthier et Isabelle Landreau pour leurs corrections et leurs encouragements.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles et amis pour leur confiance et leur soutien pendant nos quatre années d'études. Ce mémoire est dédié au papa de Stéphanie qui aurait été fier de voir l'aboutissement de son travail.

---

# SOMMAIRE

---

<b>ORGANIGRAMMES .....</b>	<b>2</b>
1. <i>Université Claude Bernard Lyon1 .....</i>	2
<b>1.1 Secteur Santé :.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Secteur Sciences et Technologies :.....</b>	<b>2</b>
2. <i>Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE.....</i>	3
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>PARTIE THEORIQUE .....</b>	<b>9</b>
I. LA VOIX HUMAINE AUTOUR DES REGISTRES ET DES MECANISMES .....	10
1. <i>Généralités sur la voix de l'adulte.....</i>	10
2. <i>Registres et mécanismes laryngés : définitions.....</i>	12
3. <i>Le passage d'un mécanisme à un autre.....</i>	14
4. <i>Prise en considération des mécanismes laryngés dans la pratique clinique phoniatrice chez l'adulte.....</i>	18
II. LA VOIX DE L'ENFANT .....	18
1. <i>Généralités .....</i>	18
2. <i>La voix chantée de l'enfant.....</i>	21
<b>PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES .....</b>	<b>25</b>
I. PROBLEMATIQUE .....	26
II. HYPOTHESES.....	26
1. <i>Hypothèses générales.....</i>	26
2. <i>Hypothèses opérationnelles.....</i>	27
<b>PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>28</b>
I. ENQUETE SUR LES CONNAISSANCES DE LA VOIX DE L'ENFANT .....	29
1. <i>Population.....</i>	29
2. <i>Matériel.....</i>	29
3. <i>Méthode.....</i>	30
II. EXPLORATION DE L'ETENDUE VOCALE ET DES MECANISMES LARYNGES CHEZ L'ENFANT PREPUBERE	31
1. <i>Population.....</i>	32
2. <i>Matériel.....</i>	32
3. <i>Méthode.....</i>	33
<b>PRESENTATION DES RESULTATS .....</b>	<b>37</b>
I. RESULTATS DE L'ENQUETE .....	38
1. <i>Données générales.....</i>	38
2. <i>Profils des répondants.....</i>	43
II. RESULTATS DE L'EXPLORATION DE L'ETENDUE VOCALE ET DES MECANISMES LARYNGES CHEZ L'ENFANT PREPUBERE.....	45
1. <i>Etendue vocale sur les glissandi.....</i>	45
2. <i>Paramètres de la fréquence fondamentale sur les glissandi.....</i>	46
3. <i>Fréquence fondamentale en parole.....</i>	48
4. <i>Les mécanismes laryngés .....</i>	50
<b>DISCUSSION DES RESULTATS .....</b>	<b>52</b>
I. ANALYSE DES RESULTATS .....	53
1. <i>Les réponses au questionnaire.....</i>	53
2. <i>Résultats sur les données globales.....</i>	54
3. <i>Résultats des comparaisons de groupes .....</i>	55
4. <i>Conclusion sur l'analyse des résultats .....</i>	57
II. APPORTS DE L'ETUDE .....	57

---

---

III. LIMITES DE L'ETUDE .....	58
1. Questionnaires.....	58
2. Etude expérimentale.....	58
IV. PERSPECTIVES .....	60
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>63</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>67</b>
ANNEXE I : QUESTIONNAIRE SUR LES MECANISMES LARYNGES A L'ATTENTION DES CLINICIENS.....	68
ANNEXE II : QUESTIONNAIRE SUR LES MECANISMES LARYNGES A L'ATTENTION DES PEDAGOGUES .....	72
ANNEXE III : POPULATION DE L'ETUDE EXPERIMENTALE .....	76
ANNEXE IV : DENDOGRAMME DES CLINICIENS .....	78
ANNEXE V : DENDOGRAMME DES PEDAGOGUES .....	79
ANNEXE VI : EXPLICATION DES DIAGRAMMES EN BOITES.....	80
1. Exemple de lecture d'un diagramme.....	80
2. Médianes des paramètres de F0 en glissando. ....	81
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>82</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>84</b>

**SUMMARY**

---

The laryngeal mechanisms of prepubertal children are not much studied whereas the literature affirms adults have four laryngeal mechanisms. The M1 and M2 mechanisms are the most used. M0 and M3 are used to produce extreme low and high frequencies of the human voice. There is a controversy in the literature to know if M1 exists before the voice mutation. We suppose that children have four laryngeal mechanisms before puberty. We have questioned voice professionals. We observe a disagreement about the number of prepubertal children laryngeal mechanisms. In order to observe the presence of the four mechanisms, we have studied the voice of 71 children, aged between 8 and 10 years old. We have analyzed their speaking and singing voice by glissandi productions. The mean vocal range measured on glissandi is 32 semitones. An electroglottographical and acoustical analysis revealed that 29% of the children of our study have four laryngeal mechanisms. Apart from our principal objectives, we have found that child's sex doesn't impact fundamental frequency parameters. However, degrees of dysphonia have an effect on maximal values and vocal range for the speaking and singing voice. 49% of the children of our study have presented M1, which seems to show this mechanism is present before the mutation. So, the principal mechanisms management should be a support for the therapy of the child voice, as it should be for adults.

---

**KEY-WORDS**

---

Laryngeal mechanisms, prepubertal child, vocal range, fundamental frequency, glissando, electroglottography, vocal fold.



---

## INTRODUCTION

---

Des bilans phoniatriques sont fréquemment effectués auprès d'enfants, adressés par leur professeur de chant ou chef de chœur, parce qu'ils ont des difficultés en voix chantée. Il s'agit, le plus souvent, de problèmes de justesse et d'étendue vocale restreinte. C'est le cas des enfants communément appelés « enfants bourdons ». Ces derniers sont souvent décrits comme utilisant un registre vocal ou un mécanisme laryngé différent de la plupart des autres enfants. Les caractéristiques vocales de l'enfant bourdon questionnent donc sur la nature des mécanismes laryngés chez l'enfant.

Cette dernière notion est souvent abordée quand on parle de la mue, mais peu d'études s'y sont intéressées chez l'enfant prépubère. Voilà pourquoi nous avons cherché à étendre les connaissances dans ce domaine.

Pour cela, une première base de données de voix parlée et chantée de 10 enfants prépubères a été enregistrée en 2011, par nos directeurs de mémoire. Nous avons analysé ces données et les avons complétées par le recueil d'un deuxième échantillon plus important de voix d'enfants âgés de 8 à 10 ans.

Par ailleurs, il semblerait qu'une controverse se dessine dans la littérature quant au nombre de mécanismes laryngés dont disposerait l'enfant avant la puberté.

Nous avons donc choisi d'élaborer des questionnaires pour faire un état des connaissances des professionnels de la voix, sur les mécanismes laryngés en général, et ceux de l'enfant en particulier.

Dans la littérature, il est attesté que l'adulte dispose de quatre mécanismes laryngés. L'objectif de notre étude a donc été de savoir s'il en était de même pour l'enfant prépubère.

Dans une première partie, nous présenterons les données théoriques qui concernent la voix humaine autour des registres et mécanismes laryngés. Nous définirons ces notions et décrirons leur utilisation chez l'adulte. Puis, nous développerons les caractéristiques de la voix de l'enfant.

A l'issue de cet état des lieux, nous présenterons notre problématique et les hypothèses qui en découlent.

Ensuite, nous exposerons la méthode suivie pour mener notre projet d'expérimentation.

Nos résultats des questionnaires et de l'analyse des enregistrements seront présentés puis discutés afin de proposer de nouvelles perspectives cliniques et pour la recherche.

---

# **Chapitre I**

## **PARTIE THEORIQUE**

---

# I. La voix humaine autour des registres et des mécanismes

## 1. Généralités sur la voix de l'adulte

### 1.1. Les paramètres vocaux : fréquence fondamentale, intensité, timbre

La voix est le reflet de notre personnalité et de nos émotions mais elle est aussi détentrice du message que l'on veut faire passer à notre interlocuteur (Estienne, 1998). D'un point de vue acoustique, elle est définie par les trois paramètres suivants :

- **La fréquence fondamentale**

La fréquence fondamentale (F0) ou hauteur tonale de la voix, correspond au « *nombre de vibrations* [des plis vocaux] *par seconde* » (Le Huche, 2012), c'est-à-dire au rythme des impulsions laryngées. Elle s'exprime en Hertz (Hz).

Le « *fondamental usuel de la parole* » nommé ainsi par Tarneaud en 1961 désigne la tonalité moyenne de la voix parlée. Pour un enfant âgé de 4 à 8-9 ans, elle se situe entre si<sup>2</sup> et mi<sup>3</sup> (248 Hz – 330 Hz). Pour une voix de femme, elle est comprise entre sol<sup>2</sup> et ré<sup>3</sup> (198 Hz – 296 Hz) et pour un homme, entre sol<sup>1</sup> et ré<sup>2</sup> (99 Hz – 148 Hz). La fréquence moyenne vocale des hommes est une octave en-dessous de celle des femmes (Arnette, 1979 ; Cornut, 2009).

- **L'intensité vocale**

Pour Heuillet-Martin, Garson-Bavard et Legré (2007), l'intensité de la voix est proportionnelle à l'augmentation de l'amplitude des impulsions vibratoires et à l'augmentation de pression sous-glottique. Elle s'exprime en décibels (dB). Comme pour la fréquence, il existe « *l'intensité moyenne usuelle* » qui est l'intensité habituellement utilisée en voix parlée. La voix conversationnelle est d'environ 55-65 dB à 1 mètre. L'intensité peut être très variable : elle peut aller de la voix murmurée (35 dB) jusqu'au cri (110 dB) ou à la voix d'opéra (120 dB) (Cornut, 2009).

- **Le timbre vocal**

Le timbre de la voix correspond à la façon dont l'énergie acoustique se répartit sur les fréquences harmoniques qui constituent le son vocal, en fonction de la configuration des cavités de résonance (Cornut, 2009 ; Heuillet-Martin et al, 2007).

On distingue parfois le timbre vocalique qui correspond aux zones formantiques dont les fréquences varient selon les voyelles, du timbre extra-vocalique ou timbre vocal propre à chacun. Le timbre vocalique permet de reconnaître chaque voyelle quel que soit le locuteur tandis que le timbre extra-vocalique joue un rôle dans la « couleur » de la voix (Heuillet-Martin et al, 2007).

---

## 1.2. Caractéristiques physiologiques et anatomiques

### 1.2.1. Les trois étages de la voix : soufflerie, vibreur, résonateurs

La voix de l'adulte (comme celle de l'enfant) est composée de trois étages :

- **La soufflerie pulmonaire**

La production d'air met en jeu les poumons, le diaphragme et les différents muscles du thorax et de l'abdomen. Le diaphragme est le muscle principal de la respiration. Par sa contraction, le volume de la cage thoracique augmente et cela fait un « appel d'air » dans le thorax créant l'inspiration (Giovanni, Robieux & Santini, 2012). L'élasticité de la cage thoracique lui fait retrouver sa forme initiale en expulsant l'air, ce qui crée l'expiration. En phonation, l'air est chassé des poumons par l'action des muscles expirateurs (comme les muscles intercostaux internes et les muscles abdominaux). Cette expiration active est nommée « souffle phonatoire ». Le diaphragme joue un rôle de régulateur du souffle phonatoire au moment de la production vocale (Le Huche & Allali, 2010).

- **Les plis vocaux, principal vibreur laryngé**

Situé au niveau de la pomme d'Adam, le larynx constitue l'extrémité supérieure de la trachée. C'est à travers le tube laryngé que l'air entre et sort. Le larynx est constitué d'un ensemble de cartilages (cartilages cricoïde, thyroïde, aryénoïdes, épiglotte) qui permettent le passage de l'air ou son obstruction par l'action des muscles intrinsèques qui les relient (Giovanni et al, 2012).

Les plis vocaux, ou plus communément cordes vocales, sont le principal vibreur au sein du larynx. Ils ont une structure multicouche (Henrich, 2012), constitués du muscle vocal (le muscle thyro-aryénoïdien) et d'un ligament vocal, recouverts d'un épithélium et d'une muqueuse. Les structures sous-muqueuses du pli vocal forment la lamina propria, composée des couches superficielle, intermédiaire et profonde. Ces deux dernières constituent le ligament vocal (Giovanni, Ouaknine & Garrel, 2003).

- **Les cavités de résonance ou résonateurs**

Le troisième étage ou pavillon pharyngo-bucco-nasal comporte l'ensemble des organes résonateurs et articulateurs qui sont le maxillaire inférieur, la langue, les dents, les lèvres, le voile du palais et le larynx. Les mouvements et la position des articulateurs vont agir sur les trois cavités de résonance : la bouche, l'arrière-bouche ou pharynx et les fosses nasales. Les fréquences de résonance acoustique des cavités de résonance vont être modifiées par la configuration des articulateurs lors du passage de l'air dans la cavité. Ces modifications impacteront directement le timbre.

### 1.2.2. La vibration laryngée

Depuis les travaux de Van den Berg dans les années 1960, la vibration laryngée est décrite d'après la théorie myo-élastique aérodynamique (cité par Cornut, 2009).

---

Pour que les plis vocaux vibrent, ils doivent venir en contact l'un de l'autre. Leur adduction est produite par le rapprochement des aryténoïdes sous l'action des muscles inter-aryténoïdiens. Simultanément, les muscles crico-aryténoïdiens latéraux complètent la fermeture en rapprochant les deux apophyses vocales. Lorsque ce mouvement s'est effectué, les plis vocaux sont rapprochés et une vibration se fait sous l'action de l'air expiratoire.

A chaque vibration, l'espace glottique entre les plis vocaux s'ouvre et se referme. Pour produire les sons graves, les plis vocaux sont courts et relâchés. Pour produire les sons aigus, ils sont plus tendus, s'allongeant de plusieurs millimètres sous l'action de la bascule crico-thyroïdienne.

Le réglage de la hauteur tonale est fonction de la masse vibrante des plis vocaux, de leur tension et de la pression sous-glottique. Réduire la masse vibrante ou augmenter la tension permet de produire des sons plus aigus. C'est ce qu'il se produit quand un locuteur passe d'une production de voix en mécanisme lourd à une production en mécanisme léger (Giovanni et al, 2003).

## **2. Registres et mécanismes laryngés : définitions**

### **2.1. Comparaison de ces deux notions**

Avant le XIX<sup>ème</sup> siècle, lorsque l'on s'intéressait à la voix chantée, seule la perception ou la proprioception formaient les fondements d'analyse. La perception de différentes qualités de voix a ainsi donné naissance à la notion de « registres vocaux ». Garcia, en 1840 (cité par Henrich, 2006) a été le premier à mettre en relation registre vocal et propriété physiologique du larynx.

Au cours de l'histoire, de nombreuses définitions ont été données, semant la confusion dans la communauté. Les registres et les mécanismes ont soit été considérés comme synonymes, soit comme des notions différentes.

Un grand débat notamment, toujours d'actualité, concerne la nature des différents registres : dépendent-ils uniquement d'un mécanisme laryngé, ou bien de stratégies résonnantes impliquées par ajustement du conduit vocal (Henrich, 2006) ? Cela reflète aussi un point de vue différencié entre les scientifiques et les chanteurs. Les premiers ont une approche plutôt analytique qui décrit la voix en ciblant des paramètres, en corrélation ou non. Les seconds ont une approche plus globale, fondée sur leur ressenti (Lamesch, 2010).

Dans ce travail, nous retiendrons les définitions proposées par Roubeau, Henrich et Castellengo (2009). Ils décrivent les mécanismes laryngés comme étant « *les différentes configurations du vibrateur glottique qui permettent la production de l'entière gamme de fréquence de la voix humaine* ». Ils expliquent qu'un même mécanisme permet de produire plusieurs registres qu'ils décrivent comme « *la modification du timbre et des sensations proprioceptives* » des sons produits.

---

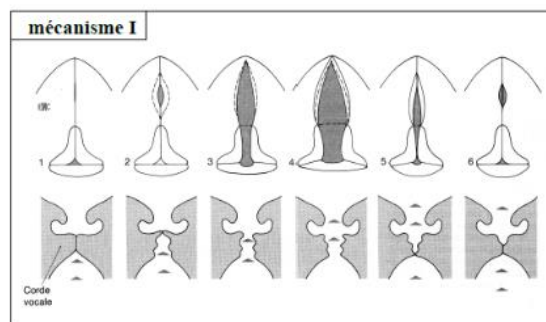
## 2.2. Descriptions des mécanismes

Les mécanismes laryngés sont au nombre de quatre (Henrich, 2006 ; Roubeau, 1993 (cité par Henrich, 2012) ; Roubeau et al, 2009).

Le mécanisme M0 est celui utilisé pour produire les sons les plus graves, qui sont perçus comme des impulsions. Il est parfois décrit sous le nom de « *vocal fry* » ou « *strobass* ». Dans ce cas, les plis vocaux sont très relâchés, très épais et très courts. Les phases de contact des plis sont très longues par rapport au cycle glottique. Les activités des muscles intrinsèques du larynx sont minimales.

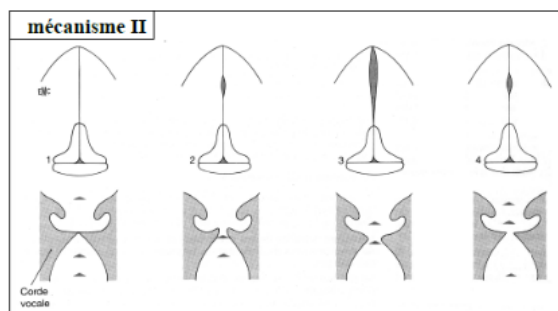
Les mécanismes M1 et M2 sont les plus fréquemment utilisés en voix parlée et chantée chez l'adulte.

Le mécanisme M1 est synonyme de « mécanisme lourd ». Les plis vocaux sont courts et épais et leur intégralité participe à la vibration : il y a donc une différence de phase dans l'ouverture verticale des plis. Le muscle thyro-aryténoïdien est plus actif qu'en M0. En voix chantée, ce mécanisme permet la production des sons graves à médium (cf. Figure1).



**Figure 1: Configuration glottique associée au mécanisme M1 (adapté d'après Vennard (1967), par Lacau St Guily & Roubeau (1994), cité par Henrich, (2001))**

Le mécanisme M2 est synonyme de « mécanisme léger ». Les plis vocaux sont plus longs et plus fins qu'en M1 et seule la partie superficielle du bord libre du pli vocal vibre, ce qui réduit la masse vibrante. L'activité du muscle thyro-aryténoïdien décroît au profit de celle du muscle crico-thyroïdien. Ce sont les sons du médium à l'aigu qui sont produits dans un tel mécanisme (cf. Figure 2).



**Figure 2 : Configuration glottique associée au mécanisme M2 (adapté d'après Vennard (1967), par Lacau St Guily & Roubeau (1994), cité par Henrich, (2001))**

Enfin, dans le mécanisme M3, les plis vocaux sont très fins et très tendus. Ils peuvent éventuellement ne plus rentrer en contact lors de la phonation. Ce mécanisme permet de produire les sons les plus aigus.

Des études mettent en évidence des zones de recouvrements entre les mécanismes voisins. Ainsi, une même note, si elle se trouve dans cette zone peut être produite dans l'un ou l'autre des mécanismes. Il est également important de noter que ces zones de recouvrement sont identiques pour les hommes et pour les femmes (Roubeau, Castellengo, Bodin & Ragot, 2004 ; Roubeau et al, 2009).

### 2.3. Correspondance mécanismes / registres

En outre, puisque plusieurs registres peuvent être produits par un même mécanisme laryngé, Roubeau et al. (2009) proposent de répertorier les termes qui désignent des registres dans la littérature et de les classer d'après le mécanisme de production :

Classification of Registers Depending on the Laryngeal Mechanisms Involved			
Mechanism M0	Mechanism M1	Mechanism M2	Mechanism M3
Fry	Modal	Falsetto	Whistle
Pulse	Normal	Head (W)	Flageolet
Stroh bass	Chest	Loft	Flute
Voix de Contrebasse	Heavy	Light	Sifflet
	Thick	Thin	
	Voix mixte (M)	Voix mixte (W)	
	Mixed (M)	Mixed (W)	
	Voce finta (M)		
	Head operatic (M)		

Abbreviations: M, men; W, women.

Figure 3 : Classification des registres en fonction du mécanisme laryngé impliqué. Roubeau, et al (2009).

## 3. Le passage d'un mécanisme à un autre

### 3.1. Comment le distingue-t-on ?

#### 3.1.1. Généralités

Le passage d'un mécanisme à un autre est identifiable grâce à des phénomènes de transition.

Pour Cornut (2009), ce passage s'accompagne toujours d'une instabilité vibratoire de courte durée. Il peut parfois être audible. D'après Roubeau (2001), les passages impliquent un « *changement d'intensité et un accident de la hauteur de la voix* ».

---

Selon Giovanni et al. (2003), la perception de cette transition peut apparaître brutale sans pour autant que le changement dans la configuration de l'appareil phonatoire ne le soit nécessairement. Pour eux, la notion de perception catégorielle entre en jeu.

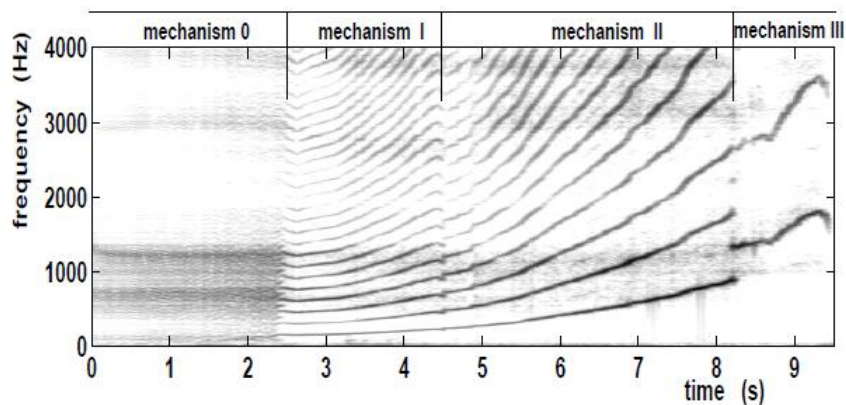
### 3.1.2. Une combinaison d'analyses

A l'heure actuelle, il n'existe aucun outil technique qui permette d'identifier à coup sûr le mécanisme laryngé utilisé pour produire un son donné. Ainsi, pour y parvenir, il est nécessaire de combiner plusieurs analyses.

L'écoute constitue la première forme d'analyse :

- par exemple, le registre *vocal fry*, produit en M0, est caractérisé par les pulsations glottiques perçues isolément alors qu'un son de fréquence aiguë est perçu comme continu (Titze, 1988, 1994, cité par Henrich, 2006).
- On peut détecter une modification du timbre de la voix correspondant à un changement de mécanisme.
- De plus, le passage d'un mécanisme à un autre est souvent identifiable par un saut de fréquence abrupt impliqué par une différence de la masse de vibration des plis vocaux (Roubeau, 1993, cité par Henrich, 2006) (cf. Figure 4).

L'analyse spectrale complète l'analyse perceptive :



**Figure 4 : Illustration des quatre mécanismes dans un glissando ascendant chanté par une soprano. Henrich, Roubeau & Castellengo (2003).**

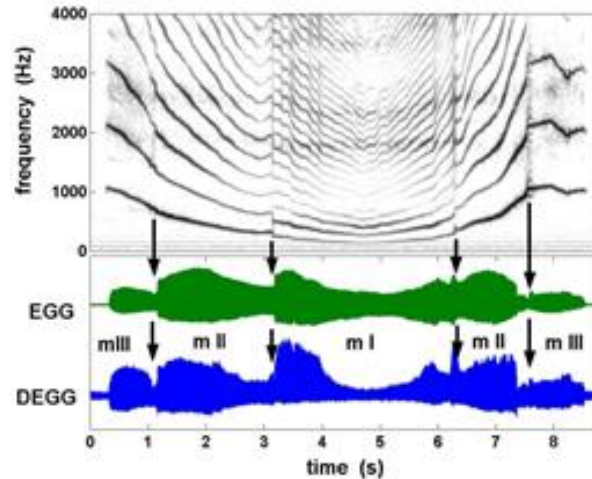
L'électroglottographie est également un bon outil pour aider à l'identification des mécanismes laryngés, comme nous allons le voir.

### 3.1.3. L'apport de l'électroglottographie

L'électroglottographie a été inventée en 1956 par Fabre. Elle consiste à placer deux électrodes sur le cou du sujet. Elles génèrent un courant modulé de haute fréquence. La

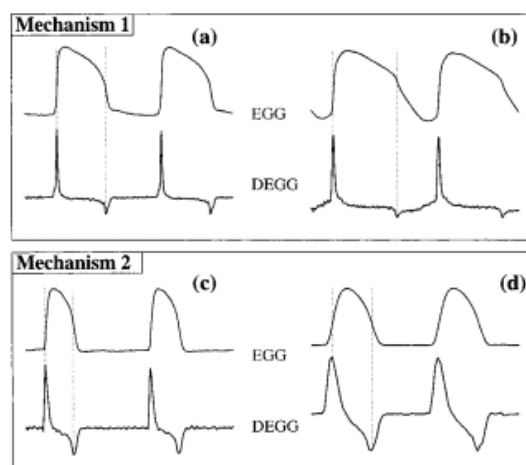


résistance à ce courant varie avec les mouvements vibratoires de la glotte : elle diminue quand la glotte se ferme (Henrich et al, 2003). L'électroglottographie renseigne donc sur le contact entre les plis vocaux. Selon le type de vibration glottique liée au mécanisme laryngé utilisé, la forme du signal électroglottographique (EGG) varie. Les données de ce signal sont complétées par celles de sa dérivée (DEGG) (cf. Figure 5).



**Figure 5 : Evolution des signaux EGG, DEGG en fonction du mécanisme laryngé, lors d'un glissando descendant et ascendant chanté par une soprano. Extrait de Henrich, 2001, (cité par Henrich et al, 2003)**

Bien qu'avec les variations interindividuelles, il soit nécessaire de rechercher des phénomènes de transitions sur les signaux (Henrich et al, 2003), si l'on zoome sur deux périodes du signal EGG, on peut retrouver des éléments caractéristiques aux deux mécanismes principaux. En M2, la phase de fermeture est plus courte qu'en M1. Le signal EGG est habituellement plus arrondi et plus symétrique et les pics positifs (vitesse du contact) et négatifs (vitesse de « décontact ») sur la DEGG sont d'une amplitude comparable. En M1, le pic positif est beaucoup plus marqué (Henrich, d'Alessandro, Doval & Castellengo, 2004). (Cf. Figure 6).



**Figure 6 : Exemple typique de deux périodes de signaux EGG et DEGG en fonction du mécanisme de production. Henrich et al, 2004.**

Les pics positifs sur le signal DEGG correspondent aux instants de fermeture glottique et les pics négatifs correspondent aux instants d'ouverture glottique. La DEGG permet, par

---

conséquent, de mesurer la période fondamentale de la voix en calculant la durée entre deux pics de fermeture consécutifs. Le temps d'ouverture de la glotte est mesuré par la durée entre le pic d'ouverture et le pic de fermeture suivant. Le ratio entre ces deux mesures permet de calculer le quotient ouvert glottique ( $Oq$ ) (temps d'ouverture sur la période fondamentale). Il évolue de 0 (absence d'ouverture) à 1 (absence de fermeture ou fermeture incomplète) (Henrich et al, 2004 ; Henrich, d'Alessandro, Doval & Castellengo, 2005).

D'autres quotients équivalents peuvent être déduits des mesures électroglottographiques, comme le quotient de contact (durée du contact glottique sur la période fondamentale).

Les paramètres glottiques, comme le quotient ouvert ou le quotient de contact, sont des indices permettant d'identifier le mécanisme de production d'un son. En effet, les valeurs  $Oq$  sont plus basses en M1 qu'en M2 (pour un individu donné). C'est le reflet des différences physiologiques entre les deux mécanismes (épaisseur, longueur de vibration, tension des plis vocaux).

D'après Henrich et ses collègues (2005), en M1  $Oq$  varie de 0.3 à 0.8 et de 0.5 à 0.95 en M2.

Une fois encore ces chiffres ne permettent pas une identification directe du mécanisme vibratoire laryngé utilisé pour un son produit, il faut donc l'analyser en comparaison avec les autres données.

En conclusion, la détermination du mécanisme laryngé de production d'un son doit se faire en combinant des analyses auditive et spectrale, l'observation des signaux EGG et DEGG et la mesure de paramètres glottiques comme le quotient ouvert ou le quotient de contact.

### **3.2. La gestion des mécanismes laryngés en voix chantée adulte**

Selon la technique et la volonté du chanteur, le passage peut être quasiment imperceptible.

Roubeau (2001) explique que les extrémités des registres vocaux impliquent des différences d'intensité. En effet, il est difficile de produire un son faible dans l'aigu d'une voix, et un son fort dans le grave. Ainsi, la stratégie de changer de mécanisme permet d'augmenter ou de baisser l'intensité voulue pour la production d'une note donnée.

Pour que ce passage d'un mécanisme à un autre soit le moins perceptible possible, le chanteur développe un registre dit de *voix mixte* : « [il] apprend à conserver des harmoniques de sa voix de poitrine dans un registre de tête » et inversement. Pour cela, « le chanteur réajuste le volume du résonateur pharyngo-buccal, le « réaccorde » sur le son laryngé, de nouveaux harmoniques y étant alors renforcés » (Heuillet-Martin et al, 2007). Le registre de voix mixte est produit dans l'un ou l'autre des deux principaux mécanismes laryngés M1 et M2 (Castellengo et al, 2004, 2007).

---

#### **4. Prise en considération des mécanismes laryngés dans la pratique clinique phoniatrice chez l'adulte**

A notre connaissance, peu d'études rapportent la prise en considération des mécanismes laryngés dans la pratique clinique phoniatrice chez l'adulte.

Pour Giovanni et St Victor (2013), il est nécessaire de mesurer les capacités vocales des patients dans l'évaluation clinique de la voix. Pour cela, il est important de rechercher la présence des mécanismes vibratoires laryngés. Ils prennent en considération les quatre mécanismes précédemment décrits. Ils considèrent les mécanismes extrêmes comme anecdotiques mais précisent que M1 et M2 seraient disponibles, chez l'adulte, dans toute voix saine. Il nous semble donc important de vérifier si effectivement ces mécanismes sont bien présents chez des patients adultes.

Par ailleurs, une approche thérapeutique s'appuyant sur un changement du mécanisme laryngé usuel a été développée chez l'adulte, pour rééduquer l'inconfort et le forçage vocal. Cette remédiation peut être envisagée lorsque le geste pathologique a pour origine l'utilisation d'un mécanisme non adapté à la voix. Un travail vocal ciblé dans le mécanisme laryngé inusité et une prise de conscience de son usage possible peuvent amener à une expression vocale plus confortable et plus stable (Faure, 2003).

Si la majorité des informations que nous avons concernant les mécanismes laryngés s'intéressent particulièrement à la voix de l'adulte, peu de données sont disponibles chez les enfants. Nous allons désormais aborder plus en détails les connaissances sur la voix de l'enfant.

## **II. La voix de l'enfant**

### **1. Généralités**

#### **1.1. Voix et développement global**

L'évolution de la voix de l'enfant est étroitement liée avec son développement global. La maturation du système nerveux est impliquée, comme le développement psychomoteur, l'apprentissage du langage et l'éducation (Woisard, Percodani, Serrano & Pessay, 1998).

En effet, lors de la première année de vie, l'enfant cherche à explorer ses capacités vocales, comme ses capacités motrices. A partir d'1 an, avec l'émergence du langage, la voix devient un support de communication. Après 5 ans, le langage est acquis, et l'évolution du larynx, comme l'acquisition d'une architecture de la cage thoracique et des résonateurs de type adulte vont permettre à l'enfant de développer ses capacités vocales sur le même modèle que celles de l'adulte. A la puberté, l'évolution anatomique et psychologique de l'enfant va fortement influencer sa voix, installant une période de mue vocale. Enfin, après la puberté, des modifications histologiques, morphologiques et de position du larynx vont se dérouler jusqu'à 18-20 ans, pour fixer ensuite les caractéristiques acoustiques de la voix d'adulte.

---

## 1.2. Evolution de la naissance à la puberté

### 1.2.1. Evolution anatomique

A la naissance, le larynx de l'enfant est situé entre la 3<sup>e</sup> et la 4<sup>e</sup> vertèbre cervicale (Lieberman et al, 2001 (cités par Blanchet, Fayoux, Leboulanger & Nicollas, 2011) ; Aronson, 1983, (cité par Woisard et al, 1998)). Il est plus haut que celui de l'adulte. Le larynx descend progressivement jusqu'à l'âge adulte, et la cavité oro-pharyngée s'élargit. Le conduit vocal s'allonge permettant ainsi un enrichissement du timbre de la voix et une différenciation des voyelles. Enfin, une position plus postérieure de la langue facilitera la précision de l'articulation des consonnes.

La forme et la taille du larynx évoluent au cours de la croissance. D'après Hirano (cité par Sarfati, Vintenat & Choquart, 2002 ; Woisard et al, 1998), les plis vocaux mesurent 4,5 à 5 mm à la naissance et augmentent en moyenne de 0,4 mm tous les ans pour les filles et de 0,7 mm chez les garçons, jusqu'à environ 20 ans. Pendant la puberté, leur évolution est plus rapide, sous l'effet des hormones sexuelles (Blanchet et al, 2011). A l'âge adulte, elles atteignent environ 14 à 15 mm chez l'homme et 10 à 15 mm chez la femme (Harries et al, 1998 (cités par Blanchet et al, 2011)).

A la naissance, la taille du larynx représente le tiers d'un larynx adulte et le ligament vocal n'existe pas. Une ébauche de ligament apparaît entre 1 et 4 ans, différenciant la couche superficielle de la lamina propria des couches intermédiaire et profonde. Ces deux dernières se différencient entre 6 et 15 ans. La lamina propria atteint son aspect définitif à 17 ans d'après Ishii et al, 2000 (cités par Blanchet et al, 2011).

Woisard et ses collègues (1998), en rapportant des données de la littérature, font l'inventaire des conséquences acoustiques de cette évolution histologique, comme une augmentation progressive de l'efficacité vocale, une étendue vocale limitée, une instabilité de la fréquence fondamentale et des anomalies de timbre chez l'enfant.

### 1.2.2. Caractéristiques acoustiques de la voix de l'enfant

La fréquence fondamentale du son laryngé est élevée à la naissance (entre 440 et 500 Hz). Elle va progressivement diminuer et va subir une aggravation plus rapide à la puberté chez le garçon (Blanchet et al, 2011 ; Sarfati, 1998b). Selon Nicollas et ses collègues (2008) dès 6 ans, la voix des garçons est plus basse que celle des filles. Sarfati, reprenant une étude de Cornut (1980), note une différence d'un demi-ton à partir de 7 ans.

Les cris du bébé sont pauvres en harmoniques puis les harmoniques graves apparaissent à 3 mois. La fréquence fondamentale passe de 400 Hz à 1 an à 300 Hz vers 4-5 ans pour atteindre, 268 Hz chez les filles à 11 ans, et 188 Hz chez les garçons (Sarfati, 1998b).

L'étendue vocale ou ambitus vocal (« ensemble des sons, chantés ou non, que peut produire une voix », Sarfati, 1998b) augmente avec l'âge. En effet, elle passe de 5 demi-tons à 2 mois à 12 demi-tons à 6 mois. Elle est de 2 octaves à 2 ans et de 3 octaves à 6 ans.

---

L'intensité vocale de l'enfant est souvent supérieure d'environ 6 dB à celle de l'adulte, par la résistance glottique plus élevée et à cause du flux d'air plus faible chez l'enfant (Sarfati et al, 2002).

### 1.2.3. Prémutteration et prédiction de la mue

Comme nous venons de le voir, la voix de l'enfant évolue tout au long de l'enfance. Cependant, selon Hacki et Heitmüller (1999), cela ne serait pas de manière continue. En effet, ils évoquent un stade de prémutteration qui apparaîtrait entre 7 et 8 ans chez les filles et entre 8 et 9 ans chez les garçons. Il se manifesterait par une diminution du fondamental usuel de la parole et une restriction de la dynamique d'intensité.

Par ailleurs, selon Fuchs et al. (2007), de manière intra individuelle, des changements dans la voix parlée des garçons pourraient être prédictifs de la survenue de la mue (dans sa phase d'instabilité vocale). 7 à 5 mois avant la mue, des modifications significatives des paramètres vocaux surviendraient, réduisant les capacités vocales de ces enfants.

## 1.3. La mue vocale

Casanova (2001) définit la mue vocale comme étant « *caractérisée par l'ensemble des changements qui ont lieu lors de l'adolescence et qui impliquent le domaine hormonal, psycho-affectif et bien sûr, vocal* ». Elle serait d'une durée variable, et selon la fréquence fondamentale de l'enfant, elle serait plus longue pour les enfants aux voix graves et plus courtes pour les voix aiguës.

En général, la mue vocale dure entre 6 et 18 mois. Au-delà, Heuillet-Martin, Garson-Bavard et Legré (1997) la décrivent comme pathologique.

Chez la fille, la mue vocale a lieu entre 11 et 13 ans et se fait plus discrète que chez le garçon. En effet, les modifications laryngées sont peu importantes et la tonalité est abaissée de 2 tons (Cornut, 2009) ou 3 tons (François, 2004 ; Jaccard, 2007, cité par Vuilleumier, 2010). Leur fondamental s'abaisserait aux alentours de 210 Hz (Charpy, 2002, cité par Blanchet et al, 2011 ; François, 2004)

Chez le garçon, le changement vocal se fait entre 12 et 14 ans. La taille des plis vocaux augmente du tiers de leur longueur. La tonalité est abaissée d'une octave environ (6 tons) avec un timbre plus profond et plus grave en fin de mue (Cornut, 2009 ; Sarfati et al, 2002). Le fondamental se situe vers 120-130 Hz (Harries et al, 1998, cités par Blanchet et al, 2011 ; François, 2004).

Selon Cornut (2009), le mécanisme léger (M2) est utilisé avant la mue. Pendant la mue, les deux mécanismes M1 et M2 coexistent. Parfois, le passage de l'un à l'autre se fait involontairement, provoquant alors des couacs.

Plusieurs auteurs décrivent ainsi les caractéristiques acoustiques de la voix chantée chez le jeune garçon pendant la mue, avec l'apparition d'un « nouveau registre » (Sarfati et al, 2002) ou d'un « mécanisme I » (Casanova, 2001). Ces auteurs, ainsi qu'Amy de La Brèteque (1999), notent qu'à cette période la voix chantée est instable, rendant ainsi la

---

montée dans les aigus difficile. Le jeune homme devra alors développer son nouveau registre pour descendre vers les graves.

La façon dont ces auteurs décrivent la mue vocale laissent sous-entendre que le mécanisme I ne serait pas présent ou, pour le moins, pas utilisé chez l'enfant avant sa puberté. Les données de la littérature sur ce thème portent essentiellement sur les garçons, laissant de grandes interrogations sur ce qui se passe chez la fille.

Après avoir exposé les éléments du développement global de l'enfant, nous nous intéresserons plus particulièrement aux caractéristiques de sa voix chantée.

## 2. La voix chantée de l'enfant

### 2.1. Le développement de la voix chantée

D'après Sarfati et al. (2002), la capacité à chanter s'installe vers 2 ans mais n'est stable que vers 8 ans. A cet âge-là, l'enfant dispose en moyenne d'une étendue vocale de deux octaves (Woisard, et al, 1998). Sarfati (1998a) rapporte les travaux de Shuter-Dison de 1981 pour présenter le développement musical global de l'enfant, illustrés sur la Figure 7.

Age	Comportement observable
0 - 1 an	Réagit aux sons
1 - 2 ans	Fait spontanément de la musique
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

**Figure 7 : Développement musical de l'enfant, Shuter-Dison, 1981 (cité par Sarfati, 1998a).**

Ces étapes du développement normal peuvent être altérées, et l'enfant peut rencontrer des difficultés pour chanter. Les difficultés vocales peuvent être d'origine organique, comme des lésions congénitales, ou acquises après forçage vocal comme dans le cas des nodules.

Des troubles de la voix chantée peuvent également apparaître en dehors de toute lésion laryngée et parfois même sans que la voix parlée ne soit altérée. Dans ce cas, cela se manifeste par des difficultés à reproduire une mélodie ou une rythmique proposée. Sarfati (1998a) rapporte plusieurs causes qui pourraient expliquer ce phénomène. Tout d'abord, il peut s'agir d'un problème périphérique perceptif qui empêche l'enfant de détecter les différences de fréquences, ou des difficultés de mémoire ou d'imaginaire musical. L'enfant peut également entendre juste et ne pas réussir à reproduire ce qui est attendu ; l'enfant peut ne pas oser chanter ou refuser l'apprentissage. Il peut également s'agir de difficultés motrices qui empêchent les coordinations nécessaires au chant.

---

Les principales plaintes et les motifs de consultation phoniatrice qui concernent la voix chantée de l'enfant sont les problèmes de justesse et/ou une « *voix qui ne monte pas* » (Sarfati et al, 2002). Nous allons à présent nous intéresser plus particulièrement à ce type de voix d'enfant que l'on appelle communément « enfant bourdon ».

## **2.2. Les enfants bourdons**

Les auteurs ne semblent pas tous d'accord pour définir ce terme. En effet, pour Moaty, 2002 (cité par Vuilleumier, 2010) « *ces enfants reproduisent une mélodie sur une ou quelques notes, ne correspondant pas à l'étendue complète de la mélodie demandée* ». Sa définition est plutôt axée sur le manque de justesse de ces voix d'enfants, ainsi que la faible étendue vocale dont ils disposent.

Sarfati et ses collègues (2002) les définissent comme des « *enfants qui n'émettent qu'un seul son grave en lieu et place d'une mélodie qui s'étend parfois sur une octave ou plus* » (p.8).

Certains auteurs associent explicitement, la voix « de bourdon » à l'utilisation d'un registre de poitrine. Cornut, en 1983, les décrit comme des enfants qui chantent avec un « mécanisme de voix de poitrine », ayant des difficultés à monter dans les fréquences aiguës et chantant faux. Pour Nitsche, 2001 (cité par Vuilleumier, 2010), certains « bourdons légers » auraient des difficultés de passage du registre de poitrine au registre de tête.

Par conséquent, ces auteurs proposent l'existence d'un registre de poitrine ou mécanisme 1 chez l'enfant prépubère signant une pathologie vocale à la différence des données sur la mue vocale qui supposent l'apparition de ce registre à la puberté.

## **2.3. Etendue vocale**

Pour connaître les capacités de la voix chantée d'enfants, beaucoup d'études se sont appuyées sur l'analyse de phonétogrammes afin d'observer notamment leurs capacités d'étendue vocale et de les comparer entre elles (Böhme & Stuchlik, 1995 ; Hareau & Alonso, 2013 ; McAllister, Sederholm & Sunberg, 1993 ; Pribuisiene, Uloza & Kardisiene, 2011 ; Schneider, Zumtobel, Prettenhofer, Aichstill & Jocher, 2010 ; Wuyts, Heylen, Mertens, De Bodt & Van de Heyning, 2002). Parmi elles, certaines ont même recherché à construire une norme pour l'étendue de la voix chez les enfants prépubères (Böhme & Stuchlik ; Schneider et al ; Wuyts et al).

### **2.3.1. Un outil principal : le phonétogramme**

Le phonétogramme est un outil d'analyse vocale mis au point dans les années 1930 aux Etats-Unis par Wolf et Sette (cité par Roubeau et al, 2004). Il est la « *représentation de la dynamique vocale en fonction de l'étendue* » (Roubeau, 2013, p 32).

Il existe un phonétogramme classique pour lequel on demande au sujet de reproduire une note, à intensité minimale puis maximale, sur l'ensemble de son étendue vocale. Un

---

phonétogramme automatique peut aujourd'hui être produit par des logiciels qui calculent le profil vocal sur échantillons de voix (parlée ou chantée) (Lamarche, 2009 ; Roubeau, 2013).

### **2.3.2. Données de la littérature sur l'étendue vocale**

Pour Schneider et al (2010), une voix d'enfant normale sans lésion laryngée devrait atteindre une étendue d'environ 25 demi-tons. Pribuisiene et al (2011) différencient les enfants chanteurs (26 demi-tons) des non chanteurs (22 demi-tons) comme Hareau et Alonso (2013), qui rapportent, en revanche, une étendue vocale de 32 demi-tons pour les enfants chanteurs et de 25 demi-tons pour les non chanteurs. Ces chiffres se situent bien en dessous de ceux proposés par Böhme et Stuchlik (1995) qui rapportent 29 demi-tons pour des enfants non entraînés au chant.

L'étendue vocale est influencée par un certain nombre de facteurs. L'environnement musical ou vocal a un impact. L'entraînement vocal conduit à un ambitus et une dynamique vocale plus étendus (Fuchs et al, 2009 ; Pribuisiene et al, 2011 ; Schneider et al, 2010). De plus, les enfants scolarisés dans des écoles où l'activité musicale est encouragée présentent des phonétogrammes plus étendus que ceux scolarisés dans des écoles où la musique ne l'est pas (Schneider et al). Selon Hareau et Alonso (2013), c'est la tessiture (« *ensemble des sons chantés émis par une voix, du plus grave au plus aigu* » (Sarfati, 1998b, p.121)) qui est influencée par l'entraînement vocal, et non l'étendue vocale (ensemble des sons chantés ou non que l'enfant peut produire).

Selon Fuchs et ses collègues (2009), dans une moindre mesure, l'âge et le sexe ont également une incidence sur les capacités vocales dont dispose l'enfant. L'étude d'Hareau et Alonso (2013) rapporte que ces paramètres ont un effet seulement chez les enfants non chanteurs.

Dans leur étude, Wuyts et ses collègues (2002) soulignent que la forme du phonétogramme présente un déclin sur la courbe supérieure. Selon eux, c'est le passage du registre modal au registre de fausset qui en serait à l'origine.

## **2.4. Registres vocaux et mécanismes laryngés de l'enfant**

Dans la littérature, il n'existe que très peu de travaux portant sur les mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère. En 2013, Hareau et Alonso, par leur étude sur les phonétogrammes par mécanismes laryngés, révèlent la présence d'un mécanisme M1 avant la mue, chez presque tous les enfants de leur échantillon. Cela remet en question l'hypothèse de certains auteurs quant à l'apparition de ce même mécanisme à la puberté, que nous avons évoquée précédemment lorsque nous avons abordé la mue vocale.

Par ailleurs, certaines études abordent la présence d'une pluralité de registres vocaux chez l'enfant prépubère.

Dès 1978, une étude de Keating et Buhr met en évidence la présence de trois registres vocaux distincts chez des enfants âgés de 8 mois à 3 ans 6 mois. En production spontanée,



---

ces enfants produiraient ce que les auteurs nomment *vocal fry*, *modal register* et *high register*.

D'autres études portées sur des enfants de 10 ans rapportent également la présence de transitions de registres vocaux perçues par des jurys d'écoute (McAllister et al, 1993 ; McAllister, 1997).

Pour Le Huche et Allali (2001), le registre de tête de l'enfant s'étend de do<sub>3</sub> à la<sub>4</sub> et le registre de poitrine de sol<sub>2</sub> à sol<sub>4</sub>. Comme chez l'adulte, il existerait une zone de recouvrement.

En 2012, Morris, Ternström, LoVetri et Berkun présentent une étude qui montre les capacités des enfants à effectuer des ajustements glottiques afin de faire varier leurs productions à travers les différents registres de voix de poitrine, voix mixte et voix de fausset.

Parmi les registres cités, on associe habituellement le *vocal fry* à une production en M0, le *modal register* ou registre de poitrine aux sons produits en M1 et le *high register* ou registre de tête à une émission en M2.

Ces derniers éléments associés aux récentes données d'Hareau et Alonso (2013), appuient la thèse qu'il existe plusieurs mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère.

Par conséquent, il semble qu'il existe une controverse entre les auteurs qui s'intéressent à la voix de l'enfant : pour certains, un seul des mécanismes principaux serait présent avant la puberté, alors que pour d'autres, le mécanisme M1 serait présent avant la mue vocale.

---

# **Chapitre II**

## **PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES**

---

## I. Problématique

Une voix grave chez un enfant prépubère est généralement considérée comme le signe d'une pathologie vocale. En effet, Dejonckere (1999) ou Le Huche et Allali (2001), décrivent la raucité vocale infantile comme une aggravation de la tonalité. Parfois, c'est quand l'enfant se met à chanter que les interrogations apparaissent quant à la « normalité de sa voix » et qu'un bilan phoniatrique lui est recommandé. Comme nous l'avons vu précédemment, la pathologie de la voix de « l'enfant bourdon », caractérisée par des problèmes de justesse, peut être aussi associée à l'utilisation d'un registre vocal inadapté qui est le registre de poitrine (Cornut, 1983 ; Nitsche, 2001 (cité par Vuilleumier, 2010)). Ce dernier est généralement considéré comme une production en mécanisme laryngé M1 (Roubeau et al, 2009).

Par conséquent, le mécanisme laryngé M1 chez l'enfant fait l'objet d'une controverse entre les différents auteurs. En effet, pour certains, il n'apparaîtrait qu'à la puberté (Casanova, 2001) et sa présence, avant cette période, signifierait une pathologie vocale (Cornut, 1983). Par ailleurs, des études américaines affirment que les enfants prépubères peuvent utiliser plusieurs registres vocaux avant la mue (McAllister et al, 1993 ; Morris et al, 2012). Quant à Hareau et Alonso (2013), elles affirment que le mécanisme M1 s'est manifesté chez presque tous les enfants de leur population de 46 enfants âgés de 8 à 15 ans.

L'utilisation d'un registre de poitrine ou d'un mécanisme M1 ne serait donc pas uniquement liée à un comportement pathologique. Ainsi, l'emploi de ce registre par les enfants bourdons pourrait être le signe d'une autre forme de « normalité ».

Chez les adultes, des études ont cherché à décrire l'étendue vocale en fonction des différents mécanismes laryngés utilisés, y compris les deux mécanismes extrêmes M0 et M3 (Roubeau et al, 2009). Dans la continuité de ces études, nous avons choisi d'explorer les capacités vocales de l'enfant prépubère en intégrant des données sur l'étendue vocale qu'il peut produire ainsi que les différents mécanismes laryngés dont ils disposent.

Par conséquent, sur la globalité de son étendue vocale, de combien de mécanismes laryngés l'enfant prépubère dispose-t-il ?

## II. Hypothèses

### 1. Hypothèses générales

Pour répondre à cette problématique, nous émettons l'hypothèse que l'enfant disposerait de quatre mécanismes laryngés (M0, M1, M2, M3) avant la puberté.

Afin d'illustrer la controverse mise en lumière dans la littérature, nous faisons l'hypothèse qu'il n'existe pas de consensus sur le nombre de mécanismes laryngés présents chez l'enfant prépubère lorsque l'on demande l'avis des cliniciens et pédagogues du chant.

---

De ces hypothèses générales découlent les hypothèses opérationnelles suivantes.

## **2. Hypothèses opérationnelles**

Ho1 : L'enfant peut produire des sons en mécanisme M0.

Ho2 : L'enfant peut produire des sons en mécanisme M1.

Ho3 : L'enfant peut produire des sons en mécanisme M2.

Ho4 : L'enfant peut produire des sons en mécanisme M3.

Ho5 : L'étendue vocale des enfants prépubères de 8 à 10 ans ne diffère pas significativement selon le sexe de l'enfant.

Ho6 : La fréquence moyenne de parole chez les enfants prépubères de 8 à 10 ans ne diffère pas significativement selon le sexe.

Ho7 : Les enfants prépubères qui utilisent uniquement leur M1 ont une fréquence fondamentale moyenne plus basse en parole que les enfants qui utilisent leur M2.

Ho8 : Les enfants prépubères qui utilisent uniquement leur M1 ont une étendue vocale plus restreinte que les autres enfants.

Ho9 : Pour la population adulte, certains cliniciens et pédagogues considèrent qu'il existe 4 mécanismes laryngés (du type M0, M1, M2, M3), d'autres ne prennent en considération que les 2 mécanismes principaux (M1 et M2).

Ho10: A propos de l'enfant prépubère, certains cliniciens et pédagogues considèrent que seul M2 est disponible sur les deux mécanismes principaux. Pour d'autres, il dispose déjà de M1 avant la puberté.

Ho11 : La plupart des personnes interrogées considèrent qu'une voix grave chez un enfant prépubère est un signe de pathologie vocale.

---

# **Chapitre III**

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

---

Pour répondre à l'ensemble de nos questionnements sur ce thème, nous avons effectué une étude expérimentale en deux parties.

## **I. Enquête sur les connaissances de la voix de l'enfant**

Pour mettre en évidence les connaissances partagées sur l'apparition du mécanisme M1 avant ou pendant la puberté, que nous avons constatée dans la littérature, nous avons voulu connaître les points de vue des cliniciens d'une part, et des pédagogues et chefs de chœurs d'autre part. Nous les avons interrogés, par le biais d'un questionnaire diffusé sur internet, sur les registres et mécanismes laryngés en général puis sur ceux de l'enfant. Nous désirions également savoir si l'évaluation et l'utilisation des mécanismes laryngés faisaient partie de leur pratique professionnelle.

### **1. Population**

Nous avons ciblé deux catégories de professionnels dans notre enquête : les cliniciens de la voix dont les orthophonistes et les phoniâtres, et les pédagogues et chefs de chœurs, dans le but de comparer les points de vue du monde (para)médical et musical.

Nous nous sommes intéressées aux professionnels exerçant en France, Suisse et Belgique mais nous n'avons obtenu aucun retour de Suisse.

70 cliniciens âgés de 23 à 67 ans ont répondu à notre enquête. Parmi eux, 4 sont phoniâtres dont 3 hommes et 1 femme. 66 sujets sont orthophonistes dont 4 hommes et 62 femmes et 9 sont de nationalité Belge.

Pour les pédagogues, nous avons obtenu 18 réponses dont 3 hommes et 15 femmes âgés de 21 à 60 ans. Cette population contient 3 chefs de chœur et 8 professeurs de chant exclusivement. 7 combinent les deux professions.

### **2. Matériel**

#### **2.1. Diffusion**

Notre enquête s'est effectuée sous la forme de deux questionnaires distincts, l'un destiné aux cliniciens et l'autre dédié aux pédagogues et chefs de chœur, diffusés largement sur internet à l'aide de la plateforme de questionnaires en ligne Soorvey (Soorvey Sustainable Development, Bussigny-près-Lausanne, Suisse).

#### **2.2. Forme et contenu**

Nous avons utilisé préférentiellement des questions à choix multiples pour que le temps de réponse soit réduit et pour faciliter la comparaison des résultats entre les participants dans le but d'une analyse statistique.

---

Certains items ont été présentés sous forme de questions ouvertes donnant ainsi la possibilité de commenter des réponses ou de s'exprimer plus librement. Les réponses à ces items ont été analysées de façon qualitative.

Les deux questionnaires (à l'attention des cliniciens ou à l'attention des pédagogues) sont très semblables mais le lexique a été adapté en fonction des personnes interrogées : nous parlons « d'élèves » pour les enseignants et de « patients » pour les cliniciens.

Le questionnaire destiné aux cliniciens est composé de 23 questions :

- Les 7 premiers items concernent l'identité de la personne (âge, sexe, profession, niveau d'expérience professionnelle, pays d'exercice...).
- Les 9 items suivants portent sur le nombre et les différentes appellations des registres ou des mécanismes laryngés en fonction du type de population (adulte/adolescent/enfant ; fille/garçon).
- Les 2 items suivants considèrent la notion de mécanisme laryngé en lien avec la pratique professionnelle.
- Les 5 derniers items correspondent à des questions sur l'évaluation et la rééducation de la voix de l'enfant prépubère.

Ces mêmes thèmes sont abordés dans l'enquête pour les pédagogues, qui comporte 25 questions. En effet, nous avons ajouté deux items concernant le classement d'enfants dans un groupe vocal.

Les questionnaires sont consultables en annexes I et II.

### **3. Méthode**

La plateforme de questionnaires en ligne Soorvey nous a permis de recueillir les réponses aux deux questionnaires puis nous les avons extraites sous forme de feuilles de calculs avec le logiciel Excel. Les données ont été vérifiées afin d'éliminer les réponses en double.

Pour dégager les grandes tendances, nous avons calculé des pourcentages pour chaque item. Lorsque cela nous semblait pertinent, nous avons croisé les données de certains items. Nous nous sommes également intéressées à l'évolution de la proportion d'absence de réponses en fonction des questions.

Enfin, nous avons cherché à établir certains profils de répondants grâce à une classification ascendante hiérarchique, avec l'aide de M. Gerbers, statisticien du laboratoire Gipsa-lab de Grenoble.

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode qui a pour objectif de regrouper les sujets dans des groupes les plus homogènes possibles à partir des réponses du questionnaire. Elle est réalisée en effectuant trois grandes étapes :

- le regroupement successif des individus
- le choix du nombre de groupes

- 
- la caractérisation des groupes.

L'algorithme de regroupement successif commence par l'étape initiale où chacun des sujets forme un groupe en lui-même pour atteindre l'étape finale où l'ensemble de tous les sujets ne forment plus qu'un seul groupe. A chaque étape intermédiaire, les deux groupes les plus proches (selon une distance et un indice d'agrégation bien définis) sont fusionnés pour ne former plus qu'un.

Les regroupements successifs sont visibles sur le dendrogramme ou arbre de classification. Il faut alors choisir le nombre de groupes et « couper » l'arbre de classification. Ce choix s'appuie sur la perte d'homogénéité obtenue entre deux regroupements successifs lors de l'algorithme. Si, en passant d'une situation à  $k$  groupes à une situation à  $k-1$  groupes, on perd trop d'homogénéité (matérialisée par un « saut » important entre deux niveaux successifs dans le calcul du gain d'inertie), on choisit alors de rester à une situation avec  $k$  groupes.

Après avoir choisi le nombre de groupes et établi la classification des sujets, il est intéressant de décrire les groupes. Pour les variables qualitatives (catégorielles), il est regardé pour chaque groupe si les modalités des variables  $y$  sont surreprésentées ou sous-représentées par rapport aux autres groupes.

La classification ascendante hiérarchique a été réalisée à l'aide des fonctions *agnes*, *HCPC* et *catdes* des packages *cluster* et *FactoMineR* du logiciel R.

## **II. Exploration de l'étendue vocale et des mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère**

Cette partie consiste d'une part en l'analyse d'une première base de données de voix d'enfants préalablement enregistrée au laboratoire GIPSA-lab en 2011 par nos directeurs de mémoire et l'ingénieur de recherche C. Savariaux.

Pour compléter cette base et pouvoir généraliser nos observations préliminaires sur les mécanismes vibratoires laryngés à disposition chez l'enfant prépubère et l'étendue vocale dont il dispose, nous avons choisi d'explorer la voix d'un plus grand nombre d'enfants prépubères. Pour cela, nous sommes allées enregistrer les enfants sur leur lieu de scolarité.

L'objectif de cette étude est de recueillir des échantillons de voix d'enfants prépubères, dans des tâches différentes. Nous avons fixé la limite supérieure en âge à 10 ans, suivant ainsi les travaux de Hacki & Heitmüller (1999) qui déterminent le début de la mue à 10-11 ans.

En combinant les analyses acoustiques et électroglottographiques sur l'ensemble des deux bases de données, nous recherchons à identifier les mécanismes vibratoires laryngés que l'enfant utilise et à évaluer l'étendue vocale dont il dispose pour parler et chanter.



---

## 1. Population

En 2011, les productions de 10 enfants, dont 5 filles et 5 garçons ont été enregistrées au laboratoire GIPSA-lab. Ils pratiquaient tous le chant depuis au moins deux années dans le Centre d'Enseignement Musical de la Ville de Meylan (CEMVM). Ils étaient âgés entre 8 à 10 ans, à l'exception d'un garçon de 12 ans que nous n'avons pas retenu pour notre étude. Il s'agit des sujets S1 à S9 (cf. Annexe III).

En 2014, nous avons mené des enregistrements sur 62 enfants, âgés de 8 à 10 ans, scolarisés en classe de CE2 ou CM1 dans les écoles J.F Kennedy et St Joseph du 8<sup>ème</sup> et du 7<sup>ème</sup> arrondissement de Lyon. Il s'agit des sujets S10 à S71 (cf. Annexe III) répertoriés selon le sexe, l'âge et la pratique du chant ou de la musique. Seuls quatre enfants de la base de données de 2014 font partie d'une chorale donc 18% de l'ensemble de notre population ont une pratique du chant.

Nous avons classé l'ensemble de notre population selon le sexe et l'âge dans le tableau suivant :

	8 ans	9 ans	10 ans	Nombre total
Filles	14	18	4	36
Garçons	14	18	3	35
Nombre total	28	36	7	71

**Tableau 1 : Ensemble de la population d'enfants classée selon le sexe et l'âge.**

Après une première écoute des enregistrements, nous avons été obligées d'exclure le sujet S3 car il était très inquiet et n'a pas pu réaliser la passation en entier. Par conséquent il nous manque trop d'informations pour que l'analyse de sa voix soit pertinente. L'enregistrement du sujet S23 a donné un signal sonore inutilisable pour l'analyse car les branchements n'étaient pas correctement réalisés.

Les voix ont été analysées par le Dr Sarfati, afin de leur conférer un « grade » de dysphonie, allant de 1 à 3. Le grade 1 indique qu'il n'y a pas de trouble du timbre décelable sur l'échantillon de voix parlée. Le grade 2 concerne les voix avec un trouble léger du timbre et le grade 3 indique une dysphonie franche.

## 2. Matériel

### 2.1. Matériel pour le recueil de données

Nous avons effectué plusieurs types d'enregistrements : audio et électroglottographique. Lors des enregistrements effectués en laboratoire en 2011, un enregistrement vidéo des expériences a également été réalisé.

En 2011, les données audio ont été recueillies à l'aide d'un microphone omnidirectionnel Bruel&Kjaer (B&K 4944) et d'un amplificateur Nexus, placé à 30 cm de la bouche de l'enfant. Ce dernier se tenait debout, face au microphone et à la caméra. Deux

---

expérimentatrices étaient présentes dans la pièce avec lui, dont l'une interagissait directement en face-à-face avec lui.

En 2014, nous avons utilisé un microphone SHURE WH20QTR placé à 5 cm de la bouche de l'enfant. Après plusieurs essais sur d'autres distances (1 cm pour un sujet, 2 cm pour 6 sujets), il nous a semblé que c'était la distance optimale pour que le niveau sonore de l'enfant soit suffisant tout en limitant les bruits de souffle dans le micro. L'enfant enregistré était assis face à l'écran d'un ordinateur. Il interagissait avec l'expérimentatrice placée de biais. Le microphone était positionné avec un contour de tête, ce qui permettait les mouvements de tête de l'enfant.

A la différence des enregistrements de 2014, effectués sur site et dans une salle de classe mise à disposition pour les expériences, les enregistrements effectués en 2011 ont eu lieu dans une chambre peu réverbérante en laboratoire, dans des conditions optimales d'enregistrement.

Pour les enregistrements de 2011 comme pour ceux de 2014, le contact glottique a été enregistré à l'aide d'un électroglottographe EG2 (Glottal Enterprises) relié à un oscilloscope numérique qui permet de visualiser l'allure des signaux en cours d'expérience.

Les signaux audio et EGG ont été enregistrés simultanément sur un enregistreur numérique multi-canal (PMD en 2011 et Zoom H4n en 2014), échantillonnés à 44100 Hz et sur 16 bits.

En 2014, les enfants étaient munis d'un casque ouvert (Sennheiser HD 650) pour l'écoute des exemples sonores (sirènes) et du karaoké (Joyeux anniversaire). Ils avaient un retour visuel de leur production à l'aide du logiciel Overtone Analyzer sur un ordinateur portable posé devant eux. En plus de l'aspect ludique, ce retour visuel avait pour but d'inciter l'enfant à aller rechercher les extrêmes de ses capacités vocales.

## **2.2. Matériel pour l'analyse des données**

Les données ont été segmentées et annotées sous Praat (Boersma & Weenink, université d'Amsterdam) par l'élaboration de différents textgrids, pour 2011 et sous Audacity, par l'ajout de labels, pour 2014. Le traitement des données a ensuite été effectué avec le logiciel Matlab.

Le traitement statistique a été effectué à partir du logiciel R.

## **3. Méthode**

### **3.1. Déroulement de la session**

Les sessions d'enregistrements avaient pour but de recueillir trois grands types de données : de la voix parlée, de la voix chantée et des productions permettant d'explorer l'étendue vocale et les mécanismes laryngés dont disposent les enfants.

---

En 2011, une session d'enregistrement durait 30 minutes, contre 10 minutes en 2014.

En effet, le premier recueil visait à obtenir le maximum de détails sur les capacités vocales des enfants, en les explorant sous de multiples aspects.

En 2014, nous avons réduit la quantité de productions en ciblant celles qui nous semblaient les plus pertinentes pour notre recherche. Les sessions étant plus rapides, nous avons eu la possibilité d'enregistrer un plus grand nombre d'enfants.

### **3.1.1. La voix parlée**

Nous commençons les sessions par interroger brièvement l'enfant. Nous lui demandons son nom, son prénom, son âge et son expérience musicale.

En 2011, il devait également lire un texte simple, transmis par Madame Sarfati, d'un niveau de CE1-CE2.

En 2014, nous lui proposons de nous faire un court récit (ce qu'il prévoyait de faire le weekend suivant par exemple) afin d'augmenter l'échantillon de voix parlée spontanée. Il n'y avait pas de tâche de lecture.

Ces tâches ont pour but de mesurer la dynamique de fréquence fondamentale de chaque enfant en voix parlée.

### **3.1.2. La voix chantée**

Nous demandons aux enfants de nous chanter l'air du « Joyeux Anniversaire ». Nous avons choisi cet air parce qu'il est généralement connu par tous, et les paroles sont toujours les mêmes. Ainsi, nous mettons les enfants le plus à l'aise possible, étant donné qu'ils ne sont pas tous habitués à chanter.

Cette même chanson était ensuite proposée aux enfants en version karaoké.

En 2011, disposant de plus de temps, il était demandé aux enfants de produire ensuite des chants libres de leur choix.

Nous avons choisi de proposer ces tâches afin d'apporter un caractère ludique aux sessions d'enregistrement. Elles n'entreront pas dans notre analyse mais pourront faire l'objet d'un travail mené ultérieurement.

### **3.1.3. Exploration des mécanismes laryngés et de l'étendue vocale**

Les tâches suivantes ont pour but d'explorer l'étendue vocale de l'enfant et d'ainsi identifier les mécanismes laryngés dont il dispose.

Comme nous l'évoquions dans la partie théorique, l'étendue vocale est souvent mesurée dans la littérature à l'aide du phonétogramme. Néanmoins, elle peut également se mesurer

---

par la production de glissandi (Giovanni & St Victor, 2013), qui est une méthode plus rapide. Les glissandi présentent également l'avantage de mettre éventuellement en lumière des phénomènes de transition fréquentielle, indicateurs d'un passage de mécanismes laryngés.

En 2011, l'enfant devait réaliser des sirènes libres sur la voyelle /i/. L'explication de l'exercice était donnée au sujet avec la métaphore d'une fusée qui monte et qui descend pour les plus jeunes. Un exemple lui était fait par une des expérimentatrices au besoin. Chaque tâche était répétée trois fois.

- L'enfant devait d'abord réaliser, sans modèle, un minimum de trois glissandi ascendants, c'est-à-dire produire des sons du plus grave au plus aigu en un seul souffle mais pas trop lentement. Il devait ensuite produire trois glissandi descendants, c'est-à-dire du plus aigu au plus grave.
- Dans un second temps, l'enfant était amené à produire trois sirènes ascendantes pour chacune des notes de départ imposées. La note la plus grave était choisie en faisant chanter des tierces descendantes à l'enfant pour tester sa limite basse.
- Enfin, l'enfant devait réaliser la même tâche mais en produisant les sons du plus aigu au plus grave. La note la plus aiguë était choisie en faisant chanter des tierces ascendantes à l'enfant pour tester sa limite haute.

Par la note donnée à l'enfant en début de sirène, nous cherchions à l'inciter à explorer ses possibilités vocales au-delà de ses productions spontanées.

En 2014, des sirènes synthétiques, encore appelées porteuses, ont été élaborées sous Matlab par synthèse d'un sinus glissant entre une fréquence fondamentale minimale (100Hz) et une fréquence fondamentale maximale (2800Hz). La sirène était soit ascendante, soit descendante, pour une durée de 6 secondes. La sirène porteuse était passée en boucle dans le casque, séparée par 2 secondes de silence pour laisser la possibilité à l'enfant d'aller au-delà des fréquences de la porteuse. Cette dernière avait pour but de l'inciter à aller dans les sons les plus graves ou les plus aigus qu'il était capable de produire. Il devait alors réaliser trois glissandi ascendants puis trois descendants. En cas de difficulté de l'enfant, nous leur donnions également des exemples vocaux.

Au regard des premières passations avec les sirènes porteuses, qui ne semblaient pas engendrer de productions spontanées en M1, nous avons intégré au protocole une nouvelle tâche consistant à stimuler le passage du M1 au M2. Pour cela, nous demandions aux enfants de produire un son grave et sonore suivi de l'émission d'un son aigu et plus léger pour rechercher un décrochage. Nous leur proposons aussi la tâche inverse : passage de l'aigu au grave (M2 au M1).

Dans un second temps, nous avons mené une exploration des mécanismes extrêmes (M0 et M3) souvent non utilisés en spontané mais pouvant être produits par l'enfant prépubère. En 2011 et 2014, il était demandé à l'enfant de produire les sons les plus graves possibles, c'est-à-dire perçus comme impulsionnels, par l'image de la personne fatiguée, avachie. Pour les sons les plus aigus, nous donnions l'exemple des cris de souris. Produire des exemples vocaux s'est révélé souvent nécessaire.

### 3.1.4. Tableau récapitulatif des tâches

Puisque deux protocoles différents ont été proposés, et que certaines tâches ont été ajoutées pendant les sessions d'enregistrements, nous présentons un tableau récapitulatif du nombre d'enfants qui a effectué chaque type de production.

Tâches proposées	voix parlée			voix chantée			exploration de l'étendue vocale et des mécanismes laryngés					
	présentation	récit bref	lecture	chant libre	joyeux anniversaire libre	anniversaire karaoké	sirènes libres	sirène avec notes de départ	sirènes avec porteuse	exploration M0	exploration passage M1-M2	exploration M3
Nombre de participants	71	61	9	9	71	70	9	7	61	58	49	54

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif des tâches et de la population par tâche.**

## 3.2. Analyse des données

La fréquence fondamentale a été calculée sur le signal audio à l'aide de la fonction yin (De Cheveigné et Kawahara) sous Matlab. Les données aberrantes ont été retirées de façon semi-automatique. Les paramètres mesurés sont : la fréquence fondamentale moyenne et médiane, ses valeurs minimale et maximale sur la tâche (en parole et sur les glissandi), ainsi que l'étendue vocale, calculée comme la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de  $f_0$ .

Nous avons ensuite analysé les types de mécanismes que pouvaient présenter les enfants par la combinaison de l'analyse des signaux acoustiques et électroglottographiques. Les transitions entre mécanismes s'observent sur les signaux EGG par des ruptures marquées dans l'amplitude du signal.

### 3.2.1. Comparaisons de groupes

Nous avons fait le choix d'observer toutes les données des fréquences fondamentales en fonction du sexe, du degré de dysphonie et des mécanismes laryngés principaux dont dispose l'enfant. Sont exclus de cette analyse les mécanismes extrêmes.

Après avoir vérifié que nos groupes suivaient une loi normale (c'est-à-dire que 95% des individus de chaque groupe se situent entre +2 et -2 écarts-types), nous avons pu réaliser une analyse de variance et conclure à l'incidence des variables indépendantes que sont le sexe, le degré de dysphonie et le type de mécanismes laryngés que peut produire l'enfant sur les variables dépendantes que sont celles liées aux variations de fréquence fondamentale. Nous avons ensuite observé l'incidence de la dysphonie sur le nombre de mécanismes laryngés disponibles.

---

# **Chapitre IV**

## **PRESENTATION DES RESULTATS**

---

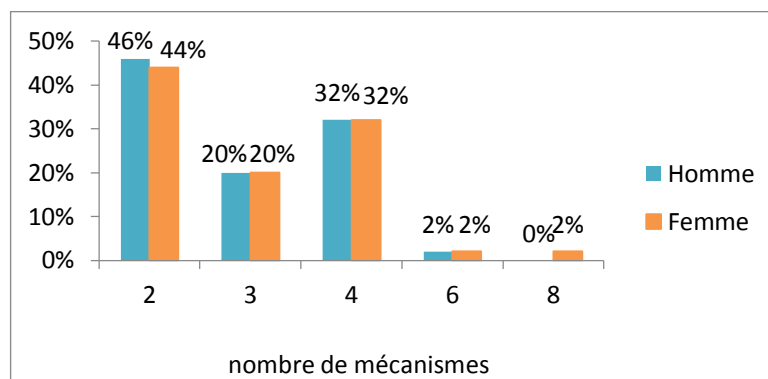
## I. Résultats de l'enquête

### 1. Données générales

Les calculs présentés dans les graphiques suivants ne concernent que les personnes qui se sont prononcées sur ces items.

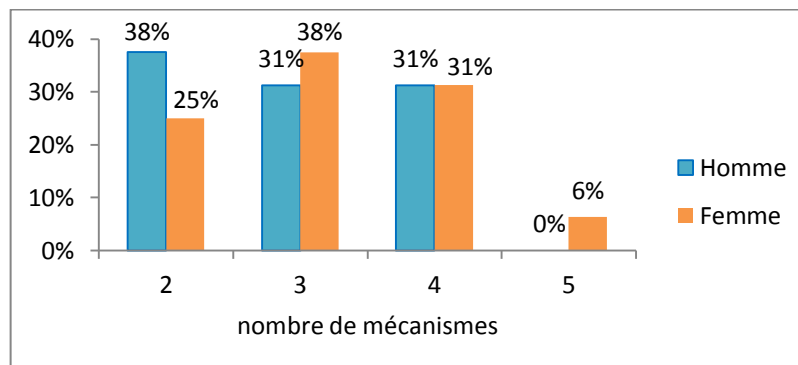
#### 1.1. Nombre de mécanismes laryngés

##### 1.1.1. Chez l'adulte



**Figure 8 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adulte.**

Au regard des 50 réponses obtenues des cliniciens qui concernent les mécanismes laryngés de l'adulte, nous remarquons qu'ils ne sont pas d'accord. La réponse qui revient le plus souvent est que l'adulte dispose de 2 mécanismes laryngés (46% des réponses chez l'homme, et 44% chez la femme). 32% des réponses indiquent que l'adulte dispose de 4 mécanismes et 20 % de 3 mécanismes quel que soit le sexe. Le graphique met en évidence que les cliniciens ne font que très peu de différence entre l'homme et la femme sur leur nombre de mécanismes laryngés.

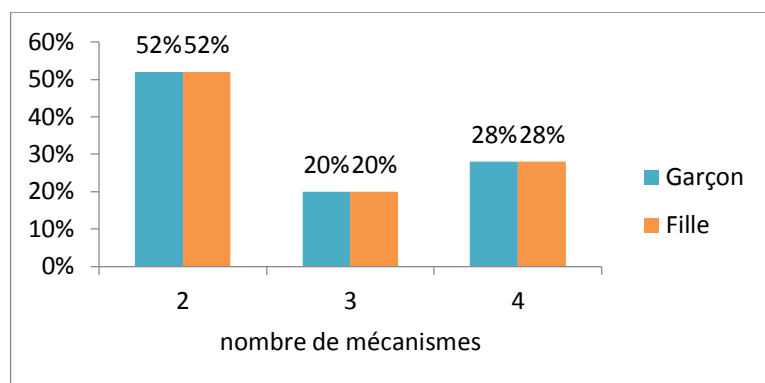


**Figure 9 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adulte.**

Parmi les 16 réponses des pédagogues, nous constatons qu'il n'y a pas de consensus sur le nombre de mécanismes laryngés chez l'adulte homme ou femme. 38% pensent qu'il y a 2 mécanismes laryngés chez l'homme contre 25% chez la femme. Pour 31% des répondants, l'homme dispose de 3 mécanismes laryngés de même que 38% chez la femme. 31% des pédagogues pensent que l'adulte homme ou femme possède 4 mécanismes laryngés.

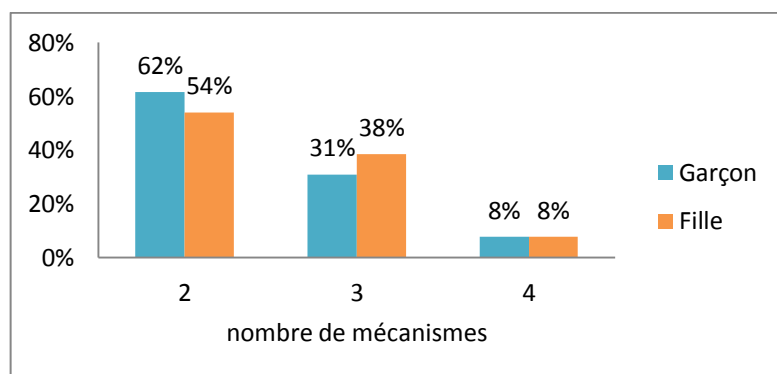
Pour les cliniciens, comme pour les pédagogues, il n'y a pas de consensus sur le nombre de mécanismes laryngés présents chez l'adulte, variant principalement de 2 à 4. On ne remarque pas de différence notable entre les sexes.

### 1.1.2. Chez l'adolescent



**Figure 10 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adolescent.**

En ce qui concerne l'adolescent, bien qu'il n'y ait pas de consensus, la majorité des 47 individus qui se sont prononcés sur cet item indiquent qu'il dispose de 2 mécanismes laryngés. Seulement 3 cliniciens attribuent un nombre de mécanismes différent aux filles et aux garçons.



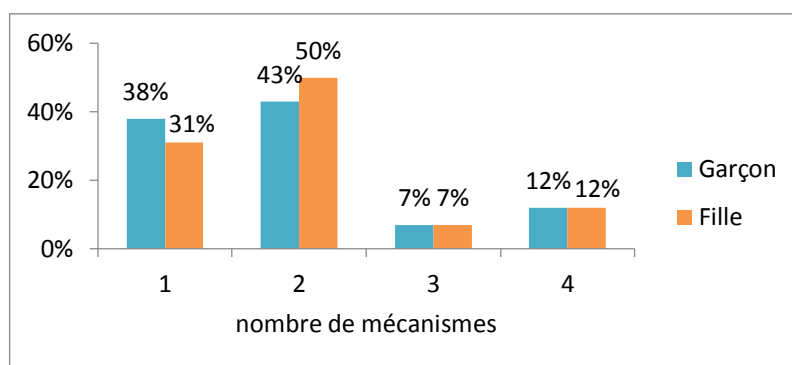
**Figure 11 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adolescent.**

Pour les 13 pédagogues qui ont répondu à cet item, on constate que la majorité attribue 2 mécanismes laryngés chez l'adolescent fille ou garçon. Seulement une personne répond que l'adolescent fille ou garçon dispose de 4 mécanismes laryngés.

On constate que les deux populations de répondants pensent majoritairement que l'adolescent dispose de 2 mécanismes laryngés, quel que soit le sexe.

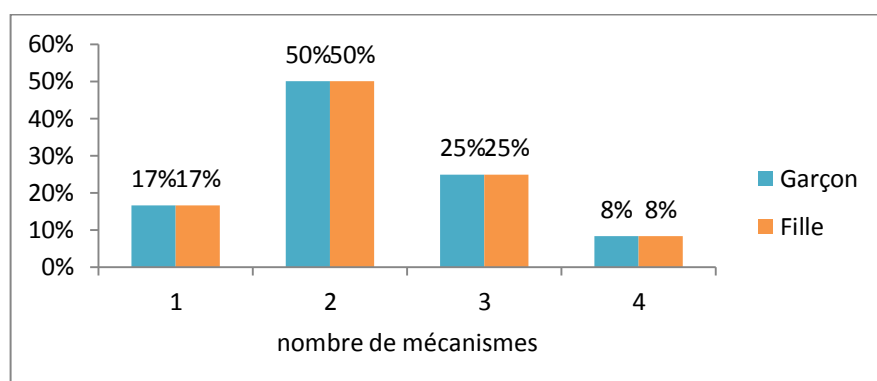


### 1.1.3. Chez l'enfant



**Figure 12 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'enfant.**

Pour les 42 cliniciens qui ont répondu à ces items, ceux qui confèrent deux mécanismes aux enfants sont les plus nombreux. Néanmoins, l'attribution d'un seul mécanisme est assez fréquente (31% pour les filles et 38% pour les garçons). Elle était absente de la population adulte et exceptionnelle dans la population adolescente.



**Figure 13 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'enfant.**

Parmi les 12 réponses des pédagogues, on remarque d'abord qu'ils ne font aucune différence de sexe pour l'enfant. La moitié admet qu'il dispose de 2 mécanismes laryngés alors que le quart a répondu 3 mécanismes laryngés. Seulement une personne répond que l'enfant dispose de 4 mécanismes laryngés. 2 professeurs de chant pensent qu'un seul mécanisme laryngé n'est présent chez l'enfant, réponse qui n'avait pas été évoquée auparavant.

Comme pour l'adolescent, il semblerait que les deux populations de répondants attribuent préférentiellement 2 mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère, quel que soit le sexe.

Bien que ces réponses ne soient pas consensuelles, les cliniciens comme les pédagogues, attribuent au moins deux mécanismes laryngés chez l'adulte.

Il est important de noter que le nombre de non-réponses augmente en fonction de la population cible. En effet, elles sont plus nombreuses chez l'adolescent que chez l'adulte, et encore plus chez l'enfant. Cet indice contribue à nous faire penser que les caractéristiques de la voix de l'enfant sont moins bien connues des professionnels.

---

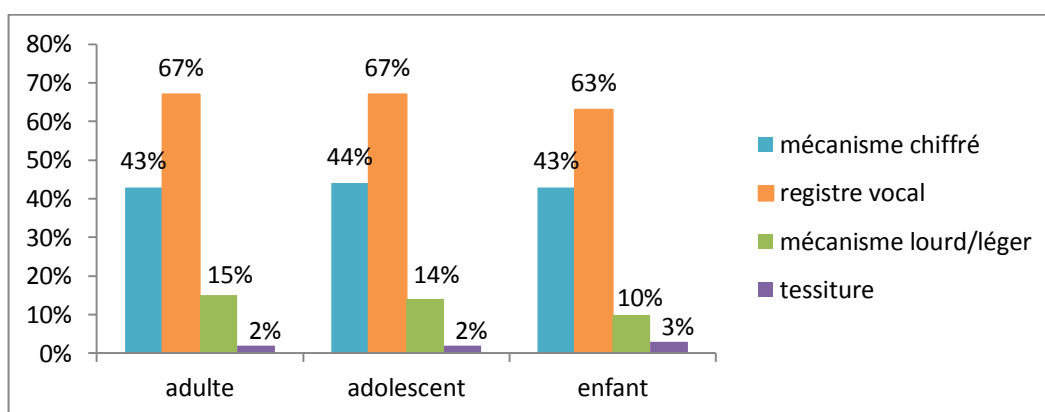
## 1.2. Appellations des mécanismes laryngés

Nous avons choisi de classer les réponses des répondants en quatre classes. Dans la catégorie « mécanisme chiffré », nous intégrons les réponses du type « M1, M2 », « mécanismes 1 et 2 », « mécanismes I et II ». Dans la catégorie « registre vocal », sont incluses les réponses telles que « voix ou registre de tête, de poitrine, fry, sifflet, flageolet, fausset ». La catégorie « tessiture » contient des réponses du type « baryton, ténor, alto, soprano ». Enfin, la catégorie « mécanisme lourd/léger » ne comporte que cette appellation-même.

La somme des quatre pourcentages n'est pas égale à 100%, parce que certains individus ont pu évoquer plusieurs de ces catégories dans leurs réponses. Ex : « M1 ou voix de poitrine ; M2 ou voix de tête ».

Comme il n'y a pas de différence entre les sexes, pour nommer les mécanismes laryngés, au sein d'une même population, nous les avons donc regroupés.

### 1.2.1. D'après les cliniciens



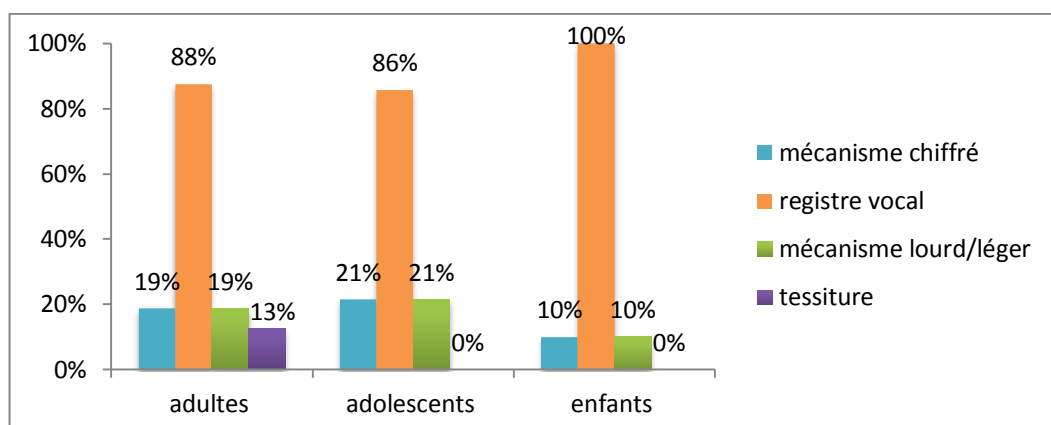
**Figure 14 : Synthèse des appellations évoquées par les cliniciens pour chaque population.**

L'appellation la plus répandue est celle qui évoque les registres vocaux. Elle concerne entre 63 et 67% des réponses. L'appellation en termes de mécanismes chiffrés concerne environ 40% des réponses.

L'appellation en mécanisme lourd/léger est bien moins fréquente : elle concerne 10 à 15% des réponses. Un seul individu attribue des noms de tessitures aux mécanismes.

On remarque qu'il n'y a pas de réelles différences d'appellations en fonction de la population concernée. Néanmoins, comme pour les mécanismes laryngés, le nombre de non-réponses augmente quand l'âge de la population cible diminue.

## 1.2.2. D'après les pédagogues

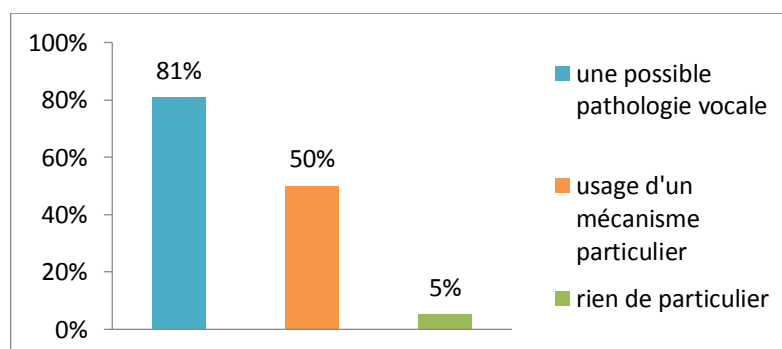


**Figure 15: Synthèse des appellations évoquées par les pédagogues pour chaque population.**

L'appellation en lien avec un registre vocal est largement préférée chez les pédagogues, quel que soit le type de population. La notion de mécanisme se fait plus rare chez l'enfant. Toutes les personnes qui ont cité l'appellation « mécanisme chiffré » l'ont mis en lien avec la notion de registre vocal correspondante. Les personnes qui ont utilisé les notions de tessiture pour les adultes n'ont pas répondu aux questions pour les adolescents et les enfants.

En conclusion, nous pouvons affirmer que l'appellation en termes de registre vocal est préférée chez les cliniciens et les pédagogues.

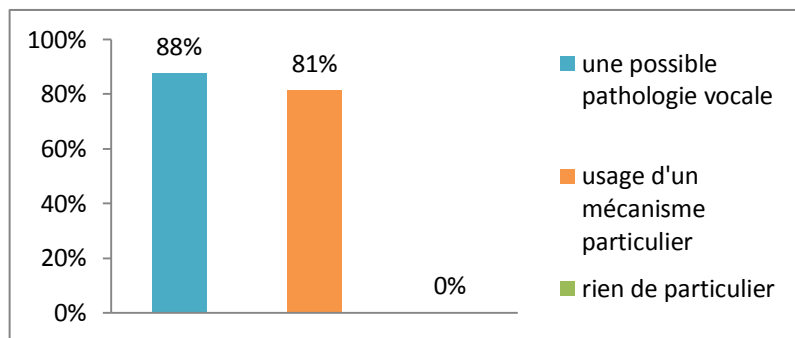
## 1.3. Une voix parlée grave chez un enfant prépubère



**Figure 16 : Synthèse des réponses obtenues par les cliniciens à la question 18.**

La voix grave chez un enfant prépubère éveille presque toujours une analyse des cliniciens. Il est très rare que cela ne leur évoque rien de particulier. Dans la grande majorité des cas (81% des 58 réponses), ils l'associent à une possible pathologie vocale. La moitié d'entre eux, la mettent en lien avec l'usage d'un mécanisme laryngé particulier.

20 individus, soit 34%, évoquent à la fois la possible pathologie vocale et l'usage d'un mécanisme particulier.



**Figure 17 : Synthèse des réponses obtenues par les pédagogues à la question 18.**

Pour aucun des pédagogues, une voix grave chez un enfant prépubère n'évoque rien de particulier. 11 individus, soit 69%, évoquent à la fois la possibilité d'une pathologie vocale et l'usage d'un mécanisme particulier.

Comme nous le retrouvons dans la littérature (Dejonckere, 1999 ; Le Huche & Allali, 2001), pour la plupart des cliniciens et pédagogues, une voix grave chez un enfant prépubère est le signe d'une possible pathologie vocale.

Nous nous interrogeons, toutefois, sur les réponses des personnes qui évoquent à la fois l'usage d'un mécanisme particulier et une possible pathologie vocale. En effet, nous ne pouvons savoir s'ils considèrent que c'est l'un ou l'autre de ces phénomènes qui conduit à la voix grave, ou si, selon eux, l'usage du mécanisme particulier fait partie de la pathologie vocale.

## 2. Profils des répondants

Nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique (CAH) qui nous a permis d'extraire des profils de répondants. Les variables représentatives de chaque groupe concernent le nombre de mécanismes laryngés et leurs appellations attribués à chaque population.

### 2.1. Profils des cliniciens

Les cliniciens se répartissent en cinq groupes d'après le dendrogramme (cf. Annexe IV).

Le groupe 1, en bleu foncé, regroupe 11 individus considérant les mécanismes laryngés et les registres vocaux comme synonymes. En effet, les appellations qu'ils donnent aux différents mécanismes mettent en lien ces deux notions (exemple : M0 = fry, M1 = poitrine, M2 = tête, M3 = sifflet). Aucun d'entre eux ne considère qu'un seul mécanisme ne soit présent chez les adultes, les adolescents ou les enfants.

Le groupe 2, en bleu turquoise, est composé de 11 individus qui se distinguent par l'appellation chiffrée qu'ils donnent aux mécanismes laryngés, (du type M0, M1, M2, M3). Aucun ne donne d'appellation par les registres vocaux.

---

Le groupe 3, en rouge, rassemble 16 individus qui attribuent une appellation de registre vocal aux mécanismes laryngés. En majorité, ils considèrent que les adultes et adolescents disposent de deux mécanismes laryngés (de 75 à 81%) et que les enfants en disposent d'un seul (69%).

Le groupe 4, en noir, intègre les 26 personnes qui n'ont répondu qu'à très peu d'items sur l'ensemble du questionnaire. Il regroupe également ceux qui ne se considèrent familiers avec aucune des notions sur les registres et mécanismes.

Le groupe 5, en vert, regroupe les 6 personnes caractérisant les mécanismes par les appellations « mécanisme lourd/léger ». Tous les membres qui désignent ainsi les mécanismes adultes et enfants sont dans ce groupe, de même que la majorité de ceux qui donnent cette appellation chez l'adolescent (83%).

En conclusion, les profils des cliniciens interrogés se distinguent majoritairement par les appellations qu'ils donnent aux mécanismes laryngés. Hormis le groupe 3, où le nombre de mécanismes est assez consensuel, ce n'est pas parce qu'ils donnent la même appellation que les cliniciens attribuent le même nombre de mécanismes. Cette absence d'accord entre eux est valable pour les trois types de population : adulte, adolescent et enfant.

## **2.2. Profils des pédagogues**

D'après la CAH, les pédagogues se répartissent en six groupes, comme présenté sur le dendrogramme en annexe V.

Le groupe en noir, est constitué de 3 sujets considérant 3 mécanismes chez l'adulte, l'adolescent et l'enfant, quel que soit le sexe. Tous les membres de ce groupe n'ont pas de problèmes pour classer dans un groupe vocal un enfant qui a une voix grave parlée.

Le groupe en bleu foncé, regroupe 5 individus qui n'ont pas répondu aux items concernant les mécanismes chez l'adolescent et l'enfant.

Le groupe rouge est composé de 6 personnes. La majorité des membres de ce groupe considère qu'il y a 2 mécanismes chez l'adulte, l'adolescent et l'enfant. Ce groupe rassemble une majorité de professeurs de chant exclusivement.

Les groupes suivants n'ont aucune modalité sur-représentée ou sous-représentée mais nous avons tenté de leur trouver des caractéristiques.

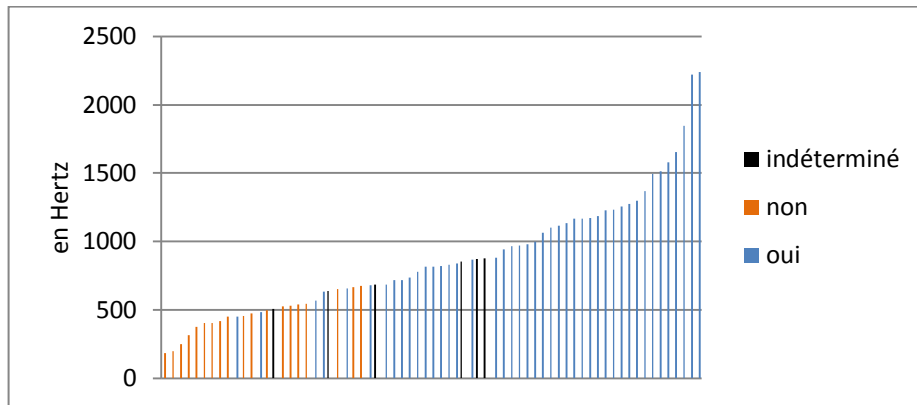
Le groupe vert est constitué de 2 individus qui utilisent les appellations de registre vocal pour les adultes et les enfants. Ils pensent aussi que les enfants et l'adolescent garçon disposent de 2 mécanismes laryngés.

Les groupes bleu turquoise et rose ne sont formés que d'une seule personne. Cependant, ces 2 sujets font le lien entre mécanisme et registre dans leurs appellations.

---

## II. Résultats de l'exploration de l'étendue vocale et des mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère.

### 1. Etendue vocale sur les glissandi



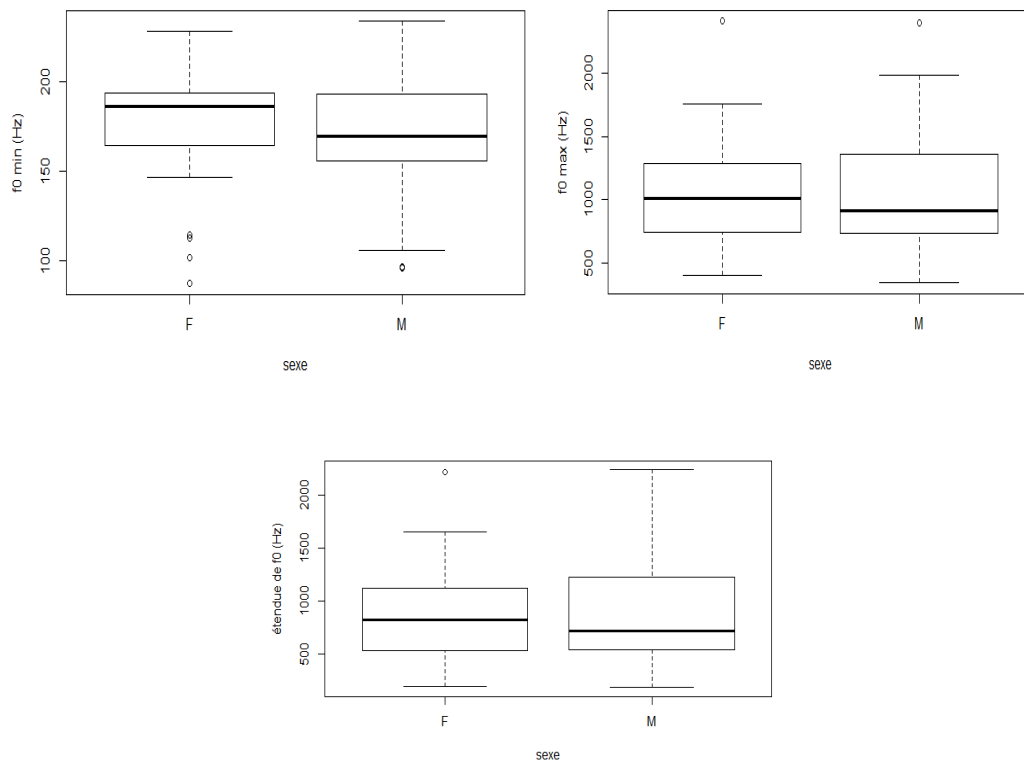
**Figure 18 : Etendue vocale des glissandi en fonction du passage ou non en M3.**

Les étendues vocales des enfants présentées sur la figure 18 ne reflètent pas l'intégralité de leurs possibilités vocales. En effet, il s'agit de l'ensemble des fréquences produites sur les glissandi, dans une seule dynamique. Nous avons exclu les fréquences produites après un saut.

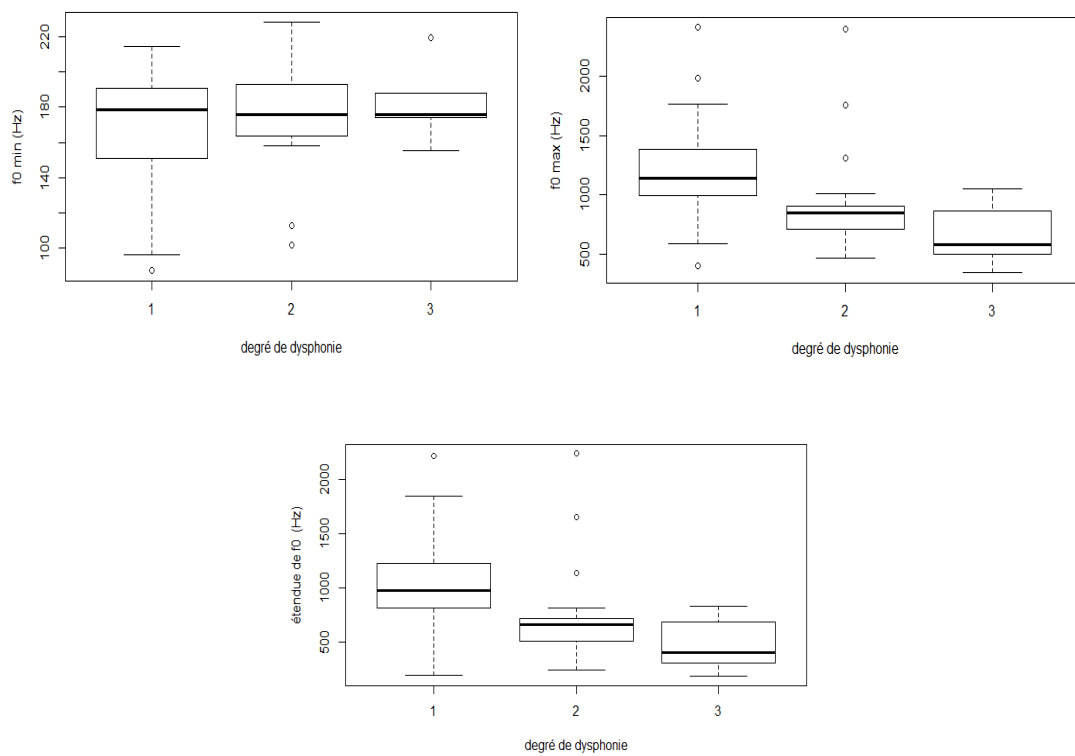
Nos résultats montrent des étendues vocales allant de 187 Hz à 2238 Hz grâce aux glissandi. Les plus grands ambitus visibles sur la figure 18 présentent des passages en M3.

La plus faible étendue est de 13 demi-tons (Sol#2 à Sol#3) et la plus grande est de 53 demi-tons (Sol#1 à La5).

La moyenne et la médiane des ambitus dans les glissandi s'élèvent à 32 demi-tons ( $\sigma = 9$ ).



**Figure 19: Paramètres de F0 sur production de glissando en fonction du sexe.**



**Figure 20 : Paramètres de F0 sur glissando en fonction du degré de dysphonie.**

---

## **2. Paramètres de la fréquence fondamentale sur les glissandi**

### **2.1. Répartition en fonction du sexe**

Les données statistiques sont représentées sur la figure 19. Un exemple de lecture des diagrammes en boîtes est présenté en annexe VI avec les valeurs médianes pour chaque paramètre de la fréquence fondamentale.

L'analyse de la variance montre que le sexe de l'enfant n'a pas d'impact sur les valeurs de la fréquence fondamentale dans les glissandi, que ce soit pour la fréquence minimale produite ( $p = 0,48$ ), la fréquence maximale ( $p = 0,90$ ), ou l'étendue de la sirène ( $p = 0,86$ ).

### **2.2. Répartition en fonction du degré de dysphonie.**

Nous rappelons que le groupe 1 est constitué des enfants pour lesquels aucune anomalie du timbre n'a été détectée sur l'échantillon de voix parlée. Le groupe 2 réunit les enfants avec un trouble léger du timbre. Enfin, le groupe 3 rassemble les enfants avec une dysphonie franche.

Les données sont représentées sur la figure 20.

L'analyse de la variance montre que le degré de dysphonie de l'enfant a un impact sur certaines des composantes de l'étendue des glissandi. L'effet sur la fréquence minimale n'est pas significatif ( $p = 0,48$ ). En revanche, le seuil de significativité est atteint pour la fréquence maximale produite ( $p = 0,01565^*$ ) et pour l'étendue de la sirène ( $p = 0,01431^*$ ).

### **2.3. Répartition en fonction des mécanismes laryngés**

#### **2.3.1. Identification des mécanismes**

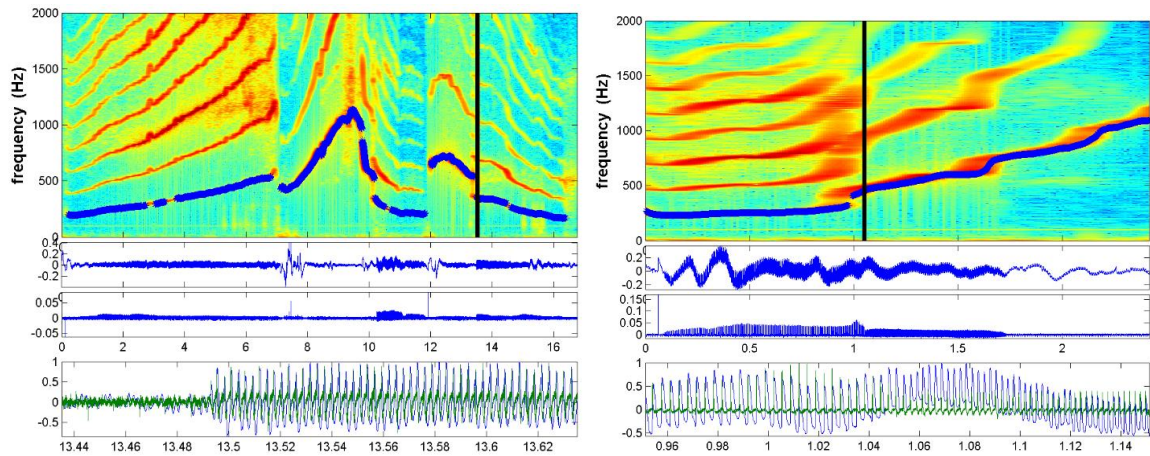
Pour identifier les mécanismes disponibles chez les enfants, nous avons combiné une analyse du signal électroglottographique et du signal acoustique. Nous avons classé la population en quatre catégories selon le ou les mécanismes que nous avons pu identifier dans les productions des enfants.

« M1M2 » regroupe les enfants qui manifestent explicitement une transition entre ces deux mécanismes. Pour classer les enfants dans cette catégorie, nous avons procédé de deux façons différentes.

Pour la première, un saut de fréquence était détectable à l'oreille et visible sur le spectrogramme. De plus, un changement d'amplitude était clairement visible sur le signal EGG.

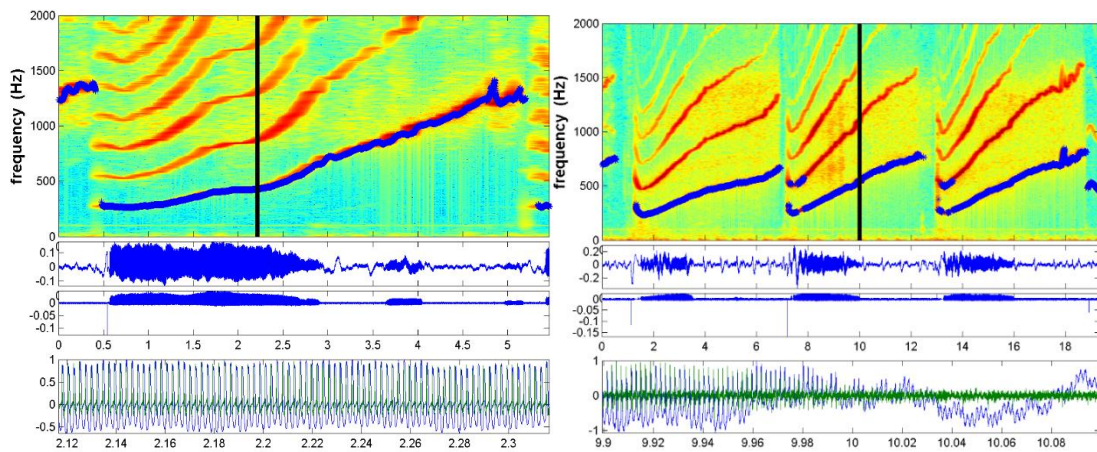


Les deux graphiques suivants illustrent ce premier cas de figure. Sont représentés de haut en bas, le spectrogramme du signal acoustique, l’EGG, la DEGG et le zoom de l’EGG, à l’instant marqué par le trait noir sur le spectrogramme. Ce marquage ne correspond pas systématiquement au moment du passage M1-M2.



**Figure 21 : Visualisation d'un changement de mécanisme M1M2 sur le spectrogramme et le signal EGG des sujets S41 et S24 classés dans le groupe M1M2.**

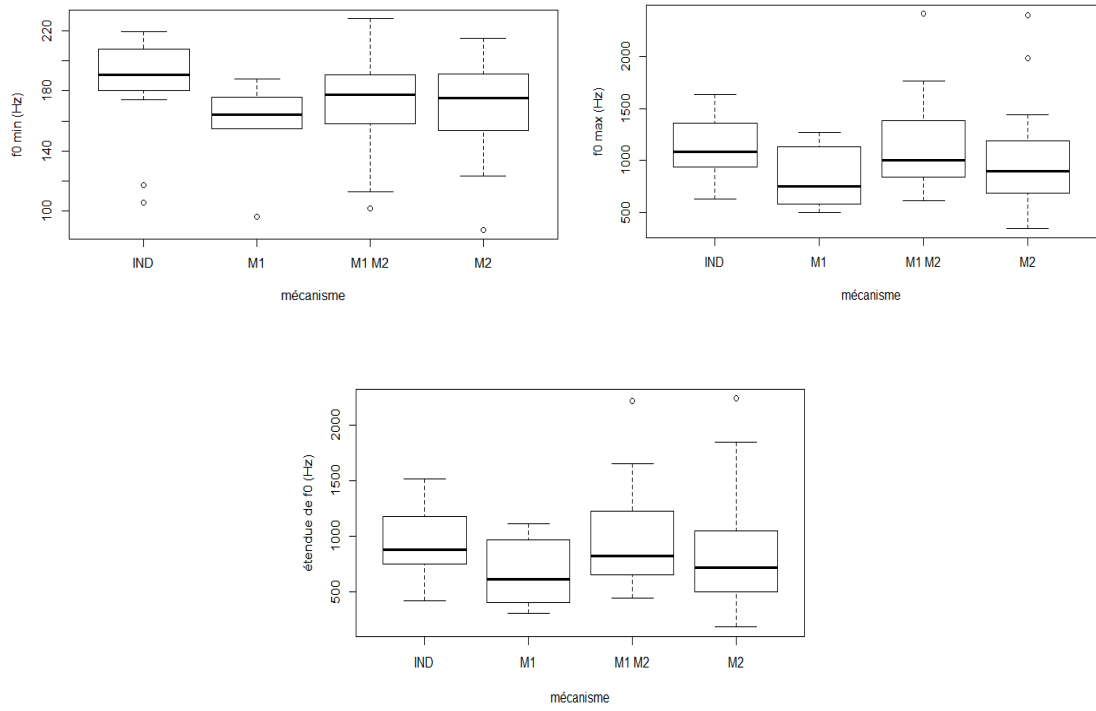
D’autres enfants ont été inclus dans la catégorie M1M2 parce qu’une modification de l’amplitude de leur signal EGG était visible mais il n’y avait pas de saut de fréquence détectable à l’oreille (cf. figure 22).



**Figure 22 : Visualisation d'un changement de mécanisme M1M2 sur le signal EGG des sujets S46 et S14 classés dans le groupe M1M2.**

« M1 » et « M2 » rassemblent les enfants qui ont produit un seul des deux mécanismes pendant l’expérimentation.

Le groupe « IND » correspond aux enfants pour lesquels nous n’avons pu clairement déterminer l’existence ou non d’une transition entre les mécanismes M1 et M2, sur l’EGG ni à l’écoute.



**Figure 23 : Paramètres de F0 en glissando selon les mécanismes laryngés.**

### 2.3.2. Etendue vocale en glissando et mécanismes laryngés

Les possibilités de production sur les glissandi ne sont pas liées aux mécanismes laryngés dont dispose l'enfant (cf. figure 23). (Pour F0 min :  $p = 0,41$  ; pour F0 max :  $p = 0,45$  ; pour l'étendue de F0 :  $p = 0,52$ )

## 3. Fréquence fondamentale en parole

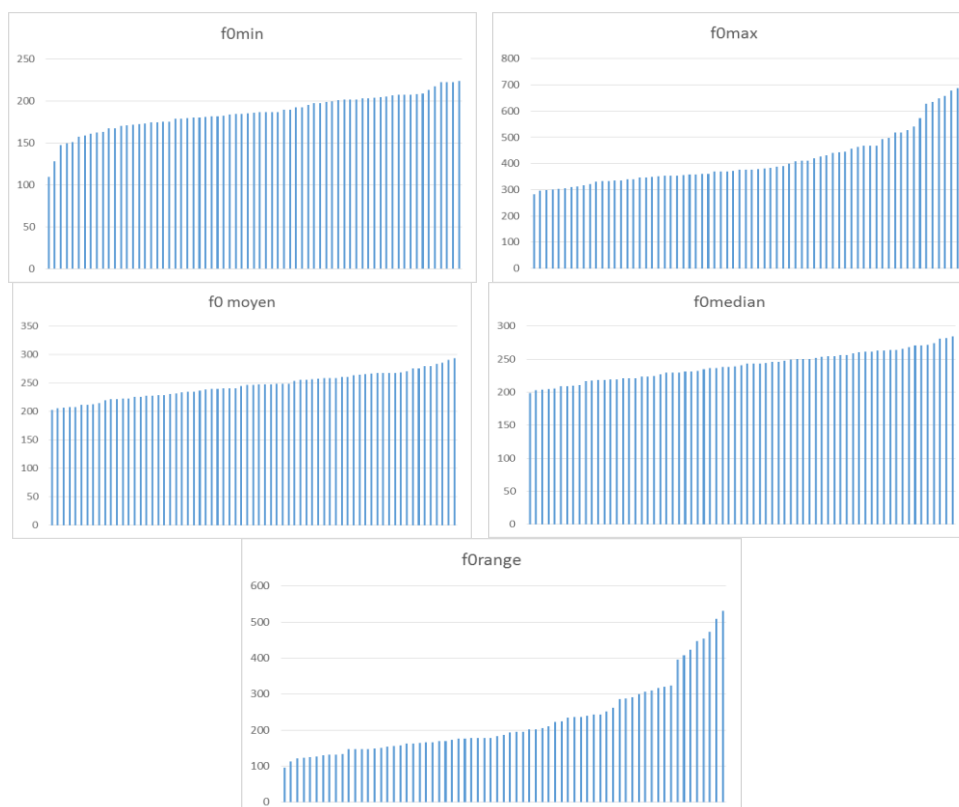
Le tableau ci-dessous rappelle les valeurs moyennes des paramètres observés dans la fréquence fondamentale en parole, pour l'ensemble de la population. Les valeurs sont exprimées en Hertz (Hz).

	F0 moyen	F0 médian	F0 min	F0 max	Etendue de F0
Médiane	246	241	186	377	187
Moyenne	245	240	186	411	225
Ecart-type	23	22	22	100	102

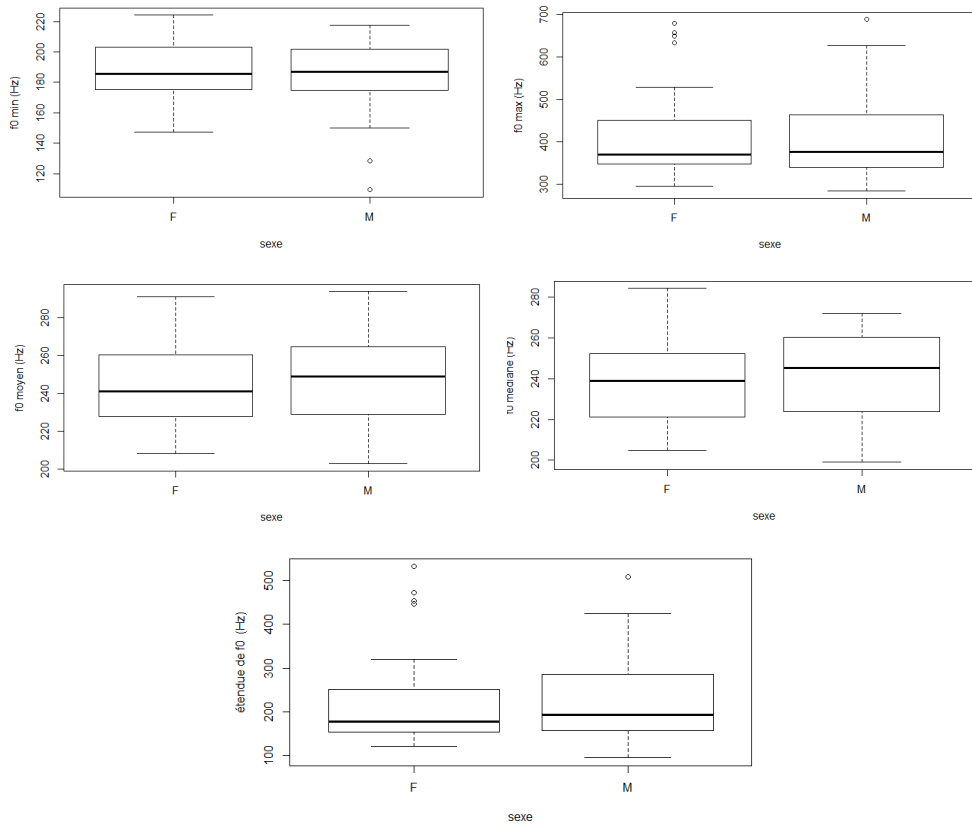
**Tableau 3 : Données statistiques sur les paramètres de la fréquence fondamentale en parole.**

La fréquence fondamentale moyenne, en parole, de l'ensemble de la population s'étend de 202 Hz (Sol#2) à 293 Hz (Ré3), pour une moyenne de 245 Hz (Si2).

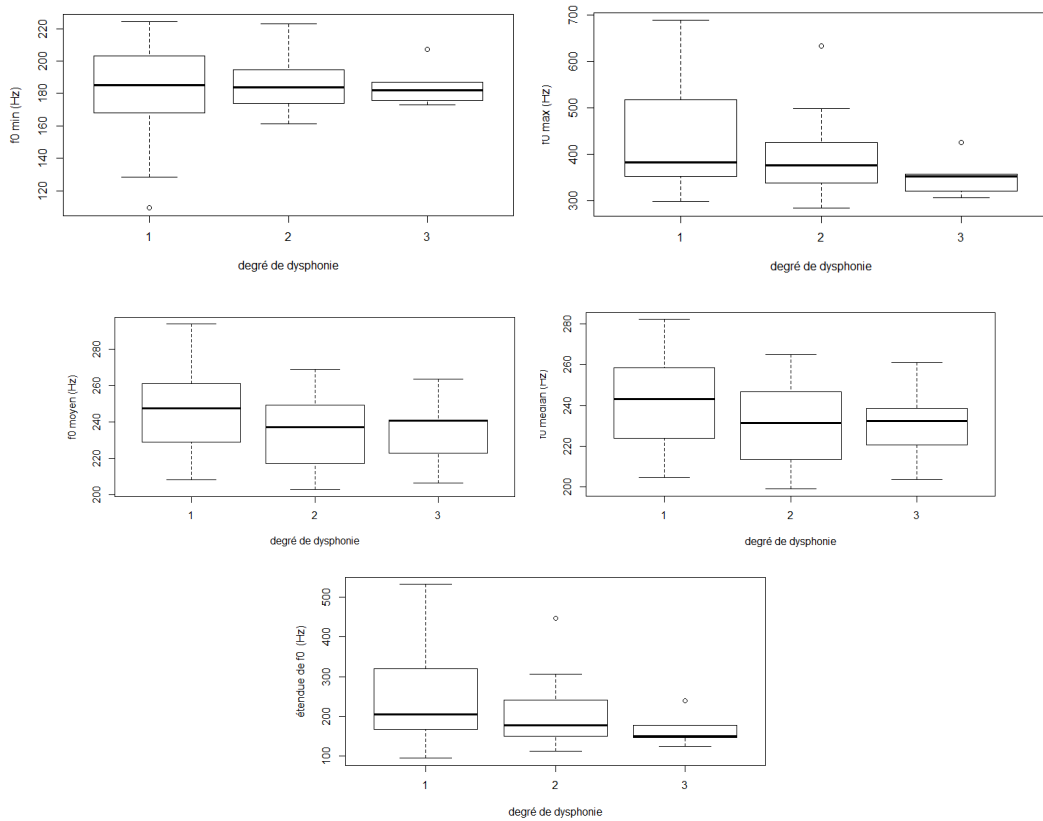
Les figures suivantes représentent les fréquences de chaque paramètre de la parole, produites par les enfants de notre population.



**Figure 24: Valeurs des différents paramètres de F0 en parole.**



**Figure 25 : Paramètres de F0 en parole en fonction du sexe.**



**Figure 26 : Paramètres de F0 en parole en fonction du degré de dysphonie.**

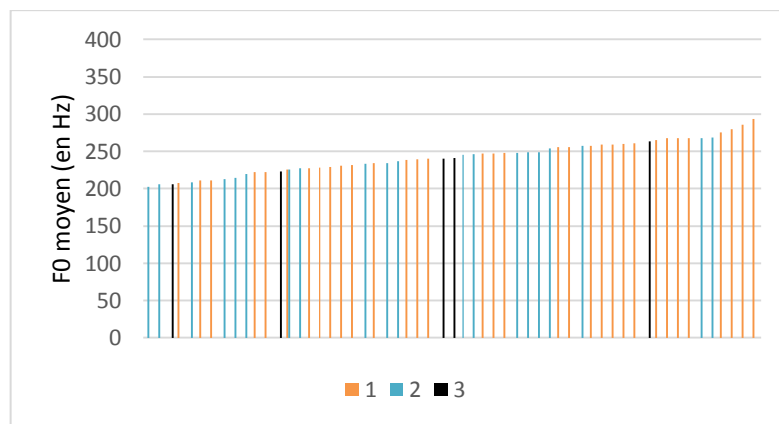
---

Nous allons maintenant considérer ces données en fonction du sexe, du degré de dysphonie et des mécanismes laryngés détectés dans les productions de l'enfant.

### 3.1. Répartition en fonction du sexe

Comme pour les glissandi, le sexe de l'enfant n'a d'impact sur aucune des composantes de la voix parlée (cf. figure 25). Toutes les valeurs de  $p$  sont supérieures à 0,05.

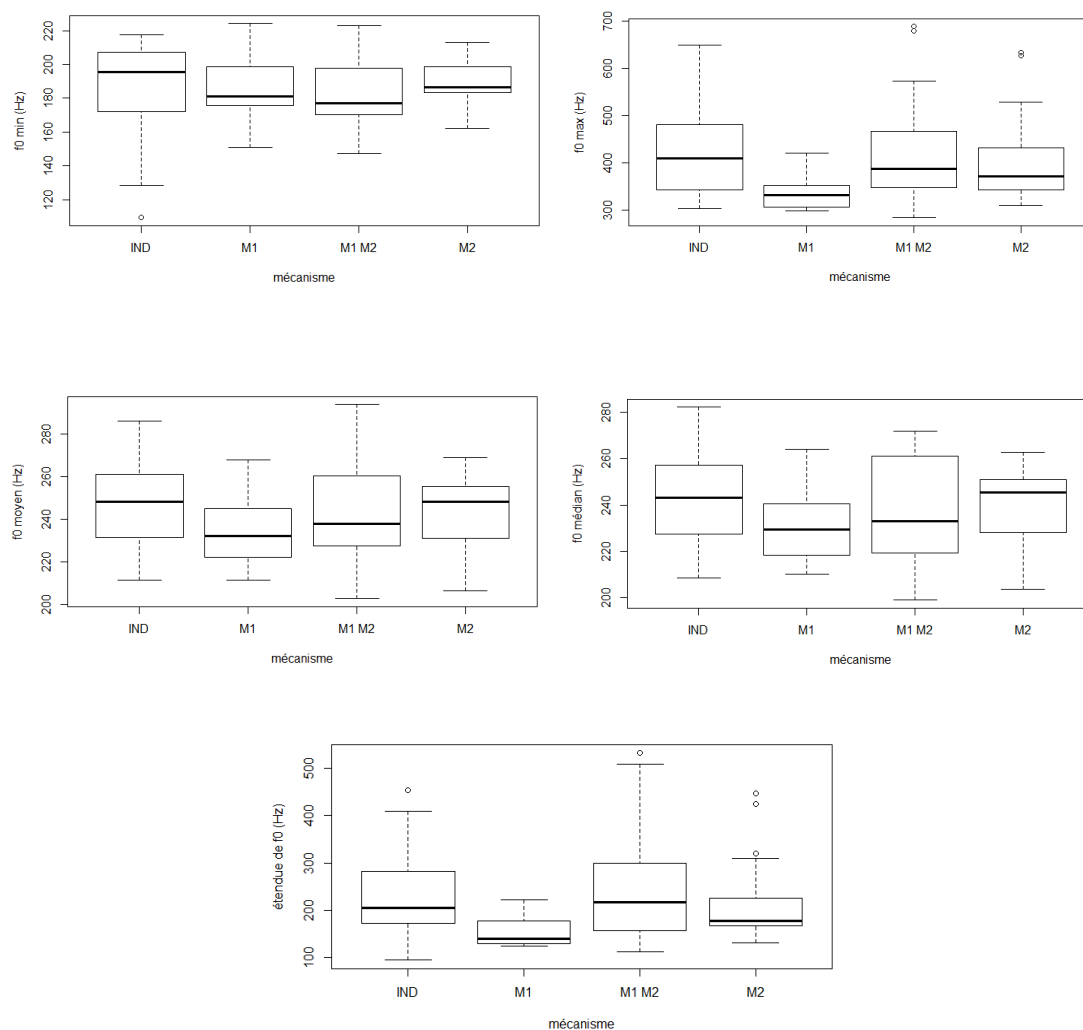
### 3.2. Répartition en fonction du degré de dysphonie



**Figure 27 : F0 moyen selon le degré de dysphonie.**

D'après la répartition de la population sur les figures 26 et 27, on constate que la fréquence fondamentale moyenne n'est pas liée au degré de dysphonie de l'enfant. L'histogramme (cf. figure 27) montre que les enfants dysphoniques de degré 3 ont des fréquences moyennes comprises entre les valeurs des fréquences des enfants des autres groupes (pour F0 moyen,  $p = 0,07$ ). Il en est de même pour la fréquence médiane ( $p = 0,08$ ), et pour la fréquence minimale ( $p = 0,67$ ).

En revanche, l'analyse de la variance et la figure 26 montrent que le degré de dysphonie a un effet significatif sur les valeurs de la fréquence maximale ( $p = 0,04^*$ ) et sur celles de l'ambitus ( $p = 0,04^*$ ).



**Figure 28 : Paramètre de F0 en parole en fonction du nombre de mécanismes.**

---

### 3.3. Répartition en fonction des mécanismes laryngés

Comme pour l'étendue vocale sur les glissandi, les mécanismes laryngés dont dispose l'enfant n'influent pas sur les différentes composantes de la fréquence fondamentale en parole. Toutes les valeurs de  $p$  sont supérieures à 0,05 (cf. figure 28).

Nous allons désormais mettre en lien les mécanismes laryngés identifiés avec le sexe et le degré de dysphonie des enfants.

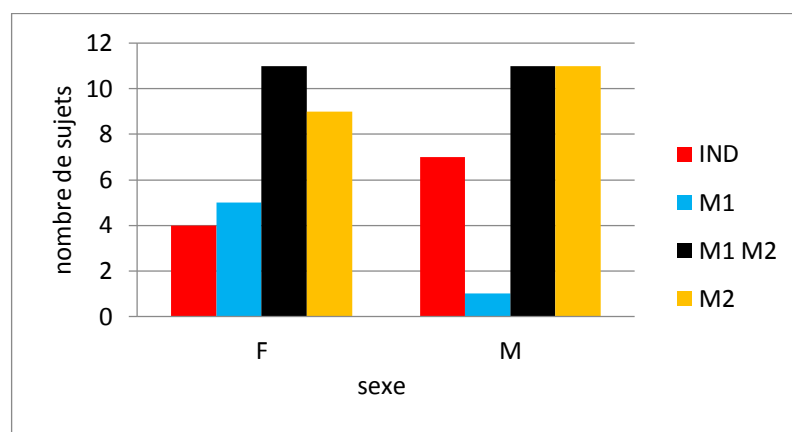
## 4. Les mécanismes laryngés

### 4.1. Proportion de la présence des deux mécanismes laryngés principaux : M1 et M2

Sur l'ensemble de notre population, nous avons pu relever que 37% des enfants avaient pu manifester un M1 et un M2 lors de l'expérience. Ils sont 34% à n'avoir produit que du M2, 10% que du M1. Enfin, pour 11% d'entre eux, nous n'avons pu définir s'ils présentaient une transition entre ces deux mécanismes : ils appartiennent donc au groupe « IND ».

Si l'on exclut de ces données les enfants pour lesquels nous n'avons pu définir leurs mécanismes, 49% ont manifesté un M1 et 87,5% ont manifesté un M2.

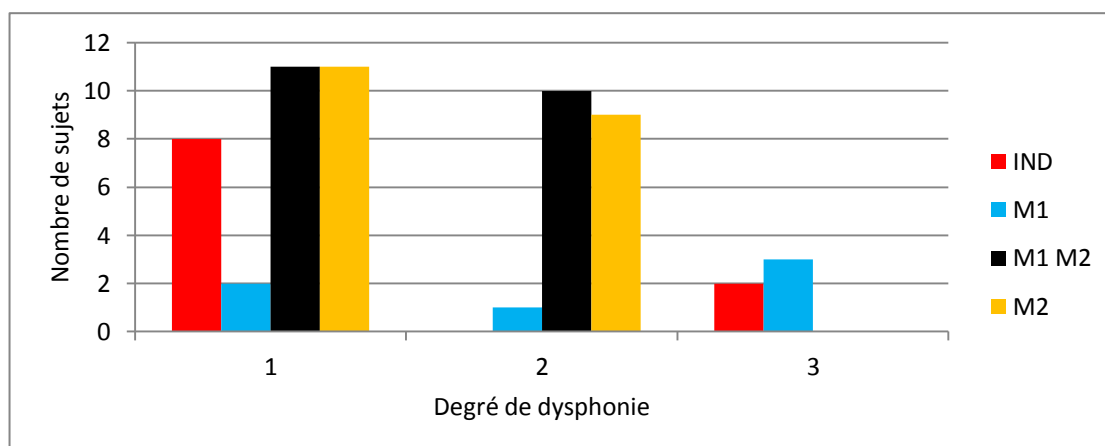
### 4.2. Répartition de M1-M2 en fonction du sexe



**Figure 29 : Répartition des mécanismes M1 et M2 en fonction du sexe.**

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas non plus de lien significatif entre le sexe de l'enfant et les mécanismes laryngés qu'il peut présenter ( $p = 0,31$ ). On remarque qu'il y a autant de filles que de garçons qui disposent à la fois d'un M1 et d'un M2. Et quel que soit le sexe, ils sont plus nombreux à avoir manifesté du M2 que du M1.

### 4.3. Répartition de M1-M2 en fonction du degré de dysphonie



**Figure 30 : Répartition des mécanismes M1 et M2 en fonction du degré de dysphonie.**

Les enfants qui ont manifesté seulement leur M2 ne font pas partie du groupe des dysphonies franches. Il en est de même pour ceux qui ont produit du M1 et du M2.

Les sujets n'ayant produit que du M1 sont partagés dans les trois groupes, ce qui suppose alors que la seule utilisation du M1 n'est pas forcément signe de pathologie.

Le groupe 3 est composé de sujets M1 et IND. Pour deux enfants nous ne pouvons déterminer exactement quels mécanismes ils présentent.

Après avoir exploré finement les mécanismes principaux M1 et M2, nous avons cherché à connaître les capacités de production des mécanismes extrêmes M0 et M3 chez les enfants de 8 à 10 ans.

### 4.4. Proportion des mécanismes laryngés extrêmes : M0 et M3

Sur les 61 enfants qui ont effectué la tâche d'exploration des mécanismes extrêmes, 82% présentent un M0 et 93% un M3. Ils disposent donc, en très grande majorité des deux mécanismes extrêmes, comme pour l'adulte.

### 4.5. Synthèse pour les quatre mécanismes laryngés

Pour conclure sur les mécanismes laryngés, nous avons observé l'ensemble des enfants qui ont effectué toutes les tâches d'exploration des mécanismes. Ils sont 29% à disposer des quatre mécanismes laryngés (M0, M1, M2, M3). 29% des enfants ont manifesté seulement le M2 parmi les mécanismes principaux, ainsi que les deux mécanismes extrêmes (M0 et M3).

Les autres enfants présentent des profils assez isolés. Parfois, ils ne disposent que des mécanismes principaux, ou un mécanisme principal et un extrême...



---

# **Chapitre V**

## **DISCUSSION DES RESULTATS**

---

## I. Analyse des résultats

Nous allons désormais discuter nos résultats au regard des données de la littérature et des hypothèses opérationnelles que nous avons émises.

Nous rappelons que notre hypothèse générale est qu'il n'y a pas de consensus sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'enfant prépubère chez les cliniciens et pédagogues de la voix. Pour nous, l'enfant prépubère disposerait de quatre mécanismes laryngés.

### 1. Les réponses aux questionnaires

D'après les réponses aux questionnaires que nous avons pu recueillir, il n'y a pas de consensus quant au nombre de mécanismes laryngés que possèdent les adultes, adolescents et enfants, pour les deux corps de métiers que sont les cliniciens et pédagogues.

Ils sont tous d'accord pour dire qu'il existe une pluralité des mécanismes chez les adultes, car ils considèrent, pour la plupart, que ces derniers disposent de 2, 3 ou 4 mécanismes. Notre hypothèse Ho9 est donc partiellement validée puisque les professionnels considèrent en partie que l'adulte dispose de 4 mécanismes laryngés alors que certains pensent qu'il n'en a que 2. Cependant, nous ne pouvons pas dire que les professionnels associant 4 mécanismes laryngés à l'adulte s'opposent à ceux qui en associent 2 car une partie des professionnels a évoqué 3 mécanismes laryngés chez l'adulte.

En ce qui concerne l'enfant, notre hypothèse Ho10 est validée. Pour certains répondants, l'enfant ne dispose que d'un seul mécanisme alors que d'autres lui en attribuent plusieurs. Pour les premiers, ils se rapprochent de la théorie de Casanova (2001) qui considère que ce n'est qu'après la mue que le mécanisme M1 apparaît. Pour les autres, ils se rapprochent plus des travaux de Hareau & Alonso (2013) qui affirment sa présence avant la puberté.

En recherchant les profils de répondants par la classification ascendante hiérarchique, nous avons obtenu des groupes qui se différencient principalement par les questions concernant le nombre de mécanismes et leur appellation. Pour les pédagogues, c'était surtout le nombre qui les réunissait, et les appellations pour les cliniciens. Néanmoins, nous avons observé qu'il n'y a pas de lien direct entre le nombre et les appellations attribuées.

Enfin, le questionnaire a mis en évidence un consensus entre les réponses des pédagogues et des cliniciens avec les données de la littérature sur une voix grave chez un enfant prépubère (Dejonckere, 1999, Le Huche et Allali, 2001). D'après les personnes sondées, la présence d'une voix parlée grave chez un enfant prépubère est souvent le signe d'une possible pathologie vocale. Notre hypothèse Ho11 est donc validée. Pour un grand nombre d'entre eux, elle peut aussi être associée à l'utilisation d'un mécanisme laryngé particulier.

---

## 2. Résultats sur les données globales

### 2.1. F0 moyen

Il est important de préciser que les échantillons de parole ne sont pas identiques pour tous les enfants. En effet, nous avons récolté des productions spontanées et certains sujets ont été plus loquaces que d'autres rendant ainsi le temps de parole inégal entre eux. Les éléments évoqués diffèrent également d'un sujet à l'autre.

Par conséquent, nos calculs et comparaisons sont effectués à partir d'échantillons de taille variable selon l'enfant.

Sur l'ensemble de notre population, la fréquence fondamentale moyenne est de 245 Hz, soit Si<sub>2</sub>. Elle est donc cohérente avec les données de la littérature. En effet, la fréquence fondamentale moyenne des enfants de 4 à 8-9 ans est comprise entre Si<sub>2</sub> et Mi<sub>3</sub> (Arnette, 1979 ; Cornut, 2009). Il paraît logique que celle des enfants de 8 à 10 ans soit inférieure puisque F0 diminue avec l'âge.

### 2.2. Etendue vocale

Notre étude rapporte que l'étendue vocale moyenne en glissandi, produite en une seule dynamique, est de 32 demi-tons. Ces données se rapprochent de celles de Böhme et Stuchlik (1995) qui estiment l'étendue vocale des enfants non chanteurs à 29 demi-tons. Hareau et Alonso (2013) ont également mesuré une étendue de 32 demi-tons mais chez des enfants entraînés au chant alors que notre population est majoritairement composée d'enfants non chanteurs (82%). Pour ces derniers, elles ont relevé une étendue de seulement 25 demi-tons.

Néanmoins, il est important de souligner que nos données ont été recueillies par une méthode différente de celles évoquées dans la littérature. Les premières sont issues de glissandi alors que les secondes ont été obtenues à l'aide de phonétogrammes, ce qui pourrait expliquer les différences constatées.

Par ailleurs, 63% des enfants que nous avons enregistrés ont effectué un passage en mécanisme M3 lors de leurs glissandi. Nos résultats sont donc à prendre avec précaution, parce qu'il est difficile de considérer comme équivalentes les étendues dont le maximum est produit en M3 de celles des enfants ne dépassant pas le M2, voire le M1 pour certains. Nous n'avons pas pris en compte les fréquences produites en M0 dans le calcul de l'étendue vocale.

L'étendue que nous avons mesurée ne reflète pas l'intégralité des capacités vocales des enfants car les fréquences extrêmes relevées pourraient être dépassées dans d'autres contextes que les sirènes.

---

### **2.3. Nombre de mécanismes chez les enfants**

A la différence d'Hareau et Alonso (2013), qui avaient trouvé un M1 chez presque tous les enfants de leur population, seulement 49% des enfants que nous avons enregistré l'ont manifesté. 87,5% des enfants de notre population présentent un M2, ce qui montre bien que ce dernier est préférentiellement utilisé au M1. Ceci peut expliquer le fait que les auteurs évoquent majoritairement que la voix de l'enfant est produite en mécanisme M2 (Casanova, 2001 ; Cornut, 2009 ; Sarfati et al, 2002). Néanmoins, le mécanisme M1 étant présent chez au moins la moitié des enfants de notre étude, nos résultats sont en faveur de l'apparition du mécanisme M1 avant la mue.

La très grande majorité des enfants a été capable de produire les mécanismes extrêmes et surtout le M3. Pour Chevaillier (2013), ce dernier est utilisé par l'enfant dans le cri, ce qui pourrait expliquer qu'il ait été plus facilement produit en spontané que le M0.

Pour 29% des enfants de notre population, nous avons pu identifier quatre mécanismes laryngés. Nous nous interrogeons sur le fait que ces derniers soient ou non semblables à ceux décrits dans la littérature chez l'adulte (Roubeau et al, 2009). Des changements d'amplitude sur le signal EGG de l'adulte montrent un découplage du muscle vocal qui ne participe plus à la vibration laryngée en mécanisme M2. Lors du passage en M1, le muscle vocal se couple avec le ligament. L'ensemble de la lamina propria vibre.

Sur les signaux EGG des enfants de notre population, des changements d'amplitude sont visibles, ce qui implique la présence d'un phénomène de couplage-découplage dans la vibration vocale (Henrich, 2012 ; Lamesch 2010). Comme la lamina propria atteint sa structure définitive à 17 ans (Ishii et al, 2000 (cités par Blanchet et al, 2011)), il se pourrait, qu'entre 8 et 10 ans, la nature du couplage-découplage soit différente de celle de l'adulte.

Nos hypothèses Ho1, Ho3 et Ho4 sont validées et Ho2 est partiellement validée.

## **3. Résultats des comparaisons de groupes**

### **3.1. Impact du sexe de l'enfant sur les composantes vocales**

L'ensemble de notre étude montre que le sexe n'interfère pas sur de nombreux éléments de la voix de l'enfant de 8 à 10 ans. En effet, aucune des composantes analysées en fonction du sexe n'a mis en évidence un impact significatif. Par conséquent, pour cette tranche d'âge, les garçons n'ont pas la voix plus grave que les filles. Ces données sont en contradiction avec les résultats décrits par Nicollas et al (2008) et Cornut (1980) (cité par Sarfati, 1998b), qui caractérisent, respectivement, la voix des garçons comme étant plus grave que celles des filles dès l'âge de 6 ans ou 7 ans.

Pour Fuchs et al (2009), le sexe de l'enfant a un impact sur l'étendue vocale qu'il est capable de produire. Selon Hareau et Alonso (2013), ce ne serait valable que pour les enfants non chanteurs. Les résultats de notre étude sont en contradiction avec ces données. Nous ne retrouvons aucun impact du sexe sur l'étendue vocale en glissandi.

---

Le sexe n'a pas non plus d'effet sur l'usage des mécanismes laryngés.

Nos hypothèses Ho5 et Ho6 sont validées.

## **3.2. Impact du degré de dysphonie sur les composantes vocales**

### **3.2.1. La fréquence fondamentale**

Les réponses aux questionnaires nous l'ont montré : une voix grave chez un enfant est souvent associée à une possible pathologie vocale. Or, les valeurs des fréquences moyennes et médianes en parole, recueillies dans notre étude, montrent qu'un enfant atteint d'une dysphonie franche n'a pas la voix plus grave que celle des autres enfants.

La tonalité de la voix n'est donc pas à comparer avec celle des autres enfants. Il semblerait que ce soit une variation de tonalité intrasujet qui soit importante pour signer une pathologie. Nous pouvons supposer que ces enfants de dysphonie de degré 3 aient connu une « aggravation » de la voix dont parlent Le Huche et Allali (2001) dans la raucité vocale ; sans pour autant avoir une voix plus grave que les autres.

En revanche, le degré de dysphonie a un effet significatif sur la fréquence maximale et l'ambitus des glissandi et de la parole. Les degrés de dysphonie 2 et 3 ont une fréquence maximale plus faible et un ambitus plus restreint que les enfants de degré 1, évalués sans dysphonie.

### **3.2.2. Les mécanismes laryngés**

Selon Chevaillier (2013), l'enfant dysphonique utilise toujours son mécanisme M1 en voix parlée. Or, notre étude ne nous permet pas de faire une telle affirmation. En effet, parmi les cinq enfants qui ont une dysphonie franche, pour deux d'entre eux, nous ne pouvons affirmer que seul le M1 est utilisé. Quant aux enfants avec un trouble léger du timbre, il se peut qu'ils aient également une dysphonie, et dans ce cas, ils ne sont que très peu nombreux à ne présenter que le mécanisme M1.

De plus, la moitié des enfants qui ne présentent de façon assurée que leur mécanisme M1, font partie du groupe d'enfants sans anomalie du timbre.

Par conséquent, bien que tous les enfants à n'avoir manifesté que leur M2 ne soient jamais inclus dans le groupe des enfants dysphoniques de degré 3, nous ne pouvons affirmer qu'il existe un lien entre les mécanismes laryngés utilisés par l'enfant et une éventuelle dysphonie.

---

### **3.3. Impact des mécanismes laryngés sur les paramètres de la fréquence fondamentale**

Les mécanismes laryngés dont dispose l'enfant prépubère n'influencent pas la fréquence fondamentale et l'ambitus de leurs productions, en voix parlée ou lors des glissandi.

Nos hypothèses Ho7 et Ho8 sont invalidées.

## **4. Conclusion sur l'analyse des résultats**

Au vu des résultats, notre hypothèse générale selon laquelle il n'existe pas de consensus entre les professionnels de la voix autour des mécanismes laryngés de l'enfant se vérifie. Il en est de même pour les adultes et les adolescents. Ainsi, la notion de mécanisme laryngé en général est peu connue et fait l'objet d'une controverse.

Quant au nombre de mécanismes laryngés présents chez l'enfant avant la puberté, la réponse la plus répandue chez les professionnels est deux mécanismes que sont le M1 et le M2. Ils sont donc peu nombreux à prendre en considération les mécanismes extrêmes alors que les enfants prépubères de notre étude les ont manifestés spontanément ou non en grande majorité. Notre hypothèse générale qui suppose l'existence de quatre mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère n'est que partiellement validée car cela concerne seulement 29% de notre population. Il faut cependant préciser que les enfants qui n'ont pas manifesté certains mécanismes laryngés pendant les expériences, pourraient les produire dans d'autres circonstances, les avoir à disposition mais ne pas les utiliser.

Suite aux comparaisons des groupes, nous remarquons que les différents paramètres de la fréquence fondamentale en voix parlée et sur les glissandi, ne sont influencés que par le degré de dysphonie de l'enfant. Ce dernier agit de manière significative sur la fréquence maximale produite et l'ambitus, pour les deux modalités. Cela montre que malgré l'opinion commune, retrouvée dans les résultats des questionnaires, une voix parlée grave chez un enfant prépubère n'est pas forcément signe de pathologie vocale. Il faudrait cependant le démontrer par une étude comportant un plus grand nombre d'enfants dysphoniques.

Les hypothèses opérationnelles Ho1, Ho2, Ho4, Ho5, Ho6, Ho10 et Ho11 sont validées alors que Ho7 et Ho8 sont invalidées. Les hypothèses Ho3 et Ho9 sont partiellement validées.

## **II. Apports de l'étude**

Grâce aux réponses aux questionnaires que nous avons diffusés, nous avons eu la confirmation que les notions de mécanismes laryngés sont peu connues des cliniciens et pédagogues du chant, d'autant plus quand cela concerne l'enfant. Il nous semble donc important de consacrer des recherches sur ce domaine. Nous espérons qu'en participant à l'apport de nouvelles données sur les caractéristiques de la voix de l'enfant, cela pourrait permettre, notamment aux orthophonistes, d'enrichir leurs bilans vocaux et d'adapter leur

---

travail de la voix par des nouvelles pistes de rééducation. En effet, les mécanismes laryngés pourraient servir de support à la rééducation vocale d'enfants prépubères, comme c'est parfois le cas chez l'adulte (Faure, 2003).

Beaucoup de cliniciens associent une voix grave d'enfant à une possible pathologie vocale. Notre étude montre qu'il n'y a pas de lien entre dysphonie et fréquence fondamentale moyenne grave. Par conséquent, la rééducation vocale de l'enfant peut s'appuyer sur l'utilisation de sa voix grave, comme le soulignent Sarfati et ses collègues (2002).

Nous espérons que notre travail de recherche serve de référence pour la voix de l'enfant de 8 à 10 ans. En effet, il y a peu de données dans la littérature pour cette tranche d'âge : les études portent souvent sur des enfants avant l'âge de 8 ans ou après 11 ans. Notre étude aborde de multiples points de comparaison en ce qui concerne la voix de l'enfant : la fréquence fondamentale en parole (ambitus, moyenne, médiane et valeurs extrêmes), l'étendue vocale et les mécanismes laryngés.

### **III. Limites de l'étude**

#### **1. Questionnaires**

Nous regrettons d'avoir eu peu de réponses de la part des chefs de chœur et professeurs de chant ainsi que peu de retours des phoniâtres chez les cliniciens.

De plus, nous avons l'ambition de connaître les points de vue des professionnels venus d'autres pays francophones, mais nous n'avons eu que très peu de réponses. Nous n'avons donc pu les comparer.

Les deux questionnaires comportant chacun une vingtaine de questions, nous avons été obligées de sélectionner les réponses aux items les plus pertinentes par rapport au sujet de notre étude, dans la présentation de nos résultats.

#### **2. Etude expérimentale**

##### **2.1. Population**

Il est important de préciser tout d'abord que les enfants qui ont participé à notre étude sont des enfants tout-venant. Nous avons accepté tous ceux qui souhaitaient participer à l'étude, pour autant qu'ils soient âgés de 8 à 10 ans. Ainsi, nous avons classé ces enfants dans les différents groupes, selon les variables qui nous intéressaient, sans chercher à ce qu'ils soient appariés. C'est pourquoi, seuls les groupes qui opposent le sexe de l'enfant sont équitables en nombre. En ce qui concerne le degré de dysphonie ou le type de mécanismes laryngés que l'enfant a pu produire, les groupes sont relativement déséquilibrés.

---

De plus, chaque analyse ne prend pas toujours en compte le même nombre d'enfants parce que toutes les données n'ont pu être récoltées sur l'ensemble de la population. Parfois, certaines tâches ont été ajoutées a posteriori au protocole. A d'autres moments, l'échantillon de voix n'était pas analysable. Il est aussi arrivé que des enfants refusent de participer à quelques exercices.

Les résultats que nous évoquons ne sont donc pas tous sur la base d'un même total. Les calculs ont pu être effectués sur une population minimale de 51 sujets (pour le calcul concernant la présence des quatre mécanismes laryngés), et maximale de 70 individus pour les calculs des fréquences fondamentales.

Enfin, pour de nombreux enfants, oser utiliser leur voix et chanter n'est pas quelque chose d'habituel. Ils étaient donc parfois intimidés et n'ont peut-être pas exploré toutes leurs capacités par réserve.

Le travail avec les enfants est très agréable et motivant.

## **2.2. Outils utilisés**

Un microphone avec contour de tête semblait être le plus propice à la situation d'enregistrement sur site en 2014. Cependant, il n'était pas toujours adapté à la morphologie des enfants.

Il est nécessaire de préciser que recueillir des données électroglottographiques chez des enfants n'est pas aisé. En effet, pour 33% des sujets, les signaux étaient inexploitable. Ce phénomène peut être lié à plusieurs causes. Selon les morphologies des individus, nous n'étions pas toujours en mesure de positionner avec certitude les électrodes sur le larynx de l'enfant. Comme les enfants ont un plus petit larynx que les adultes (sur lesquels le recueil EGG se fait le plus souvent), il se peut que la surface de contact des plis soit déjà très faible dès le mécanisme M2, et donc indétectable par l'appareil. Des dysfonctionnements ponctuels de notre matériel de recueil peuvent également être la cause de ces anomalies sur les signaux.

## **2.3. Protocole**

### **2.3.1. Conditions de passation**

En 2014, les sessions d'enregistrements s'étant déroulées sur les lieux de scolarité des enfants, les conditions acoustiques n'étaient pas parfaites.

### **2.3.2. Caractérisation du grade de dysphonie**

La caractérisation des degrés de dysphonie est à prendre avec précaution. En effet, elle a eu lieu sans examen laryngé, par la simple écoute des extraits de voix parlée de l'enfant. La voix chantée n'a donc pas été prise en compte. De plus, parfois les enfants étant peu loquaces, les extraits peuvent être très courts, ce qui rend l'évaluation difficile et parfois



---

peu précise. Les trois groupes sont donc très déséquilibrés, notamment celui des enfants qui présentent une dysphonie franche mais l'objectif de notre étude portait sur les enfants tout-venant.

### **2.3.3. Identification des mécanismes laryngés**

A l'heure actuelle, aucun outil ne permet de savoir réellement ce qu'il en est du couplage-découplage dans la structure interne multicouche du pli vocal. L'identification des mécanismes laryngés n'est alors fondée que sur des indices indirects que sont l'analyse acoustique et électroglottographique.

Quand le signal EGG était inexploitable, l'identification des mécanismes laryngés était uniquement basée sur l'analyse acoustique.

Les mécanismes que nous présentons dans cette étude sont ceux que nous avons pu identifier, donc que l'enfant a su produire à l'instant  $t$  de l'expérience. Nous ne pouvons affirmer que les enfants pour lesquels un seul des mécanismes principaux est apparu ne sont capables de produire que ce-dit mécanisme. Il est possible que dans d'autres contextes, avec d'autres stimulations, des productions dans le second mécanisme surviennent.

## **IV. Perspectives**

Dans notre étude, nous avons observé des transitions de mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère par des changements d'amplitude sur les signaux EGG. Il serait intéressant de connaître les fréquences de ces passages pour les comparer à celles de l'adulte. Ce travail permettrait également de confirmer l'existence de zones de recouvrement chez l'enfant par des glissandi, comme c'est attesté chez l'adulte (Roubeau et al, 2004 ; Roubeau et al, 2009).

Nous avons pu observer la présence des deux mécanismes laryngés principaux M1 et M2 chez certains enfants prépubères. Nous les avons identifiés à l'aide des tâches de glissandi. Il serait intéressant d'analyser leur utilisation dans la parole et le chant.

- Dans un même chant, l'enfant passe-t-il d'un mécanisme laryngé à l'autre ? Ses productions chantées sont-elles toujours produites dans un même mécanisme ?
- En parole, est-il capable d'utiliser les deux mécanismes ?
- Sa voix parlée et sa voix chantée sont-elles produites dans le ou les mêmes mécanismes ?

Nous avons choisi de faire cette étude sur des enfants tout-venant. Parmi eux, certains étaient dysphoniques. Nous avons cherché à faire des liens entre leur altération du timbre et les caractéristiques de leur voix. Seulement, notre groupe d'enfants qui présentent des troubles du timbre est de petite taille. Il faudrait donc élargir cette étude à de plus grands échantillons, et vérifier par un examen médical les raisons organiques éventuelles de la dysphonie perçue chez ces sujets.

---

## CONCLUSION

---

Une controverse se dessine dans la littérature en ce qui concerne les mécanismes disponibles chez l'enfant, avant la puberté. Pour certains auteurs, parmi les deux mécanismes principaux que sont M1 et M2, seul M2 serait présent avant la mue, sauf si l'enfant a une pathologie vocale. Dans ce cas, il peut utiliser exclusivement son M1. Pour d'autres auteurs, les deux mécanismes laryngés principaux seraient disponibles chez l'enfant prépubère, sans qu'il ne présente forcément de dysphonie. Notre hypothèse est semblable à cette dernière théorie.

La controverse concernant le nombre de mécanismes laryngés disponibles chez l'enfant prépubère, se vérifie lorsque l'on demande l'avis des professionnels de la voix, dont une partie semble méconnaître ces notions. Pour la majorité des cliniciens et des pédagogues, une voix grave est également le signe d'une possible pathologie vocale et/ou de l'usage d'un mécanisme laryngé particulier.

Nous voulions savoir quelles étaient les possibilités vocales de l'enfant prépubère, et donc connaître le nombre de mécanismes laryngés qu'il est capable de produire. C'est pour cela que nous avons exploré les mécanismes extrêmes que sont M0 et M3, et non pas seulement les mécanismes principaux.

49% des enfants de notre étude ont produit le M1, ce qui laisse fortement penser qu'il serait présent avant la mue. En ce qui concerne les mécanismes extrêmes, ils sont beaucoup plus nombreux à les avoir produits.

On ne peut donc pas affirmer que les enfants prépubères possèdent les quatre mécanismes laryngés comme l'adulte. Cependant, comme un tiers de notre population a été capable de produire les quatre, nous pouvons supposer que les deux tiers restants auraient pu les présenter dans d'autres contextes. Il est donc possible que l'enfant prépubère dispose de quatre mécanismes laryngés. La question de savoir s'il s'agit des mêmes mécanismes laryngés que l'adulte reste posée.

Il serait intéressant d'élargir ces observations à l'usage que l'enfant fait des quatre mécanismes laryngés dans la parole et le chant.

L'observation de l'étendue vocale sur les glissandi nous a permis d'obtenir une étendue moyenne de 32 demi-tons.

Ne faisant pas initialement partie de l'objectif de notre étude, nous avons extrait des données sur les caractéristiques vocales de l'enfant prépubère qui ont émergé lors de nos expérimentations.

Ainsi, nous avons conclu au fait qu'il n'y a pas d'effet du sexe de l'enfant sur les paramètres de la fréquence fondamentale, en parole et en glissandi. En revanche, le degré de dysphonie influe les valeurs maximales de F0 et d'étendue vocale pour les deux modalités de production.

---

Ces résultats mériteraient d'être approfondis en menant une étude sur les capacités vocales des enfants dysphoniques avec un échantillon plus important et dont la pathologie serait attestée médicalement. Cette étude confirmerait, à plus grande échelle, que l'utilisation du M1 n'est pas exclusivement associée à une voix pathologique. La gestion des différents mécanismes pourrait servir de support à la rééducation vocale de l'enfant, comme elle l'est chez l'adulte.

---

## REFERENCES

---

- Amy de la Brétèque, B. (1999). Etude acoustique comparative entre la voix parlée et chantée au cours de la mue de l'adolescent. *Glossa*, 69. 34-38.
- Arnette (1979). *Le larynx de l'enfant*. Société d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale.
- Blanchet, C., Fayoux, P., Leboulanger, N. & Nicollas, R. (2011). Evolution du larynx de l'enfant : de l'embryon à l'adolescent – Particularités qui en découlent. In Denoyelle, Couloigner, Froehlich, Nicollas (Eds). *Le larynx de l'enfant*. Rapport de la SFORL. 9-39.
- Böhme, G. & Stuchlik, G (1995). Voice profiles and standard voice profile of untrained children. *Journal of Voice*, 9 (3). 304-307.
- Casanova, C. (2001). La mue de la voix chez les enfants chanteurs. In Cornut, G. (Eds) *Moyens d'investigation et pédagogie de la voix chantée*. (Actes de colloques). Pp.109-116. Lyon : Symétrie.
- Castellengo, M., Chuberre, B. & Henrich, N. (2004). Is voix mixte, the vocal technique used to smoothe the transition across the two main laryngeal mechanisms, an independent mechanism?, *Proceedings of ISMA*, Nara, Japan.
- Castellengo, M., Lamesch, S. & Henrich, N. (2007). Vocal Registers and Laryngeal Mechanisms, a case study: The French "Voix Mixte", *19th International Congress on Acoustics*, Madrid.
- Chevallier, G., (2013). La voix de l'enfant et ses troubles fonctionnels. *Enfances & Psy*, 58 (1), 15-28.
- Cornut. G. (2009). *La voix*. Que sais-je ? Paris : PUF. 8ème édition. (1ère ed. 1983).
- Dejonckere, P. H. (1999). Voice problems in children: pathogenesis and diagnosis. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49. 311 –314
- Estienne, F. (1998). *Voix parlée, voix chantée : examen et thérapie*. Masson.
- Fabre, P. (1957). Un procédé électrique percutané d'inscription de l'accolement glottique au cours de la phonation : glottographie de haute fréquence. *Bull. Nat. Med.* 66-69.
- Faure, M-A. (2003). Optimiser les performances vocales par le choix des mécanismes laryngés. *Laryngologie Otologie Rhinologie.*, 124 (5). 305-310. Paris.
- François, M. (2004). Les troubles de la voix et de l'articulation chez l'enfant. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*. 20-752-A-10. Elsevier.

- 
- Fuchs, M., Froëhlich, M., Hentschel, B., Stuermer, I., Kruse, E. & Knauff, D. (2007). Predicting Mutational Change in the Speaking Voice of Boys. *Journal of Voice*, 21 (2). 169-178.
- 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
- Giovanni, A., Ouaknine, M. & Garrel, R. (2003). Physiologie de la phonation. Encyclopédie Médico-Chirurgicale - Oto-rhino-laryngologie. 20-632-A-10. Elsevier. Paris. 1-15.
- Giovanni, A., Robieux, C. & Santini, L (2012) Physiologie de la phonation, In Garrel, R., Amy De La Bretèque, B., Brun, V. (Eds). *La voix parlée et la voix chantée*. Pp. 9-16. Sauramps Médical.
- Giovanni, A. & St Victor, S. (2013). Bilan clinique de la voix. Encyclopédie Médico-Chirurgicale - Oto-rhino-laryngologie. 20-753-A-10. Elsevier. Paris. 1-15.
- Hacki, T. & Heitmüller, S. (1999). Development of the child's voice: premutation, mutation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49(1). 141-144.
- Hareau, E. & Alonso, N. (2013). *Phonétogrammes des mécanismes vibratoires laryngés chez l'enfant*. Paris : mémoire d'orthophonie.
- Henrich, N. (2001). *Etude de la source glottique en voix parlée et chantée : modélisation et estimation, mesures acoustiques et électroglottographiques, perception*. Paris : thèse de doctorat.
- Henrich, N., Roubeau, B. & Castellengo, M. (2003). On the use of electroglottography for characterisation of the laryngeal mechanisms. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9*. Stockholm, Suède.
- Henrich, N., d'Alessandro, C., Doval, B. & Castellengo, M. (2004). On the use of derivative of electroglottographic signals for characterization of nonpathological phonation. *J. Acoust. Soc. Am.* 115(3). 1321-1332.
- Henrich, N. d'Alessandro, C., Doval, B. & Castellengo, M. (2005). Glottal open quotient in singing : Measurements and correlation with laryngeal mechanisms, vocal intensity, and fundamental frequency. *J. Acoust. Soc. Am*, 117 (3). 1417-1430.
- Henrich N. (2006). Mirroring the voice from Garcia to the present day: Some insights into singing voice registers, *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 31, 3-14.
- Henrich, N. (2012). Physiologie de la voix chantée : vibrations laryngées et adaptation phono-résonantielle. In Garrel, R., Amy de la Brèteque, B., Brun, V. (Eds) *La voix parlée et la voix chantée*. 17-32. Sauramps Médical.
-

- 
- Heuillet-Martin, G., Garson-Bavard, H. & Legré, A. (1997). *Une voix pour tous, tome 2. La voix pathologique*. Marseille : Solal. 2ème édition. (1ère éd. 1995)
- Heuillet-Martin, G., Garson-Bavard, H. & Legré, A. (2007). *Une voix pour tous, tome 1. La voix normale et comment l'optimiser*. Marseille : Solal. 3ème édition. (1ère éd. 1995)
- Hirano, M. (1981). Psycho-acoustic evaluation of voice : GRBAS scale for evaluating the hoarse voice. *Clinical Evaluation of Voice*, Springer Verlag, Wien.
- Keating, P. & Buhr, R. (1978). Fundamental frequency in the speech of infants and children. *Journal of Acoustical Society of America*, 63 (2). 567-571.
- Lamarche, A. (2009). *Putting the Singing Voice on the Map. Towards Improving the Quantitative Evaluation of Voice Status in Professional Female Singers*. Stockholm : these de doctorat.
- Lamesch, S. (2010). *Mécanismes laryngés et voyelles en voix chantée : Dynamique vocale, phonétogrammes de paramètres glottiques et spectraux, transitions de mécanismes*. Paris : thèse de doctorat.
- Le Huche, F. & Allali, A. (2001). Formes particulières des dysphonies dysfonctionnelles : la raucité infantile. In *La voix, pathologies d'origine fonctionnelle, tome 2*. 113-125. Masson : Paris. 2ème édition.
- Le Huche, F. & Allali, A. (2010). *La voix, Anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole, tome 1*. Paris : Masson. 3e édition. (1ère éd. 2001)
- Le Huche, F. (2012). *Et votre voix, comment va-t-elle ?* Bruxelles : Solal.
- McAllister, A., Sederholm, E., Sundberg, J. (1993). Acoustic and perceptual analysis of vocal registers in children. *STL-QPSR*. 29-34.
- McAllister, A. (1997). Acoustic, perceptual and physiological studies of ten-years-old children's voices. *TMH-QPSR*, 38(1). 75-103.
- Morris, R. J., Ternström, S., LoVetri, J. & Berkun, D. (2012). Long-Term Average Spectra From a Youth Choir Singing in Three Vocal Registers and Two Dynamic Levels. *Journal of voice*, 26 (1). 30-36.
- 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
- 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 Phoniatrics Vocology*. 1-6
-

- 
- Roubeau, B. (2001). Registres vocaux et passages. In Cornut, G. (Eds), *Moyens d'investigation et pédagogie de la voix chantée*. (Actes de colloques). 19-31. Lyon : Symétrie.
- Roubeau, B., Castellengo, M., Bodin, P. & Ragot, M. (2004). Phonétogramme par registre laryngé. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 56. 321-333
- Roubeau B., Henrich N., Castellengo M. (2009). Laryngeal vibratory mechanisms: the notion of vocal register revisited. *Journal of Voice*, 23(4), 425-438.
- Roubeau, B. (2013). Le phonétogramme : le champ de liberté vocal. *Rééducation orthophonique*, 254. 31-42.
- Sarfati, J. (1998a). Le chant chez l'enfant et ses difficultés. *Rééducation orthophonique*, 194. 51-55.
- Sarfati, J (1998b). *Soigner la voix*. Marseille : Solal.
- Sarfati, J., Vintenat, A.-M., Choquart, C. (2002). *La voix de l'enfant*. Marseille : Solal.
- 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.
- Vuilleumier, C. (2010). *Le retard d'acquisition de la justesse chantée chez les élèves de 4ème primaire*. Mémoire de la Haute Ecole Pédagogique. Bejune.
- Woisard, V., Percodani, J., Serrano, E. & Pessay, J.J. (1998). L'évolution de l'appareil phonatoire et la voix de l'enfant. *Rééducation orthophonique*, 194. 19-30.
- Wuyts, F., Heylen, L., Mertens, F., De Bodt, M., & Van de Heyning, P. (2002). Normative Voice Range Profiles of Untrained Boys and Girls. *Journal of Voice*, 16 (4). 460-465.

---

# ANNEXES



---

## Annexe I : Questionnaire sur les mécanismes laryngés à l'attention des cliniciens.

1. Êtes-vous : \*

- un homme?  
 une femme?

2. Quel est votre âge ? \*

3. Quelle est votre profession ? \*

- orthophoniste  
 ORL  
 phoniatre

Autre : préciser:

4. Combien d'années d'expérience avez-vous dans cette profession ? \*

5. Avez-vous une connaissance de la voix de l'enfant ? \*

- pas du tout  
 très peu  
 un peu  
 beaucoup

6. Pratiquez-vous des bilans phoniatriques avec évaluation vocale ou de la rééducation vocale avec des enfants ? \*

- Oui  
 Non

Si oui, vous le faites : \*

- ponctuellement  
 fréquemment  
 quotidiennement

Quel est le pourcentage d'enfants que vous suivez pour la voix, par rapport à l'ensemble de vos patients? \*

Quel est le pourcentage d'enfants que vous suivez pour la voix, par rapport au nombre d'adultes que vous suivez pour la voix ? \*

---

7. Êtes-vous familier avec les notions de :

	oui	non
registre vocal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mécanisme lourd/léger*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mécanisme laryngé *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
voix de poitrine / voix de tête *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Si vous avez répondu non à tous les items de la question 7, les questions suivantes sont optionnelles**

**Dans la suite de ce questionnaire, nous considérerons registres laryngés et mécanismes laryngés comme synonymes.**

8. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'adulte** ?

Homme : \*

Femme : \*

9. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux ?

Homme : \*

Femme : \*

10. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'adolescent pubère (après l'installation de la puberté)**?

Garçon : \*

Fille : \*

11. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux ?

Garçon : \*

Fille : \*

12. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'enfant prépubère** ?

Garçon : \*

Fille : \*

13. A partir de quel âge pensez-vous qu'ils se développent?

Garçon : \*

Fille : \*

---

14. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux?

Garçon : \*

Fille : \*

15. Pensez-vous que les différences de registre vocal ou de couleur de voix d'enfant correspondent forcément à des mécanismes vibratoires laryngés différents ? \*

Oui  Non

16. Pensez-vous qu'une meilleure connaissance de la structure de la voix de l'enfant et de ses mécanismes puisse vous aider dans vos activités thérapeutiques avec la voix de l'enfant ? \*

Oui  Non

17. Les notions de registre ou mécanisme laryngé vous servent-elles de support dans votre quotidien professionnel ? \*

Oui  Non

si oui, dans quel but?

dans un but rééducatif

dans un but pédagogique

Autre : préciser :

si oui, chez quel type de patient ?

chez l'adulte-femme

chez l'adulte-homme

chez l'adolescent-fille

chez l'adolescent-garçon

chez l'enfant-fille

chez l'enfant-garçon

18. Que vous évoque une voix parlée très grave chez un enfant prépubère ? \*

Rien de particulier

Une possible pathologie vocale

L'usage d'un registre ou mécanisme laryngé particulier

Autre : préciser

19. Quelles caractéristiques associées à une voix grave parlée chez un jeune enfant vous font penser à un problème de voix : \*

Enrouement

Etendue vocale restreinte dans un seul mécanisme laryngé

Impossibilité à chanter juste dans l'aigu

Autre : préciser

---

20. Lorsqu'un enfant chante spontanément dans le grave (octave 2 et bas de l'octave 3) : \*

- Faites-vous chanter l'enfant plus aigu si cela est possible ?
- Faites-vous chanter l'enfant avec une couleur vocale plus légère à la même hauteur ?

Autre : préciser

21. Si vous recevez en consultation un enfant envoyé par son professeur de chant parce qu'il a une voix plus grave que les autres, quelle est votre évaluation ? \*

- La chorale de cet enfant ne correspond pas à ses possibilités
- Il faut modifier sa voix pour qu'elle corresponde aux besoins de sa chorale
- Il faut le changer de pupitre, de chorale, de style de musique pour pouvoir laisser l'enfant utiliser la voix qu'il présente spontanément et confortablement

Autre : Préciser

Commentaire :

22. Si vous l'éduquez ou le rééduquez, pensez-vous qu'il faut :

oui

non

Rechercher assidument l'aigu \*

si oui, comment ?

Développer le grave \*

si oui, comment ?

Développer la voix dans les deux directions \*

si oui, comment ?

23. Dans quel pays francophone exercez-vous ?

- France
- Suisse
- Belgique
- Canada

Autre :

\* Réponse requise

---

## Annexe II : Questionnaire sur les mécanismes laryngés à l'attention des pédagogues

1. Êtes-vous : \*

un homme ?       une femme ?

2. Quel est votre âge ? \*

3. Quelle est votre profession ? \*

professeur de chant       chef de chœur      Autre : préciser:

4. Combien d'années d'expérience avez-vous dans cette profession ? \*

5. Avez-vous une connaissance de la voix de l'enfant ? \*

- pas du tout  
 très peu  
 un peu  
 beaucoup

6. Pratiquez-vous des activités pédagogiques avec des enfants ? \*

Oui       Non

Si oui, vous le faites : \*

- ponctuellement  
 fréquemment  
 quotidiennement

Quel est le pourcentage d'enfants que vous suivez pour la voix, par rapport à l'ensemble de vos élèves ? \*

7. Êtes-vous familier avec les notions de :

	oui	non
registre vocal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mécanisme lourd/léger*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
mécanisme laryngé *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
voix de poitrine / voix de tête *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

---

**Si vous avez répondu "non" à tous les items de la question 7, les questions suivantes sont optionnelles.**

**Dans la suite de ce questionnaire, nous considérerons registres laryngés et mécanismes laryngés comme synonymes.**

8. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'adulte** ?

Homme : \*

Femme : \*

9. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux ?

Homme : \*

Femme : \*

10. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'adolescent pubère (après l'installation de la puberté)** ?

Garçon : \*

Fille : \*

11. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux ?

Garçon : \*

Fille : \*

12. Selon vous, combien existe-t-il de registres laryngés ou mécanismes laryngés chez **l'enfant prépubère** ?

Garçon : \*

Fille : \*

13. A partir de quel âge pensez-vous qu'ils se développent ?

Garçon : \*

Fille : \*

14. Quels termes utilisez-vous pour nommer chacun d'eux ?

Garçon : \*

Fille : \*

15. Pensez-vous que les différences de registre vocal ou de couleur de voix d'enfant correspondent forcément à des mécanismes vibratoires laryngés différents ? \*

Oui  Non

16. Pensez-vous qu'une meilleure connaissance de la structure de la voix de l'enfant et de ses mécanismes puisse vous aider dans vos activités pédagogiques avec la voix de l'enfant ? \*

Oui  Non

---

17. Les notions de registre ou mécanisme laryngé vous servent-elles de support dans votre quotidien professionnel ? \*

- Oui       Non

si oui, dans quel but?

- dans un but rééducatif  
 dans un but pédagogique

Autre : préciser :

si oui, chez quel type d'élèves ?

- chez l'adulte-femme  
 chez l'adulte-homme  
 chez l'adolescent-fille  
 chez l'adolescent-garçon  
 chez l'enfant-fille  
 chez l'enfant-garçon

18. Que vous évoque une voix parlée très grave chez un enfant prépubère ? \*

- Rien de particulier  
 Une possible pathologie vocale  
 L'usage d'un registre ou mécanisme laryngé particulier

Autre : préciser

19. Quelles caractéristiques associées à une voix grave parlée chez un jeune enfant vous font penser à un problème de voix : \*

- Enrouement  
 Etendue vocale restreinte dans un seul mécanisme laryngé  
 Impossibilité à chanter juste dans l'aigu

Autre : préciser

20. Lorsqu'un enfant chante spontanément dans le grave (octave 2 et bas de l'octave 3) pensez-vous : \*

- Faites-vous chanter l'enfant plus aigu si cela est possible?  
 Faites-vous chanter l'enfant avec une couleur vocale plus légère à la même hauteur ?

Autre : préciser

21. Avez-vous des problèmes pour classer dans un groupe vocal un enfant qui a une voix grave parlée et chantée et une étendue vocale supérieure à une octave et demie ? \*

- Oui       Non

---

22. Avez- vous des problèmes pour classer dans un groupe vocal un enfant qui a une voix grave parlée et chantée et une étendue vocale restreinte inférieure à une octave et demie ? \*

Oui       Non

23. Si vous testez un enfant parce qu'il a une voix plus grave que les autres, quelle est votre évaluation ? \*

- La chorale de cet enfant ne correspond pas à ses possibilités
- Il faut modifier sa voix pour qu'elle corresponde aux besoins de sa chorale
- Il faut le changer de pupitre, de chorale, de style de musique pour pouvoir laisser l'enfant utiliser la voix qu'il présente spontanément et confortablement

Autre : Préciser

Commentaire :

24. Si vous l'éduquez ou le rééduquez, pensez-vous qu'il faut :

oui

non

Rechercher assidument l'aigu \*

Si oui, comment :

Développer le grave \*

Si oui, comment :

Développer la voix dans les deux directions \*

Si oui, comment :

25. Dans quel pays francophone exercez-vous ?

- France
- Suisse
- Belgique
- Canada

Autre :

\* Réponse requise



## Annexe III : Population de l'étude expérimentale

Sujet	Sexe	Age (ans)	Ecole	Pratique musicale
S1	F	9	Meylan	flûte traversière
S2	M	9	Meylan	accordéon
S3	M	10	Meylan	saxophone
S4	F	10	Meylan	flûte à bec
S5	F	9	Meylan	flûte traversière
S6	M	10	Meylan	contrebasse
S7	F	9	Meylan	flûte à bec
S8	F	8	Meylan	harpe
S9	M	10	Meylan	
S10	M	8	St Joseph-Lyon	
S11	F	8	St Joseph-Lyon	guitare et école de chant
S12	M	8	St Joseph-Lyon	piano
S13	M	8	St Joseph-Lyon	piano
S14	M	8	St Joseph-Lyon	non
S15	M	8	St Joseph-Lyon	guitare
S16	F	8	St Joseph-Lyon	chorale
S17	F	8	St Joseph-Lyon	piano
S18	F	8	St Joseph-Lyon	chorale
S19	F	8	St Joseph-Lyon	non
S20	M	8	St Joseph-Lyon	guitare
S21	F	8	St Joseph-Lyon	non
S22	F	8	St Joseph-Lyon	non
S23	F	8	St Joseph-Lyon	non
S24	F	8	St Joseph-Lyon	non
S25	F	8	St Joseph-Lyon	non
S26	F	8	St Joseph-Lyon	non
S27	M	8	St Joseph-Lyon	piano
S28	M	8	St Joseph-Lyon	non
S29	M	8	St Joseph-Lyon	non
S30	M	8	St Joseph-Lyon	guitare
S31	M	8	St Joseph-Lyon	non
S32	M	8	St Joseph-Lyon	piano
S33	F	8	St Joseph-Lyon	violon
S34	M	8	St Joseph-Lyon	piano
S35	F	8	St Joseph-Lyon	guitare
S36	M	9	St Joseph-Lyon	non
S37	M	9	St Joseph-Lyon	non
S38	F	9	St Joseph-Lyon	non
S39	F	9	St Joseph-Lyon	non
S40	F	9	St Joseph-Lyon	non
S41	M	9	St Joseph-Lyon	non

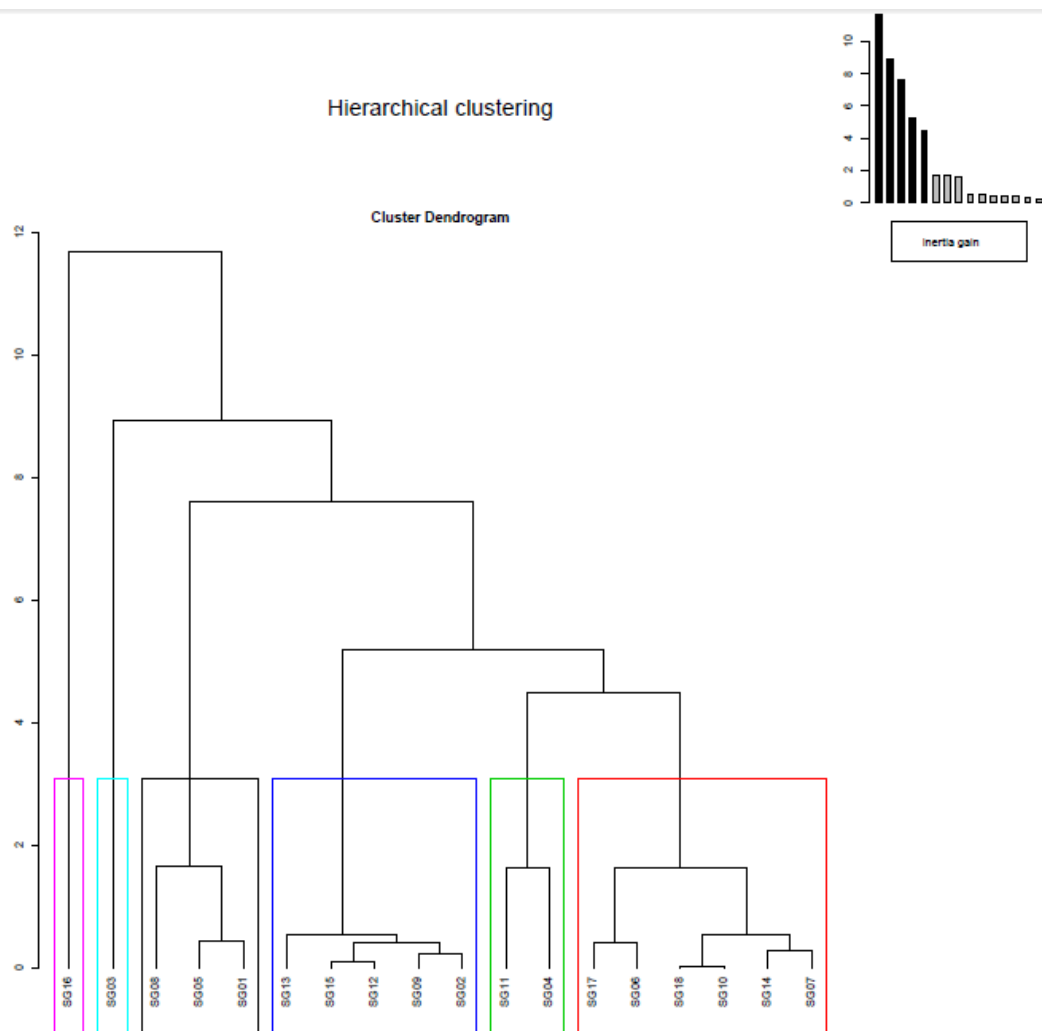
---

S42	M	9	St Joseph-Lyon	guitare
S43	F	9	St Joseph-Lyon	non
S44	M	9	St Joseph-Lyon	non
S45	F	9	St Joseph-Lyon	non
S46	F	9	St Joseph-Lyon	guitare
S47	M	9	St Joseph-Lyon	non
S48	M	9	St Joseph-Lyon	non
S49	M	9	St Joseph-Lyon	non
S50	F	9	St Joseph-Lyon	guitare
S51	F	10	St Joseph-Lyon	non
S52	F	9	St Joseph-Lyon	non
S53	F	9	St Joseph-Lyon	non
S54	M	9	St Joseph-Lyon	batterie
S55	M	9	St Joseph-Lyon	non
S56	F	9	St Joseph-Lyon	non
S57	M	8	St Joseph-Lyon	piano et conservatoire
S58	M	9	St Joseph-Lyon	non
S59	M	9	St Joseph-Lyon	non
S60	M	9	St Joseph-Lyon	non
S61	F	9	St Joseph-Lyon	non
S62	M	9	St Joseph-Lyon	non
S63	F	9	Kennedy-Lyon	piano et flûte
S64	F	9	Kennedy-Lyon	guitare
S65	M	9	Kennedy-Lyon	piano
S66	F	10	Kennedy-Lyon	piano
S67	F	10	Kennedy-Lyon	non
S68	F	9	Kennedy-Lyon	guitare
S69	M	9	Kennedy-Lyon	non
S70	M	9	Kennedy-Lyon	guitare et chorale
S71	F	9	Kennedy-Lyon	flûte de pan

---



## Annexe V : Dendrogramme des pédagogues



---

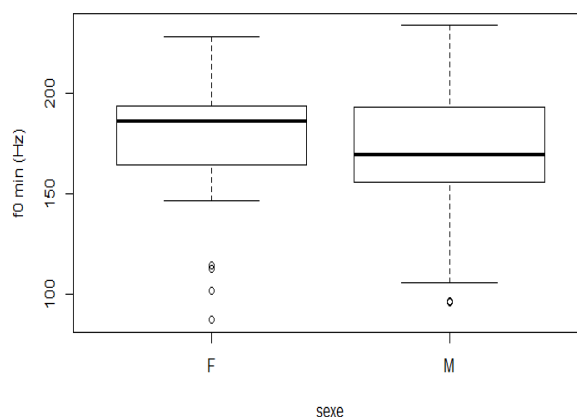
## Annexe VI : Explication des diagrammes en boîtes

### 1. Exemple de lecture d'un diagramme

Les diagrammes en boîtes (ou boîtes à moustaches) permettent de comparer les indices de positions de plusieurs groupes.

Ils font apparaître les valeurs de la médiane (symbolisée par le trait noir épais), les premier et troisième quartiles, représentés respectivement par la limite inférieure et supérieure de la boîte. Enfin, les barres aux extrémités symbolisent les valeurs maximale et minimale que l'on retrouve dans chacun des groupes. Parfois des points sont également représentés, ils symbolisent les valeurs aberrantes.

Voici un exemple qui reprend les valeurs des fréquences minimales de F0 en glissando.



**Fréquence minimale de F0 en fonction du sexe en glissando.**

	F	M
Valeur minimale	147Hz	105Hz
1 <sup>er</sup> quartile	164Hz	156Hz
Médiane	186Hz	169Hz
3 <sup>e</sup> quartile	194Hz	193Hz
Valeur maximale	228Hz	234Hz

---

## 2. Médiannes des paramètres de F0 en glissando.

Degré de dysphonie	1	2	3
Médiane f0 min	178Hz	176Hz	176Hz
Médiane f0 max	1140Hz	847Hz	580Hz
Médiane f0 range	978Hz	667Hz	404Hz

Mécanismes laryngés	IND	M1	M1M2	M2
Médiane f0 min	191Hz	164Hz	178Hz	175Hz
Médiane f0 max	1084Hz	747Hz	1001Hz	899Hz
Médiane f0 range	883Hz	616Hz	828Hz	717Hz

Sexe	F	M
Médiane f0 min	186Hz	169Hz
Médiane f0 max	1009Hz	910Hz
Médiane f0 range	823Hz	717Hz

---

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

Figure 1 : Configuration glottique associée au mécanisme M1 (adapté d'après Vennard (1967), par Lacau St Guily & Roubeau (1994), cité par Henrich, (2001)) .....	13
Figure 2 : Configuration glottique associée au mécanisme M2 (adapté d'après Vennard (1967), par Lacau St Guily & Roubeau (1994), cité par Henrich, (2001)) .....	13
Figure 3 : Classification des registres en fonction du mécanisme laryngé impliqué. Roubeau, et al (2009).....	14
Figure 4 : Illustration des quatre mécanismes dans un glissando ascendant chanté par une soprano. Henrich, Roubeau & Castellengo (2003). .....	15
Figure 5 : Evolution des signaux EGG, DEGG en fonction du mécanisme laryngé, lors d'un glissando descendant et ascendant chanté par une soprano. Extrait de Henrich, 2001, (cité par Henrich et al, 2003) .....	16
Figure 6 : Exemple typique de deux périodes de signaux EGG et DEGG en fonction du mécanisme de production. Henrich et al, 2004.....	16
Figure 7 : Développement musical de l'enfant, Shuter-Dison, 1981 (cité par Sarfati, 1998a).....	21
Figure 8 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adulte..	38
Figure 9 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adulte. ....	38
Figure 10 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adolescent. ....	39
Figure 11 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'adolescent. ....	39
Figure 12 : Réponses des cliniciens sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'enfant. ....	40
Figure 13 : Réponses des pédagogues sur le nombre de mécanismes laryngés dont dispose l'enfant.....	40
Figure 14 : Synthèse des appellations évoquées par les cliniciens pour chaque population. ....	41

---

Figure 15: Synthèse des appellations évoquées par les pédagogues pour chaque population.....	42
Figure 16 : Synthèse des réponses obtenues par les cliniciens à la question 18.....	42
Figure 17 : Synthèse des réponses obtenues par les pédagogues à la question 18.....	43
Figure 18 : Etendue vocale des glissandi en fonction du passage ou non en M3. ....	45
Figure 19: Paramètres de F0 sur production de glissando en fonction du sexe. ....	46
Figure 20 : Paramètres de F0 sur glissando en fonction du degré de dysphonie. ....	46
Figure 21 : Visualisation d'un changement de mécanisme M1M2 sur le spectrogramme et le signal EGG des sujets S41 et S24 classés dans le groupe M1M2.....	47
Figure 22 : Visualisation d'un changement de mécanisme M1M2 sur le signal EGG des sujets S46 et S14 classés dans le groupe M1M2. ....	47
Figure 23 : Paramètres de F0 en glissando selon les mécanismes laryngés. ....	48
Figure 24: Valeurs des différents paramètres de F0 en parole. ....	48
Figure 25 : Paramètres de F0 en parole en fonction du sexe. ....	49
Figure 26 : Paramètres de F0 en parole en fonction du degré de dysphonie. ....	49
Figure 27 : F0 moyen selon le degré de dysphonie.....	49
Figure 28 : Paramètre de F0 en parole en fonction du nombre de mécanismes. ....	50
Figure 29 : Répartition des mécanismes M1 et M2 en fonction du sexe. ....	50
Figure 30 : Répartition des mécanismes M1 et M2 en fonction du degré de dysphonie.....	51
***	
Tableau 1 : Ensemble de la population d'enfants classée selon le sexe et l'âge. ....	32
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des tâches et de la population par tâche.....	36
Tableau 3 : Données statistiques sur les paramètres de la fréquence fondamentale en parole. ....	48

---



---

# TABLE DES MATIERES

---

<b>ORGANIGRAMMES .....</b>	<b>2</b>
1. <i>Université Claude Bernard Lyon1 .....</i>	2
<b>1.1 Secteur Santé :.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Secteur Sciences et Technologies :.....</b>	<b>2</b>
2. <i>Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE.....</i>	3
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>PARTIE THEORIQUE .....</b>	<b>9</b>
I. LA VOIX HUMAINE AUTOUR DES REGISTRES ET DES MECANISMES .....	10
1. <i>Généralités sur la voix de l'adulte.....</i>	10
1.1. Les paramètres vocaux : fréquence fondamentale, intensité, timbre.....	10
1.2. Caractéristiques physiologiques et anatomiques .....	11
1.2.1. Les trois étages de la voix : soufflerie, vibrateur, résonateurs.....	11
1.2.2. La vibration laryngée .....	11
2. <i>Registres et mécanismes laryngés : définitions.....</i>	12
2.1. Comparaison de ces deux notions .....	12
2.2. Descriptions des mécanismes.....	13
2.3. Correspondance mécanismes / registres .....	14
3. <i>Le passage d'un mécanisme à un autre.....</i>	14
3.1. Comment le distingue-t-on ?.....	14
3.1.1. Généralités.....	14
3.1.2. Une combinaison d'analyses.....	15
3.1.3. L'apport de l'électroglottographie.....	15
3.2. La gestion des mécanismes laryngés en voix chantée adulte.....	17
4. <i>Prise en considération des mécanismes laryngés dans la pratique clinique phoniatrice chez l'adulte.....</i>	18
II. LA VOIX DE L'ENFANT .....	18
1. <i>Généralités .....</i>	18
1.1. Voix et développement global .....	18
1.2. Evolution de la naissance à la puberté .....	19
1.2.1. Evolution anatomique .....	19
1.2.2. Caractéristiques acoustiques de la voix de l'enfant .....	19
1.2.3. Prémutation et prédiction de la mue .....	20
1.3. La mue vocale.....	20
2. <i>La voix chantée de l'enfant.....</i>	21
2.1. Le développement de la voix chantée.....	21
2.2. Les enfants bourdons.....	22
2.3. Etendue vocale.....	22
2.3.1. Un outil principal : le phonétogramme .....	22
2.3.2. Données de la littérature sur l'étendue vocale.....	23
2.4. Registres vocaux et mécanismes laryngés de l'enfant .....	23
<b>PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES .....</b>	<b>25</b>
I. PROBLEMATIQUE .....	26
II. HYPOTHESES.....	26
1. <i>Hypothèses générales.....</i>	26
2. <i>Hypothèses opérationnelles.....</i>	27
<b>PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>28</b>
I. ENQUETE SUR LES CONNAISSANCES DE LA VOIX DE L'ENFANT.....	29
1. <i>Population.....</i>	29
2. <i>Matériel.....</i>	29
2.1. Diffusion .....	29
2.2. Forme et contenu .....	29
3. <i>Méthode.....</i>	30

---

II.	EXPLORATION DE L'ÉTENDUE VOCALE ET DES MÉCANISMES LARYNGES CHEZ L'ENFANT PREPUBÈRE	31
1.	<i>Population</i> .....	32
2.	<i>Matériel</i> .....	32
2.1.	Matériel pour le recueil de données.....	32
2.2.	Matériel pour l'analyse des données.....	33
3.	<i>Méthode</i> .....	33
3.1.	Déroulement de la session.....	33
3.1.1.	La voix parlée.....	34
3.1.2.	La voix chantée.....	34
3.1.3.	Exploration des mécanismes laryngés et de l'étendue vocale.....	34
3.1.4.	Tableau récapitulatif des tâches.....	36
3.2.	Analyse des données.....	36
3.2.1.	Comparaisons de groupes.....	36
<b>PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....		<b>37</b>
I.	RESULTATS DE L'ENQUÊTE .....	38
1.	<i>Données générales</i> .....	38
1.1.	Nombre de mécanismes laryngés.....	38
1.1.1.	Chez l'adulte.....	38
1.1.2.	Chez l'adolescent.....	39
1.1.3.	Chez l'enfant.....	40
1.2.	Appellations des mécanismes laryngés.....	41
1.2.1.	D'après les cliniciens.....	41
1.2.2.	D'après les pédagogues.....	42
1.3.	Une voix parlée grave chez un enfant prépubère.....	42
2.	<i>Profils des répondants</i> .....	43
2.1.	Profils des cliniciens.....	43
2.2.	Profils des pédagogues.....	44
II.	RESULTATS DE L'EXPLORATION DE L'ÉTENDUE VOCALE ET DES MÉCANISMES LARYNGES CHEZ L'ENFANT PREPUBÈRE.....	45
1.	<i>Étendue vocale sur les glissandi</i> .....	45
2.	<i>Paramètres de la fréquence fondamentale sur les glissandi</i> .....	46
2.1.	Répartition en fonction du sexe.....	46
2.2.	Répartition en fonction du degré de dysphonie.....	46
2.3.	Répartition en fonction des mécanismes laryngés.....	46
2.3.1.	Identification des mécanismes.....	46
2.3.2.	Étendue vocale en glissando et mécanismes laryngés.....	48
3.	<i>Fréquence fondamentale en parole</i> .....	48
3.1.	Répartition en fonction du sexe.....	49
3.2.	Répartition en fonction du degré de dysphonie.....	49
3.3.	Répartition en fonction des mécanismes laryngés.....	50
4.	<i>Les mécanismes laryngés</i> .....	50
4.1.	Proportion de la présence des deux mécanismes laryngés principaux : M1 et M2.....	50
4.2.	Répartition de M1-M2 en fonction du sexe.....	50
4.3.	Répartition de M1-M2 en fonction du degré de dysphonie.....	51
4.4.	Proportion des mécanismes laryngés extrêmes : M0 et M3.....	51
4.5.	Synthèse pour les quatre mécanismes laryngés.....	51
<b>DISCUSSION DES RESULTATS</b> .....		<b>52</b>
I.	ANALYSE DES RESULTATS .....	53
1.	<i>Les réponses aux questionnaires</i> .....	53
2.	<i>Résultats sur les données globales</i> .....	54
2.1.	F0 moyen.....	54
2.2.	Étendue vocale.....	54
2.3.	Nombre de mécanismes chez les enfants.....	55
3.	<i>Résultats des comparaisons de groupes</i> .....	55
3.1.	Impact du sexe de l'enfant sur les composantes vocales.....	55
3.2.	Impact du degré de dysphonie sur les composantes vocales.....	56
3.2.1.	La fréquence fondamentale.....	56
3.2.2.	Les mécanismes laryngés.....	56
3.3.	Impact des mécanismes laryngés sur les paramètres de la fréquence fondamentale.....	57
4.	<i>Conclusion sur l'analyse des résultats</i> .....	57
II.	APPORTS DE L'ÉTUDE .....	57

---

III.	LIMITES DE L'ETUDE .....	58
1.	<i>Questionnaires</i> .....	58
2.	<i>Etude expérimentale</i> .....	58
2.1.	Population .....	58
2.2.	Outils utilisés .....	59
2.3.	Protocole .....	59
2.3.1.	Conditions de passation.....	59
2.3.2.	Caractérisation du grade de dysphonie .....	59
2.3.3.	Identification des mécanismes laryngés.....	60
IV.	PERSPECTIVES .....	60
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERENCES.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>67</b>
	ANNEXE I : QUESTIONNAIRE SUR LES MECANISMES LARYNGES A L'ATTENTION DES CLINICIENS.....	68
	ANNEXE II : QUESTIONNAIRE SUR LES MECANISMES LARYNGES A L'ATTENTION DES PEDAGOGUES .....	72
	ANNEXE III : POPULATION DE L'ETUDE EXPERIMENTALE .....	76
	ANNEXE IV: DENDOGRAMME DES CLINICIENS .....	78
	ANNEXE V : DENDOGRAMME DES PEDAGOGUES .....	79
	ANNEXE VI : EXPLICATION DES DIAGRAMMES EN BOITES.....	80
	1. <i>Exemple de lecture d'un diagramme</i> .....	80
	2. <i>Médianes des paramètres de F0 en glissando.</i> .....	81
	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>82</b>
	<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>84</b>

---

Anne Courbis, Stéphanie Montérymard

## **LA VOIX DE L'ENFANT PREBUBERE DE 8 A 10 ANS : Etendue vocale et mécanismes laryngés**

86 Pages

Tomel : 86 Pages

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2014

---

### **RESUME**

---

Chez l'enfant prépubère, les mécanismes laryngés sont peu étudiés alors que les données de la littérature affirment que l'adulte en dispose de quatre. Les mécanismes laryngés M1 et M2 sont les plus utilisés tandis que les mécanismes M0 et M3 permettent de produire les fréquences extrêmes graves et aiguës. Une controverse se dessine dans la littérature quant à la présence ou non du mécanisme M1 avant la mue. Notre hypothèse est que l'enfant dispose des quatre mécanismes laryngés avant la puberté. En demandant l'avis aux professionnels de la voix, nous constatons une absence de consensus quant au nombre de mécanismes laryngés chez l'enfant prépubère. Afin d'observer la présence des quatre mécanismes laryngés (M0, M1, M2, M3) chez l'enfant, nous avons mené une étude auprès de 71 enfants âgés de 8 à 10 ans. Nous avons analysé leurs productions en voix parlée et chantée sur glissandi. Nous avons relevé une moyenne de 32 demi-tons pour les étendues vocales dans les sirènes. Par une analyse électroglottographique et acoustique, nous avons pu identifier la présence de M0, M1, M2 et M3 chez 29% des enfants de notre étude. En marge de nos objectifs principaux, nous avons pu noter que le sexe de l'enfant n'a pas d'impact sur les paramètres de la fréquence fondamentale. En revanche, le degré de dysphonie influe les valeurs maximales de F0 et d'étendue vocale pour les deux modalités de production. Comme 49% des enfants prépubères de notre étude ont manifesté un M1, il semble que ce dernier n'apparaisse pas seulement au moment de la mue vocale. Ainsi la gestion des mécanismes principaux M1 et M2 pourrait servir de support à la rééducation orthophonique de la voix de l'enfant, comme c'est le cas chez l'adulte.

---

### **MOTS-CLES**

---

Mécanismes laryngés, enfant prépubère, étendue vocale, fréquence fondamentale, glissando, électroglottographie, pli vocal.

---

### **MEMBRES DU JURY**

---

Jérôme Gauthier

Claire Gentil

Isabelle Landreau

---

### **DIRECTEURS DE MEMOIRE**

---

Nathalie Henrich

Jocelyne Sarfati

---

### **DATE DE SOUTENANCE**

---

26 juin 2014

---