



HAL
open science

Croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte : données morphologiques longitudinales et modélisation articulatoire

Guillaume Barbier, Louis-Jean Boë, Anne Vilain, Guillaume Captier

► To cite this version:

Guillaume Barbier, Louis-Jean Boë, Anne Vilain, Guillaume Captier. Croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte : données morphologiques longitudinales et modélisation articulatoire. RJCP 2011 - 9ème Rencontres des Jeunes Chercheurs en Parole, May 2011, Grenoble, France. pp.5-8. hal-00682208

HAL Id: hal-00682208

<https://hal.science/hal-00682208>

Submitted on 3 Dec 2018

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

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

Croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte : données morphologiques longitudinales et modélisation articulatoire

Guillaume Barbier^{1*}, Louis-Jean Boë¹, Anne Vilain¹, Guillaume Captier²

¹GIPSA-lab, UMR CNRS 5216 & Grenoble Universités, Grenoble

²Université Montpellier 1, Laboratoire d'Anatomie, Montpellier

*guillaume.barbier@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

ABSTRACT

The growth of the vocal tract is far from linear and is particularly important during the first years of life. How are children able to reach acoustic targets in such a context? To understand the development of speech production, not only in the acoustic space, but with respect to the evolution of articulatory-to-acoustic relationships, it is crucial to study vocal tract morphology. This study aims at proposing specific measurements on the vocal apparatus, not only to study vocal tract growth during ontogeny, but in order to improve the accuracy of articulatory phonetic tools, such as ultrasonography or biomechanical modeling of the vocal tract.

Keywords: growth, vocal tract, anatomy, ontogeny, motor control, articulatory modeling.

1. INTRODUCTION

La croissance du conduit vocal en ontogenèse, loin d'être linéaire, représente une véritable anamorphose. Cette croissance est particulièrement importante durant les premières années de vie, période cruciale pour l'apprentissage de la production de la parole. Comment les enfants sont-ils capables d'apprendre à atteindre les cibles acoustiques de leurs langues maternelles, dans un conduit vocal présentant un tel remodelage permanent ? Au moyen de quelles stratégies articulatoires, dans un conduit vocal si différent de celui des adultes, les enfants parviennent-ils à atteindre ces cibles acoustiques ? Pour tenter de comprendre l'évolution du contrôle moteur des articulateurs de parole au cours de l'ontogenèse, il est indispensable de connaître avant toute chose la morphologie du conduit vocal.

Mais les données concernant la croissance du conduit vocal sont peu nombreuses (Goldstein [1] ; Fitch et Giedd [2]; Lieberman et McCarthy [3]; Vorperian et al. [4-5]) et il n'existe, à notre connaissance, aucune étude longitudinale. De plus, on dispose d'encore moins de données en ce qui concerne les premières années de vie, or celles-ci sont cruciales pour le développement de la parole. L'étude de Goldstein [1], qui couvre la croissance du tractus vocal de la naissance à l'âge adulte, constitue l'étude de référence de ce domaine. Or cette étude est une méta-analyse de plusieurs études médicales transversales,

dont aucune ne comporte de mesure spécifique au conduit vocal. Elle constitue néanmoins une importante base de données sur les tendances générales de croissance, et a déjà permis de calibrer les modèles de conduit vocal de Mermelstein [6] et de Maeda [7] au cours de l'ontogenèse (travaux respectivement effectués par Goldstein [1] et Boë [8]). De tels modèles permettent de simuler les productions acoustiques au cours de la croissance et d'inférer des informations sur les paramètres de commande correspondant à ces productions.

Notre étude propose de quantifier la croissance du conduit vocal à partir de mesures effectuées sur des radiographies issues de plusieurs bases de données médicales et concernant le suivi longitudinal de 68 individus, de la naissance à l'âge adulte. Cette étude offre des repères et des mesures spécifiques au conduit vocal, et comporte un grand nombre de données, particulièrement en ce qui concerne les premières années de vie. Ces données longitudinales nous ont permis de calibrer un modèle articulatoire du conduit vocal tout au long de la croissance.

2. ARCHIVES RADIOGRAPHIQUES ET MÉTHODE

Les archives radiographiques utilisées (Denver, Iowa, Michigan et Oregon growth studies) ont été mises à disposition par l'AAO (*American Association of Orthodontists*). Elles ont toutes été constituées par des orthodontistes américains dans le but d'effectuer une étude longitudinale concernant la dentition. Ces archives radiographiques offrent les téléradiographies de profil de la tête et du cou de 68 individus leucodermes de type nord-américain, 33 femmes et 35 hommes, suivis longitudinalement entre 1 mois et 25 ans. Elles regroupent des individus radiographiés entre 1950 et 1970, avec en moyenne 15 radiographies par individu, exposant ainsi la croissance individuelle : un total de 966 radiographies classées par sexe, par âge et par classe dentaire est ainsi à notre disposition pour cette étude.

Sur chacune de ces radiographies, 49 repères osseux ou correspondant à des tissus du conduit vocal ont été pointés à l'aide du logiciel *Craniorev*, développé par Boë et al. Les principaux repères qui nous intéressent ici sont les épines nasales (ENa et ENp), le prosthion (Pr) et l'infradental (Id), les lèvres (Ls et Li), l'apex (Ap) et le point le plus postérieur de la langue (Lp), l'os hyoïde (Hyp), la symphyse mandibulaire (Sy), l'épiglotte (Eg),

l'extrémité du velum (Ve), le point pharyngal (Ph2), et enfin la glotte (Gc). Ces repères, présentés sur la figure 1, permettent de rendre compte de l'organisation du conduit vocal au sein de l'architecture osseuse. En complément de ces repères, nous avons tracé les contours de la langue (en rouge), de la mandibule (en vert), du palais dur et du palais mou (en cyan), et de la paroi pharyngale (en violet).

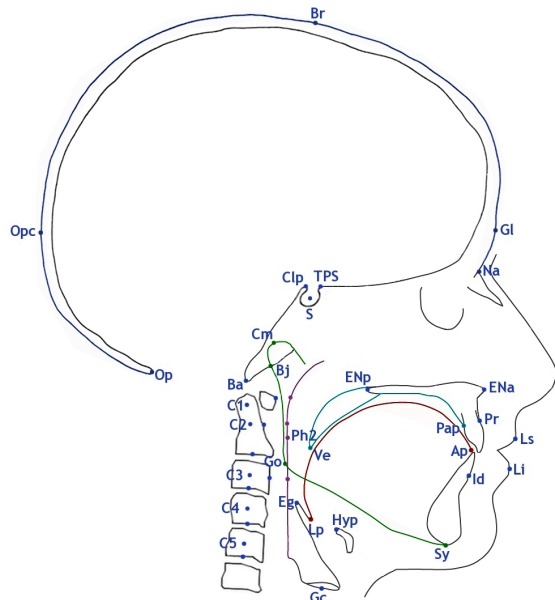


Figure 1 : Principaux repères et contours utilisés.

Ces repères, pointés pour les 966 radiographies au cours de la croissance, vont nous permettre de rendre compte du remodelage du conduit vocal au cours de l'ontogenèse.

3. DONNÉES MORPHOLOGIQUES

Validation des mesures

Toutes nos mesures ont été confrontées aux données d'études sur la croissance du conduit vocal [1-5], ainsi qu'à des données de la littérature anatomique, Fenart [9], et orthodontique, Riolo et al. [10]. Nos données sont tout à fait compatibles avec toutes ces études, ce qui souligne leur validité. La précision de notre pointage a été mesurée en prenant une radiographie au hasard et en effectuant 10 fois le pointage pour cette radiographie. L'erreur moyenne sur 10 repères tirés au hasard est de 0.33 mm.

Les grandes dimensions du conduit vocal

Les premières mesures qui permettent de visualiser la croissance du conduit vocal dans son ensemble sont celles des grandes dimensions horizontale (prosthion-point pharyngal, représentant la cavité orale) et verticale (point pharyngal-gllotte, représentant la cavité pharyngale) du conduit vocal. Ce que nous montrent les données, c'est que l'évolution du tractus se fait majoritairement dans la dimension verticale (voir figure 2). Une différence majeure entre le conduit vocal d'un nouveau-né et celui d'un adulte réside donc dans la longueur de la cavité pharyngale, qui mesure entre 20 et 30 mm à 1 mois, pour presque 80 mm en moyenne à l'âge adulte chez les

hommes. La cavité orale, quant à elle, évolue plus lentement et plus régulièrement que la cavité pharyngale, qui comprend deux pics de croissance marqués, un durant les premières années de vie et un second à l'adolescence.

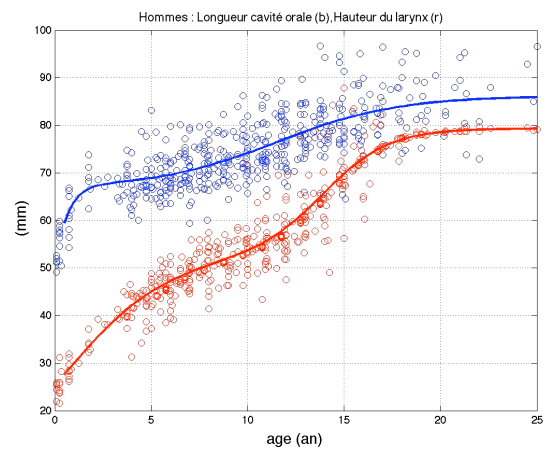


Figure 2 : Évolution de la longueur de la cavité orale (en bleu) et de la cavité pharyngale (en rouge) au cours de la croissance pour les hommes. Données (cercles) et courbes de croissance (optimisations en double logistique).

Longueur du conduit vocal

La longueur totale du conduit vocal est définie par la distance curviligne de la glotte aux lèvres mesurée pour une position neutre des articulateurs (ce qui n'est pas le cas de toutes les radiographies utilisées dans cette étude). Pour en donner une estimation, nous avons calibré un modèle du conduit vocal en position neutre et avons mesuré la longueur curviligne passant par la section médiane de ce modèle (voir partie 4).

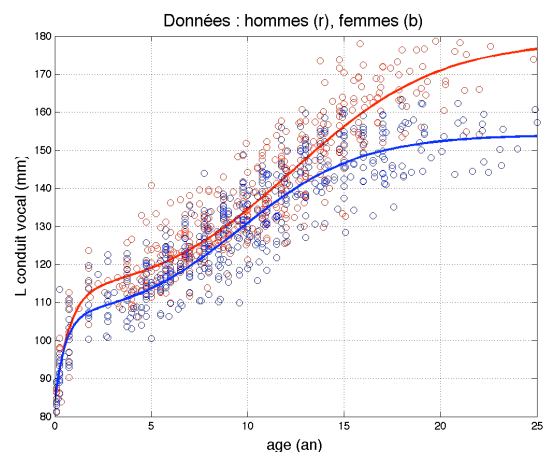


Figure 3 : Évolution de la longueur du conduit vocal, pour les hommes (rouge) et pour les femmes (bleu). Données (cercles) et courbes de croissance (optimisations en double logistique).

Tendances générales de croissance

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude montrent que la longueur totale du conduit vocal double de la naissance à l'âge adulte (80 mm en moyenne chez le nouveau né, 176 mm chez l'homme adulte et 154 mm chez la femme

adulte). La croissance se fait majoritairement selon la dimension verticale (environ 50 mm de croissance verticale contre environ 30 mm de croissance horizontale). Le dimorphisme sexuel est essentiellement dû à une différence de hauteur du larynx et apparaît autour de 15 ans (un test de Student effectué entre hommes et femmes sur la hauteur du larynx et la longueur du conduit vocal montre en effet que les différences deviennent significatives à partir de 15 ans, pour $p < 0,001$ et $t = 3,444$, et à partir de 14 ans pour $p < 0,01$ et $t = 2,652$). Le velum a une taille importante à la naissance (environ 25 mm) et croît très peu au cours de l'ontogenèse (28 mm et 33 mm chez la femme et l'homme adulte respectivement). La mandibule, en revanche, a une croissance très régulière et atteint la taille adulte aux alentours de 17 ans. Pour plus de détails, voir [11].

4. MODÉLISATION ARTICULATOIRE

Ces données longitudinales permettent d'observer l'évolution de l'architecture osseuse d'un seul individu (voir figure 4), mais aussi de connaître l'architecture prototypique de la tête et du cou à chaque stade ontogénétique (voir figure 5). Ces mesures individuelles et moyennées permettent maintenant de calibrer un modèle de conduit vocal au cours de la croissance, ce qui offre la possibilité de simuler les productions acoustiques et d'en inférer les commandes articulatoires correspondantes pour chaque stade ontogénétique.

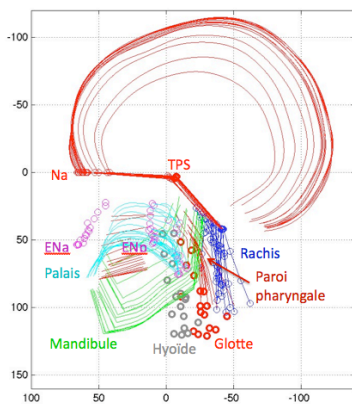


Figure 4 : Évolution de l'architecture osseuse de M620, individu masculin de la base de données de Denver (croissance de 1 mois à 21 ans).

Nous avons choisi de calibrer le modèle articulatoire de Maeda [7] au cours de la croissance, par rapport aux trois points les plus cruciaux de cette étude : la glotte, le point pharyngal et le prosthion, mais également par rapport à l'inclinaison du rachis cervical et par rapport à la profondeur du palais.

Ce modèle de conduit vocal a été calibré par rapport aux mesures moyennes des hommes de la naissance à l'âge adulte. La figure 5 ci-après illustre le déplacement des principaux repères du conduit vocal dans l'architecture moyenne des hommes, présentés pour des stades ontogénétiques définis tous les 6 mois.

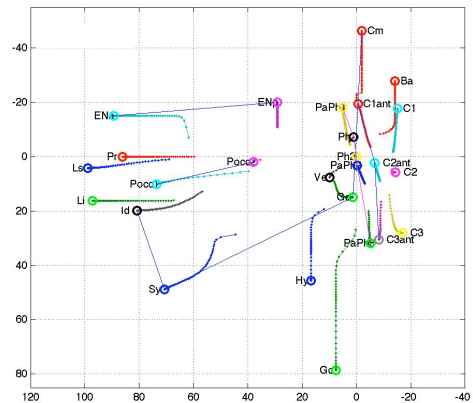


Figure 5 : Trajets ontogénétiques des repères majeurs, dans l'architecture moyenne des hommes, pour des stades ontogénétiques définis tous les 6 mois, de 6 mois à 23 ans.

La figure 6 ci-dessous présente le modèle de Maeda (en rouge) calibré dans l'architecture moyenne des hommes pour les âges de 6 mois (a) et 23 ans (b). On observe notamment la petite taille de la cavité pharyngale chez le nouveau-né, la configuration très différente de la mandibule (angles du ramus et mandibulaire plus aigus chez l'adulte), la très faible profondeur du palais chez le nouveau-né ainsi que la taille importante du velum.

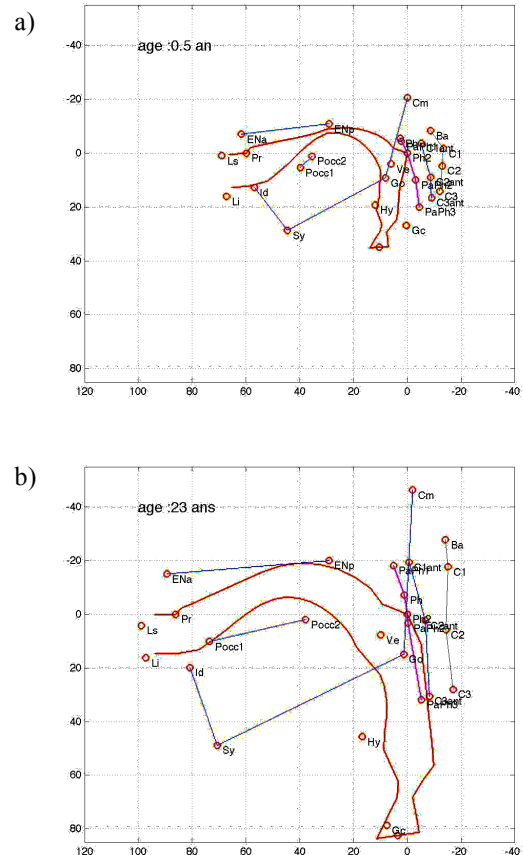


Figure 6 : Modèle de Maeda calibré dans l'architecture osseuse moyenne des hommes à 6 mois (a) et à 23 ans (b).

5. PERSPECTIVES

Nos futures recherches iront vers l'élaboration et l'exploitation d'un modèle biomécanique bi-dimensionnel du conduit vocal [12] adapté à la morphologie de l'enfant de quatre ans. Un tel modèle permettra de rendre compte des configurations articulatoires avec finesse et les informations concernant les paramètres de commande seront directement interprétables car chaque degré de liberté du modèle correspond à l'action d'un ou de plusieurs muscles. Ce modèle, s'il est valide, permettra d'inférer des informations sur le degré de maturité du contrôle moteur des articulateurs de parole au cours de l'ontogenèse. Afin de valider un tel modèle, un enregistrement audio des productions d'enfants de 4 ans sera couplé à un enregistrement articulatoire de ces productions, en utilisant l'ultrasonographie (pour la langue) et un système optique de suivi des mouvements (Optotrak) pour la mandibule et les lèvres. Les données articulatoires et acoustiques recueillies seront alors confrontées aux simulations effectuées par le modèle.

6. CONCLUSION

Cette étude apporte de nouvelles données morphologiques permettant de quantifier la croissance du conduit vocal en ontogenèse. Elle offre, pour la première fois, des données longitudinales. Elle comporte un grand nombre de

données, ce qui est important pour les optimisations ainsi que pour les tests statistiques visant à observer l'apparition du dimorphisme sexuel. Nous proposons des mesures spécifiques au conduit vocal et avons étudié les principales structures qui déterminent le conduit vocal (lèvres, langue, mandibule, palais dur, palais mou, paroi pharyngale, rachis cervical, larynx et os hyoïde). Enfin, cette étude comporte un nombre important de données concernant les premières années de vie (227 radiographies entre 0 et 5 ans), ce qui permet une observation précise du remodelage du tractus vocal, particulièrement important pendant cette période.

L'étude de l'évolution de la morphologie du conduit vocal est indispensable si l'on veut comprendre l'influence du remodelage du conduit vocal sur les productions acoustiques et les configurations articulatoires. Les conduits vocaux des nouveaux-nés et des jeunes enfants étant anatomiquement très différents de ceux des adultes, les stratégies articulatoires adoptées seront logiquement elles aussi différentes. Dans un contexte où l'acquisition de données articulatoire est particulièrement délicate, la modélisation articulatoire se révèle être un outil de choix. Les données présentées ont permis de calibrer un modèle articulatoire géométrique de la naissance à l'âge adulte, qui permet maintenant l'étude des relations articulatoire-acoustiques tout au long de la croissance.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Goldstein, U. G. (1980). *An articulatory model for the vocal tract of the growing children*, Thesis of Doctor of Science, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- [2] Fitch, W. T. et Giedd, J. (1999). Morphology and development of the human vocal tract. A study using magnetic resonance imaging, *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, 1511-1522.
- [3] Lieberman, D. E., McCarthy, R. C., Hiiemae, K. M. et Palmer, J. B. (2001). Ontogeny of larynx and hyoid descent in humans: implications for deglutition and vocalization. *Archives of Oral Biology*, 46, 117-128.
- [4] Vorperian, H.K. et al. (2005). Development of vocal tract length during early childhood: A magnetic resonance imaging study. *Journal of the Acoustical Society of America* 117(1), 338-350.
- [5] Vorperian, H. K. et al. (2009). Anatomic development of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(3), 1666-1678.
- [6] Mermelstein, P. (1973). Articulatory model for the study of speech production, *Journal of the Acoustical Society of America*, 53, 1070-1082.
- [7] Maeda, S. (1990). Compensatory articulation during speech: evidence from the analysis and synthesis of vocal-tract shapes using an articulatory model, in W. J. Hardcastle, et A. Marchal (Ed.), *Speech production and speech modelling*, (pp. 131- 149), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- [8] Boë, L.-J. et Maeda, S. (1998). Modélisation de la croissance du conduit vocal. Espace vocalique des nouveau-nés et des adultes. Conséquences pour l'ontogenèse et la phylogenèse, *Journées d'Études Linguistiques*. Nantes, 98-105.
- [9] Fenart, R. (2003). Crâniographie vestibulaire. Analyse morphométrique positionnelle. *Biométrie Humaine et Anthropologie*, 21, 231-284.
- [10] Riolo, M. L., Moyers, R. E., McNamara, J. A. Jr. et Hunter, W. S. (1974). *An atlas of craniofacial growth. Cephalometric standards from the university school growth study*, The University of Michigan.
- [11] Barbier, G. (2010). *Croissance du conduit vocal de la naissance à l'âge adulte, étude radiographique longitudinale*. Mémoire de Master 1, Université Stendhal, Grenoble.
- [12] Payan, Y. and Perrier, P. (1997). Synthesis of V-V sequences with a 2D biomechanical tongue model controlled by the Equilibrium Point Hypothesis, *Speech Communication*, 22, 185-205.