

Incidence de la chirurgie naso-sinusienne sur la qualité vocale : étude d'un cas clinique

Lise Crevier-Buchman^{1,2} Angélique Amelot¹ Bénédicte Mas² Mathilde Giron² Pierre Bonfils^{2,3}

(1) Laboratoire de Phonétique et Phonologie, UMR7018, Univ. Paris3 Sorbonne Nouvelle, 19 rue des Bernardins 75005 Paris, France

(2) Hôpital Européen Georges Pompidou, Univ. Paris5, 20 rue Leblanc 75015 Paris

(3) Cognition and Action Group, CNRS MD 8257, SSA and University Paris 5, Paris
lise.buchman@numericable.fr, angelique.amelot@univ-paris3.fr,
benedictemas@yahoo.fr, mathilde.giron@orange.fr, pierre.bonfils@aphp.fr

RESUME

Les fosses nasales participent à la résonance vocale et toute modification de ces structures peut altérer la qualité vocale. Le rôle des sinus comme résonateurs dans la production vocale reste plus controversé. Le but de notre étude prospective était d'explorer d'éventuelles modifications acoustiques chez un chanteur professionnel en pré et post-opératoire après chirurgie naso-sinusienne unilatérale. A partir de la lecture d'un texte, nous avons extrait les voyelles /a,i,u/ pour mesurer les paramètres acoustiques de fréquence (F0), des formants F1 et F2, de leur largeur de bande, et de qualité vocale (LTAS et H1*-H2*). L'étude a été complétée par une auto-évaluation de la qualité de voix. Nos résultats n'ont pas permis de mettre en évidence de différence statistiquement significative des paramètres acoustiques bien que le patient ait signalé une impression d'amélioration vocale chantée. Ces résultats pour le français confirment ceux de la littérature et peuvent servir à informer les patients.

ABSTRACT

Impact of Sinus Surgery on Voice Quality: Case Study

The nasal cavity contributes to voice resonance and changes in these structures can alter voice quality. The role of the sinus as resonators for voice production is still controversial. The aim of our prospective study was to evaluate acoustic changes for a professional singer before and six month after sinus surgery. We extracted the vowels /a,i,u/ from a French text and a self evaluation of voice handicap. Objective measures of fundamental frequency, formant frequencies (F1 & F2) and their bandwidth, and voice quality parameters (LTAS and H1*-H2*) were performed. No statistical differences were identified for all our measures although the patient felt an improvement in his singing voice. Our results for French language confirm what has been observed in most of the international literature in other languages. Therefore, we can provide an informed consent based on objective measures for patients undergoing sinus surgery.

MOTS-CLES : Sinus, chirurgie naso-sinusienne, qualité vocale, paramètres acoustiques, fréquence fondamentale, formants

KEYWORDS: Paranasal sinuses, sinus surgery, voice quality, acoustic parameters, fundamental frequency, formant frequency

1 Introduction

Les résonateurs du système phonatoire correspondent à l'ensemble des cavités supra-glottiques et supra-laryngées. Le son de base émis par la vibration des plis vocaux est modulé par le conduit vocal, constitué par le pharynx, la cavité buccale, la cavité nasale et la cavité labiale. Cet ensemble de résonateurs couplés se comporte alors comme un filtre acoustique complexe, en modifiant la balance spectrale du son source, et lui conférant ainsi un timbre particulier. Les cavités nasales ou fosses nasales sont constituées d'une charpente osseuse complexe recouverte d'une muqueuse. Grâce à de petits orifices appelés ostia, les fosses nasales communiquent avec les sinus paranasaux qui se drainent dans les fosses nasales. Les quatre sinus paranasaux (frontal, ethmoïdal, maxillaire et sphénoïdal) sont des cavités remplies d'air et creusées à l'intérieur des os du crâne. Si la description anatomique et physiologique des sinus a rapidement été établie (Galen, 13&201 A.D.), leur rôle et la raison de leur présence sont plus controversés. En ce qui concerne le rôle des sinus paranasaux dans la parole, plusieurs auteurs leur admettent un rôle de résonateur dès le 17^{ème} siècle (Haarwood, 1799 ; Voltine 1888). Une chirurgie sinusienne n'a pas seulement un impact sur les sinus mais sur la cavité nasale dans son ensemble car elle permet, selon les techniques, d'agrandir la fosse nasale et de créer un espace de résonance plus grand. Actuellement, la chirurgie sinusienne est proposée aux patients atteints de rhinosinusite chronique, de polypose nasale, d'obstruction nasale et de pathologies tumorales des sinus. Les résultats de la chirurgie sur l'obstruction nasale et les infections chroniques sont très satisfaisants ; elle permet aussi une récupération de l'odorat et une meilleure ventilation ; mais les modifications acoustiques possibles ne sont pas bien établies.

La littérature concernant les effets d'une telle chirurgie sur la qualité vocale reste pauvre. Une étude menée par Hösemann, *et al.*, (1998) sur 21 germanophones, a montré que des modifications vocales sont possibles après une telle chirurgie et qu'il est nécessaire d'en informer les patients. Cependant, les auteurs soulignent la diversité des effets acoustiques de la chirurgie sinusienne et restent prudents quant à ces résultats étant donné la petite cohorte. Une étude plus récente de Acar *et al.* (2013) indique qu'il n'existe pas de différence significative pour quatre paramètres acoustiques (HNR, F0, Jitter et Shimmer) après ablation de polypes dans les sinus paranasaux. Certains auteurs constatent néanmoins l'existence d'un effet de la chirurgie naso-sinusienne sur les voyelles nasalisées (Chen *et al.*, 1997 ; Hosemann *et al.*, 1998) et les consonnes nasales (Chen *et al.*, 1997 ; Kim *et al.*, 2014) par des mesures de nasalance (mesures du ratio entre énergie acoustique nasale et orale). Certains articles font état du caractère subjectif de la perception d'un changement de la qualité vocale après chirurgie naso-sinusienne (Chen *et al.*, 1997 ; Hosemann *et al.*, 1998 ; Sonegheta *et al.* 2002). L'utilisation des questionnaires d'auto-évaluation de la qualité de voix a montré que 20% des patients signalaient un changement positif de qualité vocale après cette chirurgie. Les auteurs soulignent la nécessité d'en informer les patients, notamment les professionnels de la voix. »

L'imprécision quant aux résultats vocaux de cette chirurgie chez des professionnels de la voix nécessite une investigation approfondie, pour pouvoir répondre de façon objective à la demande d'information et aux inquiétudes sur un risque éventuel de modification post-opératoire du son de leur voix. Il n'existe pas à notre connaissance d'études qui se sont intéressées à la modification possible de la qualité de la voix chez les locuteurs francophones après chirurgie sinusienne. Or le français a la particularité d'avoir une opposition fine en ce qui concerne les voyelles nasales et les voyelles nasalisées. Dans la mesure où la chirurgie naso-sinusienne modifie le volume des cavités nasales, on peut supposer une modification du couplage acoustique des sinus comme un résonateur d'Helmholtz, et des propriétés acoustiques de la muqueuse des voies aériennes supérieures. Nous

avons cherché à objectiver une éventuelle modification des paramètres acoustiques et de la qualité vocale chez un chanteur lyrique professionnel en préopératoire et trois mois post-opératoire.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Patient

Un homme de 51 ans, chanteur lyrique professionnel, ténor, a présenté une tumeur bénigne de type papillome inversé dans le sinus sphénoïdal gauche. L'ablation chirurgicale a été décidée en avertissant le patient des risques vocaux potentiels mais non connus et non documentés dans la littérature. Le risque était en rapport avec une modification du volume des cavités nasales et sinusiennes et par conséquent des résonances nasales. Le patient a signé un consentement éclairé. L'intervention a consisté en une ouverture large du sinus ethmoïdal et sphénoïdal gauche et d'une turbinectomie moyenne gauche pour la voie d'abord endonasale. L'opération a été réalisée par navigation assistée par ordinateur le 15 janvier 2015.

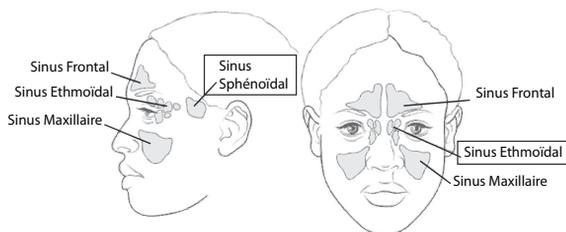


FIGURE 1 : schéma de la place anatomique des 4 paires de sinus de la face

Les bilans pré et post-opératoire à 6 mois se sont déroulées dans les mêmes conditions, en consultation d'oto-rhino-laryngologie et phoniatrie de l'Hôpital Européen Georges Pompidou. En pré-opératoire, le patient se plaignait d'une obstruction nasale chronique avec rhinite et sécrétions qui coulaient dans le pharynx. L'examen ORL vélo-pharyngo-laryngé a été réalisé en nasofibroskopie souple (Kay-Pentax FNL10RP3) équipé d'une lumière froide (halogène CLK-4, Olympus) dont l'extrémité est reliée à un système d'enregistrement vidéo (DigitalStrobe, RLS91000, Kay Elemetrics) à une fréquence de 25 im/sec et une résolution de 568 × 454 pixels.

2.2 Enregistrements, corpus

L'enregistrement acoustique pré et post-opératoire de la voix a été réalisé avec la station d'enregistrement Kay Elemetrics CSL (Computer Speech Lab) 4300 et un microphone casque AKG C520 dans une pièce acoustiquement calme.

Le corpus consistait en la tenue de la voyelle /a/ à une hauteur et intensité confortable, pour l'analyse acoustique des paramètres de fréquence et la lecture du texte « la bise et le soleil ».

Le patient a rempli un questionnaire d'auto-évaluation sur sa qualité de voix : le Voice Handicap Index (VHI30) (Jacobson *et al.*, 1997). Ce questionnaire est composé de 30 items comprenant 3 sous-échelles fonctionnelle, physique et émotionnelle avec 5 réponses possibles : « jamais », « presque jamais », « parfois », « presque toujours », « toujours », et une cotation globale du ressenti sur sa voix « moins bonne », « pareille », « meilleure » qu'avant.

2.3 Mesures acoustiques

2.3.1 Voyelle isolée

Les mesures acoustiques ont été réalisées à partir de la voyelle /a/ tenue pendant 3 secondes pour extraire la F0 et les paramètres d'instabilité instantanée (Jitter et Shimmer) ainsi que le rapport Bruit sur Harmoniques (NHR) avec Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) (Version 3.3, Kay Elemetrics Corporation Lincoln Park, New Jersey, USA).

2.3.2 Lecture

Les mesures de durées, des deux premiers formants, la largeur de bande et la valeur de F0 ont été extraites au milieu de chaque voyelle /i a u/ du texte lu. La mesure de H1*-H2* a été effectuée sur la voyelle /a/ (Hansen, 1996). Le spectre moyenné à long terme (LTAS), qui permet de rendre compte des résonances supra-glottiques (Kitzing *et al.*, 1993 ; Miller *et al.*, 2002) a été fait mesuré sur les segments voisés du texte. Ces mesures ont été réalisées avec Praat (Boersma *et al.*, 2016).

3 Résultats

3.1 L'examen laryngé

En préopératoire, l'examen laryngé est sans particularité en dehors d'une inflammation diffuse liée à la rhinorrhée postérieure. En phonation on observe un léger comportement d'effort avec fermeture serrée du plan glottique et participation des bandes ventriculaires. L'ondulation muqueuse des plis vocaux est bien conservée, bilatérale et symétrique. En post-opératoire le patient signale une amélioration du timbre de sa voix qu'il qualifie de plus claire, et une plus grande aisance dans les aigus de sa voix chantée. L'examen laryngé montre une diminution du serrage supra-glottique au niveau des bandes ventriculaires en phonation et une disparition des sécrétions et de l'inflammation.

3.2 Les tests d'auto-évaluation VHI

L'échelle VHI n'a pas permis de relever de plaintes vocales (score à zéro en pré et post-opératoire). A la question subsidiaire « considérez vous votre voix comme moins bonne, pareille ou meilleure qu'avant », le patient signale qu'il considère sa voix comme « meilleure » en post-opératoire.

3.3 Les analyses acoustiques

3.3.1 Paramètres acoustiques

3.3.1.1 Voyelle isolée

Paramètres acoustiques mesurés sur la voyelle tenue /a/ pré post-op : F0= 204/182 Hz ; ds= 2,27/1,36 ; J= 0,29/0,47 ; S= 2,27/1,60 ; NHR= 0,108/0,098

Ces paramètres sont dans les limites de la normale compte tenu de la hauteur de la F0 sur cette tâche de voyelle tenue qu'il a produite en voix aigue.

3.3.1.2 Lecture

La durée moyenne pour les trois voyelles /i a u/ extraites des lectures est de 90 ms en pré-opérateur et de 92 ms en post-opérateur. Une analyse statistique t-test sur les deux groupes montre qu'il n'existe pas de différence significative de durée en pré- et post-opérateur sur les 3 voyelles ($t = 0.30114$, $df = 122.95$, $p\text{-value} = 0.7638$).

Avec une moyenne de 156 Hz en pré et en post-opérateur pour les trois voyelles confondues, une analyse statistique t-test ne montre pas de différence significative de F0 entre les deux enregistrements ($t = 0.018676$, $df = 126.93$, $p\text{-value} = 0.9851$).

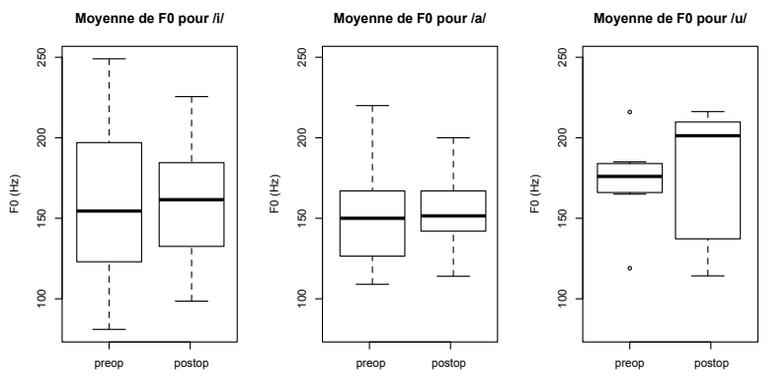


FIGURE 2 : représentation des moyennes de F0 pour les trois voyelles en pré et post-opérateur

Une analyse statistique anova à deux facteurs en fonction du temps de l'enregistrement (pré et post-opération) et en fonction des différentes voyelles montre qu'il n'existe pas non plus de différence significative ($F(2,126) = 0.289$, $p=0.7495$) de F0.

- Analyse formantique et largeur de bande pour F1 :

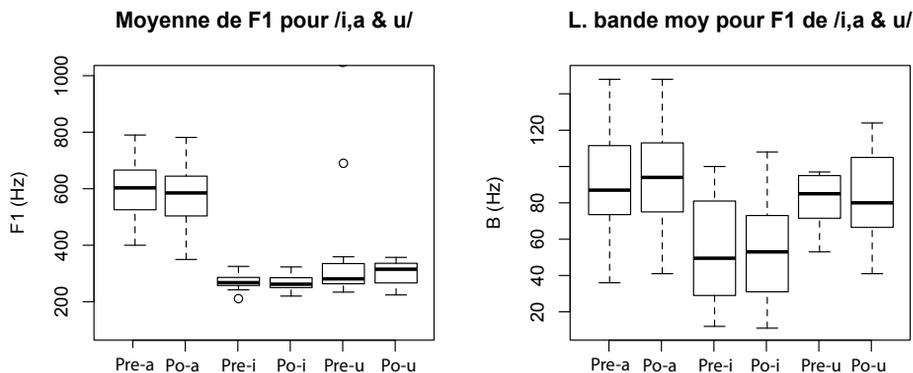


FIGURE 3 : valeur des formants F1 et largeur de bande pour les 3 voyelles aux 2 temps opératoires.

Une analyse statistique anova à deux facteurs en fonction du temps de l'enregistrement (pré- et post-opération) et en fonction des différentes voyelles montre qu'il n'existe pas de différence

significative ($F(2,126) = 0.566, p=0.569$) en ce qui concerne les valeurs de F1 ni pour les valeurs de la largeur de bande de F1 ($F(2,126) = 0.047, p= 0.955$).

- Analyse formantique et largeur de bande pour F2 :

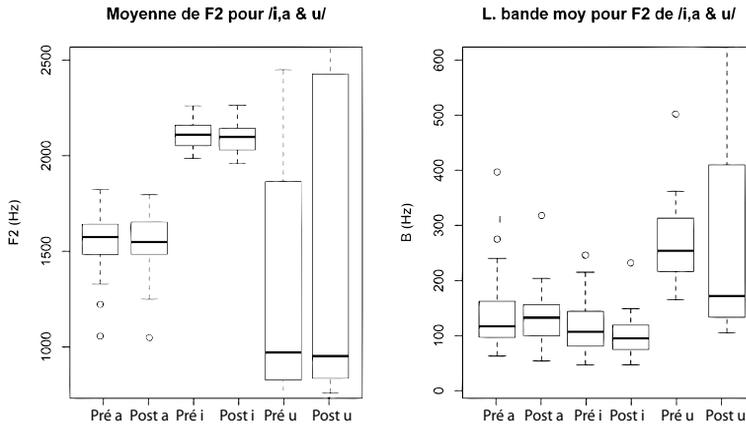


FIGURE 4 : valeur des formants F2 et largeur de bande pour les 3 voyelles aux 2 temps opératoires

Une analyse statistique anova en fonction du temps de l'enregistrement (pré- et post-opération) et en fonction des différentes voyelles montre qu'il n'existe pas de différence significative ($F(2,126) = 1.108, p= 0.333$) en ce qui concerne les valeurs de F2 tout comme les valeurs de la largeur de bande de F2 ($F(2,126) = 0.261, p= 0.771$).

- Différence entre les premier et deuxième harmoniques pour explorer la qualité vocale : $H1^* - H2^*$

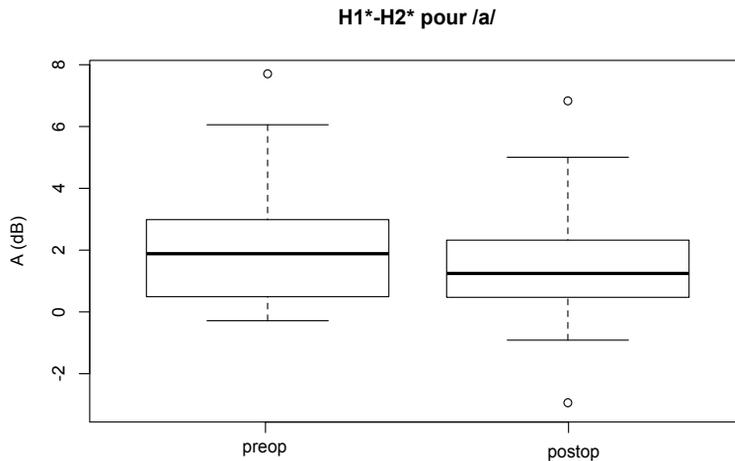


FIGURE 5 : valeur de la différence entre le 1^{er} et le 2^{ème} harmonique pour la voyelle /a/ aux 2 temps

Une analyse statistique anova en fonction du temps de l'enregistrement (pré- et post-opération) pour la voyelle /a/ montre qu'il n'existe pas de différence significative ($F(1,75) = 2.42, p= 0.124$) en ce

qui concerne les valeurs de $H1^*$ - $H2^*$. Cependant, en post-opérateur, la différence diminue ce qui irait dans le sens d'une légère amélioration du timbre vocal qui peut être perçu par le patient.

- Spectre à long terme LTAS mesuré à partir de Praat.

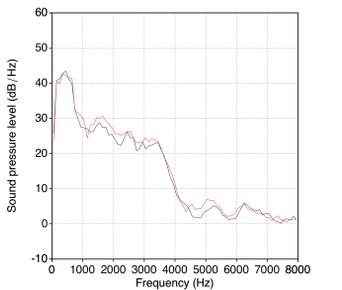


FIGURE 5 : superposition des spectres à long terme, en pré-op. (noir) et post-op. (rouge)

Ici nous avons exploré la répartition des énergies et des fréquences extraites des segments voisés du texte lu. Les 2 courbes sont superposées, la répartition d'énergie spectrale est semblable aux 2 temps.

4 Discussion et Conclusion

Le rôle des sinus de la face a été longuement discuté et n'est pas encore clairement connu (Eloy, 2005). Une revue de littérature menée par Keir (2007) interroge les fonctions possibles des sinus et conclue que la fonction principale des sinus serait d'améliorer les fonctions physiologiques du nez mais aussi avoir un rôle dans la résonance vocale. La résonance du spectre vocal est très intimement liée aux caractéristiques de la cavité nasale avec cependant une variabilité inter-individuelle liée aux différences morphologiques très importantes des fosses nasales et des sinus. (Serrurier, Badin, 2008) Notre patient chanteur professionnel devait subir une chirurgie naso-sinusienne et nous avons besoin, d'un point de vue médico-légal, d'évaluer le retentissement de cette chirurgie sur sa qualité vocale. La région vélo-pharyngée n'ayant pas été modifiée, on pouvait s'attendre à une absence de modification des paramètres aérodynamiques. Notre étude a porté sur un cas avec une analyse de sa voix parlée et non chantée.

4.1 Relation entre paramètres acoustiques et perception d'une dysphonie

Une analyse acoustique (F_0 , intensité, NHR) et vidéostroboscopique sur 10 patients porteurs de sinusite chronique et 9 patients « sains » menée par Cecil *et al.* (2000) ont montré une absence de relation entre la dysphonie et la sinusite chronique. Les mêmes observations sont retrouvées chez Acar *et al.* (2013). Par contre, l'évaluation perceptive et acoustique réalisée par Chen et Metson (1997) montrent des changements acoustiques significatifs sur les consonnes nasales et les voyelles nasalisées corrélés aux jugements perceptifs. Nous n'avons pas exploré les phénomènes aérodynamiques ni les modifications segmentales qui auraient pu être en lien avec une nasalisation. Les voyelles non nasalisées n'étaient pas affectées et l'échelle VHI pour la voix parlée n'a pas permis d'objectiver de modification de qualité vocale. Dans le cas de notre chanteur, il aurait été intéressant d'utiliser le singing VHI (Morsomme *et al.* 2007). De plus, une exploration plus

spécifique avec phonétogramme pourrait apporté des informations sur la dynamique vocale dans tout le spectre des fréquences.

4.2 Relation entre Formants et qualité vocale

De nombreux auteurs s'accordent pour dire que les conséquences spectrales de la nasalité se situent surtout dans les basses fréquences, avec un aplatissement des pics spectraux autour de F1 et F2 (Maeda, 1982; Vaissière, 1995). Les résultats de l'étude acoustique de Hosemann *et al.* (1998) sur les voyelles /a, i, u/ nasalisées chez 21 patients opérés pour sinusite chronique ont été très hétérogènes : la largeur de bande des formants diminue après la chirurgie sur la voyelle [a] et augmente pour le [i]. Il n'y a pas de changements observés dans les chirurgies unilatérales. Chez les patients avec des polyposes massives, aucun changement ne fut observé sur les voyelles /a/ et /i/, tandis qu'une augmentation de la largeur de bande de la voyelle /u/ fut attestée.

Acar *et al.* (2014) ont enregistré 43 patients turcs opérés des sinus pour polypose naso-sinusienne (PNS). L'analyse acoustique (mesure de la F0, jitter, shimmer et NHR) n'a pas retrouvé de changements statistiquement significatifs dans la qualité de la voix après l'opération. De même, l'étude menée par Brandt *et al.* (2014) sur 15 patients anglophones avec obstruction nasale, n'a pas démontré de changements statistiquement significatifs de la qualité vocale dans l'évaluation perceptive (auto-évaluation et évaluation par des auditeurs naïfs) et acoustique après la chirurgie. La plupart de ces études concluent que les patients, et notamment les professionnels de la voix, doivent être informés des altérations possibles de la parole après une intervention majeure sur les sinus (Acar *et al.*, 2014 ; Hosemann *et al.*, 1998).

Chez notre patient, on ne constate pas de modification de la hauteur ni de l'amplitude des deux premiers formants ce qui irait dans le sens d'une absence de nasalisation en post-opératoire et plus généralement une absence de modification du timbre vocalique. Il faut aussi noter que l'intervention était unilatérale ce qui pourrait expliquer l'absence d'expression d'un retentissement de la chirurgie naso-sinusienne comme l'a souligné Hosemann *et al.*, (1998). Enfin, l'amélioration post-opératoire de l'état de la muqueuse pharyngo-laryngée, la disparition des sécrétions et des infections rhino-sinusiennes a certainement contribué à l'amélioration de la qualité vocale et au ressenti du patient.

Une étude objective plus complète sur les différents paramètres vocaux notamment avec des mesures aérodynamiques et de nasalance, ainsi qu'une étude perceptive, nous semblent nécessaire pour avoir des données plus approfondies sur le français, et pour pouvoir informer le patient sur des bases physiologiques et objectives, des risques de modification de sa qualité vocale.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide du LabEx *EFL* (ANR-10-LABX-0083).

Références

ACAR A., CAYONU M., OZMAN M., ERYILMAZ A. (2014) Changes in Acoustic Parameters of Voice After Endoscopic Sinus Surgery in Patients with Nasal Polyposis *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg* 66 (4):381–385

- BOERSMA P., & WEENINK D.(2016). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.13, retrieved 31 January 2016 from <http://www.praat.org/>
- BRANDT MG., ROTENBERG BW., MOORE CC., BORNBAUM CC., DZIOBA A., GLICKSMAN JT., DOYLE PC. (2014) Impact of nasal surgery on speech resonance. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 123(8):564-70
- CECIL M., TINDALL L., HAYTON R. (2001) The relationship between dysphonia and sinusitis: a pilot study. *Journal of Voice* 15 (2) :270-277
- CHEN MY., METSON R. (1997) Effects of sinus surgery on speech *Arch Otolaryngology Head & Neck Surgery* 123(8) 845-852
- ELOY P., NOLLEVAUX M-C., BERTRAND B. (2005) Physiologie des sinus paranasaux. *EMC-Oto-rhino-laryngologie* 2 20-416-A-10 : 185–197
- GALEN 130-201 A.D. De Usu Partium Ix, 2 et seq. (Kuhn) 111, p. 691. (cité par BLANTON, Patricia L., et Norman L. BIGGS. « Eighteen hundred years of controversy: The paranasal sinuses », *American Journal of Anatomy* 124, n° 2 (février 1969): 135.)
- HAARWOOD, 1799 & VOLTINE 1888 (cité par Blanton, Patricia L., et Norman L. Biggs. « Eighteen hundred years of controversy: The paranasal sinuses », *American Journal of Anatomy* 124, n° 2 (février 1969): 135.
- HANSEN H. (1996). Glottal characteristics of female speakers : Acoustic correlates. *J. Acoust. Soc. AM.*, 101(1) :466-481.
- HOSEMANN W., GÖDE U., DUNKER J.E., EYSCHOLDT U. (1998) Influence of endoscopic sinus surgery on voice quality. *Eur Arch Otorhinolaryngology* 255 (10) 499-503
- JACOBSON B.H., JOHNSON A., GRYWALSKI C., SILBERGLEIT A., JACOBSON G., BENNINGER M.S., ET NEWMAN C.W. « The Voice Handicap Index (VHI)Development and Validation ». *American Journal of Speech-Language Pathology* 6, n° 3 (1 août 1997): 66-70.
- KEIR, J. « Why Do We Have Paranasal Sinuses? » *The Journal of Laryngology and Otology* 123, n° 1 (janvier 2009): 4-8. doi:10.1017/S0022215108003976
- KIM S.D., PARK HJ., KIM GH., WANGSG., CHO KS. (2014). Changes and recovery of voice quality after sinonasal surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 272(10) : 2853-9
- KITZING P., AKERLUND L. (1993) Long Terme average spectrograms of dysphonic voices before and after therapy. *Folia Phoniatr.* 45 : 53-61
- MAEDA S. (1982) The role of the sinus cavities in the production of nasal vowels. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP 82
- MILLER DG., SVEC J., SCHUTTE H.K. (2002) Measurement of characteristic leap interval between chest and falsetto registers. *Journal of Voice* ; 16 :8-19

MORSOMME D., GASPARD M., JAMART J., REMACLE M., VERDUYCKT I. (2007) Adaptation du Voice Handicap Index à la voix chantée. *Revue de Laryngologie-Otologie-Rhinologie*, 128 (5) :305-14

SERRURIER, A., BADIN P. (2008) A three-dimensional articulatory model of the velum and nasopharyngeal wall based on MRI and CT data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (4): 2335-2355.

SONEGHETA R., PAULA SANTOSB R., BEHLAUC M., HABERMANND W., FRIEDRICH D G., STAMMBERGERD H. (2002) Nasalance Changes After Functional Endoscopic Sinus Surgery. *Journal of Voice*; 16(3):392-7.

VAISSIERE J. (1995) Nasalité et Phonétique In *Le voile du palais et la parole* In Colloque sur le voile pathologique. Lyon ; Société Française d'Acoustique