



HAL
open science

Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne

Amélie Elmerich, Angélique Amelot, Lise Crevier-Buchman

► **To cite this version:**

Amélie Elmerich, Angélique Amelot, Lise Crevier-Buchman. Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne. 6e conférence conjointe Journées d'Études sur la Parole (JEP, 33e édition), Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN, 27e édition), Rencontre des Étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues (RÉCITAL, 22e édition), 2020, Nancy, France. pp.199-207. hal-02798537v2

HAL Id: hal-02798537

<https://hal.science/hal-02798537v2>

Submitted on 18 Jun 2020 (v2), last revised 23 Jun 2020 (v3)

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.

Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne

Amélie Elmerich, Angélique Amelot, Lise Crevier-Buchman

Laboratoire de Phonétique et Phonologie

19 rue des Bernardins 75005 Paris

amelie.elmerich@sorbonne-nouvelle.fr, angelique.amelot@sorbonne-nouvelle.fr, lise.buchman1@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de déterminer dans quelle mesure la polypose naso-sinusienne impacte l'aérodynamique des flux oral et nasal. Ainsi, nous avons enregistré des patients atteints de cette pathologie avant et après chirurgie. Plusieurs éléments ont pu être mis en lumière : une modification du passage de l'air dans la cavité nasale et une meilleure coordination des flux d'air oral et nasal après chirurgie.

ABSTRACT

Speech aerodynamic airflow modifications after sinonasal surgery

The purpose of this study is to determine how much nasal polyposis impact the aerodynamics of the nasal and oral airflow. Thus, we recorded patients with this pathology before and after the surgery. Several elements have been highlighted: a modification of the airflow passage in the nasal cavity and a coordination of the nasal and oral airflow after surgery.

MOTS-CLÉS : Sinus, Nasalité, Polypose Naso-Sinusienne, Aérodynamique, Chirurgie.

KEYWORDS: Sinus, Nasality, Nasal Polyposis, Aerodynamics, Surgery

1 Introduction

1.1 Cavités nasales et sinusiennes

La cavité nasale fait partie des résonateurs de la parole. Elle permet la réalisation des phonèmes nasals par l'ouverture du port vélo-pharyngé. Acoustiquement, ce phénomène de nasalité s'observe par la présence d'anti-formants et aérodynamiquement par un débit d'air nasal positif. Autour de la cavité nasale, se trouvent des cavités remplies d'air appelées sinus. Quant à eux, leur rôle dans la parole est controversé. Certains auteurs (Lindqvist-Gauffin et Sunberg, 1976 ; Proctor, 1980 ; Maeda, 1982) les considèrent comme des résonateurs de la parole leur donnant la fonction de résonateur d'Helmholtz (Masuda, 1992) et pour d'autres (Bunch, 1992), les sinus n'ont pas de rôle dans la parole ou un rôle extra-linguistique (allègement de la masse crânienne, réchauffement de l'air inspiré etc.).

1.2 La polypose naso-sinusienne

Il peut arriver que certaines pathologies comme la polypose naso-sinusienne (PNS), qui correspond à une inflammation chronique de la muqueuse tapissant les cavités nasales et sinusiennes et aboutissant à la formation de petites tumeurs bénignes (Bonfils *et al.*, 2017), viennent perturber la résonance en obstruant les voies nasales. Il existe plusieurs stades de gravité selon le degré d'obstruction des cavités allant du stade I au stade IV (sévère). Cela va interférer sur la configuration et la circulation du flux d'air au sein des cavités en affectant la résonance mais aussi la qualité des sons nasals (Hong *et al.*, 1997). Il s'agit de la forme la plus sévère de sinusite chronique. Selon le degré de sévérité et en réponse à un traitement médicamenteux non efficace, une chirurgie des sinus peut s'avérer nécessaire. Celle-ci consiste à enlever les polypes pour permettre un passage conséquent de l'air mais aussi à modifier la structure anatomique des cavités naso-sinusiennes. En effet, la chirurgie augmente la communication entre cavités nasales et sinusiennes ce qui impacte la résonance nasale et la production des phonèmes nasals. Borel (2005) a montré qu'elle permettait d'augmenter les capacités de production des consonnes nasales. Giron et Mas (2016) ont montré que la différence majeure entre préopératoire et postopératoire se situait au niveau aérodynamique. Nous avons donc voulu approfondir ce niveau.

L'objectif de ce travail est de déterminer l'impact de la PNS mais aussi de la chirurgie sur le plan aérodynamique de la parole. Notre première hypothèse serait qu'il y a une modification du passage de l'air dans la cavité nasale dans le cadre d'une polypose naso-sinusienne c'est-à-dire un débit d'air nasal beaucoup moins important en préopératoire en raison de l'encombrement des cavités par les polypes. Et par compensation, un débit d'air oral plus important en préopératoire (Giron et Mas, 2016). L'air ayant des difficultés à traverser la cavité nasale en préopératoire, il se répartirait donc plus vers la cavité orale. Notre seconde hypothèse serait qu'il y a une meilleure coordination entre le flux d'air oral et nasal durant la production de la consonne nasale après une chirurgie des sinus. La coordination des flux peut se définir par une simultanéité de l'extinction du débit d'air oral et l'initialisation du débit d'air nasal en début de la réalisation de la consonne nasale.

2 Méthode

Ce travail cible 4 patients âgés de 48 à 63 ans (2 hommes et 2 femmes) atteints d'une polypose naso-sinusienne (Table 1). Ils ont été pris en charge au sein de l'Hôpital Européen Georges Pompidou à Paris en vue d'une chirurgie des sinus. Les patients recrutés devaient avoir un âge minimum de 20 ans, être francophone, présenter une obstruction de la cavité naso-sinusienne par polypes et opter pour l'intervention chirurgicale. Ils ont été enregistrés dans un environnement silencieux à l'hôpital la veille de leur chirurgie puis, 3 mois plus tard. Aux patients ont été appariés selon leur sexe 4 témoins. Nous avons fait un appariement par groupe féminin/masculin en raison de la grande variabilité anatomique des cavités naso-sinusiennes entre individus. La station d'Évaluation Vocale Assistée (EVA2™, SQLab) nous a permis de recueillir les données aérodynamiques (débit d'air oral et nasal en litre/seconde (l/s)). Une calibration de l'appareil était réalisée avant chaque enregistrement, pour faire un ré-étalonnage. Une fois le patient installé, nous lui demandions de

respirer par le nez et la bouche afin de vérifier que l'appareil détectait les flux et que les embouts nasals étaient correctement positionnés. En effet, ils doivent être positionnés à l'entrée de chaque narine de manière verticale afin de suivre l'écoulement naturel du flux d'air nasal. Le débit d'air oral était recueilli à l'aide d'un masque en silicone souple. La segmentation et l'étiquetage des données en phonème et phrase ont été faits manuellement grâce au logiciel Praat à partir des enregistrements acoustiques obtenus à l'aide d'un microphone AKG C240 relié à la pièce à main de la station EVA2™ (Teston et Galindo, 1995). Notre corpus était composé de phrases et d'un texte contenant un nombre important de consonnes nasales ([m] et [n]). Nos 4 phrases provenaient du corpus AUPELF-UREF (Vaissière *et al.*, 1998) et le texte est une composition personnelle de Mme Hélène Villet. Les phrases alliaient consonnes nasales et les voyelles orales ([a] et [i]), par exemple : « Nana a nagé naguère à nadi », « Nini ne nie les nids ni les anis ». Le texte était composé de 6 phrases, par exemple : « La panique se lut dans les yeux de la jeune Catherine quand elle remarqua la magnifique tarentule qui traînait sur le meuble de cuisine. ». Ce corpus a l'avantage de présenter les consonnes nasales [m] et [n] dans des contextes variés : Voyelle-Consonne Nasale-Voyelle (VNV), Voyelle-Consonne Nasale-Consonne (VNC), Consonne-Consonne Nasale-Voyelle (CNV), Consonne-Consonne Nasale-Semi-Voyelle (CNSV), Consonne Nasale-Voyelle (NV). En somme, notre corpus était composé de 29 [m] et 40 [n] et a été produit une seule fois par chaque locuteur.

Patient	Sexe	Age	Diagnostic
M1	M	62	PNS Stade II
F1	F	48	PNS Stade II
M2	M	51	PNS Stade III Gauche PNS Stade II Droite
F2	F	63	PNS Stade IV

TABLE 1 : Tableau récapitulatif de nos 4 patients

3 Résultats

Les statistiques ont été réalisées grâce au logiciel R. Nous avons réalisé des analyses de variance (ANOVA). Le seuil de significativité a été considéré comme suit : $p < 0,05$.

Les abréviations utilisées ci-dessous (NAF, OAF) correspondent respectivement à Nasal Air Flow (débit d'air nasal) et Oral Air Flow (débit d'air oral).

Notre première hypothèse s'est trouvée vérifiée. En effet, nous avons observé une augmentation significative du débit d'air nasal en postopératoire sur nos deux consonnes nasales [m] ($p = 3.72e-14$) et [n] ($p < 2e-16$) ainsi qu'une baisse significative du débit d'air oral sur la consonne [n] ($p = 0,0426$).

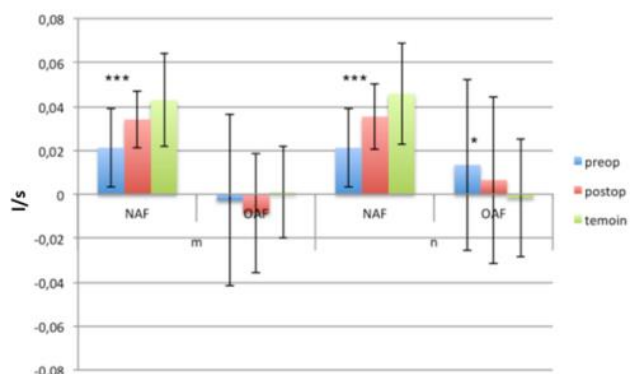


FIGURE 1 : Graphique présentant les moyennes en l/s de NAF et OAF sur [m] et [n] en préopératoire (bleu), postopératoire (rouge) pour les 4 patients et pour les témoins (vert)

Nous avons à présent souhaité observer ce résultat au cas par cas. En effet, nous avons des stades de gravité différents dans notre cohorte, il est intéressant de voir les degrés d'altérations selon le stade de gravité et le sexe.

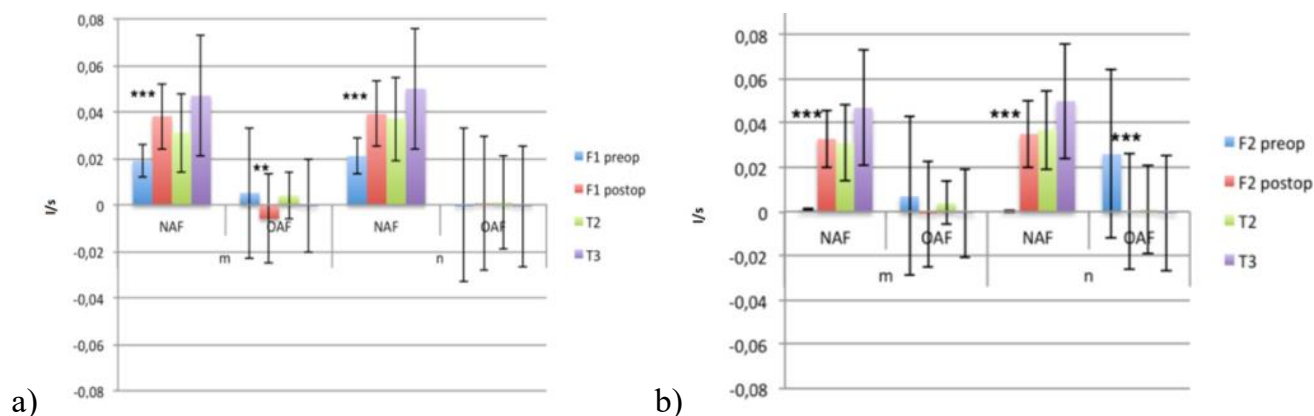


FIGURE 2 : a) Graphique des moyennes en l/s de NAF et OAF sur [m] et [n] en préopératoire (bleu), postopératoire (rouge) pour la patiente F1 et pour les témoins T2 et T3 (vert et violet), b) Graphique des moyennes en l/s de NAF et OAF sur [m] et [n] en préopératoire (bleu), postopératoire (rouge) pour la patiente F2 et pour les témoins T2 et T3 (vert et violet)

Pour la patiente F1 (Figure 2), l'augmentation du NAF est significative pour [m] ($p = 8.15e-14$) et [n] ($p = 7.05e-16$). Or, la baisse d'OAF n'est significative que pour [m] ($p = 0.00845$). La patiente F2 (Figure 2) connaît une amélioration de son débit d'air nasal des plus importantes : passant de 0,0017 l/s pour [m] en préopératoire à 0,033 l/s en postopératoire. Il en va de même pour [n] : 0,0009 l/s à

0,035 l/s. Ces augmentations sont significatives ($p < 2e-16$). Nous pouvons corrélérer ce constat au fait que c'était la patiente qui avait le stade de gravité le plus élevé (stade IV). De ce fait, les cavités naso-sinusiennes étaient complètement encombrées par les polypes. C'est aussi la patiente qui a le plus compensé oralement en préopératoire pour [m] : une moyenne de 0,007 l/s contre 0,005 l/s pour F1, -0,023 et -0,007 l/s pour M1 et M2. Mais aussi pour [n] : 0,026 l/s en préopératoire (environ 0,01 l/s pour M1 et M2, -0,0003 l/s pour F1). La baisse de l'OAF est significative en postopératoire sur [n], $p = 4.12e-06$. Pour les patients masculins M1 et M2 (Figure 3), les différences préopératoires et postopératoires relevées chez les patientes féminines F1 et F2, n'apparaissent pas de manière aussi marquée :

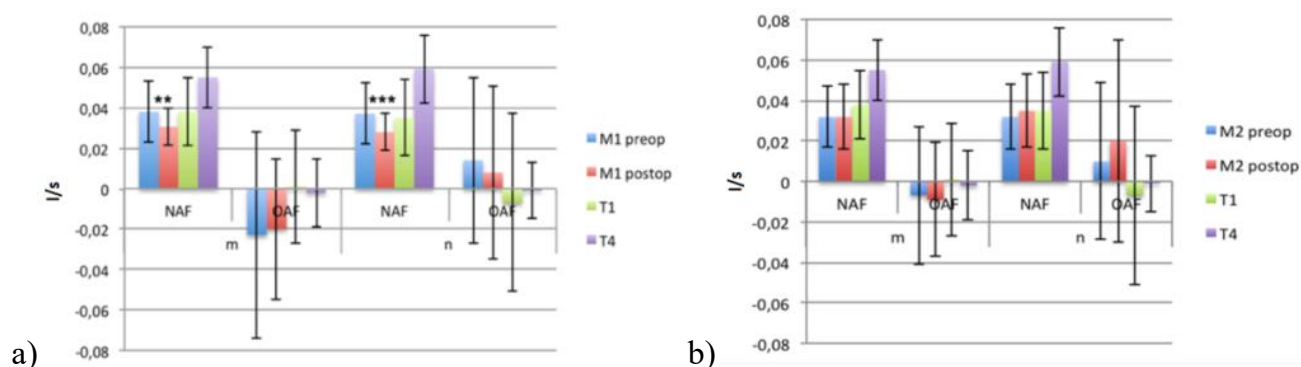


FIGURE 3 : a) Graphique des moyennes en l/s de NAF et OAF sur [m] et [n] en préopératoire (bleu), postopératoire (rouge) pour le patient M1 et pour les témoins T1 et T4 (vert et violet), b) Graphique des moyennes en l/s de NAF et OAF sur [m] et [n] en préopératoire (bleu), postopératoire (rouge) pour le patient M2 et pour les témoins T1 et T4 (vert et violet)

Concernant M1, son débit d'air nasal baisse en postopératoire sur les deux consonnes nasales : 0,030 l/s pour [m] et 0,028 l/s pour [n] contre respectivement 0,038 l/s et 0,037 l/s en préopératoire. Ces baisses sont significatives : [n] : $p = 0.000301$ et [m] : $p = 0.00334$. Concernant le débit d'air oral, il est quasiment identique pour [m] avant et après chirurgie et pour [n] il baisse légèrement (baisse de 0,006 l/s). Pour M2, le débit d'air nasal est identique sur [m] avant et après chirurgie et augmente légèrement pour [n] (+0,003 l/s). Au niveau du débit d'air oral, il diminue pour [m] (-0,007 l/s en préopératoire et -0,009 l/s en postopératoire) mais augmente pour [n] (+0,01 l/s).

Ce sont aussi nos deux locuteurs masculins qui ont le plus de débit d'air nasal en préopératoire : une moyenne de 0,038 l/s pour M1 et 0,032 l/s pour M2 contre 0,02 l/s pour F1 et une absence de débit d'air nasal pour F2. Nos locuteurs masculins vont à l'encontre de notre hypothèse c'est-à-dire qu'ils n'augmentent pas leur débit d'air nasal en postopératoire. Le facteur "sexe" pourrait être pris en compte (variables anatomiques notamment dues au volume des cavités nasales, par exemple) mais il est impossible de l'affirmer avec seulement 2 patients masculins de stade de gravité différente, et un groupe féminin hétérogène au niveau du stade de gravité. Il faudrait pouvoir observer cela sur une cohorte plus nombreuse de patients. La caractéristique articulatoire de la bilabiale [m] et de l'apico-alvéodentale [n] ne semblent pas avoir d'effet sur l'aérodynamique : il y a une certaine homogénéité

pour ces deux consonnes dans l'augmentation du débit d'air nasal (hormis pour M1 et M2) et la baisse du débit d'air oral.

Notre seconde hypothèse reposait dans le fait qu'une chirurgie des sinus entraînerait une meilleure coordination des flux oral et nasal. Nous envisageons ici la coordination dans une approche spatiale en tant que répartition des flux entre la sortie nasale et orale. Ce n'est pas le résultat d'un contrôle volontaire de la part du locuteur mais plutôt le résultat de la résistance ou non du passage de l'air dans une cavité nasale plus ou moins encombrée. Pour illustrer cette coordination, nous pouvons nous reporter à la figure 4 et plus particulièrement aux courbes NAF (4) et OAF (5) sur le segment [+Nasal]. Ce cas idéal de coordination des flux serait attendu chez les témoins et chez les patients en postopératoire.

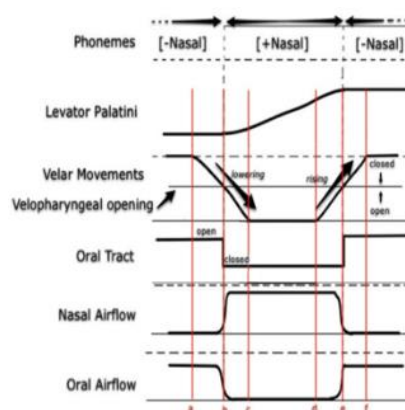


FIGURE 4 : Représentation schématique de la coordination aérodynamique et articulatoire de la réalisation d'une nasale (Clements *et al.* (2014))

Nous nous reporterons aux figures 1 à 3 présentes dans la première hypothèse. On peut constater grâce à la figure 1 que la coordination des flux se trouve améliorée : elle est meilleure pour [m] où le flux d'air oral est plus négatif (-0,0008 l/s en postopératoire contre -0,0002 l/s en préopératoire) mais ce dernier reste positif pour [n] mais tout de même à un volume moins important qu'en préopératoire (baisse de 0,007 l/s). Il serait attendu d'avoir un flux d'air oral nul au moment de la consonne nasale, la présence de flux d'air négatif peut refléter un léger flux d'air oral ingressif lié à l'abaissement du voile. Pour [m], la coordination était déjà visible en préopératoire, elle s'avère plus difficile pour [n]. Quant au flux d'air nasal, il est positif sur les consonnes nasales en préopératoire et postopératoire. Enfin, nous avons voulu observer si la coordination était plus ou moins aggravée selon le stade de gravité. En effet, un stade de gravité élevé (par exemple, stade IV) pourrait impacter de manière plus importante la coordination qu'un stade moyen (stade II à III). En préopératoire, la patiente F2 (Figure 2) a du mal à coordonner les flux oral et nasal : au niveau du flux d'air nasal, on trouve très peu d'air au moment de la consonne nasale (une moyenne générale de 0,0009 l/s pour les consonnes nasales) dû à l'encombrement des cavités naso-sinusiennes. Au niveau du flux d'air oral, la moyenne est très élevée sur les consonnes nasales (0,007 l/s pour [m] et 0,026 l/s pour [n]). En postopératoire, on observe une nette amélioration avec un flux nasal de 0,033 l/s

pour [m] et 0,035 l/s pour [n]. Par ailleurs, le flux d'air oral est fortement réduit. Le schéma idéal de la coordination se retrouve en postopératoire. Pour les patients M1 et M2 (Figure 3), la coordination se réalise en préopératoire notamment de manière idéale pour [m], [n] présentant un flux d'air oral positif. En postopératoire, la coordination du flux d'air oral reste toujours problématique pour [n] : la moyenne augmente même pour M2 de 0,01 l/s. Quant à F1 (Figure 2), c'est le phonème [m] au niveau du flux d'air oral qui s'est le plus amélioré en postopératoire (0,005 l/s en préopératoire et -0,006 l/s en postopératoire) puisqu'il devient négatif au moment de la consonne nasale.

4 Discussion

Notre première hypothèse se trouve en partie vérifiée. En effet, l'augmentation du débit d'air nasal est significative sur les consonnes nasales après chirurgie mais la baisse du flux d'air oral ne l'est que pour [n]. Cependant pour dresser des généralités sur la différence aérodynamique entre le préopératoire et le postopératoire, il nous faudrait plus de données. L'augmentation du NAF, en plus d'être liée à l'opération peut aussi traduire un volume d'air expiré plus important dans le cas d'un accent d'insistance par exemple. Ladefoged (1963) et Van Hattum (1952, cité par Van Hattum, 1967) ont montré qu'il pouvait y avoir des variations importantes de débit d'air expiré dans le cas où l'intensité, la hauteur de la voix et la durée n'étaient pas contrôlées, ce qui est le cas dans cette étude. En regardant au cas par cas, des différences ont été relevées : les patients F1, F2 et M1 ont baissé leur débit d'air oral sauf M2. F1, F2 et M2 ont augmenté leur débit d'air nasal sauf M1. Nos résultats ont convergé avec l'étude de Giron et Mas (2016). En effet, nous avons pu observer un débit d'air nasal beaucoup plus important dû à l'ablation des polypes. Cette augmentation s'est beaucoup plus remarquée chez la patiente F2, qui avait le stade de gravité le plus élevé. De ce fait l'augmentation de son débit d'air nasal est beaucoup plus saillante car c'est elle qui a le moins de débit d'air nasal en préopératoire et donc progresse le mieux en postopératoire. On peut mettre en relation cette augmentation du flux d'air nasal avec la nasalance. Elle est liée à l'obstruction du flux d'air nasal. Des auteurs comme Hong *et al.* (1997), Soneghet *et al.* (2002) ont montré une augmentation du score de nasalance en postopératoire. Nous n'avons pas utilisé cette mesure dans notre étude mais ces résultats rejoignent les nôtres. Le faible débit d'air nasal chez les témoins pourrait s'expliquer par la méthode d'enregistrement non systématisée. Les contraintes techniques devraient trouver des améliorations à l'avenir afin d'obtenir des données consistantes. En effet, le protocole d'enregistrement (placement de l'embout dans la narine) doit être réalisé de la même manière à chaque enregistrement. Ces données étant acquises par une tierce personne il est difficile de pouvoir s'assurer que toutes les précautions pour les enregistrements ont été effectuées. Nous avons pu remarquer que c'est plutôt dans un premier temps, le stade de gravité que le sexe qui joue un rôle. Constat qui rejoint celui de Thompson et Hixon (1979), les différences anatomiques, structurelles et fonctionnelles, entre hommes et femmes sont avérées, mais les conséquences sur la variabilité du débit d'air nasal sont peu significatives sur des tâches de parole.

Grâce à notre seconde hypothèse, nous cherchions à connaître l'impact de la modification du passage de l'air durant la production de phonèmes nasals. L'amélioration générale de la coordination des flux met en lumière une augmentation des capacités de production des consonnes nasales, ce qui

rejoint la conclusion émise par Borel (2005). Cependant, il convient de rester prudent face à certaines mesures de flux qui sont à un niveau très faible, il peut être délicat d'interpréter des flux de ce niveau. La question de la coordination pourrait être orientée aussi vers la coarticulation nasale c'est-à-dire l'anticipation ou la propagation de la nasalisation de la consonne nasale sur les voyelles adjacentes. En comparant les voyelles orales entourant une consonne nasale et celles entourant une consonne orale, nous pourrions voir la différence entre les deux du point de vue de la moyenne de flux d'air nasal et du pourcentage nasalisé de la voyelle, et ainsi voir la potentielle amélioration en postopératoire.

5 Conclusion

Cette étude avait pour ambition de se demander quel serait l'impact d'une pathologie des sinus et de sa chirurgie sur le niveau aérodynamique de la parole. Nous pouvons à présent répondre qu'elle a permis, pour certains patients, d'augmenter le flux d'air nasal, de réduire le phénomène de compensation orale mais aussi de faciliter la coordination des consonnes nasales.

6 Perspectives

Ce travail pourrait être enrichi en augmentant notre cohorte de patients en ayant des groupes conséquents avec des stades de gravité similaires. Mais aussi en adoptant une approche multiparamétrique de la problématique. Aborder le côté articulatoire en utilisant l'imagerie médicale serait une piste innovante : cela nous permettrait de rendre compte de la variabilité interindividuelle du volume des sinus et fosses nasales en lien avec le phénomène de résonance nasale. Au niveau de la perception, il serait intéressant de voir comment est caractérisée la voix des patients en préopératoire et postopératoire. Il est donc primordial d'approfondir les problématiques liées à cette pathologie : la littérature scientifique actuelle ne permet pas de répondre aux questionnements relatifs à la voix des patients. Très peu d'études se rapportant à la parole se sont soucies jusqu'à présent de l'impact d'une PNS sur la parole. En outre, un tel approfondissement permettrait aussi d'en apprendre plus sur le phénomène de nasalité qui reste encore méconnu de nos jours et sur la contribution ou non des sinus dans la parole. Nous n'avons pas de modèles qui permettent d'envisager les répercussions possibles d'une telle chirurgie sur la voix des patients.

Remerciements

Ce travail est soutenu par le Labex EFL (ANR-10-LABX-0083). Nous remercions les patients qui ont accepté de participer aux enregistrements avant et après leur chirurgie. Ainsi que les relecteurs anonymes pour leurs précieux commentaires.

Références

- BONFILS, P., HALIMI, P., GAULTIER, A.-L. ET LISAN, Q. (2017). Polypose nasosinusienne. Rhinosinusite chronique avec polypes. *EMC Oto-Rhino-Laryngologie*, 12(2):1-21. DOI : [10.1016/S0246-0351\(16\)76892-9](https://doi.org/10.1016/S0246-0351(16)76892-9).
- BOREL, S. (2005). *Analyse perceptive et acoustique des consonnes nasales dans la polypose nasosinusienne avant et après chirurgie des sinus*. Mémoire de l'Université de la Sorbonne nouvelle-Paris III.
- BUNCH, MA. (1992) *Dynamics of the Singing Voice*. Vienna: Springer-Verlag.
- CLEMENTS, N. (2014). The feature nasal. Dans Rialland et al. (dir), *Features in Phonology and Phonetics : Posthumous Writings by Nick Clements and Coauthors* (p.195-217). Berlin, Allemagne : De Gruyter Mouton
- GIRON, M. ET MAS, B. (2016). *Evaluation de la qualité vocale avant et après chirurgie nasosinusienne*. Mémoire d'orthophonie de l'Université Paris VI Pierre et Marie Curie.
- HONG, K. H., KWON, S. H. ET JUNG, S. S. (1997). The Assessment of Nasality with a Nasometer and Sound Spectrography in Patients with Nasal Polyposis. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 117(4), 343-348. DOI : [10.1016/S0194-5998\(97\)70124-4](https://doi.org/10.1016/S0194-5998(97)70124-4).
- LADEFOGED, P. (1963). Some physiological parameters in speech. *Language and speech*, 6(3), 109-119. DOI : [10.1177/002383096300600301](https://doi.org/10.1177/002383096300600301)
- LINDQVIST-GAUFFIN, J. ET SUNBERG, J. (1976). Acoustic properties of the nasal tract. *Phonetica*, 33 (3):161-8. DOI: [10.1159/000259720](https://doi.org/10.1159/000259720).
- MAEDA, S. (1982). The role of the sinus cavities in the production of nasal vowels. In ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 7, 911-914. DOI : [10.1109/ICASSP.1982.1171561](https://doi.org/10.1109/ICASSP.1982.1171561)
- MASUDA, S. (1992). Role of the maxillary sinus as a resonant cavity. *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, 95(1), 71-80.
- PROCTOR DF. (1980) *Breathing, Speech and Song*. Vienna: Springer-Verlag.
- SONEGHET, R., SANTOS, R. P., BEHLAU, M., HABERMANN, W., FRIEDRICH, G. ET STAMMBERGER, H. (2002). Nasalance changes after functional endoscopic sinus surgery. *Journal of Voice*, 16(3), 392-397. DOI : [10.1016/S0892-1997\(02\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(02)00110-8)
- TESTON, B., et GALINDO, B. (1995). A diagnostic and rehabilitation aid workstation for speech and voice pathologies. In *Fourth European Conference on Speech Communication and Technology*.
- THOMPSON, A. E. ET HIXON, T. J. (1979). Nasal air flow during normal speech production. *Cleft Palate Journal*, 16, 412-420. PMID : 290432
- VAISSIERE, J., BASSET, P., SU, T., AMELOT, A., CORBIN, O. ET MICHAUD, A., (1998). Corpus AUPELF-UREF. Récupéré sur la plateforme COCOON, <<http://purl.org/poi/crdo.vjf.cnrs.fr/cocoon-e61f60b2-f20c-3b62-81ba-b286f1fb8de4>>.
- VAN HATTUM, R. J., & WORTH, J. H. (1967). Air flow rates in normal speakers. *The Cleft palate journal*, 4(2), 137-147.