Université Sorbonne Nouvelle – Paris 3
École Doctorale 622 – « Sciences du langage »
Laboratoire de Phonétique et Phonologie (CNRS & Sorbonne Nouvelle)

THÈSE
en vue de l'obtention du grade de docteur en phonétique

Évaluation multiparamétrique de la nasalité : Conception et utilisation d'un masque aérodynamique appliquée à une population témoin et pathologique : l'AeroMask

---

Présentée par
Amélie Elmerich

Sous la direction de **Lise Crevier-Buchman, d'Angélique Amelot et de Jean-François Papon**

Soutenue à Paris, le 26/06/2024

Composition du jury :

Béatrice Vaxelaire (Rapporteur), PR (LiLPa, EA1339, Uni. de Strasbourg, France)
Yves Laprie (Rapporteur), DR (Loria, UMR 7503, CNRS/ Uni. de Lorraine, France)
Justin Michel (Examinateur), PU-PH (Aix-Marseille Uni.)
Solange Rossato (Examinatrice), MCF (LIG, UMR5217, CNRS/ Uni. Grenoble Alpes, France)
Lise Crevier-Buchman (Directrice), CR (LPP, UMR7018, CNRS/Uni. Sorbonne Nouvelle, France)
Angélique Amelot (Co-directrice), IR (LPP, UMR7018, CNRS/Uni. Sorbonne Nouvelle, France)
Jean-François Papon (Co-directeur), PU-PH (Uni. Paris Saclay, France)

Évaluation multiparamétrique de la nasalité : Conception et utilisation d'un masque aérodynamique appliquée à une population témoin et pathologique : l'AeroMask

Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'évaluation multiparamétrique de la nasalité à travers quatre axes : aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptif. Ce travail a été l'occasion de parfaire le développement d'un outil d'acquisition aérodynamique : un masque en fibre de papier. Ce masque nous a permis de pallier certains inconvénients des outils d'acquisition aérodynamiques actuels. L'objectif principal était de contribuer à la compréhension de la perturbation de la nasalité dans le cadre de la polypose naso-sinusienne et sa chirurgie. Notre population était composée de quatre patients atteints de polypose naso-sinusienne enregistrés avant et après chirurgie que nous avons comparés à une population de huit locuteurs sains. Notre corpus comprenait des logatomes de type VCV. Outre la variabilité individuelle, nos résultats montrent que la population pathologique reste proche des locuteurs sains pour les études aérodynamique, acoustique et perceptive. En effet, les patrons aérodynamiques des patients sont similaires à ceux des locuteurs sains de même que les moyennes de DAN et de DAO calculées sur chaque phonème. Pour l'étude acoustique, nous avons examiné la durée des voyelles et le spectre moyen total et nasal. La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient en préopératoire et postopératoire. Les moyennes de spectre moyen total et nasal des patients sont proches des locuteurs sains. Pour l'étude volumétrique, à partir de scanners, les volumes d'air naso-sinusiens ont été calculés avant et après chirurgie. Une augmentation du volume a été notée en postopératoire, volume qui se rapproche de celui du témoin. Enfin, l'étude perceptive a montré que la voix et la parole ne sont pas un handicap pour le patient et que la qualité vocale des patients n'est pas perçue comme altérée.

La relation entre aérodynamique, acoustique, volumétrie et perception s'avère complexe. Nous n'avons pas pu relever de liens tangibles en raison notamment de la forte variabilité individuelle. La pathologie ainsi que la chirurgie ne semblent pas perturber la voix et la parole des patients.

Nos résultats sont novateurs en étant les premiers à montrer l'efficacité de l'AeroMask pour l'étude de la nasalité.

Mots-clés : Nasalité, Polypose naso-sinusienne, Multiparamétrique, Instrumentation, AeroMask, DAN, DAO, acoustique, perception

Multiparametric assessment of nasality: Design and use of an aerodynamic mask applied to a control and pathological population: the AeroMask

Abstract

This thesis focuses on the multiparametric assessment of nasality through four axes: aerodynamic, acoustic, volumetric and perceptual. This work was an opportunity to perfect the development of an aerodynamic acquisition tool: a paper-fiber mask. This mask enabled us to overcome some of the drawbacks of current aerodynamic acquisition tools. The main objective was to contribute to the understanding of nasal disturbance in the context of nasal polyposis and its surgery. Our population consisted of four patients with nasal polyposis recorded before and after surgery, which we compared with a population of eight healthy speakers. Our corpus included VCV logatoms. Apart from individual variability, our results show that the pathological population remains close to healthy speakers for aerodynamic, acoustic and perceptual studies. Indeed, the aerodynamic patterns of the patients are similar to those of healthy speakers, as are the averages of NAF and OAF calculated on each phoneme. For the acoustic study, we examined vowel duration and the mean total and nasal spectrum. The difference in duration between oral and nasal vowels was maintained both pre-operatively and postoperatively. The patients' mean total and nasal spectra are close to those of healthy speakers.

For the volumetric study, sinonasal air volumes were calculated before and after surgery, using CT scans. An increase in volume was noted postoperatively, which was close to that of the control. Finally, the perceptual study showed that voice and speech are not a handicap for the patient, and that the patients' vocal quality is not perceived as impaired.

The relationship between aerodynamics, acoustics, volumetry and perception is complex. We were unable to identify any tangible links, mainly because of the high degree of individual variability. Pathology and surgery do not seem to interfere with patients' voice and speech.

Our results are innovative in that they are the first to demonstrate the effectiveness of the AeroMask in studying nasality.

Keywords: Nasality, Nasal Polyposis, Multiparametric, Instrumentation, AeroMask, Nasal Airflow, Oral Airflow, Acoustics, Perception

REMERCIEMENTS

Merci Lise d'avoir accepté de m'encadrer et de m'avoir confié ce sujet dès ma première année de master. Je vous suis reconnaissante pour vos précieux conseils et encouragements. Je me sens honorée d'avoir pu bénéficier de votre expertise en phonétique clinique, une expertise qui a été la principale motivation de ma venue à l'Université Sorbonne Nouvelle pour mon master.

Merci Angélique de m'avoir initiée à la phonétique expérimentale, discipline auquel j'ai pris goût, ce fut un plaisir de développer avec toi l'AeroMask ! Les retours en arrière, les idées qui « marchent et sont très clairs dans nos têtes » et qui s'avèrent plus compliquées en réalité, les « on n'est pas loin de la vérité » mais aussi les petites et grandes victoires lors de nos premiers essais concluants, tout ce cheminement m'a permis d'apprendre énormément ! Je te remercie aussi pour ta patience et ta présence continue.

Merci à vous deux d'avoir accepté de diriger mes travaux. Ces sept années passées à vos côtés ont été enrichissantes. J'ai eu la chance d'être encadrée dans une atmosphère bienveillante et sereine. Merci pour vos conseils qui m'ont guidée tout le long de ce travail et pour votre encadrement qui a assuré le bon déroulement de ma thèse, je crois que je n'aurais pas rêvé meilleur duo pour ma thèse ! Je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée.

Merci Jean-François de t'être intéressé à mes recherches et d'avoir ouvert les portes de ton service pour l'enregistrement des patients. Merci de m'avoir permis d'assister aux chirurgies pour comprendre de plus près ce qu'il s'y passait.

Je remercie ensuite l'ensemble des membres de mon jury de thèse : Yves Laprie, Béatrice Vaxelaire, Justin Michel et Solange Rossato. Par avance, c'est un véritable honneur de vous présenter mes travaux, et je vous suis sincèrement reconnaissante de l'intérêt que vous portez à cette thèse ainsi que du temps que vous y consacrez.

Je remercie aussi les membres de mon comité de suivi individuel, Yves Laprie et Didier Demolin, merci pour ces échanges qui m'ont beaucoup apportée et quelques fois reboostée dans mon cheminement !

Merci Jacqueline et Shinji de nous avoir ouvert les portes de votre appartement lors des fermetures du laboratoire en raison de la Covid-19, grâce à vous nous avons tout de même pu continuer à avancer ! Merci à vous deux pour vos précieux conseils et connaissances ! Shinji, un merci tout particulier pour avoir pris part à l'adaptation de votre masque, merci pour vos éclairages sur toutes ces questions d'acoustique, de résonance etc. qui étaient parfois bien obscures pour moi !

Merci à Camille Fauth pour ses cours en licence qui ont su me transmettre sa passion pour la phonétique ! Merci pour vos nombreux conseils !

Je tiens également à remercier tous les membres du LPP pour leur accueil chaleureux et pour leurs précieux retours sur mon travail, qu'ils aient été donnés dans des cadres formels ou informels. Je remercie aussi Clémence, Alexis, Hélène, Maddie, Katia, Andrés, Jinyu, collègues de la fameuse salle des docs, mais bien plus au fur et à mesure du temps…merci pour la bonne ambiance constante, les déjeuners tupperware, et pour l'entraide que nous avons mis en place entre nous.

Je remercie bien sûr les patients qui ont accepté de prendre part à cette étude, ainsi que les locuteurs sains. Je remercie aussi les auditeurs de mon test de perception : les orthophonistes et les auditeurs naïfs.

Je remercie les institutions qui ont financé ce travail : l'Université Sorbonne Nouvelle, le Laboratoire de Phonétique et Phonologie et le LabEx EFL (Empirical Fundation of Linguistics, ANR-10-LABX-0083).

Ensuite, je voudrais remercier mes amis : merci à la team dB- ça y est la petite dernière du trio soutient- : Amelia, merci d'avoir été ma marraine de thèse, tu as été présente pour moi dès mon arrivée et je t'en remercie ; Daria, merci pour ces moments passés au laboratoire mais aussi à l'extérieur. Merci Clémence pour ton amitié et nos *gossips,* Hélène, merci pour cette amitié naissante et ta bonne humeur, Elodie & Estelle, merci pour ces week-ends chez les unes et les autres. Merci à l'équipe des vraies vacancières Romane & Cloé (et plus particulièrement pour les Opla mojito en terrasse, j'attends notre prochain Apéro Skype avec impatience), Romane (une seconde fois) & Quentin pour nos soirées dégustation de vins, Cloé (une seconde fois aussi) pour les verres de Jurançon en terre sarrebourgeoise, Louison alias double F pour nos soirées-restos thaïs, bien que trop peu fréquentes à mon goût, Marie pour tes venues à Paris où nous passons toujours des week-ends remplis de joie, Eulalie, merci pour ces moments passés ensemble à Paris ou en Normandie, j'espère que cela continuera, Sasha, merci pour tous ces instants partagés.

Enfin, merci à ma famille, d'abord pour avoir été des cobayes de la première heure pour le masque et ensuite pour votre soutien :

Merci à mes beaux-parents, Christine & Eric, merci pour les couscous du jeudi midi et les traditionnelles pizzas du samedi midi, merci de m'avoir accueillie dans votre famille avec toute la générosité et la convivialité qui vous caractérisent ! Merci à ma belle-sœur et mon beau-frère, Coralie & Alexis, pour les bons moments passés ensemble autour d'activités diverses : soirées jeux, parcs d'attractions, *escape game* et j'en passe !

Merci au « noyau dur » : à ma marraine Marie-Hélène, Jacky, Sophie & Vincent, Jean & Tatiana, à mes deux mamies.

A ceux que je vois moins mais qui n'ont jamais manqué de prendre des nouvelles : Cathy & Francis, à l'équipe des cousins : Romain & Oriane, Clément & Etienne, Alexis & Justine, promis je me lance dans l'organisation de la cousinade très bientôt…

A mes deux papis et mon parrain, j'espère que de là-haut, vous voyez tout ça et que vous serez fiers de moi.

Merci à ma sœur Claire, et à ma belle-sœur Noella, merci Claire pour ton soutien, tes messages de reboost, tes partages de *reels* instagram de lapins, j'espère qu'on gardera toujours cette complicité qui m'est chère, et Noella, merci pour ton amitié et tous les moments agréables passés ensemble.

Merci à Véronique & Bruno, mes parents, merci de m'avoir toujours soutenue dans mes projets et mes études, j'ai de la chance d'avoir pu être dans de bonnes conditions toute ma scolarité, merci d'avoir toujours cru en moi. Maman, merci pour toute la cargaison de petits plats que tu me donnes à chaque retour chez vous, Papa, merci pour la relecture d'une partie de ma thèse et aussi pour ton humour. Merci pour votre amour.

Pour finir, merci à Florian, toi qui m'as rejointe dans cette aventure à mi-parcours, merci déjà pour ta « pythonnerie » qui a bien facilité l'analyse de mes données et bien au-delà de cela, merci pour ton soutien au quotidien, tu le rends plus léger et plus simple, merci pour les journées en télétravail qui sont bien plus appréciables quand tu es là, merci pour ton amour.

[ɛl fɛ dezɔʁmɛ paʁti də la sɛkt fonetik dit mɛʁsi puʁ sə ʁesi də sɔ̃ paʁkuʁ inisjatik]

TABLE DES MATIERES

TABLE DES FIGURES ***1***

TABLE DES TABLEAUX ***6***

TABLE DES ANNEXES ***8***

TABLE DES ABBREVIATIONS par ordre alphabétique ***9***

Conventions de notation ***10***

INTRODUCTION GENERALE ***11***

Chapitre I : État de l'art ***13***

I. La nasalité en français et son évolution **14**

1. Répartition actuelle 14
2. Historique de la nasalisation des voyelles du français 15
3. Nasalité et nasalisation, phonèmes nasals et nasalisés 15

II. La nasalité du point de vue articulatoire **16**

1. Rappels anatomiques 17
   A. Cavités nasales 17
   B. Sinus 19
   C. Voile du palais ou velum 21
      i. Muscles 21
      ii. Physiologie du voile du palais 21
2. Mouvement articulatoire du voile du palais 22

III. La nasalité du point de vue aérodynamique **24**

1. Principes généraux de l'aérodynamique 24
2. L'aérodynamique dans le cadre de la production de la nasalité 25

IV. La nasalité du point de vue acoustique **26**

1. Caractéristiques spectrales des consonnes nasales 27
2. Caractéristiques spectrales de la nasalisation des voyelles 28

V. La nasalité du point de vue de la perception **30**

1. Perception des consonnes nasales 30
2. Perception des voyelles nasalisées et nasales 31

VI. Les rapports entre ces paramètres **32**

1. Multidimensionalité de la nasalité 32
2. Coarticulation 33

VII. Les instruments pour étudier la nasalité **35**

1. Un instrument pour l'étude de l'activité musculaire du mouvement : l'électromyographie (EMG) 35
2. Des instruments pour l'étude du mouvement : 36
   A. Techniques d'imagerie 37
      i. Radiographie 37
      ii. Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) 37
      iii. Ultrasons 38
      iv. Fibroscopie 39
   B. Techniques de tracking de points 40
      i. Radiographie 40
      ii. Articulatographe Electromagnétique (EMA) 41
      iii. Velotrace 41
      iv. Strain Gauge 42
      v. Photodétection 43

3. Des instruments pour l'étude de l'effet du mouvement : aérodynamique et acoustique .. 45
A. Aérodynamique ... 45
B. Acoustique ... 45
i. Microphone à pression sonore et accéléromètre ... 45
ii. Analyse spectrale ... 46

VIII. Les sinus : un rôle controversé dans la parole ... 46
1. Un rôle en débat de manière générale ... 46
A. Un rôle dans l'anatomo-physiologie de la respiration ... 47
B. Un rôle structurel ... 47
C. Un rôle physiologique ... 47
D. Un rôle non fonctionnel ... 48
2. Un rôle controversé dans la parole ... 48

IX. Une pathologie de la nasalité : la polypose naso-sinusienne ... 53
1. Terminologie des troubles de la nasalité ... 53
2. La polypose naso-sinusienne (PNS) ... 55
A. Définition ... 55
B. Physiopathologie de la PNS ... 57
C. Diagnostic ... 57
D. Chirurgie ... 58
3. Perturbations de la nasalité ... 59
A. Perturbations acoustiques ... 59
i. Mesures spectrales ... 59
ii. Mesures de nasalance ... 61
iii. Mesures temporelles ... 62
iv. Mesures de qualité vocale ... 62
B. Perturbations aérodynamiques ... 63
C. Perturbations de la qualité de vie ... 64
i. Perturbations de la qualité de vie : en parole ... 64
ii. Perturbations de la qualité de vie : dans la sphère rhinosinusienne ... 66

Chapitre II : Objectifs et problématiques de cette étude ... 68

I. Étude aérodynamique ... 68

II. Étude acoustique ... 69

III. Étude volumétrique ... 70

IV. Étude perceptive ... 70
1. Qualité de vie et auto-perception ... 70
2. Qualité de voix et hétéro-perception ... 71

Chapitre III : Description d'un système d'enregistrement de données aérodynamiques développé au LPP : l'AeroMask ... 73

I. Prise de mesures aérodynamiques : historique, principes et outils ... 73
1. Historique des prises de mesures aérodynamiques ... 73
2. Principes physiques de l'aérodynamique ... 76
3. Les outils de captation des données aérodynamiques ... 76
A. Les différents systèmes de captation ... 76
i. Le pneumotachographe ... 77
ii. Le pléthysmographe ... 78
iii. L'anémomètre à fil chaud ... 79
iv. L'électroaéromètre ... 79
B. Les embouchures utilisées pour la captation ... 80
i. Les embouchures ... 80
ii. Avantages et inconvénients des différentes embouchures ... 83

II. L'AeroMask ... 86
1. Un nouveau système de captation ... 88
A. Les capteurs ... 88
B. La carte d'acquisition ... 88

C. L'étalonnage ... 91
2. Le masque à partir de 2019 ... 94
A. Choix des masques ... 94
B. Isolant et pont de nez ... 95
C. Élaboration des séparations entre DAO et DAN ... 98
i. Résines ... 99
ii. Séparations ... 99
D. Accessoires liés à l'embouchure ... 102
i. Visserie ... 102
ii. Réflexion sur la position des vis sur le masque ... 102
iii. Aide au maintien du masque ... 103
E. Nouveaux développements ... 105

III. Validations du masque ... 106
1. Validation acoustique ... 106
A. Étude formantique ... 106
B. Étude de la concordance ... 110
2. Validation aérodynamique ... 114
3. Validation perceptive ... 116

IV. Avantages et inconvénients de l'AeroMask ... 121
1. Avantages ... 121
2. Inconvénients ... 121

Chapitre IV : Méthodologie générale ... 123

I. Populations étudiées ... 123
1. Population pathologique ... 123
2. Population témoin ... 126

II. Corpus, données et mesures ... 126
1. Corpus ... 126
2. Prise de données ... 127
A. Données et mesures volumétriques ... 128
B. Données et mesures acoustiques et aérodynamiques ... 130
i. Données et mesures acoustiques ... 130
ii. Données et mesures aérodynamiques ... 131
C. Données d'auto et d'hétéro-perception ... 132
i. Auto-perception / qualité de vie ... 132
ii. Hétéro-perception /qualité de voix ... 133
D. Analyse statistique ... 135

Chapitre V : Résultats ... 137

I. Étude 1 : Étude aérodynamique ... 137
1. Résultats des moyennes de débit d'air ... 138
A. Voyelles orales en contexte oral = VCV ... 138
i. Pour les locuteurs sains ... 139
a. Moyenne de DAN ... 139
b. Moyenne de DAO ... 139
ii. Pour les patients ... 140
a. Moyenne de DAN ... 140
b. Moyenne de DAO ... 141
iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et DAO ... 142
iv. Schémas récapitulatifs ... 143
B. Les consonnes nasales = VC_nV ... 144
i. Pour les locuteurs sains ... 144
a. Moyennes de DAN ... 144
b. Moyennes de DAO ... 145
ii. Pour les patients ... 145
a. Moyenne de DAN ... 145
b. Moyenne de DAO ... 146
iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et de DAO ... 146

iv. Schémas récapitulatifs 148
C. Les voyelles nasales = ṼCṼ 148
i. Pour les locuteurs sains 148
a. Moyenne de DAN 148
b. Moyenne de DAO 150
ii. Pour les patients 151
a. Moyenne de DAN 151
b. Moyenne de DAO 152
iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et de DAO 154
iv. Schémas récapitulatifs 154
D. Les voyelles orales en contexte nasal =VC_nV 156
i. Pour les locuteurs sains 156
a. Moyenne de DAN 156
b. Moyenne de DAO 157
ii. Pour les patients 157
a. Moyenne de DAN 157
b. Moyenne de DAO 158
iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et DAO 159
iv. Schémas récapitulatifs 160
2. Discussion 160

II. Étude 2 : Étude acoustique 166
1. Résultats 166
A. Durée moyenne en seconde 166
B. Spectre moyen total et nasal 167
i. Voyelles orales en contexte oral = VCV 168
a. Pour les locuteurs sains 168
b. Pour les patients 170
c. Comparaison des spectres moyens oral et nasal globaux 171
d. Schémas récapitulatifs 172
ii. Les consonnes nasales = VC_nV 173
a. Pour les locuteurs sains 173
b. Pour les patients 174
c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux 175
d. Schémas récapitulatifs 176
iii. Les voyelles nasales = ṼCṼ 177
a. Pour les locuteurs sains 177
b. Pour les patients 179
c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux 181
d. Schémas récapitulatifs 181
iv. Les voyelles orales en contexte nasal =VC_nV 182
a. Pour les locuteurs sains 182
b. Pour les patients 183
c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux 185
d. Schémas récapitulatifs 186
2. Discussion 187

III. Étude 3 : Étude volumétrique des cavités naso-sinusiennes 190
1. Résultats 190
2. Discussion 191

IV. Étude 4 : Auto- et Hétéro-perception de la voix des patients 192
1. Auto-perception 193
A. Résultats 193
i. VHI 193
ii. SHI 194
iii. SNOT-22 195
iv. Questionnaire nasalité 196
a. Question relative à la difficulté de lecture du corpus 196
b. Question relative aux adaptations mises en place pour parler 197
c. Question relative à l'hyponasalité et l'hypernasalité 198
d. Comparaison de la voix avant et après chirurgie 199

B. Discussion 200
2. Hétéro-perception 202
A. Résultats 202
i. Accord inter- et intra-juges 202
ii. Cotation GRB et Enrhumé 204
B. Discussion 207
V. Synthèse des résultats 210
Discussion générale 214
Perspectives 219
Conclusion générale 220
Bibliographie 221
Annexes 234

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de (non-)opposition entre les voyelles de brun [bRœ̃] et de brin [bRɛ̃], d'après l'enquête Français de nos régions (francaisdenosregions.com, © Avanzi) 14
Figure 2 : Schéma de la nasalisation et dénasalisation des voyelles du français (Pope, 1934) dans Maeda (2000) 15
Figure 3 : Schéma du conduit vocal durant la production d'un son oral en a., d'une consonne nasale en b. et d'une voyelle nasale en c. (Hixon et al., 2020, p. 148) 16
Figure 4 : Paroi latérale de la fosse nasale droite après résection partielle des trois cornets (Delamarche et al., 2002, p. 154) 17
Figure 5 : Coupe frontale de la région nasale de la face, réalisée sur la plateforme d'anatomie 3D Complete Anatomy® 18
Figure 6 : Les sinus paranasaux : coupe sagittale (à gauche), coupe frontale (au milieu) et en coupe transversale (à droite). Les coupes ont été réalisées sur la plateforme d'anatomie 3D Complete Anatomy® 19
Figure 7: Muscles du velum (Hixon et al., 2020, p. 139) 21
Figure 8 : a. Différents mécanismes de fermeture du port vélopharyngé superposés sur une coupe transversale à travers le port vélopharyngé (Gick et al., 2013, p. 135), b. Représentation schématique des sphincters de la parole (Gick et al., 2013, p. 132) 22
Figure 9 : Profils articulatoires comparés de voyelles orales (pointillé) et nasales (trait plein) à partir de données cinéradiographiques (Straka, 1965, p.57-58) 23
Figure 10 : Fonctions de transfert en trait plein pour /i/ en a. et /u/ en b. et en pointillé pour leurs versions nasalisées. Le degré de couplage nasal (NC) en cm^2 utilisé est indiqué en bas à droite sur la figure (Maeda, 1993, p. 154) 29
Figure 11 : Fonctions de transfert en trait plein pour /ɛ/ en a. et /o/ en b. et en pointillé pour leurs versions nasalisées. Le degré de couplage nasal (NC) en cm^2 utilisé est indiqué en bas à droite sur la figure (Maeda, 1993, p. 154) 30
Figure 12 : Moyennes de degrés perçus de la nasalisation de /i/ (cercle), /a/ (carré) et /u/ (triangle) en fonction du couplage (Maeda, 1993, p. 157) 31
Figure 13 : Cas idéal pour une consonne nasale (Clements et al., 2015, p. 201) 32
Figure 14 : Electromyographie 36
Figure 15 : Radiographie 37
Figure 16 : Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) 38
Figure 17 : Ultrasons 38
Figure 18 : Fibroscopie 39
Figure 19 : Le système Microbeam 40
Figure 20 : Articulatographe Electromagnétique (EMA) 41
Figure 21 : Velotrace 42
Figure 22 : Strain Gauge 43
Figure 23 : Nasographe 43
Figure 24 : Vélographe 44
Figure 25 : Photonasographe du LPP (Vaissière et al., 2010, p. 68) 45
Figure 26 : Accéléromètre et microphone à pression sonore (Vaissière et al., 2010, p. 67) 46
Figure 27 : Schéma d'un résonateur de Helmholtz A=section, V=volume clos, L=longueur du tube 49
Figure 28 : Fonction de transfert à partir de chaque segment de mesure pour le sujet 3, (a) montrant le côté gauche des cavités nasales et (b) le côté droit. Les flèches blanches indiquent les zéros causés par le sinus frontal, les flèches noires pour le sinus maxillaire et les flèches en forme de V pour le sinus sphénoïdal. La longueur du segment de mesure est indiquée à droite de chaque colonne. (Dang & Honda, 1996, p. 3379) 50
Figure 29 : Fonction de transfert du conduit nasal avec (en pointillé) ou sans (en ligne pleine) couplage avec les sinus (Maeda, 1982, p. 912) 51
Figure 30 : Fonctions de transfert suite à l'excitation d'une cavité nasale cadavérique avec occlusion du méat moyen et de l'ostium sphénoïdal et après suppression de l'occlusion de l'ostium sphénoïdal (en trait plein et pointillé respectivement) (Havel et al., 2017, p. 85) 51
Figure 31 : Moyennes des creux de fréquence des sinus maxillaires au stade préopératoire (box plot du bas) et postopératoire (box plot du haut) mesurées sur le cadavre (à gauche), la réplique en 3D (au milieu) et calculées à l'aide de l'équation (droite) (Havel et al., 2017, p. 85) 52
Figure 32 : Classification des rhinosinusites chroniques inspirée de Papon (2019) 56

Figure 33 : Photos prises par nos soins lors d'une chirurgie d'un des patients de la cohorte, en a. la flèche indique le polype, avant geste chirurgical, en b. après chirurgie. *59*
Figure 34 : Spectres obtenus au milieu de la consonne [m] par le patient M1 avant (à gauche) et après chirurgie (à droite) (Chen & Metson, 1997, p. 849) *60*
Figure 35 : Montage de Rosapelly (1-Pression nasale, 2-Vibrations laryngiennes, 3-Mouvements des lèvres) (Marey, 1898, p. 446) *74*
Figure 36 : Premiers tracés obtenus par Rosapelly au moyen de la méthode graphique montrant la pression nasale, les vibrations laryngiennes et le mouvement des lèvres (Rosapelly, 1876, p. 125) *74*
Figure 37 : Schéma du kymographe de Rousselot (Rousselot & Laclotte, 1903, p. 14) (1-Débit d'air buccal, 2-Débit d'air nasal, 3-Vibrations laryngiennes) *75*
Figure 38 : Exemple de tracés des pressions nasale et buccale en langue souahili (Rousselot, 1901, p. 562) *75*
Figure 39 : Photographie du spiromètre de Marey et Demenÿ (Marey, 1886) *76*
Figure 40 : Schémas des différents types de pneumotachographes (source : www.spirometrie.info) *77*
Figure 41 : Schéma d'un pléthysmographe (Flenet, 2017, p. 46) *79*
Figure 42 : Schéma de l'anémomètre (Quigley et al., 1964, p. 305) *79*
Figure 43 : Aérophone (a.) et masque de Rothenberg (b.) (Teston, 2005, p. 13) *80*
Figure 44 : Polyphonomètre III (Teston, 2005, p. 16) *81*
Figure 45 : Station EVA2 ..... *81*
Figure 46 : Masque SNORS, à gauche vue de profil et à droite vue de la face intérieure du masque avec ces deux compartiments (source : https://icspeech.com/nasal-anemometry.html) *82*
Figure 47 : Masque buccal en a) et nasal en b) de Scicon (source : https://sciconrd.com/) *82*
Figure 48 : OroNasal Mask (source : glottal.com) *83*
Figure 49 : Schéma du masque existant (Vaissière et al., 2010, p. 69) *87*
Figure 50 : Capteurs de pression utilisés dans notre système vue du haut en a. et de face en b. *88*
Figure 51 : Ensemble LPP-SDR consistant de gauche à droite de l'interface SDI-DT et de la carte d'acquisition DT9800 ..... *89*
Figure 52 : Vue de face des connecteurs d'entrée et interrupteurs de gain du canal 0 (le plus à gauche) au canal 4 (le plus à droite) de l'interface SDI-DT *90*
Figure 53 : Système d'étalonnage en pratique pour un masque recueillant le DAN et le DAO *92*
Figure 54 : Système d'étalonnage : a. plaque de maintien, b. plaque d'étalonnage pour DAN et DAO, c. plaque de séparation et d. bouchon *93*
Figure 55 : Pics positifs et négatifs pour le débit d'air oral réalisés lors de l'étalonnage *93*
Figure 56 : Masque de la marque Besafe® à gauche, Snipon® au milieu et Honeywell® à droite *94*
Figure 57 : Ponts de nez testés : a. pont de nez Surakey® b. pont de nez 3M® c. pont de nez BBTO® *95*
Figure 58 : Configuration finale du masque permettant l'enregistrement du flux d'air oral et nasal avec l'isolant et le pont de nez *96*
Figure 59 : [a] et [m] sans isolant *97*
Figure 60 : [a] et [m] avec isolant mais sans pont de nez *97*
Figure 61 : [a] et [m] tenus avec la configuration finale *98*
Figure 62 : Indice de dureté des résines pour imprimantes 3D (https://www.atome3d.com/) *99*
Figure 63 : Schéma 3D du système à deux éléments *100*
Figure 64 : Schéma 3D du modèle de séparation initiale (a), (b) : à gauche : modèle de séparation initiale avec l'isolant adhésif, et à droite : modèle de séparation finale avec tuyau intégré *100*
Figure 65 : Représentation 3D d'un modèle final de séparation *101*
Figure 66 : Schémas des points composant la séparation, exemples de deux séparations (a. et b.) *101*
Figure 67 : Représentation 3D de l'ensemble vis-écrou-rondelle *102*
Figure 68 : Configuration d'un masque avec les capteurs placés de manière opposée *103*
Figure 69 : [a] et [m] tenus avec les capteurs placés de manière opposée *103*
Figure 70 : Schéma 3D du système de maintien du masque derrière la tête *104*
Figure 71 : Illustrations du système d'accroche à l'arrière du crâne (a.), de profil (b.) et de face (c.) *104*
Figure 72 : Schéma 3D de l'isolant *105*
Figure 73 : Vue latérale de l'isolant avec les encoches à droite et à gauche *105*
Figure 74 : Dernière version de l'isolant avec la séparation intégrée *106*
Figure 75 : Triangles vocaliques sur l'espace F1-F2 pour les femmes. Les moyennes de F1 et F2 pour les deux locutrices sont indiquées pour quatre conditions d'enregistrement : avec le microphone (en bleu), l'AeroMask (en jaune), EVA2 (en pointillé vert), le masque de Rothenberg (en pointillé rouge) et l'OroNasal Mask (en pointillé violet). Les voyelles tenues, les voyelles dans les logatomes et dans les phrases sont montrées respectivement de gauche à droite, les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 2, n=2335 ..... *109*
Figure 76 : Triangles vocaliques sur l'espace F1-F2 pour les hommes. Les moyennes de F1 et F2 pour les deux locutrices sont indiquées pour quatre conditions d'enregistrement : avec le microphone (en bleu), l'AeroMask

(en jaune), EVA2 (en pointillé vert), le masque de Rothenberg (en pointillé rouge) et l'OroNasal Mask (en pointillé violet). Les voyelles tenues, les voyelles dans les logatomes et dans les phrases sont montrées respectivement de gauche à droite, les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 2, n=2335 110
Figure 77 : Débits d'air nasal et oral (l/s) pour l'AeroMask, la station EVA2, le masque de Rothenberg et l'OroNasal Mask sur les phonèmes [ã, ɛ̃, õ, m, n], n=768, le tableau avec les moyennes et les écarts-types se trouvent en Annexe 5 114
Figure 78 : Capture d'écran de l'interface du test de perception 117
Figure 79 : Graphique d'interaction du jugement sur le port du masque en fonction de la condition d'enregistrement et du contexte. Plus les valeurs sont élevées, plus la probabilité de percevoir la voix comme masquée est grande. Barres : IC à 95%. 119
Figure 80 : [a] tenu lors du processus de test en a. en cas d'inadéquation de la séparation et en b. en cas d'adéquation de la séparation pour le locuteur MT10 (Tableau 17)..... 122
Figure 81 : Interface du logiciel ITK Snap®3.8.0. : réalisation d'un « Mask » pour les sinus maxillaires, ethmoïdaux et les cavités nasales 129
Figure 82 : Interface du logiciel ITK Snap®3.8.0. : « Mask » final pour les sinus maxillaires, ethmoïdaux et les cavités nasales. 130
Figure 83 : Illustration des mesures acoustiques de durée et de spectre moyen total et nasal extraites sur chaque phonème de chaque logatome..... 131
Figure 84 : Illustration des mesures de moyennes de DAN et DAO extraites sur chaque phonème de chaque logatome (une couleur correspond à un phonème) 132
Figure 85 : Capture d'écran du test de perception 134
Figure 86 : Code couleur des phonèmes..... 138
Figure 87 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672 139
Figure 88 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672 139
Figure 89 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B). Pour ce graphique, l'échelle a été changée pour une meilleure lisibilité. 140
Figure 90 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite..... 141
Figure 91 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)... 142
Figure 92 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite..... 143
Figure 93 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte oral pour les locuteurs sains en a. et les patients en b. 143
Figure 94 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les consonnes nasales, n=96 144
Figure 95 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les consonnes nasales, n=96 145
Figure 96 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales, n=96 145
Figure 97 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales, n=96. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)... 146
Figure 98 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues, n=192. 146
Figure 99 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues, n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)... 147
Figure 100 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les consonnes nasales pour tous les locuteurs..... 148
Figure 101 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, n=276 148
Figure 102 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=276..... 149
Figure 103 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales, n=276 150

Figure 104 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=276 ..... *150*
Figure 105 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales, n=278. ..... *151*
Figure 106 : Moyennes de DAN des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B) *152*
Figure 107 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales, n=278. ..... *152*
Figure 108 : Moyennes de DAO des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B) *153*
Figure 109 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554. ..... *154*
Figure 110 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554. ..... *154*
Figure 111 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles nasales pour les locuteurs sains en a. et les patients en b. *155*
Figure 112 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles nasales une à une pour les locuteurs sains en a., les patients en b. *155*
Figure 113 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192 ..... *156*
Figure 114 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192 ..... *157*
Figure 115 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite(B). Pour ce graphique, l'échelle a été changée pour une meilleure lisibilité *157*
Figure 116 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite *158*
Figure 117 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384 ..... *159*
Figure 118 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384 ..... *159*
Figure 119 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte nasal pour les locuteurs sains en a., pour les patients en préopératoire en b. puis en postopératoire en c. *160*
Figure 120 : Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les patients en préopératoire et en postopératoire, n=950 ..... *166*
Figure 121 : Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les locuteurs sains, n=950 ..... *167*
Figure 122 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=672 ..... *168*
Figure 123 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B) ... *170*
Figure 124 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344 ..... *172*
Figure 125 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344 ..... *172*
Figure 126 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les voyelles orales *172*
Figure 127 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les voyelles orales *173*
Figure 128 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les consonnes nasales chez les locuteurs sains, n=96 ..... *173*

Figure 129 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les consonnes nasales chez les patients en préopératoire et postopératoire, n=96. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)..... 174
Figure 130 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues, n=192 175
Figure 131 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues, n=192 176
Figure 132 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les consonnes nasales [m] et [n]..... 176
Figure 133 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les consonnes nasales [m] et [n]..... 177
Figure 134 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains, n=276..... 177
Figure 135 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=276 178
Figure 136 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)..... 179
Figure 137 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche(A) et le postopératoire à droite (B)..... 180
Figure 138 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554 181
Figure 139 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554 181
Figure 140 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les voyelles nasales..... 182
Figure 141 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les voyelles nasales..... 182
Figure 142 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales en contexte nasal chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=192 183
Figure 143 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales en contexte nasal chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (B) et le postopératoire à droite (A)..... 184
Figure 144 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384 186
Figure 145 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384 186
Figure 146 : Volumes d'air naso-sinusien préopératoire, postopératoire et pour le locuteur sain associé, les valeurs exactes sont présentes en Annexe 24. 190
Figure 147 : Score VHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains, la ligne en pointillé gris représente le seuil à partir duquel il y a une altération légère de la voix..... 193
Figure 148 : Score SHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains, la ligne en pointillé gris représente le seuil à partir duquel il y a une altération de la parole dans la vie quotidienne..... 194
Figure 149 : Scores au questionnaire SNOT-22 en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains.... 195
Figure 150 : Scores de l'item Enrhumé pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=384..... 205
Figure 151 : Scores de l'item Grade (en a.), Raucité (en b.) et Souffle (en c.) pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=1152 206
Figure 152 : Scores de l'item Enrhumé par patient pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=384 207

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fréquences de résonance (Hz) des sinus rapportées dans les études ci-dessus 52
Tableau 2 : Tableau résumant les différents questionnaires de qualité de vie rhinosinusiens avec leurs caractéristiques (items, domaines, domaines absents) 66
Tableau 3 : Coupes spectrales du son [i] avec différents instruments 84
Tableau 4 : Avantages et inconvénients des systèmes actuels d'acquisition 85
Tableau 5 : Dimensions des masques utilisés 95
Tableau 6 : Tests des ponts de nez en fonction des critères choisis 96
Tableau 7 : Moyennes de débit d'air (l/s) nasal (DAN) et oral (DAO) sur [a] et [m] avec les différentes configurations testées 98
Tableau 8 : Instruments utilisés pour chaque validation 106
Tableau 9 : P-values du test post-hoc de Tukey pour les hommes (H) et femmes (F), concernant les cases grisées, elles indiquent que le test post-hoc n'a pas été réalisé en raison de la non-significativité du test Anova, le tableau complet se trouve en Annexe 1 108
Tableau 10 : Graphiques de Bland-Altman de comparaison de F2 pour /i/ avec différents référents (microphone ou AeroMask). 112
Tableau 11 : Différence moyenne (Hz) entre les différents enregistrements 113
Tableau 12 : Exemples de tracés aérodynamiques du locuteur sain MT04 avec les masques évoqués ci-dessus pour le logatome /ɔ̃pɔ̃/, le tracé rouge représente le DAO et le tracé noir le DAN, dans le cadre du masque de Rothenberg qui ne sépare pas les débits, le tracé noir représente le débit d'air total. 115
Tableau 13 : Matrices de confusion pour la catégorisation des voyelles par condition d'enregistrement. La partie supérieure correspond aux voyelles isolées, et la partie inférieure aux voyelles en contexte /pVp/. Les lignes correspondent aux voyelles de référence, les colonnes aux réponses des auditeurs. Les lignes inférieures correspondent aux précisions avec 95% d'Intervalle de Confiance (IC) 118
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des patients, données épidémiologiques 125
Tableau 15 : Scores scannographiques de Lund-Mackay 125
Tableau 16 : Tableau récapitulatif des locuteurs sains 126
Tableau 17 : Tableau récapitulatif des trois locuteurs sains ayant participé à des tests spécifiques 126
Tableau 18 : Paramètres des scanners utilisés en préopératoire et pour le locuteur sain, le paramètre kV (kilovoltage) correspond à la tension envoyée. 128
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des changements aérodynamiques en postopératoire, le symbole ↑ indique une hausse et ↓ une baisse. 161
Tableau 20 : Moyennes de DAN (l/s) et écarts-types sur les voyelles nasales et les consonnes nasales pour les patients en préopératoire et postopératoire 162
Tableau 21 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT03 et MT04 sur [i] et [a] en V1. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 169
Tableau 22 : Coupes spectrales pour le patient PM02 en préopératoire et postopératoire ainsi que pour le locuteur sain MT03 sur [i] et [a] en V1. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 171
Tableau 23 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT01 et MT07 sur [m] dans le logatome [ama]. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 174
Tableau 24 : Coupes spectrales pour nos patients en préopératoire et postopératoire sur [m] dans le logatome [ama]. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 175
Tableau 25 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT01 et MT05 sur [ɛ̃] en position initiale (V1) dans le logatome [ɛ̃pɛ̃]. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 178
Tableau 26 : Coupes spectrales pour les patients en préopératoire et postopératoire sur différentes voyelles nasales en position initiale (V1). Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 180
Tableau 27 : Coupes spectrales pour le patient PM04 en préopératoire et postopératoire ainsi que pour le locuteur sain MT04 sur [u] dans [umu] en position initiale (V1) et finale (V2). Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone. 185
Tableau 28 : Pourcentages d'augmentation du volume naso-sinusien en postopératoire 190
Tableau 29 : Scores moyens et écart-type au questionnaire VHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains 193
Tableau 30 : Scores moyens et écart-type au questionnaire SHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains 194

Tableau 31 : Scores moyens et écart-type au questionnaire SNOT-22 en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains 195
Tableau 32 : Scores des patients à la question « Le corpus a-t-il été difficile à lire ? » en préopératoire et postopératoire (0= pas difficile, 3=très difficile)..... 196
Tableau 33 : Scores des locuteurs sains à la question « Le corpus a-t-il été difficile à lire ? » (0= pas difficile, 3=très difficile)..... 196
Tableau 34 : Réponses des patients en préopératoire et postopératoire à la question « Quelles adaptations pensez-vous mettre en place pour parler ? » 197
Tableau 35 : Réponses aux questions relatives à l'hypo- et l'hypernasalité pour les locuteurs sains et patients 198
Tableau 36 : Réponses des patients en postopératoire sur la comparaison de leur voix actuelle à leur voix avant la chirurgie 199
Tableau 37 : Accord inter-juges..... 202
Tableau 38 : Consistance des évaluations GRBAS réalisées par les juges des 10 stimuli en test- retest à 15 jours, la lettre J correspond au jury expert (n=7) et la lettre T au jury naïf (n=5)..... 203
Tableau 39 : Accord intra-juges en condition test-retest 204
Tableau 40 : Tableau récapitulatif des questions de recherche de cette thèse avec les schémas correspondant et les résultats 210

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Tableaux statistiques de la validation acoustique de l'AeroMask 234
Annexe 2 : Tableaux statistiques pour F1 et F2 pour la validation acoustique de l'AeroMask 237
Annexe 3 : Corpus pour la validation acoustique 249
Annexe 4 : Corpus pour les locuteurs sains et pathologiques pour l'étude aérodynamique et acoustique 250
Annexe 5 : Moyennes et écarts types des résultats de la validation aérodynamique 253
Annexe 6 : Note d'information à destination des patients 255
Annexe 7 : Lettre d'information à destination des locuteurs sains 259
Annexe 8 : Formulaire de consentement à destination des locuteurs sains 262
Annexe 9 : Questionnaire d'information pour tous les participants 264
Annexe 10 : Questionnaire nasalité-parole 265
Annexe 11 : Voice Handicap Index 266
Annexe 12 : Speech Handicap Index 268
Annexe 13 : SNOT-22 270
Annexe 14 : Résultats du test-t de Student sur les données aérodynamiques et acoustiques 271
Annexe 15 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte oral 274
Annexe 16 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les consonnes nasales 282
Annexe 17 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles nasales 284
Annexe 18 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte nasal 291
Annexe 19 : Résultats statistiques pour la durée des voyelles orales et nasales 299
Annexe 20 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles orales en contexte oral 300
Annexe 21 : Résultats statistiques acoustiques pour les consonnes nasales 308
Annexe 22 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles nasales 310
Annexe 23 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles orales en contexte nasal 316
Annexe 24 : Volumes des cavités naso-sinusiennes en préopératoire et postopératoire, et pour le locuteur sain en mm^3 324
Annexe 25 : Scores VHI, SHI et SNOT-22 324
Annexe 26 : Résultats statistiques de la cotation GRB et de l'item Enrhumé 327

TABLE DES ABBREVIATIONS par ordre alphabétique

DAN : Débit d'Air Nasal
DAO : Débit d'Air Oral
dB : Décibel
EVA : Evaluation Vocale Assistée
Hz : Hertz
PNS : Polypose Naso-Sinusienne
SHI : Speech Handicap Index
SNOT-22 : Sino Nasal Outcome Test
VHI : Voice Handicap Index
V1 : Position initiale
V2 : Position finale

Conventions de notation

Significativité des tests statistiques

Les symboles, utilisés pour indiquer la significativité des tests statistiques, suivent des conventions spécifiques en fonction des valeurs de la probabilité p de rejeter à tort l'hypothèse nulle.

- 0,1 à 0,05 : .
- 0,05 à 0,01 : *
- 0,01 à 0,001 : **
- 0,001 à 0 : ***

INTRODUCTION GENERALE

Ce travail de thèse est consacré à l'évaluation multiparamétrique de la nasalité grâce à la conception et l'utilisation d'un masque aérodynamique appliqué à une population témoin et pathologique.

Selon la base de données UPSID (UCLA Phonological Standard Inventory Data), 97 langues possèdent à la fois des voyelles et des consonnes nasales (Maddieson, 1984). Le français a cette particularité d'utiliser le trait de nasalité pour la réalisation de ses voyelles et consonnes nasales. Ce trait est défini par l'abaissement (+nasal) et l'élévation (-nasal) du voile du palais, bien qu'articulatoirement simple, sa position a des conséquences aérodynamiques et acoustiques complexes. En effet, ce processus en plus de la connexion indispensable entre cavités buccale et nasales nécessite un couplage effectif entre ces cavités et une résonance au sein des cavités nasales. Les corrélats acoustiques de la nasalité varient fortement d'un individu et d'une langue à l'autre. De multiples problématiques acoustiques, aérodynamiques, articulatoires et perceptives demeurent encore de nos jours (Vaissière *et al.*, 2010). De nombreux auteurs (Amelot, 2004 ; Amelot *et al.*, 2004 ; Basset *et al.*, 2007 ; Vaissière, 1995) ont noté la nécessité d'une approche multiparamétrique pour étudier la nasalité : il faut envisager les aspects ensemble et non pas de manière isolée.

Cependant, les instruments actuels pour acquérir des données aérodynamiques présentent un inconvénient majeur, dû à la rigidité du masque employé : les données acoustiques enregistrées sont déformées et donc, inexploitables pour une analyse acoustique ou perceptive. De plus, les systèmes avec embouts narinaires peuvent être problématiques, dans le sens où l'embout contraint fortement la sortie acoustique, il se doit d'être adapté à la narine de chacun, et bien positionné afin d'avoir des valeurs aérodynamiques fiables. Dans le cadre clinique, pour certaines pathologies, ces embouts couplés au masque rigide sont source d'un réel inconfort pour des patients avec les cavités nasales obstruées, par exemple. Et dans un cadre plus général, certains instruments entraînent, d'une part, un désagrément lié soit au fait qu'il faille bien se positionner face à l'instrumentation pour que la bouche et les narines soient en face des capteurs, soit le fait de devoir tenir l'instrument lui-même contre son visage, ce qui peut occasionner des déperditions d'air au niveau des joues, en cas de mouvement. Enfin, la stérilisation de la plupart de ces systèmes peut poser problème dans le cadre d'un usage clinique.

Un besoin de créer un nouvel outil, essayant de pallier ces écueils, s'est avéré. Ainsi, un masque souple en fibre de papier, à la place des masques conventionnels rigides, a été adapté. Il permet d'enregistrer des données aérodynamiques, tout en ayant des données acoustiques dépourvues de distorsions (Elmerich, Amelot, Maeda, *et al.*, 2020). Ce masque se place dans l'approche multiparamétrique propre à la nasalité, en donnant la possibilité d'avoir des données aérodynamiques et acoustiques utilisables à des fins d'étude perceptive. En plus de cela, il lève un certain nombre de contraintes : stérilisation non nécessaire, inconfort limité en raison du fait qu'il n'y a plus d'embouts et que le locuteur n'a plus besoin de tenir le masque, gain de temps etc. Nous avons utilisé ce masque pour une population saine et pathologique afin d'observer la nasalité, tant chez des locuteurs sains que dans le cadre d'une

pathologie affectant les cavités nasales : la polypose naso-sinusienne (PNS). Peu d'études phonétiques se sont intéressées à la PNS. Un besoin de répondre aux questionnements des patients quant à l'impact de la chirurgie sur leur voix existe. Les études antérieures brassent une population hétérogène en termes de sexe, chirurgie et latéralité de la PNS. Bien souvent les études s'y intéressant, ne travaillent pas sur le français. Nous avons voulu mettre à profit l'AeroMask sur une population plus homogène et essayer de dresser une tendance générale de l'impact aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptif de la PNS et de sa chirurgie.

Ce travail de thèse a donc, pour objectif, de décrire de manière objective les altérations de la parole et de la voix de patients atteints de polypose naso-sinusienne avant et après chirurgie, au moyen d'une analyse multiparamétrique basée sur des mesures aérodynamiques, acoustiques, perceptives et volumétriques.
A travers l'analyse de ces mesures, nous souhaitons quantifier ces différents paramètres afin de situer la parole et la voix des patients avant et après chirurgie sur un continuum entre normalité et pathologie.
Cette thèse est composée de cinq chapitres. Le premier chapitre rend compte des grandes notions déjà établies concernant la nasalité : l'historique de la nasalité, les organes impliqués dans la production de la nasalité, les phénomènes aérodynamiques qui en découlent, les perturbations acoustiques dues à la connexion avec les cavités nasales ainsi que sa perception, les différentes instrumentations disponibles pour l'étudier, le rôle controversé des sinus dans la parole et enfin, les perturbations engendrées en cas de pathologie de la nasalité comme la polypose naso-sinusienne. Le deuxième chapitre décrit nos objectifs et problématiques. Le troisième chapitre décrit notre système d'enregistrement de données aérodynamiques développé dans le cadre de cette thèse : l'AeroMask. Un historique des anciens instruments ainsi que ceux présents actuellement est dressé, leurs avantages et inconvénients seront repris. Une description de l'AeroMask est réalisée : le système de captation, le choix des masques, l'élaboration des séparations, etc. Les validations de cet outil seront présentées. Le quatrième chapitre présente la méthodologie générale. Le cinquième chapitre est dédié à nos expérimentations. Il apporte les résultats des données aérodynamiques, acoustiques, volumétriques et perceptives des patients en préopératoire et postopératoire, ainsi que des locuteurs sains. La discussion vise à faire le lien entre ces différentes dimensions. La conclusion nous permettra de répondre à nos questions de recherche, d'évoquer les limites de ce travail et d'envisager les perspectives pour la continuité de cette recherche.

Chapitre I : État de l'art

Résumé du chapitre :

Le français fait partie des rares langues à posséder à la fois des voyelles et des consonnes nasales. La présence des voyelles nasales provient du latin, le processus de nasalisation est propre au français et, implique la distinction entre voyelle nasalisée et nasale.

La nasalité est caractérisée par le trait +/- nasal qui se traduit articulatoirement par l'abaissement du voile du palais. Les parois pharyngées latérales et postérieures peuvent contribuer à la fermeture du port vélo-pharyngé.

D'un point de vue aérodynamique, la nasalité nécessite le passage au sein des cavités nasales d'un flux d'air. Ce passage est rendu possible si le velum est suffisamment abaissé et qu'un couplage entre cavités orale et nasales se met en place.

L'ajout d'une cavité de résonance dans le cadre de la nasalité entraîne des perturbations acoustiques de différents types : anti-résonances, amortissement, augmentation de la largeur de bande, etc. Elles différent selon la nature du phonème. L'abaissement du velum modifie la forme de la cavité orale : les résonances propres aux cavités nasales viennent modifier celles de la cavité orale.

Les phonèmes nasals[1] sont perceptivement moins distincts entre eux que les phonèmes oraux. La perception des voyelles nasalisées ou nasales dépend d'éléments divers, comme le degré de couplage ou l'identité de la voyelle tandis que pour les consonnes, il s'agira de la transition formantique, par exemple.

La nasalité est un processus complexe, qui implique des rapports non-linéaires entre les dimensions évoquées ci-dessus. Cette multidimensionnalité entraîne des phénomènes de coarticulation.

Il existe une variété d'instruments pour l'étude de la nasalité qui ciblent différents niveaux : l'activité musculaire engendrant le mouvement du velum, l'étude du mouvement en lui-même et l'effet acoustique et aérodynamique du mouvement.

Le rôle de certains éléments anatomiques, comme les sinus dans la production de la nasalité et de la parole, questionne. Diverses fonctions leur ont été attribuées au cours du temps. Peu d'études en parole s'y sont intéressées, elles montrent que les sinus jouent un rôle dans l'acoustique de la parole.

Dans certains cas, la nasalité peut être perturbée, comme avec la PNS. C'est une inflammation bilatérale des cavités nasales et sinusiennes, caractérisée par la présence de polypes. Elle entraîne des perturbations acoustiques, aérodynamiques et perceptives.

[1] Le pluriel « nasaux » est plutôt utilisé en biologie et médecine, pour parler par exemple des conduits nasaux. Le pluriel « nasals » est utilisé en linguistique : « des grammairiens veulent qu'on dise des sons nasals ; mais l'usage admet le pluriel en -aux. » (Littré, 1874)

I. La nasalité en français et son évolution

1. Répartition actuelle

Le français comporte quatre consonnes nasales la bilabiale /m/, l'alvéolaire /n/, la palatale /ɲ/ et un emprunt de l'anglais le phonème vélaire /ŋ/. 37 langues sur les 760 inventoriées sur la base de données Lyon-Albuquerque Phonological Systems Database (LAPSyD) (Maddieson *et al.*, 2014) possèdent ces quatre consonnes nasales. Selon la répartition géospatiale des langues du monde dans PHOIBLE (Moran & McCloy, 2019) qui est la plus grande base de données d'inventaires phonémiques, /m/ et /n/ sont largement attestés dans les langues du monde, respectivement dans 96% et 78%. /ŋ/ (63%) et /ɲ/ (42%) le sont un peu moins.

Le français comporte aussi trois (/ɛ̃ /, /ɑ̃/, /ɔ̃/) ou quatre voyelles nasales en ajoutant /œ̃/ pour le français méridional ou le français parlé en Belgique ou au Canada. La distinction /ɛ̃/~/œ̃/ opposant respectivement les mots « brin » et « brun » a tendance à se neutraliser dans la moitié nord de la France comme l'atteste cette carte (Figure 1) réalisée par Avanzi à partir d'enquêtes en ligne.

Cette tendance à la neutralisation peut s'expliquer par le faible rendement vocalique de ces deux phonèmes : peu d'unités lexicales se distinguent par cette opposition en français : /ɛ̃/ est étirée alors qu'/œ̃/ est arrondie.

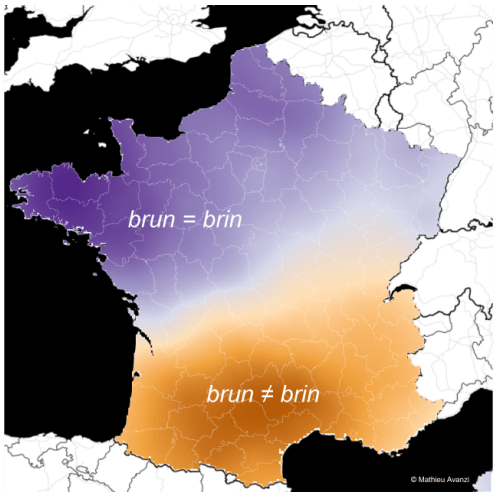


Figure 1 : Aire de (non-)opposition entre les voyelles de brun [bRœ̃] et de brin [bRɛ̃], d'après l'enquête Français de nos régions (francaisdenosregions.com, © Avanzi)

La présence dans son inventaire de voyelles nasales fait du français une langue particulièrement intéressante pour l'étude de la nasalité. En effet, rares sont les langues possédant des voyelles nasales, la base de données LAPSyD inventorie un total de 161 langues sur 760.

Selon PHOIBLE, 8% des langues ont dans leur inventaire phonologique la voyelle /ɔ̃/. /ɛ̃/ et /ɑ̃/ sont toutes les deux présentes dans 2% des langues. Selon LAPSyD, seulement trois langues du monde possèdent ces trois voyelles nasales, en plus du français, nous pouvons compter l'hindi et le Yelî Dnye, une langue papoue.

2. Historique de la nasalisation des voyelles du français

Le français vient du latin qui ne comportait pas de voyelles nasales mais des consonnes nasales (Rousselot, 1897). Le processus de nasalisation qui s'en est suivi est propre au français.

La nasalisation des voyelles orales du français est un phénomène diachronique. Elle a débuté par la voyelle /a/ au X^{ème} siècle, la grande aperture de cette voyelle aurait facilité sa nasalisation (Figure 2). En effet, le voile du palais a tendance à s'abaisser plus facilement lorsque l'aperture est grande.

Au XI^{ème} siècle, ce fut au tour de la voyelle /ɛ/ puis au XIII^{ème} siècle des voyelles de petite aperture /i, y, u/.

Cette nasalisation s'explique par le fait que ces voyelles orales se trouvaient à proximité d'une consonne nasale et sous l'influence de cette dernière la voyelle s'est nasalisée par anticipation articulatoire. Cela a abouti à une double articulation nasale à la fois sur la voyelle puis sur la consonne suivante.

S'en est suivi un processus de dénasalisation : au XV^{ème} siècle : /ĩ/ et /ɛ̃/ sont devenus oraux, au XVI^{ème} siècle, c'est au tour de /ỹ/ et /ɑ̃/ et au XVII^{ème} siècle /õ/.

Cette dénasalisation se veut partielle : un des deux phonèmes nasals disparaîtra. Si la voyelle nasale est en syllabe ouverte, elle se dénasalise. Dans le cas contraire, la voyelle reste nasale et c'est la consonne nasale qui n'est plus prononcée (Hélix, 2018).

Cela donne notamment lieu aux alternances entre certaines formes masculine et féminine comme c'est le cas pour bon [bɔ̃] et bonne [bɔn].

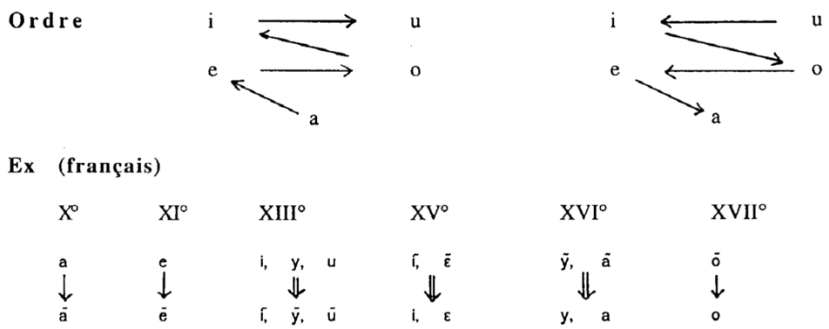


Figure 2 : Schéma de la nasalisation et dénasalisation des voyelles du français (Pope, 1934) dans Maeda (2000)

En somme, toutes les voyelles orales ont été autrefois nasalisées, puis ont subi une fusion de sorte que le nombre de qualités nasales distinctives a diminué avec le temps. Il existe par conséquent, de nombreuses voyelles phonémiques orales - pour une voyelle phonémique nasale.

3. Nasalité et nasalisation, phonèmes nasals et nasalisés

La nasalisation est un processus phonétique et contextuel.

En effet, la plupart du temps, dans le cadre de la production d'une voyelle orale qui aurait dans son entourage un phonème nasal, la voyelle se trouvera nasalisée.

Par exemple : [mama]

On parle ici de voyelles nasalisées par contexte. Ce processus est la conséquence de l'étendue temporelle du geste d'ouverture du port vélopharyngé aux phonèmes

environnants. Un son nasalisé est produit avec une ouverture vélaire. C'est le contexte nasal environnant qui nasalise le phonème.

La nasalité est un processus phonologique qui fait référence au trait [+ nasal] permettant d'opposer les phonèmes oraux aux phonèmes nasals.

On parle ici de voyelle nasale car elle permet un contraste phonémique avec les voyelles orales.

Par exemple : beau [bo] *vs* bon [bɔ̃]

Une voyelle nasale n'a pas besoin d'un contexte environnant nasal contrairement à la voyelle nasalisée.

Le français utilise cette distinction entre voyelle nasalisée *vs* nasale en raison de la présence de voyelles nasales dans son inventaire phonologique. Le trait [+ nasal] est utilisé pour les voyelles. En revanche, cette distinction n'existe pas en anglais par exemple, qui ne possède pas de voyelles nasales, le trait [+ nasal] n'est pas spécifié pour les voyelles. Les voyelles deviennent plus ou moins nasalisées dans le cas où elles sont suivies ou précédées par une consonne nasale.

II. La nasalité du point de vue articulatoire

Un phonème est considéré comme nasal quand celui-ci est produit avec un voile du palais abaissé et décollé de la paroi pharyngée, rendant possible un couplage acoustique entre les cavités orale et nasales. Si le voile du palais reste dans une position haute, le phonème est considéré comme oral (Figure 3.a) prenant phonologiquement le trait -nasal et inversement.

Si le voile du palais est suffisamment abaissé et le port vélopharyngé ouvert, l'air peut s'écouler soit, par les cavités nasales et orale, donnant lieu aux voyelles nasales (Figure 3.c) soit, par les cavités nasales uniquement dans le cas des consonnes nasales (Figure 3.b).

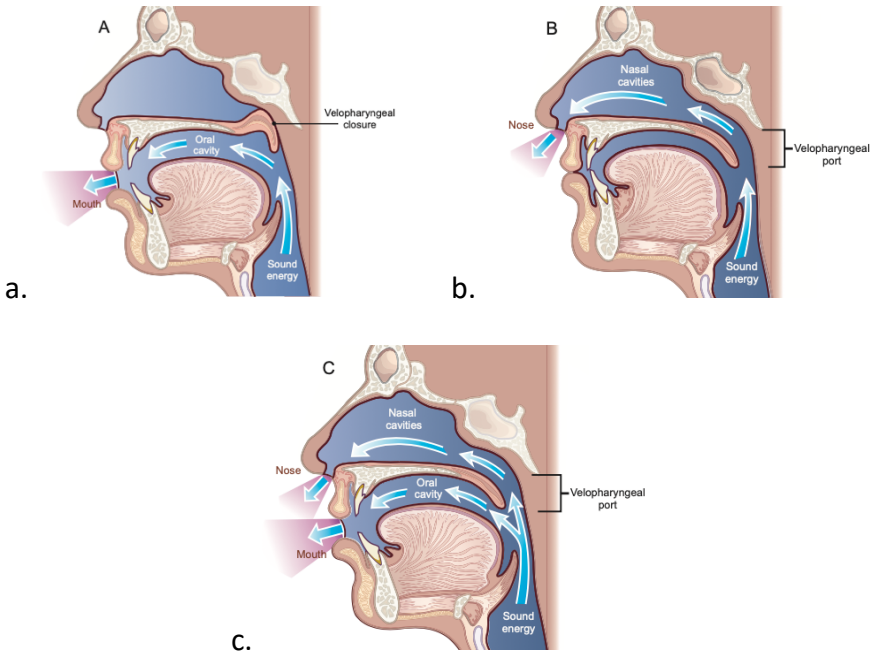


Figure 3 : Schéma du conduit vocal durant la production d'un son oral en a., d'une consonne nasale en b. et d'une voyelle nasale en c. (Hixon *et al., 2020, p. 148)*

Ce mouvement articulatoirement simple engendre des répercussions aérodynamiques et acoustiques complexes.

1. Rappels anatomiques

La partie sur l'anatomie a été rédigée avec le support de l'ouvrage de Legent (1975).

A. Cavités nasales

Les cavités nasales sont deux cavités séparées par une cloison ostéo-cartilagineuse (cloison nasale ou *septum*) souvent non rectiligne. Elles sont tapissées d'une muqueuse, et remplies d'air. Elles s'ouvrent en avant par les orifices piriformes, et en arrière par les choanes vers le rhinopharynx (Figure 4). Elles communiquent avec les sinus par les ostia. Elles représentent la partie initiale des voies aériennes supérieures. Les cavités nasales sont protégées au niveau de leur orifice par un élément ostéo-cartilagineux : la pyramide nasale. La partie supérieure des cavités nasales est formée d'os et de cartilages. Le plancher des cavités nasales est constitué du palais dur qui sépare la cavité orale des cavités nasales et se poursuit par le voile du palais.

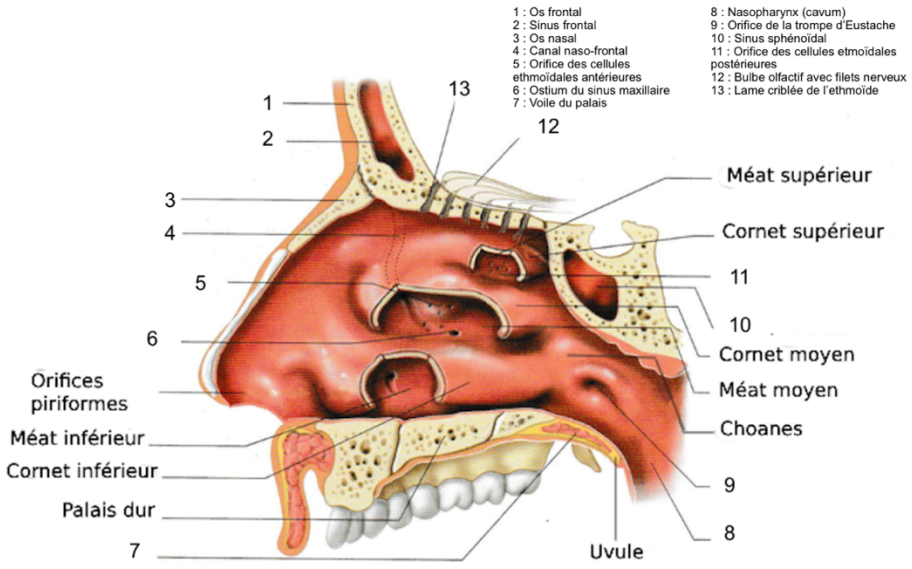


Figure 4 : Paroi latérale de la fosse nasale droite après résection partielle des trois cornets (Delamarche et al., 2002, p. 154)

Les dimensions de ces cavités sont soumises à une forte variabilité (Sampson, 1999) selon l'âge, le sexe et l'anatomie physiologique de chacun. En moyenne, les cavités nasales mesurent 12 cm de long depuis l'orifice piriforme jusqu'à l'uvule. La configuration interne des cavités nasales est complexe, leur paroi externe étant marquée par plusieurs reliefs (les cornets) et creux (les méats au niveau desquels s'ouvrent les ostia sinusiens).

La paroi latérale des cavités nasales est d'une importance capitale dans la physiologie respiratoire du fait des cornets qui augmentent considérablement la surface muqueuse et jouent un rôle de protection des méats. Au niveau des méats, les ostia sinusiens sont les orifices de petits conduits permettant le drainage des sinus dans les cavités nasales.

Les trois paires de cornets (Figure 5) sont séparées entre elles par les méats, il existe :

- le cornet inférieur,
- le cornet moyen,
- le cornet supérieur.

Les trois méats sont comparables à des creux, situés sous chaque cornet :

- le méat inférieur (entre le plancher des cavités nasales et le cornet inférieur) où se situe l'orifice du canal lacrymal,

- le méat moyen (entre le cornet inférieur et moyen), où se situent les ostia des sinus antérieurs (sinus frontal, maxillaire et ethmoïdal antérieur),

- le méat supérieur (entre le cornet moyen et supérieur) où se situent les ostia des sinus postérieurs (sinus ethmoïdal postérieur et sinus sphénoïdal).

Les cornets sont des lamelles osseuses, enroulées sur elles-mêmes. La muqueuse érectile des cornets permet le cycle nasal : elle gonfle alternativement d'un côté, puis de l'autre, toutes les 2 à 5 heures. Ce phénomène périodique donne une sensation de narine obstruée tandis que l'autre est dégagée. Les deux cavités nasales ne sont pas libres de la même manière à un instant *t*. Ce cycle peut être modifié par la température, l'effort ou la position du corps (Klossek, 1998). Les cornets permettent aussi de filtrer, humidifier et réchauffer l'air respiré.

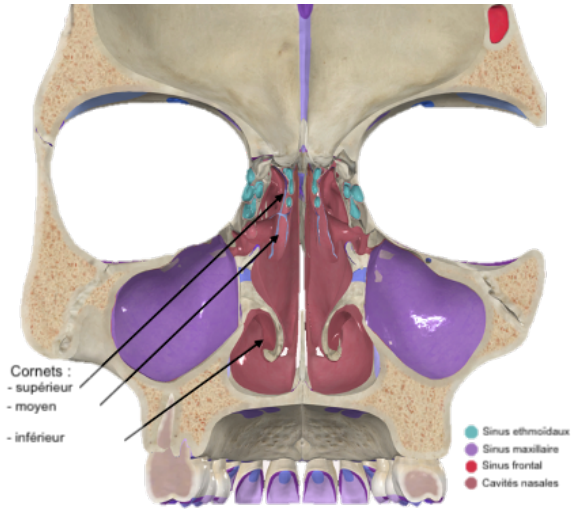


Figure 5 : Coupe frontale de la région nasale de la face, réalisée sur la plateforme d'anatomie 3D Complete Anatomy®

La muqueuse nasale remplit diverses fonctions :

- olfaction : des cellules neuro-sensorielles se trouvent dans la muqueuse olfactive située dans la partie supérieure des cavités nasales.
- conditionnement de l'air inspiré : elle assure le réchauffement, l'humidification de l'air et, représente la première défense des voies aériennes contre les agressions extérieures (micro-organismes, toxiques…).

- défense des voies aériennes : cette fonction est assurée par les cellules ciliées et mucipares qui permettent un drainage vers le pharynx.

B. Sinus

Par l'intermédiaire de leurs ostia, les sinus (maxillaires, frontaux, sphénoïdaux et ethmoïdaux) communiquent avec les cavités nasales (Figure 6). En conséquence, la contribution des sinus dans la production de la nasalité et de la parole questionne.

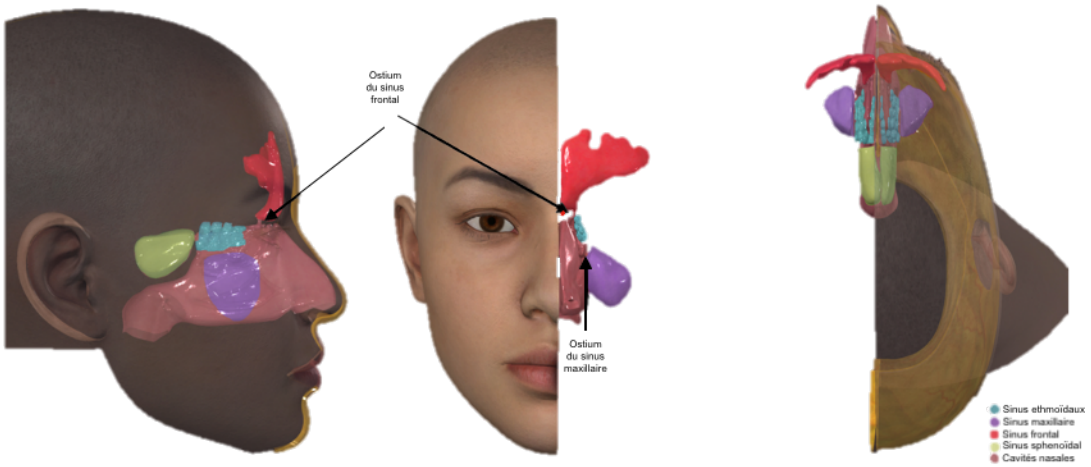


Figure 6 : Les sinus paranasaux : coupe sagittale (à gauche), coupe frontale (au milieu) et en coupe transversale (à droite). Les coupes ont été réalisées sur la plateforme d'anatomie 3D Complete Anatomy®

Les sinus de la face ou sinus paranasaux, sont des cavités pneumatiques situées autour des cavités nasales. Les sinus vont de pair mais sont asymétriques en volume (Delamarche *et al.*, 2002). Leur taille et leur forme sont assez variables ; elles dépendent de chaque individu.

Deux groupes sont à différencier : les sinus antérieurs et les sinus postérieurs (Bonfils *et al.*, 2016). Ces groupes sont établis selon la voie de drainage empruntée par tel sinus. Les sinus antérieurs (sinus maxillaire, sinus ethmoïdal antérieur et sinus frontal) se drainent au niveau du méat moyen, en dehors du cornet moyen tandis que les sinus postérieurs (sinus sphénoïdal et sinus ethmoïdal postérieur) se drainent au niveau du récessus sphéno-ethmoïdal, en dedans du cornet moyen. La séparation entre les sinus antérieurs et postérieurs se voit anatomiquement par la lame basale du cornet moyen. Les ostia des sinus antérieurs sont proches les uns des autres.

Sur le plan anatomique, on distingue (Le Huche, 2010) :

- Le sinus maxillaire : creusé dans l'épaisseur de l'os maxillaire supérieur, il présente souvent un drainage complexe étant donné que son ostium est situé dans sa partie supérieure. Il prend la forme d'une pyramide triangulaire. Son plancher est à proximité de l'arcade dentaire supérieure, il est donc situé à un niveau inférieur au plancher des cavités nasales. Le sinus maxillaire se constitue dès l'âge de 3 ans, et continue à grandir jusqu'à 15 ans. C'est généralement le sinus avec le plus grand volume, pouvant atteindre 10 cm^3 (Calais-Germain & Germain, 2013). Ce volume

peut être influencé par différents événements tout au long de la vie : chirurgie, perte dentaire, infections chroniques (Lawson *et al.*, 2008). Contrairement au sinus frontal, le sinus maxillaire présente moins de variations morphologiques entre individus (Michel, 2015).

- Le sinus sphénoïdal : creusé dans le corps du sphénoïde, le sinus sphénoïdal communique dans la partie postérieure des cavités nasales par un ostium de 2 à 3 mm de diamètre. Cette paire de sinus est séparée par une cloison. La dimension des sinus sphénoïdaux est très variable, ils sont souvent asymétriques. Ils se développent vers 3-4 ans jusqu'à l'âge de 15 ans. Ils entretiennent un rapport étroit avec le nerf optique, expliquant la possibilité d'apparition de symptômes ophtalmologiques en cas d'atteinte de ces sinus.

- Le sinus frontal : il est creusé dans la masse de l'os frontal, au-dessus de la partie antérieure des cavités nasales et de l'orbite. Son volume est également variable. Il communique avec le méat moyen via le canal naso-frontal, qui permet de communiquer avec les cavités nasales. Le sinus frontal serait la prolongation d'une cellule ethmoïdale. Il se forme vers l'âge de 2 ans et n'est visible sur une radiographie que vers l'âge de 6-8 ans. Il atteint son développement complet à l'âge de 20 ans et son volume peut être influencé par de nombreuses pathologies, notamment les sinusites chroniques (Lawson *et al.*, 2008). La variabilité de son volume fait qu'il représente un élément utile dans l'anthropologie forensique afin d'identifier des corps (Christensen, 2004 ; Culbert & Law, 1927 ; Quatrehomme *et al.*, 1996). Il a été scientifiquement démontré que les sinus frontaux sont uniques à chaque individu et non affectés par des paramètres héréditaires (Christensen, 2004 ; 2005).

- Le sinus ethmoïdal ou labyrinthe ethmoïdal : composé de 7 à 9 cellules pneumatiques, leur volume est de 2 à 3 cm^3. Ces dernières se situent dans les parties latérales de l'ethmoïde. Elles débouchent dans le méat moyen pour les cellules antérieures et dans le méat supérieur pour les cellules postérieures. Le sinus ethmoïdal est formé dès la naissance contrairement aux autres cavités, mais il garde une taille réduite jusqu'à 4 ans et, se développe ensuite jusqu'à l'âge de 13 ans.

Au même titre que les cavités nasales, les sinus sont tapissés d'une muqueuse dont la fonction muco-ciliaire permet leur drainage dans les méats puis dans les cavités nasales.

Schématiquement, cavités nasales, sinus et rhinopharynx forment un ensemble anatomique représentant la partie aérienne des voies aéro-digestives supérieures. De ce fait, une atteinte pathologique de l'un de ces constituants aura des répercussions sur les autres éléments de l'ensemble.

C. *Voile du palais ou velum*

Le voile du palais peut être considéré comme une cloison musculo-membraneuse qui prolonge la voûte palatine en arrière et vers le bas (Delamarche *et al.*, 2002).

i. Muscles

Le voile du palais est constitué de 5 muscles pairs et symétriques (Figure 7).

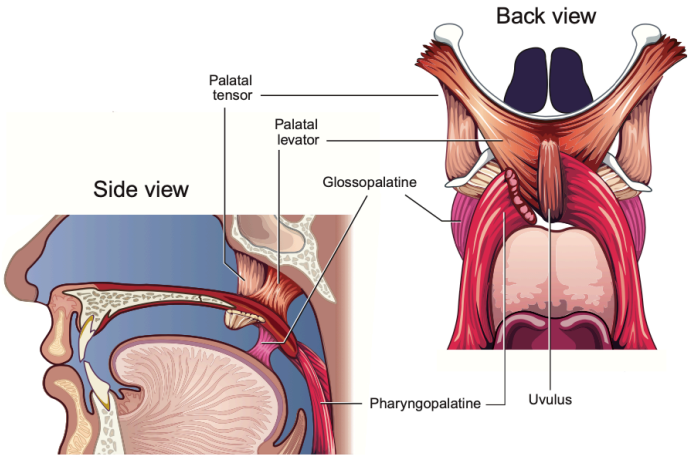


Figure 7: Muscles du velum (Hixon *et al., 2020, p. 139)*

On distingue un groupe inférieur, supérieur et intravélaire.

Les muscles inférieurs ont des fonctions d'abaissement pour les muscles glosso-staphylins (ou *palato-glosses*) et pharyngo-staphylins (ou *palato-pharyngiens*),

Les muscles supérieurs ont des fonctions élévatrices pour les péristaphylins internes (ou *levator palati*) et tenseurs pour les péristaphylins externes (ou *tensor palati*),

Le muscle central intravélaire (ou *palato-staphylin*) se prolonge pour former la luette et a pour fonction de rigidifier la luette afin qu'elle puisse se rétracter. Ce muscle est entièrement contenu dans le voile du palais.

ii. Physiologie du voile du palais

Le voile du palais présente différents rôles fonctionnels. Ses mouvements d'élévation et d'abaissement permettent de réaliser les fonctions de respiration, phonation et déglutition.

1. La respiration

La respiration physiologique est une respiration nasale à savoir par les cavités nasales. Lors de la respiration nasale, le voile du palais est dans une position relâchée. Lors de la respiration buccale, le voile du palais remonte afin que l'air inspiré ou expiré ne passe pas par les cavités nasales.

2. La phonation

Le voile du palais permet la distinction entre les phonèmes oraux et nasals, les voyelles et consonnes nasales nécessitant un abaissement du voile du palais.

3. La déglutition

Lors de la déglutition, le voile du palais permet d'isoler le rhinopharynx de la voie digestive et de diriger le bol alimentaire vers l'hypopharynx.

4. L'audition

Le voile du palais joue un rôle dans l'audition : il permet le déclenchement de l'aération de la trompe d'Eustache. Le voile du palais a donc un rôle à la fois linguistique et extralinguistique.

2. Mouvement articulatoire du voile du palais

Il faut rendre compte du voile du palais comme d'un élément faisant partie d'un complexe vélopharyngé. De plus, la mécanique du voile du palais n'est pas binaire, on le représente bien souvent comme un clapet qui permet de passer, schématiquement, d'une position 0 (élevée) à 1 (abaissée). Or, cela s'avère beaucoup plus complexe.

En effet, on parle de sphincter (au même titre que le sphincter aryépiglottique ou pharyngé sur la Figure 8.b., par exemple) ou port vélopharyngé, composé du voile du palais et des parois pharyngées latérales et postérieures (Figure 8.a.). Ils agissent tous les deux de concert dans la réalisation de la nasalité (Amelot *et al.*, 2003 ; Conessa *et al.*, 2005). La nasalité résulte donc d'une contraction de la paroi pharyngée postérieure et latérale ainsi que de l'élévation et de l'épaississement du voile.

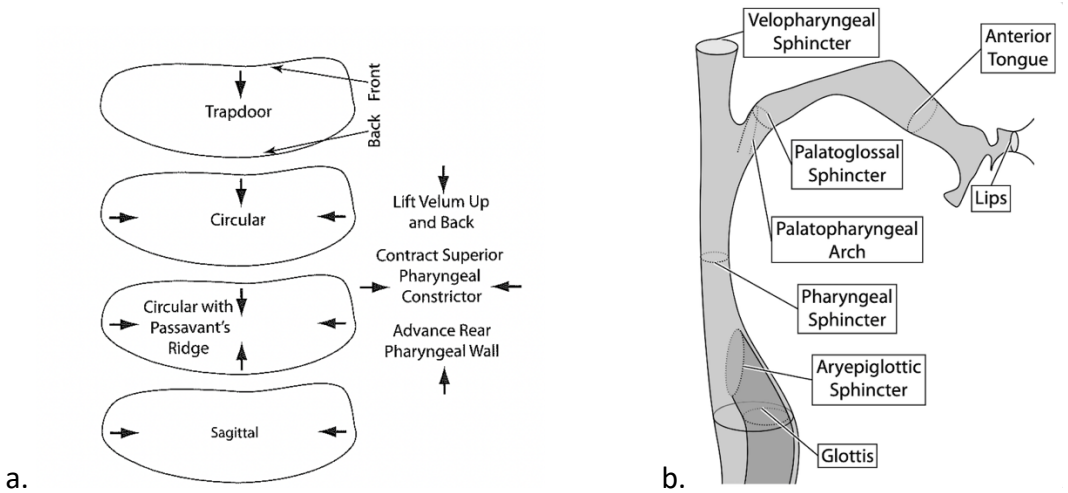


Figure 8 : a. Différents mécanismes de fermeture du port vélopharyngé superposés sur une coupe transversale à travers le port vélopharyngé (Gick et al., 2013, p. 135), b. Représentation schématique des sphincters de la parole (Gick et al., 2013, p. 132)

Le sphincter peut se réaliser de diverses manières, comme en atteste la figure 8.a. ci-dessus. De nombreux auteurs (Croft *et al.*, 1981 ; Skolnick *et al.*, 1973) ont montré qu'il y a quatre manières de réaliser l'occlusion du port vélopharyngé :

- coronale ou "trapdoor" : le velum se rapproche de la paroi pharyngée postérieure,

- sagittale : les parois latérales bougent pour se rapprocher de la partie postérieure du velum,

- circulaire : les parois pharyngées latérales se rapprochent du velum,

- circulaire avec le bourrelet de Passavant : en plus du mouvement circulaire, il y a un mouvement de la paroi pharyngée postérieure qui présente un "bourrelet de Passavant" à l'endroit de l'occlusion avec le velum.

La production de voyelles nasales ne dépend pas que de l'abaissement du velum (Figure 9). Des études à l'aide de la cinéradiographie (Bothorel, 1986 ; Brichler-Labaeye, 1970 ; Straka, 1965 ; Zerling, 1984) et plus récemment de l'IRM (Demolin *et al.*, 1998) ont montré que les voyelles nasales du français étaient articulatoirement différentes des voyelles orales dites correspondantes (Figure 9).

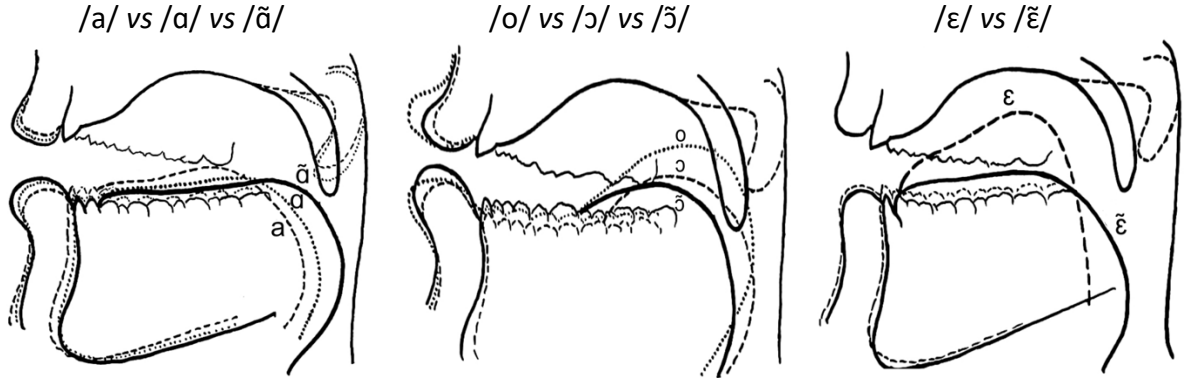


Figure 9 : Profils articulatoires comparés de voyelles orales (pointillé) et nasales (trait plein) à partir de données cinéradiographiques (Straka, 1965, p.57-58)

D'un point de vue général, en plus de l'abaissement du voile du palais, les voyelles nasales se distinguent des voyelles orales par :

1. la position de la langue ;

Les voyelles nasales sont plus postérieures que leurs « homologues » orales. Les auteurs s'accordent sur ce constat pour les 2 couples /a/ *vs* /ɑ̃/ et /ɔ/ *vs* /ɔ̃/ sauf pour /ɛ/ *vs* /ɛ̃/ pour lequel Brichler-Labaeye (1970) évoque une centralisation de /ɛ̃/ par rapport à /ɛ/.

2. l'aperture ;

/ɑ̃/ est considérée comme moins ouverte que /a/.
/ɛ̃/ est plus ouverte que /ɛ/ pour les études citées ci-dessus sauf pour Zerling (1984).
/ɔ̃/ est plus fermée que /ɔ/ se rapprochant parfois de /o/.

3. l'arrondissement ;

Toutes les études s'accordent à considérer /ɑ̃/ comme étant plus arrondie que /a/ de même que /ɔ̃/ par rapport à /ɔ/.

De ce fait, on ne peut pas parler de voyelles orales et de leurs contreparties nasales : /ɑ̃/ n'est pas un /ɑ/ où seul le voile du palais se serait abaissé, d'autres mouvements articulatoires entrent en compte.

L'ouverture vélopharyngée varie selon la voyelle nasale. Demolin *et al.* (1998) ont montré que pour /ɔ̃/ l'ouverture vélopharyngée est la plus petite en conséquence d'une position plus haute et plus en arrière de la langue par rapport aux trois autres voyelles nasales /ɑ̃/, /ɛ̃/ et /œ̃/.

III. La nasalité du point de vue aérodynamique

1. Principes généraux de l'aérodynamique

Cette partie est rédigée à l'aide de Teston (1980).

L'aérodynamique est le fondement même de la production de parole, la connaissance des volumes d'air mobilisés a une importance pour l'étude de certains aspects de la phonation.

Le flux est un terme utilisé pour décrire le mouvement de la quantité (volume) de gaz dans un milieu donné et une unité de temps. La quantité de flux est directement proportionnelle à la pression conduite et inversement proportionnelle à la résistance du conduit dans lequel le flux se propage. Ainsi :

$$U = \frac{P}{Z}$$

Avec *U* = flux*, P* = pression motrice et *Z* = impédance ou résistance dans le conduit (Baken, 1987, p. 338).

Les paramètres aérodynamiques de la phonation sont les pressions, et, par corollaire les débits d'air. L'unité de mesure de la pression est le pascal (Pa). En aérodynamique, on utilise généralement l'hectopascal (hPa) : 1hPa équivaut à 100 Pa. Quant aux mesures de débit d'air, on utilise le litre par minute ou par seconde. Mais on peut aussi trouver le décimètre cube (dm^3) : 1 litre équivaut à 1 dm^3.

La pression sous-glottique (PSG) est le départ de toute manifestation phonatoire, celle-ci étant liée à l'air venant des poumons, le second paramètre est la pression intra-orale (PIO) ou pression intra-pharyngée ou encore pression sus-glottique. La pression résultante de la différence PSG moins PIO est la pression motrice du débit d'air transglottique. La pression sous-glottique (PSG) de l'air emmagasiné dans les poumons crée pendant la phonation des

débits d'air à travers le conduit vocal, débits qui peuvent s'écouler par la bouche ou le nez (Teston, 1980). On parlera respectivement de débit d'air oral et nasal.

La variation des volumes, pressions et patrons aérodynamiques monopolisés est en lien avec les changements d'articulation des différents phonèmes au sein du conduit vocal. En effet, les volumes en jeu par exemple, pour la production des consonnes occlusives par rapport aux voyelles n'auront pas la même dynamique : la voyelle sera caractérisée par un flux d'air oral continu, avec possiblement un flux d'air nasal dans le cadre de voyelles nasalisées ou nasales, alors que pour les consonnes occlusives, un arrêt de la colonne d'air en un point d'articulation est caractéristique de ces sons.

Pression et débit sont deux mesures différentes :
La pression est une force exercée sur une surface à un instant *t*.
Le débit est un écoulement continu, il induit un volume durant un temps donné.

L'exemple du flux d'air traversant un tube permet d'illustrer ces deux notions :
La pression est la force exercée par le fluide en mouvement sur les parois du tuyau.
Cette force est due à la vitesse du fluide et à sa densité.
Le débit, quant à lui, est le volume de fluide qui passe par un point du tuyau en un certain temps.
La pression est donc une mesure de la force du fluide, tandis que le débit est une variation du volume du fluide.

Bien que distincts, la loi de Boyle-Mariotte permet de relier la pression et le débit :
A température constante et pour une quantité de gaz donnée, le produit de la pression *P* par le volume *V* est constant :

$$P\ x\ V = constante$$

En d'autres termes, pour une quantité de gaz donnée, à température constante, la pression augmente lorsque le volume diminue et inversement.

2. L'aérodynamique dans le cadre de la production de la nasalité

L'aérodynamique apporte des informations précises sur le processus de nasalisation en étant un stade intermédiaire entre l'articulation et l'acoustique.

Durant la parole, lorsque le port vélopharyngé est ouvert et la pression intra-orale suffisante, l'air passe par les cavités nasales. C'est le cas pour les phonèmes nasals qui ont un débit d'air nasal positif.

Le flux d'air nasal est un indicateur indirect de la fonction vélaire chez les sujets sains et, peut être utilisé pour mieux comprendre les facteurs linguistiques et physiologiques qui affectent la fonction vélopharyngée normale (Benguerel, 1974 ; Cohn, 1990 ; Huffman, 1989). En outre, les locuteurs atteints d'anomalies vélopharyngées ou de pathologies neuromusculaires, peuvent présenter des patrons de flux d'air nasal différents de ceux

observés sur des items de parole de sujets normaux. Pour cette raison, les données sur le débit d'air sont souvent utilisées dans le diagnostic et l'évaluation des conditions impliquant à la fois une résonance nasale excessive (hypernasalité) et une résonance nasale insuffisante (hyponasalité), comme discuté dans Warren *et al.* (1993).

Les données aérodynamiques peuvent être impactées par l'activité musculaire. La tension des muscles impliqués dans la production de la parole avant l'élocution est une observation courante qu'on appelle le *speech ready gesture*. Dans le cas de la nasalité, il s'agit de l'activité du *levator palatini*, qui est principalement responsable de l'élévation du voile du palais. Ces effets peuvent disparaître avant le premier phonème d'un énoncé, ou peuvent être maintenus durant tout le début de l'énoncé. Le voile du palais se relève avant, ou à certains moments durant la consonne /m/. Ce geste est antagoniste aux prérequis articulatoires du trait nasal. De la même manière, un *speech-relaxation gesture* (abaissement du velum) avant la fin de l'énoncé ou après son achèvement peut être observé sur le dernier CVC juste avant la pause. Des données montrent aussi souvent une position du velum qui s'abaisse de plus en plus avec le temps. Cela reflète une relaxation générale des articulateurs avec le temps. *Speech ready gesture*, *speech relaxation gesture* et la relaxation générale des articulateurs avec le temps compliquent l'interprétation des données. Ces phénomènes ne sont pas prédictibles à partir du contenu linguistique et obscurcissent la relation entre les traits segmentaux et les patrons articulatoires.

La position impacte le débit d'air nasal : les phonèmes nasals en position initiale pour les constituants hauts ont généralement moins de débit d'air, de même qu'une position du velum plus haute (Fujimura, 1977 ; Krakow, 1989) qu'en position finale.

La moyenne de débit d'air nasal varie selon la voyelle nasale (Delvaux, 2003). Cette étude sur les voyelles nasales du français a mis en évidence que la moyenne de débit d'air nasal était la plus importante sur la voyelle /ɔ̃/ (70,3 cm^3/s) et la plus faible sur /ɑ̃/ (26,4 cm^3/s). Plus la voyelle est ouverte, plus le voile est abaissé mais cet abaissement important ne compense pas l'effet de l'aperture : il y aura moins d'air sortant par les cavités nasales que par la cavité buccale pour une voyelle nasale ouverte par rapport à une semi-fermée.

IV. La nasalité du point de vue acoustique

> *« Les principaux attributs acoustiques de la nasalité se trouvent dans les fréquences basses du spectre ! » (Delattre, 1954, p. 106)*

L'abaissement du voile du palais modifie l'aire de la cavité orale en la réduisant et en augmentant proportionnellement l'aire du port vélopharyngé (Maeda, 1982). Ce changement est la première étape vers la nasalisation. Ensuite, un couplage acoustique entre cavités orale et nasales se met en place.

Les cavités nasales et sinusiennes diffèrent des autres organes de la parole dans le sens où elles constituent une structure acoustique statique, couplée comme une branche latérale au conduit vocal. L'ajout de ces cavités engendre une perturbation acoustique. Les résonances propres aux cavités nasales viennent s'ajouter à celles de la cavité orale. Elles contribuent aux propriétés spectrales de la cavité orale.

Globalement, la nasalité introduit deux éléments :

- des résonances nasales, appelées aussi formants nasals ou pôles/pics, elles correspondent à de l'énergie provenant des cavités nasales. Lorsqu'un pic est observé dans le spectre, il reflète un phénomène de résonance.

- des anti-résonances nasales, appelées aussi anti-formants ou zéros, elles résultent d'un amortissement du signal en raison du couplage nasal. Une autre cavité de résonance est ajoutée au conduit vocal. Avec cette addition, certaines résonances de la cavité orale s'annulent. En effet, les fréquences résultant de la connexion avec les cavités nasales se reflètent dans la cavité orale, si elles se rencontrent à la même fréquence alors elles s'annulent. Ces anti-résonances ont pour effet de réduire l'amplitude de certaines fréquences. Un creux pourra être observé dans le spectre, témoignant d'un phénomène d'anti-résonance.

Les résonances des deux cavités interagissent d'une manière assez complexe. Cette complexité est notamment due au fait que la morphologie des cavités nasales diffère énormément d'un individu à l'autre. En effet, l'acoustique observée pour un individu peut difficilement prédire le comportement observable chez d'autres individus.

Les résonances des cavités nasales sont caractérisées par la combinaison du conduit nasal et pharyngé et l'anti-résonance de la cavité orale.

L'amortissement du signal acoustique au sein des cavités nasales est plus important que dans le conduit oral en raison de la large surface des cavités nasales, des passages étroits présents dans les cavités nasales et des tissus mous les recouvrant.

Ce phénomène entraîne une largeur de bande plus importante des formants et une baisse de l'amplitude des sons. La morphologie des cavités nasales présentant une variabilité importante entre individus, la quantité d'amortissement le sera tout autant (House & Stevens, 1956). De même que l'asymétrie des cavités nasales joue un rôle important dans la forme du spectre nasal (Fujimura & Lindqvist, 1964 ; Maeda, 1982).

1. Caractéristiques spectrales des consonnes nasales

Les consonnes nasales sont produites avec une occlusion à un point donné du conduit oral et un passage de l'air par les cavités nasales. Ce passage ainsi que la connexion des cavités orale et nasales aboutit à un murmure nasal.

Les indices de la nasalité consonantique seraient (Delattre, 1954) :

- Un formant aux alentours de 250 Hz,
- Un formant assez fixe aux alentours de 2000 Hz,
- Un formant de fréquence plus variable vers 900 Hz, il varie légèrement selon l'entourage vocalique et le lieu d'articulation de la consonne nasale.

La position des anti-formants est caractéristique du murmure de chaque consonne (Fujimura, 1962). Ils sont localisés à 750 et 1250 Hz pour /m/ et 1450 et 2200 Hz pour /n/. Leur place change selon l'entourage vocalique en raison des configurations orales différentes. Ils

seront plus hauts quand la consonne précède une voyelle antérieure et plus bas pour une voyelle postérieure.

Les anti-formants de /n/ sont plus amortis que ceux de /m/. La configuration de la cavité orale n'étant pas la même : on observe moins de perte acoustique pour /m/ que pour /n/. La largeur de bande des anti-formants sera donc plus petite pour /m/.

En théorie, les anti-formants ont une influence sur la structure formantique des consonnes. Pour /m/, le premier et quatrième formants sont stables, le deuxième et troisième formants forment avec l'anti-formant un cluster variable, tandis que pour /n/ ce cluster se situe entre le troisième et le quatrième formants. Le premier, deuxième et cinquième formants sont stables. Cependant, les formants au-delà du premier formant sont peu visibles dans la parole naturelle concernant les consonnes nasales. En effet, dans l'étude de Fujimura (1962), les formants et anti-formants sont générés par une analyse par synthèse. Cette méthode implique la comparaison des spectres de la parole avec une série de spectres synthétisés dans l'analyseur. Chaque spectre de comparaison est généré selon un ensemble de règles basées sur une théorie acoustique de la production de la parole. Le résultat de l'analyse de chaque spectre d'entrée est un ensemble de paramètres qui décrit le spectre synthétisé fournissant la meilleure correspondance.

2. Caractéristiques spectrales de la nasalisation des voyelles

Les voyelles nasalisées sont souvent décrites en les comparant avec les voyelles orales, en cherchant à savoir de quelle manière elles en différent.

La première caractéristique est la présence de résonances et d'anti-résonances supplémentaires qu'on appelle paires de pôle-zéro : la manière dont elles seront réparties dans le spectre dépend de la structure formantique de la voyelle. Les effets du couplage nasal dépendront donc de la qualité de la voyelle. Il s'observe, à mesure que le couplage nasal augmente, par un déplacement des fréquences de résonance initiales de la voyelle orale vers les hautes fréquences et l'ajout de paires de pôle-zéro dans la fonction de transfert (Fujimura, 1961 ; Fujimura & Lindqvist, 1971 ; House & Stevens, 1956 ; Maeda, 1993). Dans le cas d'un couplage faible, cette paire apparaît entre F1 et F2 et à mesure que le couplage augmente cette paire se déplacera dans les hautes fréquences. Les études qui ont fait ce constat sont de deux types : avec des mesures prises in vivo (Fujimura, 1961 ; Fujimura & Lindqvist, 1971) et avec des modélisations acoustiques (House & Stevens, 1956 ; Maeda, 1993) à l'aide de tubes qui représentent les conduits de la parole.

Les changements les plus consistants de cette nasalisation dans le spectre se situe dans les basses fréquences à proximité du premier formant. Les études sur les voyelles nasales ont pu rapporter :

- Une baisse de l'amplitude premier formant et augmentation de sa largeur de bande (Delattre, 1954 ; House & Stevens, 1956 ; Lonchamp, 1988),

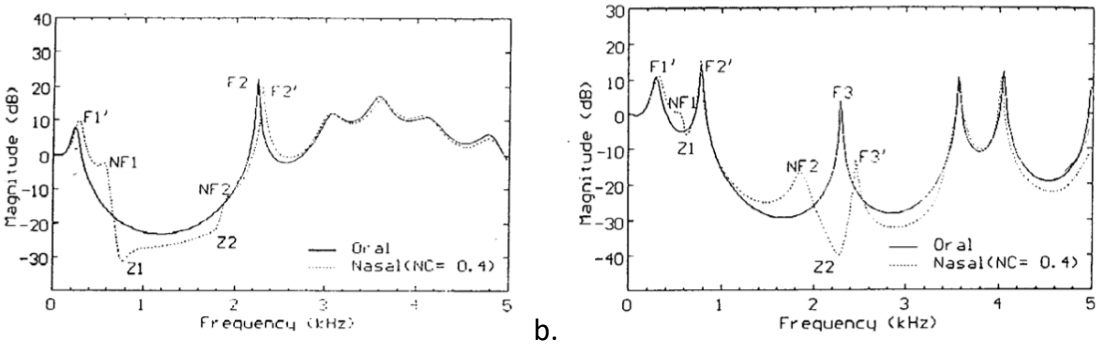
- L'apparition d'un premier formant nasal aux alentours de 250 Hz (Delattre, 1954),
- L'apparition d'un deuxième formant nasal vers 2000 Hz (Delattre, 1954),
- Une stabilité du deuxième formant de la voyelle orale (Delattre, 1954).

Les études sur les voyelles nasalisées ont montré :

- Une baisse de l'amplitude du premier formant et augmentation de sa largeur de bande (House & Stevens, 1956),
- Une réduction de l'amplitude générale de la voyelle (House & Stevens, 1956),
- Une augmentation de la largeur de bande des formants (Dickson, 1962 ; House & Stevens, 1956),
- Une augmentation ou baisse de l'amplitude des harmoniques, les premiers harmoniques sont sensibles à la nasalité (Chen, 1997 ; Dickson, 1962 ; Hattori *et al.*, 1958 ; Simpson, 2012).

Maeda (1993), à l'aide d'une simulation du couplage nasal, a mis en évidence quatre types différents de modifications spectrales pour la nasalisation des voyelles. Elles dépendent des caractéristiques articulatoires des voyelles.

- Partant du fait que le premier formant nasal pour un locuteur masculin est environ à 400 Hz, lorsqu'une voyelle avec un F1 en-dessous de 400 Hz est nasalisée, la résonance la plus basse est toujours F1 et la paire de pôle-zéro apparait au-dessus de F1. Pour /i/ et /y/ le NF1 (*Nasal Formant)* devrait apparaitre à la droite de F1 accompagné d'un creux dû à la présence de Z1 (pour *anti-formant nasal*) à des fréquences plus hautes. Le pic NF1 est suffisant pour produire une nasalisation perceptible (Figure 10.a.).
- /u/ est différent en raison de l'arrondissement important des lèvres : la résonance nasale se situe entre F1 et F2. NF1 et Z1 se séparent à mesure que le velum s'abaisse mais ils restent toujours entre F1 et F2 mais sans affaiblissement de F1 et F2. En revanche, il y aura un affaiblissement et un déplacement vers les plus hautes fréquences pour F3 (Figure 10.b.).

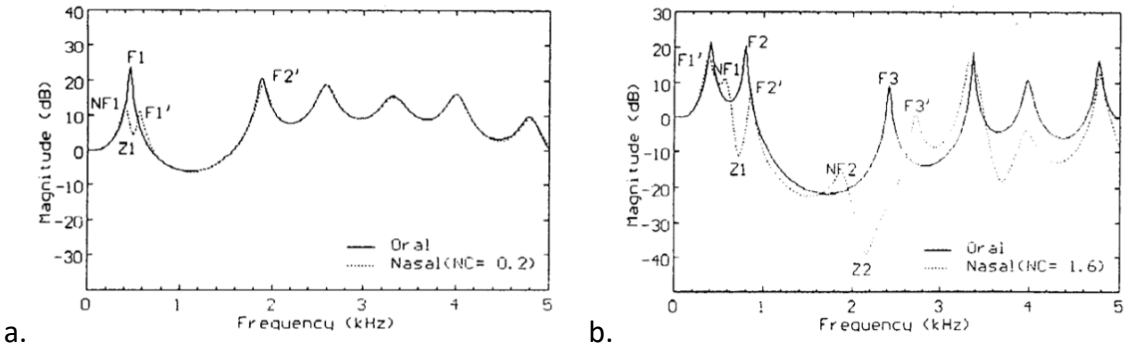


a. b.

Figure 10 : Fonctions de transfert en trait plein pour /i/ en a. et /u/ en b. et en pointillé pour leurs versions nasalisées. Le degré de couplage nasal (NC) en cm² utilisé est indiqué en bas à droite sur la figure (Maeda, 1993, p. 154)

Pour les autres voyelles (de moyenne et grande aperture), F1 est au-dessus de 400 Hz, il peut donc être affecté par Z1.

- Les voyelles antérieures /e, ɛ, œ, ø/ : Étant donné que leur F2 est plus haut que la fréquence nasale de 400 Hz, il ne sera pas affecté par Z1. A mesure que le couplage augmente, NF1 apparait en dessous de F1. En même temps, Z1 se rapproche de plus en plus de F1, et l'affaiblit. Plus F1 est haut, plus les hautes fréquences ne sont pas affectées par les paires de pôle-zéro. Pour ces voyelles, le principal effet du couplage est d'affaiblir F1 (Figure 11.a.).
- Les voyelles postérieures /a, ɑ, o, ɔ/ : F1 et F2 peuvent être influencés par Z1 selon le degré de couplage. F2 peut être affaibli si l'ouverture vélopharyngée est importante. F3 se déplace vers les hautes fréquences créant un cluster entre NF1, F1 et F2 d'un côté et F3 de l'autre. Cette séparation entre basses et hautes fréquences est visible sur les spectrogrammes par un « œil nasal » et sert d'indices pour identifier la nasalisation des voyelles postérieures (Figure 11.b.).



a. b.

Figure 11 : Fonctions de transfert en trait plein pour /ɛ/ en a. et /o/ en b. et en pointillé pour leurs versions nasalisées. Le degré de couplage nasal (NC) en cm² utilisé est indiqué en bas à droite sur la figure (Maeda, 1993, p. 154)

V. La nasalité du point de vue de la perception

1. Perception des consonnes nasales

Perceptivement, les consonnes nasales sont hautement distinctes des consonnes orales mais se confondent entre elles (Mohr & Wang, 1968 ; Wang & Fillmore, 1961).

La perception de la nasalité consonantique dépend de :

- La transition formantique entre la voyelle adjacente et la consonne nasale, elle est un indice important dans la perception de /m/, /n/ et /ŋ/. En effet, elle sert d'indice pour identifier le lieu d'articulation de la consonne. La résonance nasale produite durant l'occlusion sert principalement à identifier le son comme étant nasal (Malécot, 1956),

- La nasalisation des 10-20 ms de parole suivant le relâchement suffit à percevoir la consonne comme nasale (Blumstein & Stevens, 1979 ; Kurowski & Blumstein, 1987),
- Des propriétés acoustiques du murmure nasal : la position des anti-formants permet d'identifier la consonne nasale (Fujimura, 1962).

2. Perception des voyelles nasalisées et nasales

Les voyelles nasalisées sont perceptivement moins distinctes les unes des autres que les voyelles orales (Mohr & Wang, 1968).

Il existe un rapport non linéaire entre la perception de la nasalité, l'identité de la voyelle et le degré du couplage nasal (House & Stevens, 1956 ; Maeda, 1993). Maeda (1993) a simulé acoustiquement six étapes de couplage nasal allant de 0 à 2,5 cm^2 sur les voyelles /ɑ, i, u/. Le test de perception consistait à évaluer le degré de nasalisation de 0 (non nasalisé) à 4 (très nasalisé). L'étude révèle une efficacité perceptive plus importante du couplage nasal pour /i/ que pour /ɑ/ (Figure 12). En effet, avec un couplage supérieur à 1,6 cm^2, la perception de la nasalisation devient saillante alors que pour /i/ c'est le cas dès 0,4 cm^2.

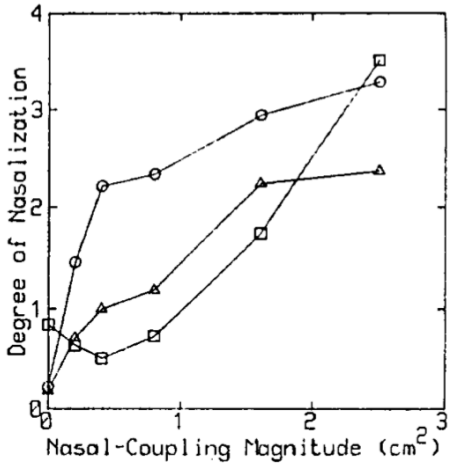


Figure 12 : Moyennes de degrés perçus de la nasalisation de /i/ (cercle), /a/ (carré) et /u/ (triangle) en fonction du couplage (Maeda, 1993, p. 157)

House et Stevens ont montré que pour /ɑ/ une ouverture de 2,5 cm^2 conduit à une perception de la nasalité dans 50% des cas alors que pour /u/ une ouverture de 1 cm^2 est suffisante pour que la nasalité soit perçue dans 75% des cas.

Benguerel et Lafargue ont, eux aussi, montré un rapport entre l'ouverture vélaire et le jugement de nasalité. Des auditeurs devaient juger la nasalité sur une échelle de cinq points à partir de voyelles. Une ouverture vélaire plus importante est nécessaire pour percevoir /ɑ/ comme nasalisé contrairement aux voyelles /ɛ/ et /ɔ/ (Benguerel & Lafargue, 1981).

/a/ est la voyelle pour laquelle le voile du palais est le plus bas mais cet abaissement n'est pas efficace du point de vue perceptif (Durand, 1953).

Les études ayant manipulé le spectre des voyelles directement ont montré que les voyelles sont jugées nasales quand le spectre est modifié dans les basses fréquences notamment lorsqu'il y a un affaiblissent de l'intensité de F1 (Delattre, 1954 ; House & Stevens, 1956 ; Maeda, 1993).

La durée de la voyelle a un impact sur la perception de la nasalité. Delattre et Monnot ont montré que les voyelles nasales étaient plus longues que les voyelles orales. Ils ont ensuite

synthétisé des voyelles en leur donnant un degré intermédiaire de nasalité entre une voyelle complétement orale et nasale. Si ces voyelles étaient brèves, elles étaient perçues comme orales alors que si elles étaient longues, elles étaient identifiées la plupart du temps comme nasales (Delattre & Monnot, 1968).

La voix *breathy* peut donner l'impression d'une voix nasalisée : des indices acoustiques sont communs aux qualités de voix soufflée et nasale (Arai, 2006). Il s'agit dans les deux cas d'ajouts de creux spectraux.

VI. Les rapports entre ces paramètres

1. Multidimensionalité de la nasalité

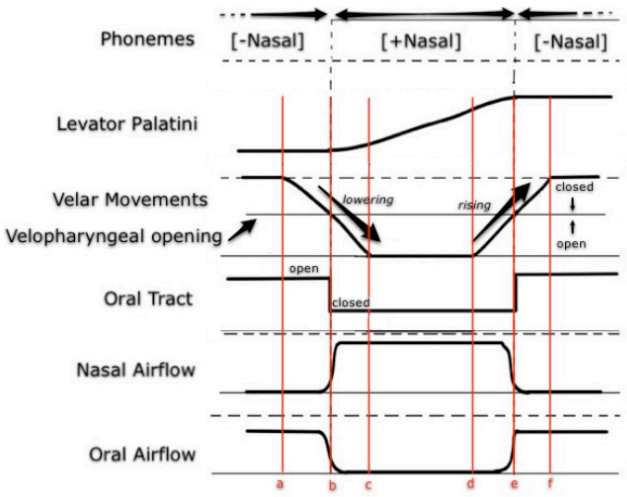


Figure 13 : Cas idéal pour une consonne nasale (Clements et al., 2015, p. 201)

La présentation des différents paramètres de la nasalité montre son caractère multidimensionnel : l'articulatoire, l'aérodynamique, l'acoustique et la perception sont mis en rapport de manière non linéaire reflétant toute la complexité du trait nasal.

Comme l'illustre la figure 13, le trait nasal est principalement mis en œuvre par la relaxation du muscle *levator palatini*, durant le phonème précédant le phonème nasal. L'absence d'activité permet au velum de s'abaisser, ce qui ouvre le port vélopharyngé et relie les cavités nasales à la cavité buccale. Cette figure montre l'alignement temporel "idéal" entre les gestes d'ouverture vélopharyngée et de fermeture supralaryngée durant une consonne nasale, avec la coarticulation due à l'activité vélaire. Le velum s'abaisse pendant un certain temps (a-b) avant que le port vélopharyngé ne s'ouvre (b), et commence à s'élever (d) avant que l'orifice vélopharyngé ne se ferme. Idéalement, l'orifice vélopharyngé s'ouvre lorsque le tractus supralaryngé se ferme : tout l'air passe par le nez et il n'y a pas de flux d'air oral.

Ce schéma « idéal » témoigne de l'implication de plusieurs éléments à des niveaux différents : le niveau musculaire avec l'action du *levator palatini* et des mouvements vélaires, la configuration articulatoire du conduit oral, ainsi que le niveau aérodynamique avec les débits d'air oral et nasal. Or, cette synchronisation des différents niveaux reste bien souvent

théorique. Un abaissement maximal du velum n'engendrera pas forcément un flux d'air nasal, un couplage acoustique maximal, et *a fortiori* une perception du son comme nasal. Un rapport non-linéaire existe entre les différentes dimensions, certaines dimensions entraînent un rapport plus fort que d'autres entre elles :

- Rapport articulatoire et aérodynamique :

Le débit d'air nasal est influencé par le degré d'ouverture vélaire (Krakow & Huffman, 1993 ; Warren *et al.*, 1987 ; Warren *et al.*, 1993). Une ouverture vélaire minimale de 0,4 cm^2 est requise pour que l'air puisse s'écouler par les cavités nasales (Warren *et al.*, 1987). Warren et ses collègues ont comparé un groupe avec des difficultés respiratoires avec un groupe de locuteurs sains. Les 30 locuteurs sains ont une moyenne d'ouverture vélaire comprise au-dessus de 0,4 cm^2 jusqu'à 0,98 cm^2 comparée aux locuteurs pathologiques qui sont en-dessous de 0,4 cm^2.

La présence d'un flux d'air nasal indique que le port vélopharyngé est ouvert mais son absence ne signifie pas que le port vélopharyngé est fermé (Warren *et al.*, 1987). Le flux d'air nasal n'est pas forcément nécessaire pour créer un couplage acoustique entre cavités orale et nasales et la quantité de débit d'air est dépendante du locuteur (Basset *et al.*, 2001).

En plus de l'ouverture vélopharyngée, une impédance suffisante est nécessaire dans la cavité orale pour que l'air soit poussé dans les cavités nasales.
Un débit d'air nasal peut être présent sur les phonèmes oraux : le mouvement de remontée du velum à la fin d'un phonème nasal déplace un volume d'air qui sera par la suite mesuré en tant que flux d'air nasal (Lubker & Moll, 1965).

- Rapport articulatoire et perception :

La dimension temporelle de l'activité vélopharyngée aurait un impact significatif sur la perception de la nasalité. Si la durée du mouvement d'ouverture et fermeture du port vélopharyngé est trop longue avant et après le phonème nasal, la voix est souvent jugée hypernasale et inversement, si la durée est trop courte, la voix est considérée comme hyponasale (Warren *et al.*, 1993). La quantité de flux d'air nasal semble avoir un effet plus faible sur la nasalisation que la durée d'ouverture ou de fermeture du sphincter vélopharyngé.

Outre cette dimension temporelle, un rapport non-linéaire existe entre le degré de couplage nasal et la perception comme nous avons pu le voir dans la partie V.2 de ce chapitre, p.31.

2. Coarticulation

Ces rapports non linéaires entre les différentes dimensions de la nasalité entraîne des phénomènes de coarticulation. Les mouvements réalisés par les articulateurs pour produire les sons de la parole se chevauchent et interagissent les uns avec les autres.

Le passage du voile du palais d'une position haute à basse et vice-versa n'est pas instantané : il faut environ 50 ms pour que le voile s'abaisse suffisamment pour pouvoir nasaliser un phonème (Ohala, 1975). Par cette contrainte articulatoire, un minimum de coarticulation est de fait attendu.

La nasalisation est un phénomène qui ne se cantonne pas à la présence du phonème nasal : l'ouverture et la fermeture du port vélopharyngé pour les consonnes nasales tend à nasaliser les voyelles qui les précèdent et suivent (Warren & Dubois, 1964).

La hauteur du voile du palais dépend du contexte phonétique (Vaissière, 1995) :

- De manière générale, le voile du palais sera plus élevé pour les voyelles fermées que pour les voyelles ouvertes. Il en va de même pour les consonnes occlusives et fricatives par rapport aux autres consonnes.
- Dans le contexte C_nVC_n en français, la hauteur du velum pendant une voyelle est plus influencée par la consonne nasale précédente que par la consonne qui la suit (Amelot & Rossato, 2006).
- En anglais, la hauteur du voile du palais varie selon la position des phonèmes dans la syllabe, le mot, la phrase.

  En position initiale de syllabe (Vaissière, 1988) dans C_1VC_2, C_1 est plus élevé que C_2 et dans $C_{n1}VC_{n2}$, C_{n1} plus élevé que C_{n2}. En position initiale, une consonne nasale est phonétiquement moins nasalisée qu'en position finale.

  En position initiale de mot, le voile du palais est plus élevé, cela pourrait être dû à une contraction de l'ensemble des muscles du voile du palais.

  En position initiale de phrase : au début de la phrase, le voile du palais est dans une position un peu plus relevée qu'à la fin. Il s'abaisse progressivement au cours de la phrase.
- En anglais, en syllabes inaccentuées, la différence de hauteur intrinsèque du voile du palais entre phonèmes oraux et nasals diminue (Vaissière, 1995).

Les études articulatoires à partir de la fibroscopie (Amelot, 2004 ; Benguerel, 1974) et de l'électromyographie (Benguerel *et al.*, 1977) montrent une anticipation du geste d'abaissement vélaire avant le phonème nasal (coarticulation anticipatoire) tandis que les études aérodynamiques montrent plutôt un phénomène de propagation du débit d'air nasal après le phonème nasal (coarticulation persévératrice) (Amelot, 2004 ; Amelot *et al.*, 2002 ; Basset *et al.*, 2001 ; Benguerel, 1974 ; Cohn, 1990).

L'étude nasographique, qui consiste en l'enregistrement des mouvements du velum au moyen d'un dispositif photoélectrique, de Clumeck (Clumeck, 1976) a montré que le degré de coarticulation nasale est dépendant de la langue : les locuteurs abaissent leur velum à différents points de la voyelle précédant la consonne nasale selon leur langue maternelle. Les locuteurs américains et brésiliens présentent la plus grande assimilation nasale sur les voyelles, alors que les locuteurs de la langue Amoy en présentent le moins .

Les études avec un articulatographe électromagnétique (Amelot & Rossato, 2006 ; Rossato *et al.*, 2003) ont noté un effet de propagation important du mouvement d'abaissement du velum pour les voyelles au niveau articulatoire, bien que cela n'ait pas systématiquement d'effets significatifs sur les pics spectraux.

Basset *et al.* (2001), à partir de données aérodynamiques, ont rapporté que le voisement était le principal facteur expliquant la nasalisation des consonnes orales par coarticulation, les consonnes voisées étant plus nasalisées (78% d'anticipation) que les consonnes dévoisées (34% d'anticipation) dans les séquences CṼ. Le mode d'articulation n'a

pas été considéré comme un facteur déterminant, bien que 38% des occlusives contre 77% des fricatives aient été nasalisées par anticipation.

Le style d'expression orale (spontané *vs* lu) n'a pas d'impact sur l'anticipation ou la propagation du débit d'air nasal. Aucune différence n'a pu être établie entre ces deux styles. Aussi bien en parole spontanée que lue, les résultats montrent une tendance au démarrage du flux d'air nasal avant le phonème nasal et une forte propension à se propager après le phonème nasal (Basset *et al.*, 2001).

VII. Les instruments pour étudier la nasalité

Nous nous intéresserons ici aux différentes instrumentations permettant d'étudier la nasalité.

Ces instruments s'intéressent à des niveaux différents de la parole : les muscles engendrant le mouvement vélaire, les mouvements du voile du palais, l'ouverture du port vélopharyngé et les conséquences aérodynamiques et acoustiques de ces mouvements.

Cette partie a été rédigée avec le support du premier chapitre de l'ouvrage « Nasals, Nasalization, and the velum » (Krakow & Huffman, 1993).

1. Un instrument pour l'étude de l'activité musculaire du mouvement : l'électromyographie (EMG)

Cette technique bien qu'invasive permet d'obtenir des informations sur l'activité électrique associée à une contraction musculaire. En effet, lorsqu'une impulsion est transmise entre le nerf et le muscle, une onde électrique est transmise le long des fibres musculaires.

L'usage premier de l'EMG était destiné au milieu médical. A partir de 1950, les études sur l'activité musculaire de la parole ont utilisé cette technique notamment dans le cadre du contrôle vélopharyngé.

Des électrodes sont placées par paires sur la zone concernée, l'activité électrique à ces deux endroits est enregistrée (Figure 14). Les électrodes peuvent être de deux types : de surface ou intramusculaire. Les électrodes de surface ont l'avantage d'être non-invasives mais sont limitées aux muscles de surface. L'activité électrique située en profondeur et non à la surface sera donc difficilement détectable. De même, lorsque les électrodes sont proches d'autres muscles, l'activité enregistrée comprendra un chevauchement de ces muscles et rend difficile l'exploitation des données. Il est compliqué de déceler quel muscle en particulier est en jeu.

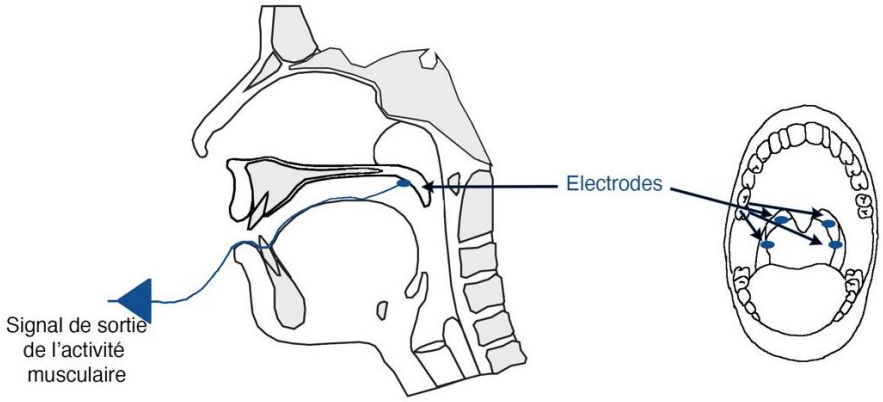


Figure 14 : Electromyographie

De ce fait, pour l'activité vélaire, ce type d'électrode n'est pas approprié : à cet endroit, les muscles se chevauchent et sont situés pour certains en profondeur.

Les électrodes intra-musculaires peuvent, elles, être insérées directement dans le muscle, et présentent l'avantage d'enregistrer l'activité individuelle de chaque muscle.

Dans les premières études électromyographiques, les électrodes à aiguille étaient utilisées mais leur rigidité et taille étaient problématiques pour être placées dans la cavité orale. Les mouvements rapides propres à la parole délogent bien souvent les électrodes de leur position, ce qui entraînait des artefacts dans le signal enregistré et un inconfort certain pour le locuteur. Par la suite, des électrodes « hook-wire » peuvent être insérées plus facilement dans la cavité orale et sont plus supportables pour le locuteur en raison de leur plus petite taille, flexibilité et légèreté. Après l'application d'un anesthésiant local, elles sont insérées dans les muscles et repliées sur elles-mêmes, laissant une longueur de fil enfoncée dans le muscle. Une fois les électrodes insérées, leur position doit être vérifiée. L'électrode pour le muscle *levator veli* est insérée lorsque le locuteur produit un /a/ tenu. Pour vérifier son placement, il est demandé au locuteur de produire un /s/ tenu. Il est attendu d'observer une activité marquée, en raison du geste d'élévation important du velum nécessaire à maintenir une pression orale adéquate à ce type de consonne. Pour ce type de vérification, des connaissances sur l'anatomie et leur variabilité entre individus sont indispensables.

En somme, l'EMG permet d'obtenir des informations sur la coordination et le contrôle articulatoire en observant l'activité de plusieurs muscles en même temps. Il est possible d'acquérir des données de type acoustique par exemple, simultanément. En revanche, cet instrument reste invasif et inconfortable pour le sujet. Il doit être réalisé sous le contrôle d'un médecin.

2. Des instruments pour l'étude du mouvement :

En général, les études sur le mouvement sont divisées en deux types : i) celles qui produisent une image de la région du conduit vocal concernée. Les techniques d'imagerie donnent des informations comme la position et la forme des articulateurs de manière statique ou dynamique. L'autre type de technique est ii) celles apportant des informations sur la position plutôt que sur la forme en faisant un tracking en temps réel de certains points d'un articulateur ou de l'amplitude d'ouverture ou de fermeture (lèvres, par exemple).

A. Techniques d'imagerie

i. Radiographie

Cette technique permet d'acquérir une grande diversité d'informations concernant l'activité articulatoire. Elle a été utilisée pour observer des phénomènes de nasalité par diverses études (Delattre, 1968 ; Straka, 1965).

Le principe de la radiographie repose dans l'envoi de rayons X à travers le corps (Figure 15). La densité de tissus affectera la manière dont les rayons sont absorbés. L'image obtenue reflète cette variation de tissus. Dans le cadre d'études sur la parole, les images sont prises en vue latérale.

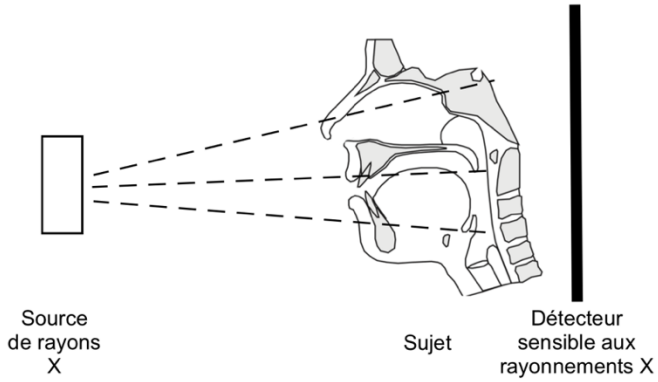


Figure 15 : Radiographie

La radiographie peut aussi être dynamique : la cinéradiographie. Des données de ce type sur les voyelles et consonnes du français ont été recueillies par Brichler-Labaeye (1970), Zerling (1984) et Bothorel (1986).

Cette technique d'imagerie permet la visualisation conjointe de plusieurs articulateurs mais présente un risque pour le locuteur en raison des radiations. La durée d'expositions à ces rayons en est limitée, ce qui *de facto* limite l'acquisition de données.

ii. Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

L'IRM statique ou dynamique est une technique relativement récente nous donnant des informations détaillées en trois dimensions des articulateurs. L'IRM permet d'obtenir des images tomographiques (série d'images de coupes minces) des tissus dans les plans sagittaux, coronaux, obliques et transversaux. Les images IRM fournissent une coupe de la distribution de la densité des noyaux d'hydrogène dans les tissus exposés à un champ magnétique (Figure 16). Les tissus ont une quantité d'eau différente, ce qui produit des images différentes sur une échelle de niveaux de gris. Le sujet est placé dans un champ magnétique fort qui perturbe les noyaux d'hydrogène. Contrairement à la radiographie, l'IRM ne présente pas de risque de radiation et permet une excellente discrimination des tissus mous.

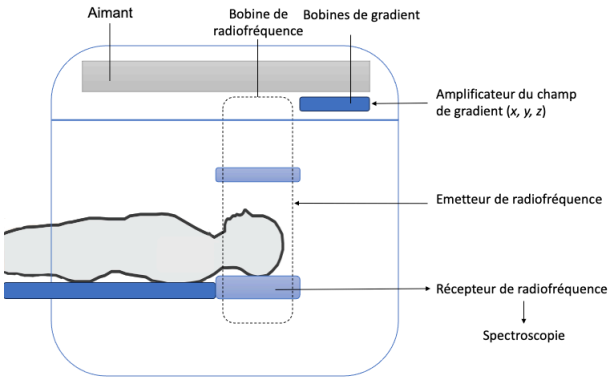


Figure 16 : Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Étant donné que l'IRM apporte une image multidimensionnelle et en raison de son caractère non irradiant, cette technique est considérée comme la meilleure pour l'acquisition de données sur la forme du conduit vocal (Baer *et al.*, 1991 ; Fitch & Giedd, 1999 ; Story *et al.*, 1996). Cependant, la position couchée propre à l'IRM n'est pas très naturelle en parole et le bruit présent à l'intérieur de l'appareil nécessite de filtrer le signal acoustique pour le rendre exploitable.

iii. Ultrasons

Tout comme la radiographie et l'IRM, les ultrasons permettent d'avoir des images des structures à l'intérieur du conduit vocal sans y insérer un instrument (Figure 17). Les ultrasons, en sciences de la parole, ont surtout été utilisés pour observer la forme et les mouvements de la langue. Ils permettent aussi d'étudier l'ouverture du port vélopharyngé mais de manière un peu plus indirecte. En effet, on ne voit pas directement les mouvements d'ouverture mais plutôt des zones sombres au moment où les parois entrent en contact. On interprète ainsi ces zones comme une fermeture vélaire.

Les ultrasons utilisent la propriété réflective des ondes sonores : un cristal piézoélectrique activé par un courant électrique émet une haute fréquence (non perceptible à l'oreille humaine). Un conducteur placé sur la peau permet aux ondes sonores de traverser celle-ci et sont retransmises quand elles atteignent des structures différentes. La frontière entre tissus et air est la plus réflectrice entraînant une réflexion presque complète des ondes ultrasoniques. Les ultrasons sont particulièrement utiles pour étudier les structures adjacentes à l'air comme la surface supérieure de la langue ou les plis vocaux, par exemple.

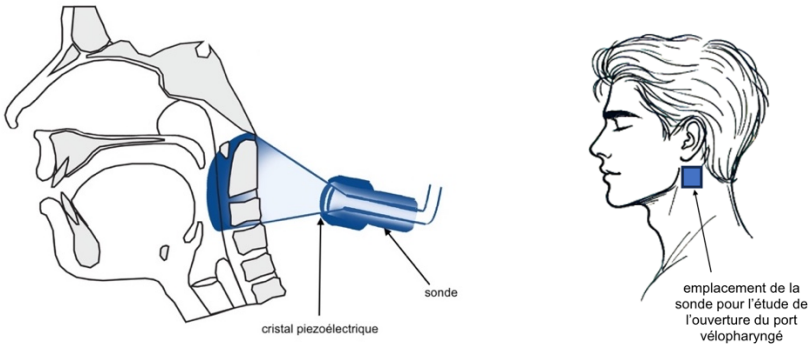


Figure 17 : Ultrasons

Pour étudier les mouvements du velum, la sonde est placée sous le lobe de l'oreille et consiste à suivre un point de la paroi pharyngée dans le temps. L'écho du mouvement entre air et tissu peut être visualisé par une différence d'amplitude dans le temps où l'amplitude du signal indique la distance relative de l'interface tissu-air par rapport au transducteur. Cette technique n'entraîne pas de désagrément pour le sujet, il n'y a pas de limite de temps. Elle est rapide et permet donc d'observer des phénomènes comme la coarticulation. Il est possible de la coupler avec une autre instrumentation. Par contre, elle est limitée par la structure des tissus : les ondes sonores ne passent pas au-delà des structures osseuses. Des différences d'interprétations en fonction de la position de la sonde sont possibles. Enfin, cela pose problème pour voir les tissus trop petits (en-dessous d'1 cm).

iv. Fibroscopie

La fibroscopie a été utilisée par beaucoup d'études pour obtenir des images de l'intérieur du conduit vocal (Figure 18). A la différence des techniques d'imagerie précédentes, l'endoscope doit être inséré à l'intérieur des cavités orale ou nasales. Les premiers usages de cette méthode en sciences de la parole étaient destinés au larynx. Par la suite, elle a été employée pour observer l'activité vélopharyngée.

Cet outil repose sur une méthode optique. En effet, il est composé d'un endoscope flexible à fibre optique avec deux éléments : un premier élément qui est un guide lumineux et un second qui retransmet l'image. Les fibroscopes ont évolué et sont maintenant numériques offrant une image de grande qualité et de haute définition.

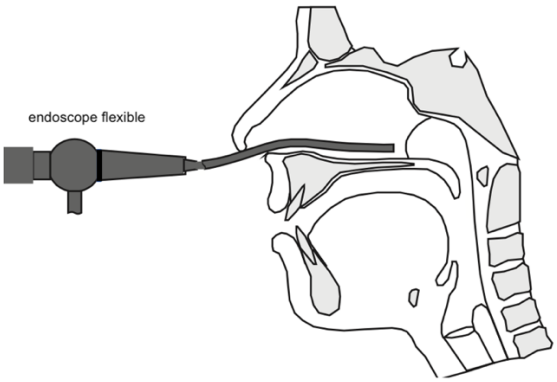


Figure 18 : Fibroscopie

Un fibroscope avec un grand angle permet de voir les parois pharyngées latérales et postérieure, la partie nasale du velum et le port vélopharyngé tandis qu'un angle étroit se focalisera plus sur la surface supérieure du velum ou le larynx. Ces deux types d'angles requièrent un ajustement de la position du fibroscope dans les cavités.

L'avantage de cette technique est qu'elle ne pose pas de problème de radiation, on peut la coupler avec d'autres instrumentations, il n'y a pas de limite de temps. Elle n'interfère pas avec les mouvements du velum. En revanche, une gêne peut être ressentie par le locuteur mais une anesthésie locale est possible. La position du fibroscope dans les cavités doit être choisie avec précaution, les images peuvent être de mauvaise qualité si l'objectif du fibroscope est couvert par la langue ou les amygdales. Calibrer les données obtenues avec le

fibroscope peut être compliqué, étant donné que la taille des images change en fonction de la distance avec les structures observées.

B. Techniques de tracking de points

Les techniques de tracking de points reposent sur l'identification de points sur une structure d'intérêt comme les lèvres, le velum ou la langue. On cherche ensuite à suivre le mouvement de ces points dans le temps sur l'axe horizontal et/ou vertical. Les données issues des techniques de tracking de points sont plus faciles à manipuler en comparaison avec les données d'imagerie.

i. Radiographie

La radiographie décrite précédemment comme une technique d'imagerie peut être adaptée pour le tracking de points en plaçant des pastilles sur les structures articulatoires. Les mouvements de ces pastilles sont enregistrés en prenant comme référence les structures osseuses fixes. Les pastilles sont fixées à l'aide d'un adhésif non toxique. Pour le velum, le positionnement des pastilles est moins aisé. En raison de ses sécrétions constantes et de son accessibilité plus difficile, une pastille est collée au bout d'une bande de plastique flexible, puis insérée au sein des cavités nasales. La pastille est ensuite positionnée entre le bord postérieur du palais dur et la pointe de la luette (Fujimura *et al.*, 1975 ; Vaissière, 1988). La radiographie restant un procédé irradiant, des chercheurs de l'université de Tokyo ont développé un système de rayons X pour l'étude des mouvements articulatoires qui à la fois, réduit le degré de radiation et améliore l'efficacité de l'analyse : le système Microbeam (Figure 19).

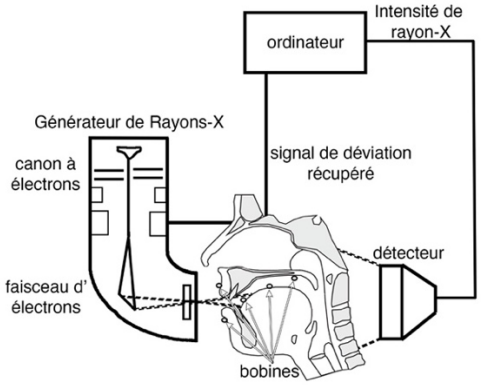


Figure 19 : Le système Microbeam

Le faisceau de rayons X passe à travers un minuscule trou d'épingle en direction du sujet. Le faisceau est dirigé par un ordinateur de manière à balayer les régions où les pastilles sont placées dans un plan médian sagittal. La sortie d'un détecteur de rayons X est transmise à un ordinateur qui utilise les positions précédentes des pastilles pour prédire la région dans laquelle diriger le balayage suivant pendant la parole. Avant de débuter les tâches de parole, l'ensemble du conduit vocal du sujet est scanné pour déterminer la position des pastilles quand le sujet est au repos. L'ordinateur enregistre les coordonnées de chaque pastille pour la position initiale ainsi que pour les suivantes.

L'avantage de cette technique est de pouvoir observer la coordination des articulateurs. En effet, il est possible d'avoir des données simultanément de plusieurs articulateurs à l'intérieur et l'extérieur du conduit vocal. Le système Microbeam permet des études à plus grande échelle en raison de la réduction du risque de radiation pour les sujets. Cependant, ce système onéreux n'est plus largement utilisé de nos jours. Il a été remplacé par des systèmes ne présentant pas de risque de radiation comme l'IRM ou l'articulatographe électromagnétique (EMA), par exemple.

ii. Articulatographe Electromagnétique (EMA)

Une autre technique pour obtenir les mouvements de plusieurs articulateurs sous la forme de tracking de points est l'EMA (Figure 20). Elle a été introduite par Hixon en 1971 qui voulait étudier les mouvements des mandibules (Hixon, 1971). Ce système simple a été rendu plus complexe par la suite en incluant les lèvres, la langue et le velum sur le plan sagittal.

Ce système de capture de mouvements articulatoires fonctionne à l'aide de trois champs magnétiques variables en fonction du temps liés à des bobines émettrices et des bobines réceptrices. Les bobines émettrices produisent ces champs qui sont interceptés par les bobines réceptrices collées sur les articulateurs. Les bobines réceptrices génèrent un courant électrique qui est par la suite numérisé et converti en coordonnées *x* et *y* en fonction du temps.

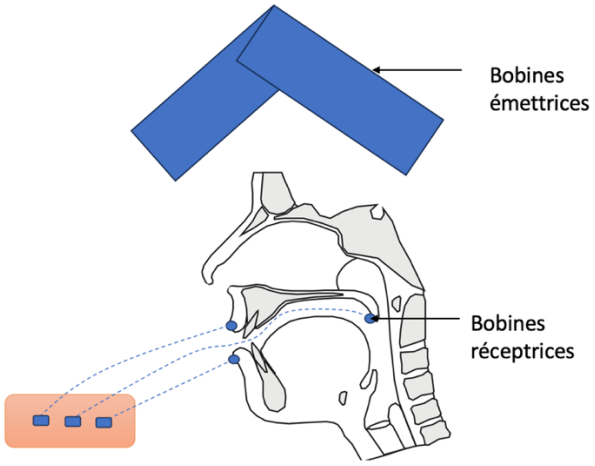


Figure 20 : Articulatographe Electromagnétique (EMA)

Tout comme le système Microbeam, cette technique permet d'obtenir une quantité importante de données sur les articulateurs internes et externes. En comparaison au système Microbeam, le système EMA est moins coûteux. Les données obtenues fournissent des trajectoires qui sont semblables à celles du Microbeam, des comparaisons sont donc possibles. Cependant, les bobines nécessitent d'être stérilisées et la colle utilisée pour placer les bobines n'est pas forcément sans danger pour le locuteur.

iii. Velotrace

Le velotrace est un outil mécanique développé en 1987 par Horiguchi et Bell-Berti (Horiguchi & Bell-Berti, 1987) (Figure 21). Il suit la position du velum dans le temps. Cet outil

est inséré dans les cavités nasales sous anesthésie et décongestionnant. Il est composé de 3 parties :

- un levier interne incurvé qui repose sur la surface nasale du velum,
- un levier externe qui reste à l'extérieur du nez,
- une tige qui connecte les deux leviers.

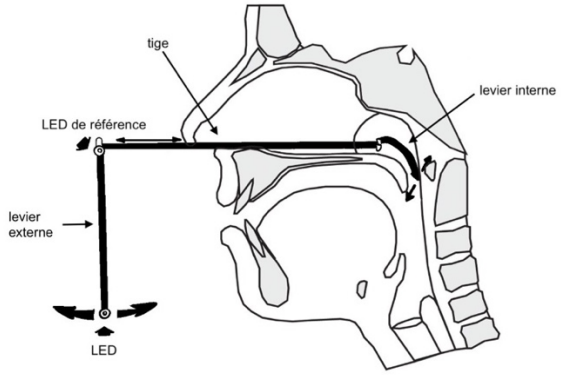


Figure 21 : Velotrace

Les mouvements du velum résultent en un changement dans l'angle du levier interne. Les deux leviers étant connectés, lorsque le levier interne se lève, grâce à un mouvement d'élévation du velum, le levier externe se déplace vers le sujet. Les mesures de mouvements du levier externe sur l'axe *x* apportent des informations sur le déplacement du velum sur l'axe *y*. Un système de tracking optoélectronique est utilisé pour suivre les mouvements des LEDs montés à l'extrémité du levier externe et sur la tige.

La position des LEDs est suivie par un détecteur sensible à la position dont la sortie peut être convertie en coordonnées *x,y* pour chaque LED. L'avantage de ce système de LEDs est que l'on peut en ajouter sur les lèvres, par exemple, afin de pouvoir acquérir des données de plusieurs articulateurs simultanément.

iv. Strain Gauge

Le système Strain Gauge a été utilisé dans beaucoup d'études s'intéressant aux mouvements des lèvres et de la mâchoire, quelques études l'ont utilisé pour le mouvement du velum (Figure 22).

Quel que soit l'articulateur le principe de Strain Gauge reste le même, deux « Strain Gauges » sont montées à l'une des extrémités d'une bande métallique flexible et l'autre extrémité de cette bande est accrochée à un support stable. L'extrémité libre de la bande métallique est déformée lorsqu'un articulateur bouge, entraînant une tension au début et à la fin de la bande. Ce sont ces changements de tension qui sont analysés.

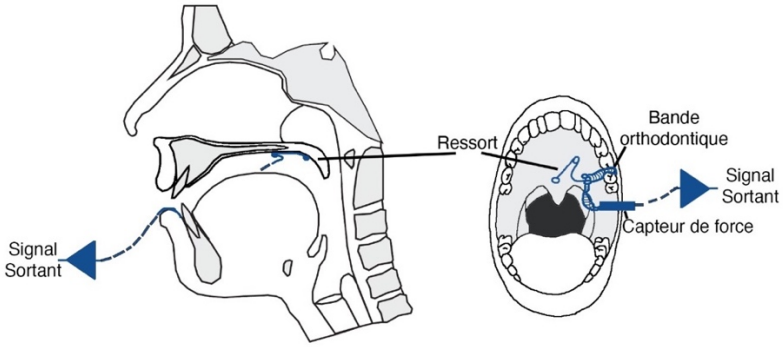


Figure 22 : Strain Gauge

Pour enregistrer l'activité du velum, le fil de ressort est conçu pour s'étendre jusqu'à la ligne médiane de la surface orale du velum. Cependant, son utilisation a été très limitée, ce qui rend difficile de porter un jugement sur l'exactitude des données acquises.

v. Photodétection

Les photodétecteurs sont généralement utilisés pour obtenir des informations sur les zones du conduit vocal qui s'ouvrent et se ferment comme la glotte ou le port vélopharyngé.

Ces instruments détectent la quantité de lumière passant à travers une ouverture lorsque la source lumineuse est située au-dessus ou en-dessous de l'ouverture avec un détecteur de lumière de l'autre côté. Plusieurs dispositifs de ce type ont été conçus pour déterminer l'ouverture du port vélopharyngé comme le nasographe (Ohala, 1971). Le nasographe est constitué d'un tube d'environ 4 mm de diamètre contenant à la fois la source de lumière et le photodétecteur (Figure 23).

Il est inséré par la narine, et l'extrémité interne est avalé pour le faire arriver dans l'œsophage, ce qui permet de stabiliser le nasographe, et d'avoir la source de lumière en-dessous du port vélopharyngé et le détecteur de lumière au-dessus. Des données sur l'ouverture du port vélopharyngé sont obtenues à partir de la quantité de lumière traversant le port. Bien que l'appareil ne soit pas calibré, il fournit des informations à propos de l'ouverture vélopharyngée dans le temps.

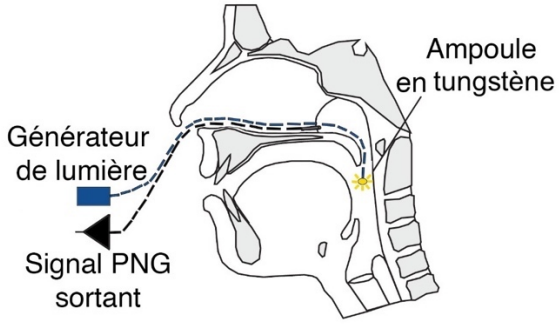


Figure 23 : Nasographe

De manière complémentaire au nasographe, le vélographe (Kuenzel, 1977) a été développé pour être sensible aux changements dans la position du velum plutôt que dans l'ouverture vélopharyngée. Il se présente comme un tube fin et flexible inséré dans la narine et positionné de manière à ce que la lumière soit émise de son extrémité interne sur la surface nasale du voile (Figure 24). L'extrémité interne est positionnée approximativement à l'endroit où le détecteur de lumière d'Ohala est positionné. La lumière est réfléchie sur la surface du velum en fonction de sa hauteur. Contrairement aux photodétecteurs de Dalston (Dalston, 1982) et Ohala (Ohala, 1971), aucune partie de l'appareil ne passe par le port vélopharyngé.

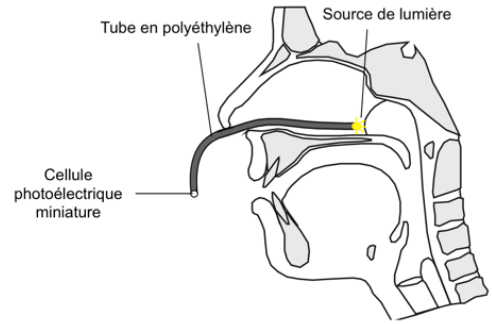


Figure 24 : Vélographe

Cependant, il y a plusieurs questions à considérer lors de l'évaluation du vélographe. Premièrement, la quantité de surface vélique à partir de laquelle la lumière sera réfléchie est fonction non seulement de la hauteur du velum, mais également, du mouvement de la paroi pharyngée. Deuxièmement, la présence de mucus dans la région nasale, qui apparaît couramment et a une surface hautement réfléchissante, peut entraîner l'acquisition de fausses données sur la position du velum à partir du vélographe. Cela suggère que l'utilisation d'un photodétecteur pour mesurer l'ouverture est probablement plus approprié que pour mesurer la hauteur du velum.

Plus récemment, une nouvelle instrumentation, le photonasographe (PNG) (Amelot *et al.*, 2006) est venu compléter les instrumentations du Laboratoire de Phonétique et Phonologie. Cet outil se base sur la détection de lumière, d'après le modèle d'Ohala qui permet de détecter le degré d'ouverture du port vélopharyngé (Figure 25). Un capteur et une source de lumière sont insérés par une narine dans la cavité buccopharyngée. Le capteur est situé au-dessus du voile du palais et le récepteur en dessous du voile (ou vice-versa). L'intensité de la lumière captée indique le degré d'ouverture du port vélopharyngé : aucune lumière n'est détectée quand le port est fermé. Le passage de la lumière est maximal durant la respiration profonde. Un écran permet de visualiser en temps réel le signal de parole et le degré d'aperture du port vélopharyngé. Les signaux peuvent être enregistrés pour la création d'une base de données physiologiques. La méthode est peu invasive, et elle est très certainement le moyen le plus efficace pour étudier la nasalité du point de vue physiologique, car elle donne une estimation directe du degré d'ouverture du port vélopharyngé.

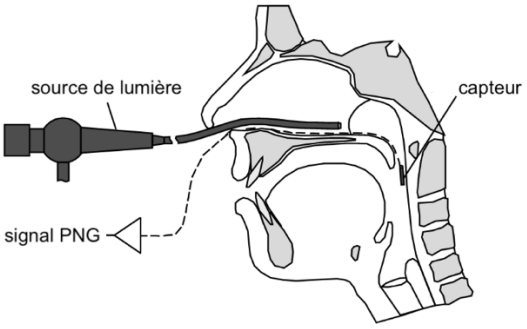


Figure 25 : Photonasographe du LPP (Vaissière et al., 2010, p. 68)

De manière générale, les photodétecteurs sont non-invasifs, avec une bonne insertion dans les cavités nasales, il n'y a aucun risque physique. Une large quantité de données peut être acquise avec ce système. De plus, il est peu coûteux et plutôt facile à positionner.

3. Des instruments pour l'étude de l'effet du mouvement : aérodynamique et acoustique

Comme discuté précédemment, certaines instrumentations pour étudier le port vélopharyngé se montrent invasives, inconfortables et peuvent présenter un risque pour le sujet. A l'inverse, les acquisitions aérodynamiques et acoustiques sont non-invasives, n'entraînent pas d'inconfort et sont sans risque pour le sujet. Cela signifie qu'avec ces techniques, il est plus facile de mener des études à grande échelle. De plus, elles se révèlent plus facilement transportables facilitant ainsi les études phonétiques hors du laboratoire, dans des contextes cliniques, par exemple.

Cependant, ces données ont l'inconvénient de fournir des informations indirectes sur l'activité vélaire. Certains changements articulatoires ne se reflètent pas directement dans les données aérodynamiques et acoustiques. Au-delà d'un certain degré d'ouverture vélopharyngée, les changements de position du voile ont un effet non linéaire sur la quantité de flux d'air nasal et un effet minimal sur le spectre. Pour finir, il peut y avoir des changements dans les données aérodynamiques et acoustiques qui ne reflètent pas nécessairement de changements dans l'ouverture vélopharyngée ou le couplage nasal.

Les instruments relevant de l'aérodynamique et de l'acoustique sont présentés ici de manière séparée, mais il est pertinent de les combiner ensemble pour apporter des informations précieuses sur le contrôle vélopharyngé et le couplage nasal.

A. Aérodynamique

Les instruments concernant l'acquisition aérodynamique font l'objet du Chapitre III, I, 3. Les outils de captation des données aérodynamiques, p.76.

B. Acoustique

i. Microphone à pression sonore et accéléromètre

Lorsqu'un flux d'air passe à travers les cavités nasales, l'air résonne. Les variations de pression d'air qui en résultent peuvent être enregistrées à l'aide d'un microphone placé à

l'intérieur ou à proximité des narines. Un accéléromètre peut aussi être utilisé pour enregistrer les vibrations des cartilages du nez en le fixant avec un ruban adhésif sur la surface extérieure des narines (Figure 26).

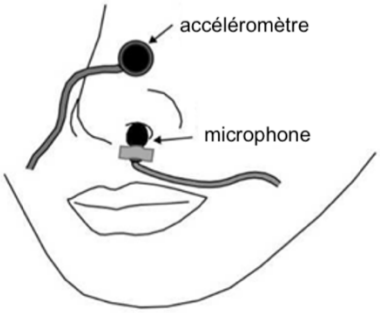


Figure 26 : Accéléromètre et microphone à pression sonore (Vaissière et al., 2010, p. 67)

Des précautions sont à prendre dans l'interprétation des données de pression nasale sonore : des vibrations nasales peuvent avoir lieu même en l'absence d'une ouverture du port vélopharyngé ou d'un couplage nasal, étant donné que les vibrations sonores peuvent être transmises de la cavité orale jusqu'aux tissus constituant le nez. Ces vibrations nasales sont aussi plus fortes pour les phonèmes produits avec une constriction orale importante comme les voyelles de petite aperture.

Les vibrations nasales peuvent aussi être dues à un changement plus global du conduit vocal : si le locuteur parle plus fort, une augmentation des vibrations nasales sera visible alors qu'il n'y a pas nécessairement d'augmentation de l'ouverture du port vélopharyngé ou du couplage nasal.

Tout comme les données aérodynamiques, il est important d'observer le comportement des phonèmes non nasals comme une base de référence pour ensuite les comparer aux phonèmes nasals.

L'accéléromètre présente certains avantages par rapport aux microphones : il est relativement peu affecté par le flux d'air buccal et l'émission sonore, isolant ainsi plus efficacement le signal nasal. De plus, le signal de l'accéléromètre n'est pas affecté par le débit d'air nasal. En revanche, ils sont sensibles à la résonance du conduit oral, le niveau de l'accéléromètre se voit augmenter quand le premier formant diminue comme c'est le cas pour les voyelles de petite aperture.

ii. Analyse spectrale

Les caractéristiques spectrales de la nasalisation sont traitées dans le Chapitre I, II.La nasalité du point de vue acoustique, p.26.

VIII. Les sinus : un rôle controversé dans la parole

1. Un rôle en débat de manière générale

Cette partie s'inspire de l'article de Keir (Keir, 2009).

D'une manière générale, la fonction des sinus reste très peu connue et controversée. Elle est en débat depuis de nombreuses décennies. Blanton et Biggs (1969) ont reconnu qu'une grande partie de ces débats étaient fondés sur l'opinion plutôt que sur une enquête scientifique rigoureuse. À ce jour, aucune des fonctions proposées n'a été universellement acceptée comme étant la raison essentielle de leur existence. Takahashi (1984) identifie l'importance de ces espaces aériens comme l'un des problèmes les plus difficiles de l'évolution humaine. Principalement, deux écoles s'affrontent sur le sujet : d'un côté, ceux qui voient les sinus d'un point de vue de l'utilité, comme une aide à la croissance et à l'architecture faciale et de l'autre, le point de vue de l'origine évolutive selon lequel, les sinus seraient des vestiges résiduels de l'Evolution de l'Homme, on y aurait trouvé le rôle de complément de la fonction nasale. Les sinus maxillaires et frontaux auraient été décrits pour la première fois par Léonard de Vinci aux alentours de 1489 (Márquez, 2008). Au XVI^{ème} siècle, les recherches sur le sujet étaient basées sur des considérations philosophiques et non plus sur une approche anatomique comme ce l'était traditionnellement. Ainsi, certaines théories ont vu les sinus et les cavités nasales comme une zone de drainage des mauvais esprits du cerveau (Stammberger, 1989). Ce n'est qu'à la fin du XIX^{ème} siècle que les premières descriptions anatomiques et pathologiques apparaissent grâce à Zuckerkandl (Zuckerkandl, 1895).

Voici un panorama des diverses fonctions évoquées :

A. Un rôle dans l'anatomo-physiologie de la respiration

Les sinus assureraient des fonctions d'humidification et de réchauffement de l'air inspiré. Or, cette théorie a été considérée comme défaillante par la suite, seulement un centième du volume d'air des sinus serait échangé. Récemment, des études (Hood *et al.*, 2009 ; Michel, 2015) ont montré, que les échanges d'air à travers un ostium naturel était très limitée sauf dans le cas d'un ostium très large suite à une chirurgie, par exemple.

B. Un rôle structurel

Ils participeraient à l'allègement de l'ossature du crâne. Ils amortiraient et protégeraient aussi la base du crâne lors des traumatismes de la face. Cependant, peu de ces hypothèses ont été démontrées (Castillo *et al.*, 2017). Le développement des sinus pourrait être une conséquence de la croissance faciale (Eckley, 1904) : ils permettraient d'ajuster facilement l'ossature faciale à l'ossature du crâne, dont la dimension définitive est acquise plus tôt. Ils seraient des pilliers pour la dispersion des forces masticatoires (O'Malley, 1923) ou encore ils apporteraient une protection au cerveau (Rui *et al.*, 1960).

C. Un rôle physiologique

Un rôle dans l'augmentation de l'aire olfactive leur a aussi été donné au XIX^{ème} siècle par Cloquet (1828) : un épithélium olfactif tapisserait les sinus. Or, plus tard cette théorie a été rejetée. De même qu'ils seraient des isolateurs phoniques de la cochlée (Le Huche, 2010) ou concernant les sinus frontaux, des vecteurs d'isolation thermique car ils protègent les

cavités nasales. Cette théorie est peu probable : les Esquimaux auraient des sinus frontaux de petite taille et pourtant ils sont résistants au froid (Koertvelyessy, 1972) contrairement aux populations africaines qui auraient de larges sinus (Brothwell, Molleson, et Metreweli, 1968). Il a aussi été avancé que les sinus sécréteraient du mucus pour humidifier les cavités nasales. Enfin, certains auteurs leur prêteraient le rôle de régulateur de la pression nasale (Coffin, 1905).

D. Un rôle non fonctionnel

Les sinus existeraient en tant que restes évolutifs d'espaces d'air inutiles (Ingersoll, 1922).

2. Un rôle controversé dans la parole

Le rôle des sinus dans la parole reste assez controversé :

Dès le XVII^{ème} siècle, Bartholinus soutient que les sinus sont essentiels pour la résonance phonatoire, théorie reprise par Howell (1917) qui a déclaré que « la qualité ou le timbre particulier de la voix individuelle provient des sinus accessoires et de la structure osseuse du visage » (p. 646). Il croyait cela parce qu'il avait observé que les Maoris possédaient « des voix mortes particulières... » en raison d'un sous-développement de leurs sinus accessoires (p. 646). Wegner (1955) a également soutenu cette théorie en se basant sur le fait que les singes hurleurs possèdent des sinus paranasaux particulièrement grands. Proetz (1953) réfute cette théorie en observant que les animaux à voix forte, comme le lion, peuvent avoir de petits sinus. De même, Negus (1958) observe que, bien qu'ils aient de grandes cavités sinusiennes, la girafe et le lapin ont une voix faible ou stridente. Il ajoute que chez l'Homme, la taille variable des cellules frontales, ethmoïdales et sphénoïdales rendrait leur effet très imprécis. En outre, Flottes *et al.* (1960) rapportent que les propriétés physiques des sinus paranasaux en font de mauvais résonateurs, ajoutant que la chirurgie des sinus ne modifie pas la voix. Leur conclusion est basée sur les qualités physiques des sinus : leur caractère fermé avec un volume fixe ne peut s'adapter qu'à des fréquences aigues et apportent des harmoniques inégales. Pour eux, l'étroitesse des ostia est l'élément principal qui fait obstacle à la résonance. Enfin, les parois des sinus ne sont pas adaptées à la résonance : elles sont recouvertes de muqueuse ce qui rend impossible les vibrations, elles devraient être dures et nues. Blanton et Biggs (1969) et Blaney (1990) indiquent tous les deux que la fonction phonatoire des sinus paranasaux est très improbable. Les premières études anatomiques ont considéré qu'ils servaient de réverbération à la voix (Cleland & Huxley, 1862) ou de caisses de résonance (O'Malley, 1923). Underwood a déduit que les sinus apportent une énergie vocale (Underwood, 1910) : en comparant des radiographies d'une population tout venant avec celle d'un chanteur professionnel, il a pu constater qu'il avait des sinus de plus grande taille. Proctor (1980) les considère comme une aide à la résonance, tandis que Dayme (1995) estime qu'ils ne sont pas un apport pour la voix. Jean Abitbol dans *l'Odyssée de la Voix* (2013), considère les sinus et la cloison nasale comme un résonateur figé c'est-à-dire composé d'os et de cartilages. Pour Sampson (1999) les sinus modifient la résonance nasale. Ils sont utilisés dans

le chant comme « sièges de sensations vibratoires » (Le Huche, 2010). C'est le cas par exemple, dans la technique vocale qu'est le twang : il met en jeu une sensation de résonance dans les cavités nasales sans toutefois abaisser le voile du palais. De ce point de vue, les sinus joueraient un rôle dans la coloration et personnalisation sonore de la voix sans faire partie explicitement des cavités de résonance.

De manière générale, peu d'études phonétiques se sont intéressées aux sinus, celles qui se sont intéressées au retentissement des sinus sur la parole montrent que les sinus jouent un rôle dans l'acoustique de la parole. Leur connexion avec les cavités nasales affecterait les propriétés acoustiques du conduit nasal lorsqu'ils y sont couplés grâce à leur ostium. Masuda (1992) a mis en évidence le rôle de résonateurs des sinus comme des *résonateurs de Helmholtz*. Ils permettent des phénomènes de résonance de l'air dans une cavité. Cette cavité est constituée comme nous pouvons le voir sur la figure 27 d'un petit tube de longueur *L* et de section *A* débouchant sur un volume clos *V*. Le tube *L* représente l'ostium du sinus, la section *A*, sa surface de section et le volume *V*, le volume du sinus.

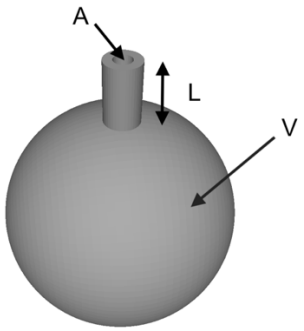


Figure 27 : Schéma d'un résonateur de Helmholtz A=section, V=volume clos, L=longueur du tube

Souffler dans ce récipient engendre la production d'un son à une fréquence *F*. Cette fréquence de résonance est propre aux caractéristiques du système, chaque cavité possède donc sa propre fréquence de résonance. De même que seule la vibration proche de la fréquence de résonance de la cavité sera amplifiée. En somme, plus le volume sera grand et le tuyau long et/ou étroit, plus la fréquence de résonance sera grave (Fant, 1960). Par exemple, la fréquence de résonance des sinus maxillaires est entre 1 et 2 kHz selon Masuda (1992). Cependant, elle varie considérablement d'un individu à l'autre selon les différences de volume et de diamètre des cavités, ainsi que selon la longueur des ostia. Selon Lindqvist-Gauffin et Sundberg (1976), la fréquence de résonance des sinus maxillaires est située entre 200 et 800 Hz.

Bien souvent ces résonances ont été calculées sur les sinus maxillaires : ce sont les plus gros en termes de volume et ils ont une ouverture importante sur les cavités nasales, on considère donc que ce sont eux qui entrent en résonance plus facilement. La configuration du sinus ethmoïde en tant que plusieurs petites cellules fait qu'il ne contribuerait pas à l'acoustique des sons nasals en dessous de 3000 Hz (Koyama, 1966 ; Takeuchi *et al.*, 1977).
Dang et Honda (1996) ont montré que les sinus paranasaux n'introduisaient pas seulement des phénomènes d'anti-résonance mais modifiaient la forme spectrale des sons nasals. Les

sinus majeurs (sphénoïdal, maxillaire, et frontal) ont leur propre fréquence de résonance (Figure 28).

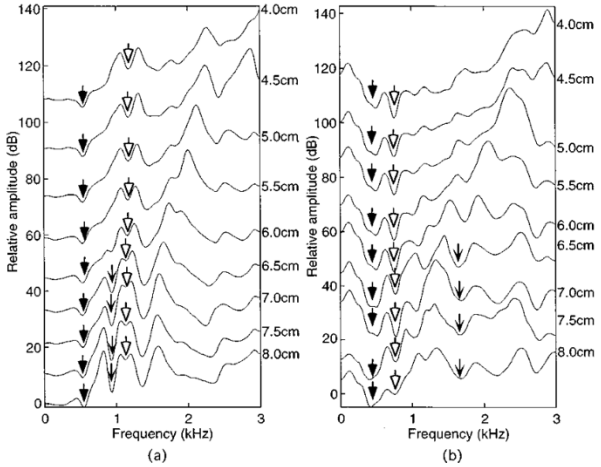


Figure 28 : Fonction de transfert à partir de chaque segment de mesure pour le sujet 3, (a) montrant le côté gauche des cavités nasales et (b) le côté droit. Les flèches blanches indiquent les zéros causés par le sinus frontal, les flèches noires pour le sinus maxillaire et les flèches en forme de V pour le sinus sphénoïdal. La longueur du segment de mesure est indiquée à droite de chaque colonne. (Dang & Honda, 1996, p. 3379)

Ces fréquences estimées ont été comparées aux fréquences naturelles calculées des résonateurs de Helmholtz, et les différences étaient de l'ordre de 10% pour les sinus. Lindqvist-Gauffin et Sundberg (1976) ont étudié la cavité naso-sinusienne en excitant les cavités nasales à l'aide d'une source sonore dans les conditions d'un velum fermé. Ils ont conclu que les zéros qui restaient immobiles pendant les mouvements de la source sonore étaient causés par les sinus. Ils ont suggéré que les fréquences de résonance allaient de 200 à 800 Hz pour le sinus maxillaire, et de 500 à 2000 Hz pour le sinus frontal.

Maeda (1982) a montré que le couplage avec les sinus introduit une nouvelle paire de pôle-zéro plus bas que lorsque l'on prend en compte uniquement les cavités nasales. Les résultats de sa simulation acoustique montrent que le pôle engendré par les sinus devrait apparaître proche de la première résonance (Figure 29). Ce dernier est coupé en deux en raison de la connexion avec les sinus : le premier pic est dû aux sinus à environ 446 Hz et le pic de résonance initiale est décalé plus haut en termes de fréquences (817 Hz). Ces deux pôles dans les basses fréquences peuvent affecter soit le premier et/ou le second formant, selon la voyelle et le degré de couplage. Plus le degré de couplage est important, plus le pic engendré par les sinus se déplace vers les hautes fréquences.

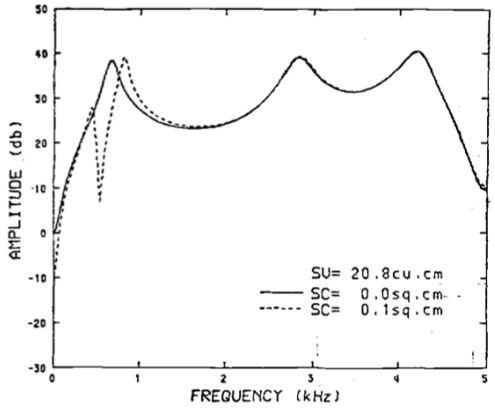


Figure 29 : Fonction de transfert du conduit nasal avec (en pointillé) ou sans (en ligne pleine) couplage avec les sinus (Maeda, 1982, p. 912)

Koyama (1966) a estimé les fréquences de résonance des sinus maxillaires et sphénoïdaux à l'aide d'un modèle mécanique. Des sons nasals ont été enregistrés avec des ostia en condition normale et en condition obstruée chez huit locuteurs. Il a trouvé des creux spectraux entre 400 et 1000 Hz pour le sinus maxillaire qui variaient en fonction des conditions. Masuda (1992) a utilisé une approche similaire pour observer les effets du sinus maxillaire chez 13 sujets vivants. Il a également calculé les fréquences de résonance du sinus maxillaire à l'aide de données anatomiques obtenues sur plus de 20 cadavres, et a rapporté que les fréquences de résonance allaient de 1000 à 2000 Hz et variaient considérablement d'un individu à l'autre.

A l'aide de moules en époxy des cavités naso-sinusiennes basées sur des cadavres, Havel *et al.* (2014) ont montré que l'ajout des sinus maxillaires entraînait des creux à 700 et 880 Hz. Le sinus sphénoïdal n'engendre que des effets mineurs.

Plus récemment, Havel *et al.* (2017) ont utilisé les cavités naso-sinusiennes de cadavres conservées dans le formol. Leurs modèles 3D correspondants ont été excités à l'aide d'un écouteur placé dans le rhinopharynx. La réponse a été captée par un microphone placé au niveau des narines. Différentes procédures chirurgicales ont été effectuées et les réponses acoustiques suivant l'excitation ont été enregistrées (Figure 30).

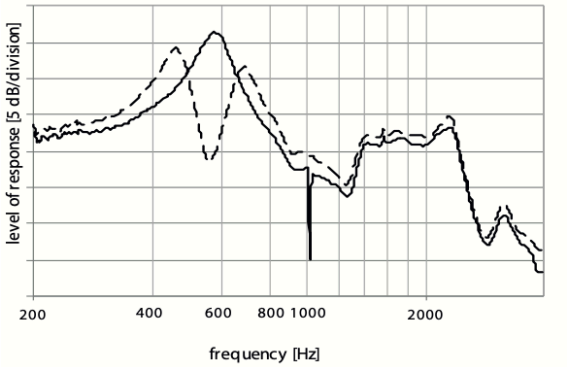


Figure 30 : Fonctions de transfert suite à l'excitation d'une cavité nasale cadavérique avec occlusion du méat moyen et de l'ostium sphénoïdal et après suppression de l'occlusion de l'ostium sphénoïdal (en trait plein et pointillé respectivement) (Havel et al., 2017, p. 85)

Des creux marqués dans les basses fréquences ont été détectés dans les fonctions de transfert lorsque les sinus étaient inclus dans le système de résonance nasale. Ces creux ont

montré une corrélation significative avec les volumes des sinus. En utilisant l'équation de Helmholtz, les fréquences de résonance du sinus ont pu être calculées à partir du scanner correspondant. Les résultats montrent une bonne concordance avec les fréquences mesurées sur les modèles 3D ainsi qu'avec les données obtenues expérimentalement sur les cadavres (Figure 31).

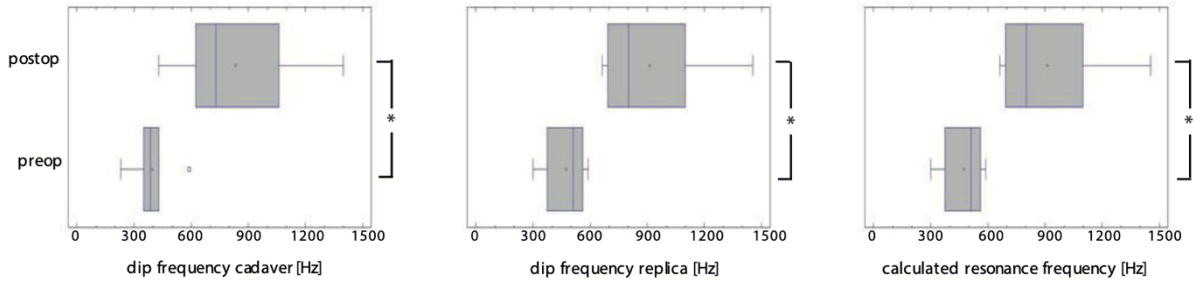


Figure 31 : Moyennes des creux de fréquence des sinus maxillaires au stade préopératoire (box plot du bas) et postopératoire (box plot du haut) mesurées sur le cadavre (à gauche), la réplique en 3D (au milieu) et calculées à l'aide de l'équation (droite) (Havel et al., 2017, p. 85)

Après les procédures chirurgicales, leur fréquence a augmenté en fonction de l'étendue de l'intervention chirurgicale.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes fréquences de résonance (Hz) rapportées dans les études ci-dessus (Tableau 1).

Tableau 1 : Fréquences de résonance (Hz) des sinus rapportées dans les études ci-dessus

Auteurs	Méthode	Sinus sphénoïdal	Sinus maxillaire	Sinus frontal
Koyama (1966)	Modèle plastique du conduit vocal humain	500-1200	400-1000	--
Lindqvist-Gauffin et Sundberg (1976)	Mesures acoustiques sur locuteurs	--	200-800	500-2000
Takeuchi *et al.* (1977)	Modèle nasal basé sur des mesures sur cadavre	1500	400-500	1000
Maeda (1982)	Simulation acoustique du conduit vocal	--	450	--
Masuda (1992)	Mesures sur crânes et sur données au rayon X de sujets sains	--	1000-2000	--
Dang et Honda (1996)	Mesures acoustiques	750-1900	510-1100	630-2060

	sur locuteurs et mesures IRM			
Havel *et al*. (2014)	Moules en époxy des cavités naso-sinusiennes de cadavres	--	700-880	--
Havel *et al*. (2017)	Mesures sur cadavres, répliques 3D et calculées par équation	--	préopératoire : ≈ 350-550 postopératoire : ≈ 600-1100	--

IX. Une pathologie de la nasalité : la polypose naso-sinusienne

1. Terminologie des troubles de la nasalité

La littérature autour des troubles de la nasalité est assez abondante. En voici un aperçu inspiré du Dictionnaire d'orthophonie (Brin *et al.*, 2004).

Nasillement : Altération du timbre dans la partie postérieure du résonateur pharyngonasal (cavum) dont les parois mobiles (le voile du palais en particulier) sont hypercontractées. Ce terme est synonyme d'hypernasalité.

Nasonnement : Altération du timbre dans la partie antérieure du résonateur pharyngonasal (cavités nasales) dont les parois sont relâchées. On parle de rhinolalie ouverte.

Hyporhinophonie : Insuffisance de résonance nasale lors de la prononciation de phonèmes habituellement nasals : les voyelles /ɑ̃/, /ɔ̃/, /ɛ̃/ deviennent respectivement /a/, /o/ et /ɛ/ (leurs correspondantes orales) et les consonnes /m/ et /n/ deviennent /p,b/ et /t,d/. Les causes peuvent être d'origine organique par des processus inflammatoires ou tumoraux qui suppriment la résonance rhinopharyngée ou d'origine fonctionnelle par une hypercontraction du voile du palais et du pharynx.

Hyperrhinophonie : Modification pathologique du timbre de la voix due à un excès de communication entre cavité buccale et rhinopharyngée. Cela résultera en un excès de ce qui est normalement nasalisé ou une nasalisation de ce qui est oral. Les causes sont diverses :

- *organique* : soit congénitale (fente labio-palatine, division du voile du palais) ou acquise (atteinte dégénérative, infectieuse ou traumatique)

- *fonctionnelle* : suite d'une amygdalectomie ou adénoïdectomie

Une hyperrhinophonie conduira à un phénomène de nasonnement ou nasillement sur les voyelles /a, o, e, ɛ/ transformées en /ɑ̃, ɔ̃, œ̃, ɛ̃/, une dénaturation des occlusives par un

bruit de souffle ou un coup de glotte, et un remplacement des constrictives par un chuintement ou un souffle rauque.

Rhinolalie (Kussmaul) : Troubles de la parole déterminés par des modifications de la résonance des cavités nasales qui altèrent la phonation et l'articulation. Elle se divise en trois catégories principales :

- *Rhinolalie fermée* (ou hyponasalité) : Modification de la voix due à la suppression de la perméabilité nasale, par la présence d'un obstacle empêchant l'écoulement normal de l'air phonateur. L'obstacle peut être situé en arrière, dans ce cas-là il sera difficile de produire des voyelles nasales ou en avant, il y aura des excès de résonance (nasillement, par exemple). On emploie souvent ce terme dans le cas où la personne « parle du nez » lors d'un rhume où les cavités sont congestionnées et bloquées par un excès de mucus, ce qui empêche le rôle de résonateur de se mettre en place.
- *Rhinolalie ouverte* (ou hypernasalité) : Modification de la voix due à une exagération de la perméabilité nasale (paralysie, perforation de la voûte palatine ou du voile du palais). Les structures du vélo-pharynx sont dans l'incapacité de se rejoindre pour isoler les cavités nasales et buccale. Les phonèmes occlusifs oraux et constrictifs ne pourront pas être correctement articulés et les voyelles orales prendront un timbre nasal (phénomène de déperdition nasale et de ronflement nasal). On parle ici de nasonnement.
- *Rhinolalie mixte* : L'insuffisance vélopharyngée est couplée à une obstruction nasale (Campolini *et al.*, 2000).

Force est de constater qu'il existe un nombre important de termes permettant de qualifier les troubles de la nasalité. Il n'y a pas de consensus quant à ces définitions. Un flou persiste en pratique orthophonique dans l'usage de ces termes et dans ce à quoi il se réfère.

Si l'on devait catégoriser la Polypose Naso-Sinusienne (PNS), on pourrait la considérer comme une rhinolalie fermée étant donné qu'un obstacle (les polypes) vient empêcher l'écoulement de l'air. En préopératoire, il serait question d'hyponasalité.

2. La polypose naso-sinusienne (PNS)

Cette partie a été rédigée à l'aide de la recommandation de pratique clinique de la prise en charge ORL de la Polypose Naso-Sinusienne de l'adulte (Papon *et al*., 2023).

Historique

La PNS ne relève pas de la nouveauté : on y trouve des traces dès l'Antiquité avec Hippocrate. Elle fut la préoccupation des barbiers de l'époque qui s'attelaient à couper les polypes. Leur repousse régulière a questionné le monde médical. La première des chirurgies fut endonasale au miroir de Clar. Méatotomies et ethmoïdectomies étaient pratiquées mais les complications, trop nombreuses, ont freiné cette chirurgie. On préféra se cantonner à enlever uniquement les polypes qui dépassaient. On passa ensuite à une chirurgie exonasale (notamment l'opération De Lima qui consiste à adopter une approche buccale pour atteindre le sinus maxillaire et ensuite l'ethmoïde postérieur). Celle-ci fut supplantée par la corticothérapie mais des conséquences graves (hypertension, obésité, diabète) apparaissent à long terme. En association avec cette thérapie, la chirurgie endonasale par endoscopie est devenue le standard chirurgical dans les années 80 (Frèche *et al.*, 2000).

A. Définition

La Polypose Naso-Sinusienne (PNS) est une maladie chronique de la muqueuse sinusienne caractérisée par une inflammation bilatérale des cavités naso-sinusiennes aboutissant au développement de polypes. Cependant, la PNS peut parfois être asymétrique voire unilatérale, ce qui doit conduire à rechercher un diagnostic différentiel tel qu'une infection ou tumeur. On compare souvent ces polypes à une grappe de raisins en raison de leur forme similaire et de leur couleur blanche jaunâtre. La taille des polypes peut varier de quelques millimètres à plusieurs centimètres de diamètre. Dans la population générale, sa prévalence est de 2 à 3% avec une nette augmentation à partir de 50 ans (Klossek *et al.*, 2005). Elle serait d'ailleurs plus fréquente chez l'homme entre 50 et 59 ans (Fokkens *et al.*, 2020). Deux formes cliniques de PNS existent : la polypose primitive qui est isolée ou qui s'intègre dans la maladie de Widal, la polypose secondaire lorsque qu'elle apparaît dans le cadre de pathologies identifiées, en particulier génétiques telles que la mucoviscidose ou la dyskinésie ciliaire, dysimmunitaires (immunodéficience, vascularités comme la granulomatose à éosinophiles avec polyangéite) ou fongiques (sinusite fongique immuno-allergique). La PNS entre dans le cadre des rhinosinusites diffuses c'est-à-dire qu'elle touche à la fois les sinus antérieurs et les sinus postérieurs de manière bilatérale (Figure 32).

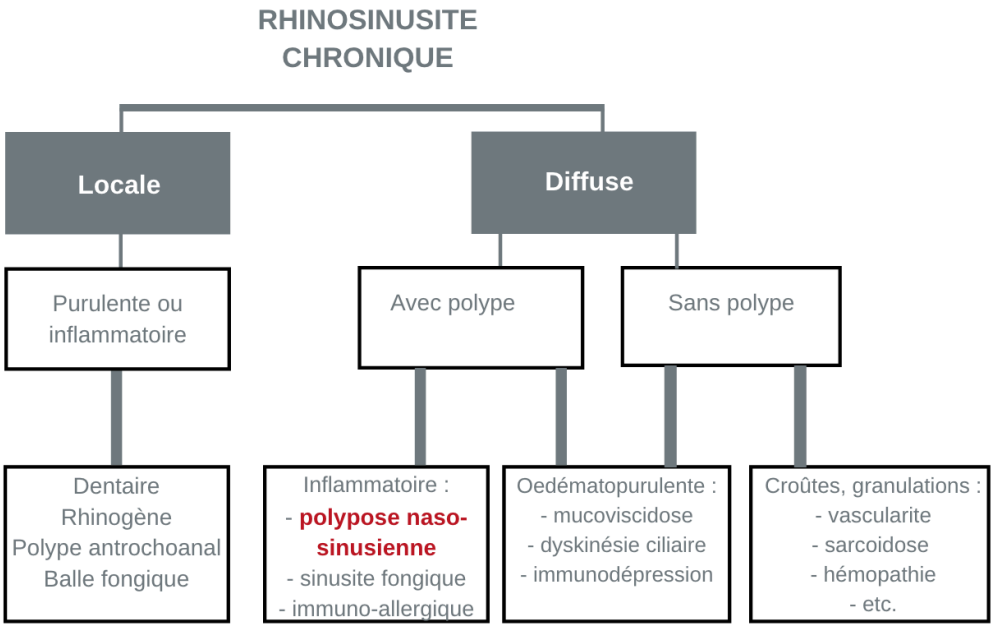


Figure 32 : Classification des rhinosinusites chroniques inspirée de Papon (2019)

Maladie de Widal : On parle de triade de Widal (ou pour sa version anglaise : de Samter) quand la PNS est associée à un asthme et à une intolérance à l'aspirine. Elle concerne environ 17% des patients atteints de PNS et débute par un asthme dans la moitié des cas (Frèche *et al.*, 2000). L'association avec seulement l'asthme (20 à 40% des cas (Bachert *et al.*, 2003) ou l'intolérance à l'aspirine est également décrite. L'intolérance aux anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) peut aussi entrer dans la triade de Widal.

Classification des PNS

Diverses classifications existent : les cinq stades de Rouvier (Rouvier *et al.*, 1991), les quatre stades de Lildholdt (Lildholdt *et al.*, 1995), les trois stades scannographiques de Lund et Mackay (Lund & Mackay, 1993) pour déterminer la sévérité de l'atteinte radiologique, etc. Elles permettent toutes d'estimer le volume de la PNS et donc sa sévérité. Cependant, en France, actuellement, la classification la plus utilisée est composée de quatre stades endoscopiques établis selon l'étendue des polypes (Lund & Mackay, 1993) :

- stade 0 : pas de polypes visibles
- stade 1 : la muqueuse polypoïde est confinée au méat moyen
- stade 2 : les polypes occupent le méat moyen
- stade 3 : les polypes dépassent le méat moyen
- stade 4 : les polypes obstruent totalement les cavités nasales

Les symptômes sont de différents types :

- respiratoires : obstruction nasale, rhinorrhée (écoulement nasal) antérieure et postérieure, éternuements, pesanteurs ou douleurs de la face.

- olfactifs : anosmie (perte de la capacité olfactive), hyposmie (perte partielle de la capacité olfactive) ou cacosmie (impression de mauvaises odeurs). En effet, la présence des polypes dans les cavités nasales empêche les molécules odorantes d'atteindre les cellules sensorielles de l'épithélium olfactif (Frèche *et al.*, 2000).

B. Physiopathologie de la PNS

A ce jour, la PNS n'a pas d'étiologie connue. Plusieurs hypothèses ont été formulées : génétique, infectieuse, immuno-allergique mais aucune n'a permis de développer un traitement curatif efficace jusqu'à présent. La PNS primitive est une maladie complexe, résultant probablement de l'interaction de multiples facteurs externes chez un individu génétiquement prédisposé. Certains facteurs externes microbiologiques, aérocontaminants ou climatiques provoquent un dysfonctionnement de la barrière épithéliale nasale aboutissant à une inflammation de la muqueuse naso-sinusienne et à la formation de polypes.

C. Diagnostic

Le diagnostic d'une PNS est défini selon les critères de l'EPOS 2020 (European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps) (Fokkens *et al.*, 2020).

Le diagnostic positif de la PNS dépend de l'examen clinique. Le diagnostic repose sur deux éléments :

- Un examen clinique qui révèle la présence pendant au moins 12 semaines de deux symptômes ou plus :
    - Dont l'un doit être la congestion/ obstruction nasale ou la rhinorrhée (antérieure/postérieure) ;
    - Une douleur ou pression faciale
    - La réduction ou perte de l'odorat

- Un examen endoscopique des méats moyens qui révèle la présence de polypes dans les deux cavités nasales.

L''examen endoscopique peut être complété par une série d'examens complémentaires dans le but de déterminer la gravité et l'extension des polypes. Par exemple, des examens radiologiques comme une tomodensitométrie (TDM) ou Cone Beam Computed Tomography (CBCT) de la face et un bilan allergique et/ou pneumologique (Epreuves Fonctionnelles Respiratoires) peuvent apporter des informations. En effet, la PNS étant une maladie de la muqueuse respiratoire, le bilan pneumologique permet de rechercher un asthme ou une hyperréactivité bronchique, associés à la PNS dans environ 30% des cas. L'existence d'une allergie associée est un facteur pouvant aggraver les symptômes de la PNS.

Le traitement de la PNS est médico-chirurgical. Il repose sur un traitement de fond associant la corticothérapie locale (pulvérisations voire aérosols) avec les lavages de nez au sérum salé,

éventuellement complété par une corticothérapie systémique par voie orale. Le traitement vise à réduire l'inflammation des tissus naso-sinusiens. Les effets secondaires comme l'épistaxis, l'irritation ou la sécheresse nasale sont à prendre en compte. La corticothérapie systémique est utilisée en cas d'inefficacité du traitement de fond. Elle est prescrite en cure courte de moins de 10 jours et comporte de nombreux risques d'effets secondaires (diabète, hypertension, ostéoporose, dépression, etc.) lorsque les cures sont trop fréquentes.
Ce n'est qu'en cas de non contrôle des symptômes par le traitement médical que la chirurgie est envisagée. La reprise du traitement de fond est systématique après chirurgie afin de prévenir la réapparition des polypes.

D. Chirurgie

Actuellement, la chirurgie pratiquée est endonasale c'est-à-dire qu'elle s'effectue à l'intérieur du nez à l'aide d'endoscopes, par opposition à une chirurgie exonasale.

La chirurgie des sinus consiste à enlever la muqueuse pour perméabiliser les ostia des sinus, permettre à nouveau le drainage et rétablir la physiologie des cavités naso-sinusiennes. La chirurgie peut également concerner des structures du nez comme le septum ou les cornets. La chirurgie endonasale permet ainsi d'élargir les cavités nasales en réduisant les obstacles (septum dévié, cornets obstructifs) d'une part, et, en la faisant communiquer largement avec les sinus d'autre part, apportant ainsi une plus grande résonance.

Les gestes chirurgicaux sont :

- la septoplastie : correction d'une déviation obstructive du septum nasal,

- la turbinoplastie : réduction du volume des cornets (inférieur ou moyen).

Une réduction excessive peut mener au syndrome du nez vide qui résulte d'une sensation paradoxale d'obstruction nasale. En effet, la stimulation des récepteurs de la muqueuse nasale s'en trouve réduite, et donc on peut l'interpréter comme une baisse de la sensation du flux d'air (Dayal *et al*., 2016).

Au contraire, l'effet Venturi crée une réelle obstruction nasale : par l'augmentation du débit d'air inspiré, une dépression se produit à l'entrée du nez qui entraîne un rétrécissement de cette partie et donc une résistance à l'inspiration.

- la polypectomie : ablation des polypes qui obstruent les cavités nasales. Elle n'est pas associée à un geste sinusien (Figure 33).

- la méatotomie

  - *inférieure* : ouverture de la partie inférieure du sinus maxillaire.
  - *moyenne* : élargissement du canal permettant la communication entre le sinus maxillaire et les cavités nasales.

- l'ethmoïdectomie

  - *antérieure* : ouverture des ostia et résection des lamelles osseuses des cavités ethmoïdales.

  - *totale* : évidement total des cavités ethmoïdales pouvant être étendu à l'ostium du sphénoïde.

- la sphénoïdotomie : ouverture de l'ostium du sinus sphénoïdal sans geste sur les autres sinus.

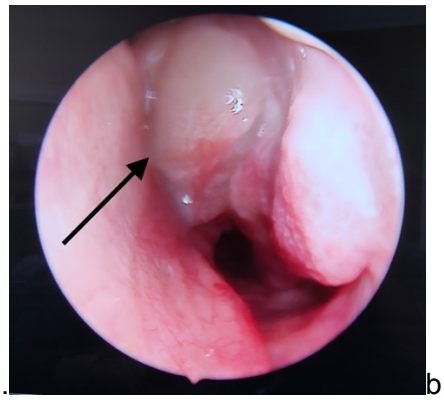
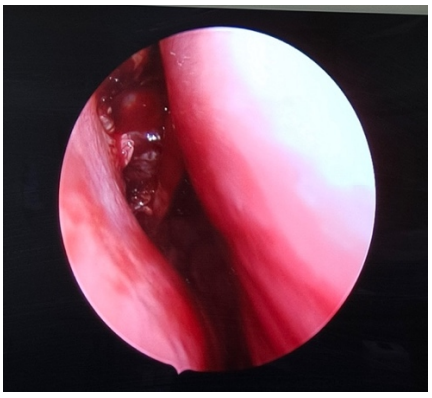
a.  b. 

Figure 33 : Photos prises par nos soins lors d'une chirurgie d'un des patients de la cohorte, en a. la flèche indique le polype, avant geste chirurgical, en b. après chirurgie.

Les préconisations premières de ces interventions sont l'amélioration de la respiration et de l'olfaction ; les conséquences sur la production de la parole et sur la qualité vocale ne sont que très rarement abordées lors des consultations.

Un nombre important de publications a montré que la chirurgie permettait d'améliorer significativement les symptômes, la qualité de vie du patient et le score de polypes. La chirurgie ne guérit pas la pathologie car il s'agit d'une maladie de la muqueuse.

Depuis deux ans, les biothérapies (anticorps anti-inflammatoires) sont disponibles pour les patients déjà opérés au moins une fois et non contrôlés par le traitement médical. Ce traitement est administré par voie injectée sous-cutanée.

3. Perturbations de la nasalité

A. Perturbations acoustiques

i. Mesures spectrales

Il existe une diversité d'effets acoustiques qui diffère selon les sinus impliqués, l'opération, le phonème et le patient (Hosemann *et al.*, 1998). Cette étude a été menée sur des locuteurs germanophones. L'évaluation des fréquences des formants F1 à F4 n'a pas montré de changements significatifs. En général, la largeur de bande des formants de la voyelle [a :] a diminué après l'opération. Cela était particulièrement vrai pour les patients du groupe 2 après une ethmoïdectomie complète chez lesquels il n'y avait pas de polypose sévère. Après une ethmoïdectomie partielle (groupe 1), l'effet était réduit. La chirurgie unilatérale (groupe 3) n'a eu aucun effet. Les patients atteints de polypose modérée (groupe 5) présentaient des réductions mineures de la largeur de bande de la voyelle [a :] après

l'opération. La voyelle [i :], en revanche, a montré une augmentation de la largeur de bande dans ce sous-groupe de patients. Il n'y a eu aucun changement pour les voyelles [a :] ou [i :] chez les patients atteints de polypose massive (groupe 6), alors qu'une augmentation de la largeur de bande de la voyelle [u :] a été détectée chez ces patients.

De même, l'amplitude des formants a montré une variété de changements postopératoires, en fonction de la voyelle et du sous-groupe de patients. En général, cependant, les amplitudes n'ont révélé que des changements mineurs. Les 3ème et 4ème formants de la voyelle [a :] ont diminué en postopératoire dans les sous-groupes 5 et 6. En revanche, les amplitudes des trois premiers formants du deuxième sous-groupe ont augmenté, tandis que le 4ème formant a montré une réduction simultanée. En général, la largeur de bande a diminué et les pics d'énergie des formants ont augmenté après l'opération.

Behrman *et al.* (2002) ont montré un changement significatif de l'amplitude de la résonance des sons nasals, en postopératoire qui se rapproche des données des locuteurs sains comparés au préopératoire. En effet, le rapport A1-$P1_n$ (A1 étant l'amplitude du premier formant et $P1_n$ l'amplitude du pic nasal à 1 kHz) pour /m/ et /n/ a significativement augmenté. Ils soulignent que cette amélioration acoustique est complexe : les caractéristiques acoustiques de la nasalisation ne sont pas totalement connues. En effet, un changement sur le signal acoustique ne permettra pas par lui-même d'identifier de la nasalisation, de même qu'un changement dans la production de parole ne causera pas forcément une perception différente de la résonance.

Chen et Metson (1997) vont dans le même sens : il y a une différence significative pour les consonnes nasales /m/ et /n/ une semaine après chirurgie des sinus. La chirurgie a augmenté l'amplitude du premier formant (A1) et baissé l'amplitude du pic nasal ($P1_n$) à 1kHz (Figure 34). Le rapport A1-$P1_n$ augmente encore à un mois postopératoire, suggérant une corrélation avec le processus de guérison.

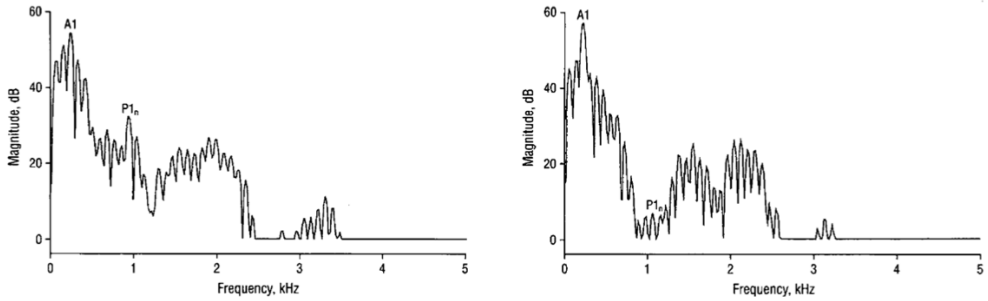


Figure 34 : Spectres obtenus au milieu de la consonne [m] par le patient M1 avant (à gauche) et après chirurgie (à droite) (Chen & Metson, 1997, p. 849)

Les voyelles hautes nasalisées ont aussi montré des changements significatifs une semaine après chirurgie, tout comme les consonnes, le rapport A1-P0 augmente encore plus un mois après chirurgie. Pour les voyelles non-hautes, le rapport A1-P0 baisse significativement à un mois postopératoire. Les voyelles non nasalisées ont révélé des changements divergents non significatifs. Cet indice de nasalité est donc plus haut après chirurgie pour les consonnes nasales et certaines voyelles nasalisées. Il continue même d'augmenter deux mois après l'opération en raison de la diminution du gonflement dans les

cavités et une résistance au flux d'air amoindri. L'augmentation de A1 peut être due à la suppression des cornets ou polypes en postopératoire. Cette dernière diminue la surface de tissu nasal et occasionne moins d'amortissement, ce qui, à terme, résulte en une diminution de la largeur de bande du premier formant, conduisant ainsi à l'élévation de son amplitude. L'augmentation de A1 peut aussi être due à un couplage acoustique plus important entre certains sinus en postopératoire. Ce couplage introduirait dans les basses fréquences, un pic supplémentaire qui viendrait rehausser le premier formant. Selon l'auteur, la baisse du pic nasal ($P1_n$) pourrait être causée par l'augmentation du couplage acoustique entre sinus en postopératoire.

Hong *et al.* (1997) ont montré que la fréquence du premier formant nasal baisse et l'intensité augmente pour les consonnes nasales après chirurgie. Alors qu'en préopératoire, le processus inverse avait été remarqué : une hausse du formant et une baisse de l'intensité. Cependant, il n'y a pas eu de changements significatifs concernant le deuxième formant.

L'étude de Borel (2005) a montré une augmentation du rapport A1-P1n, une réapparition d'anti-formants pour les voyelles nasalisées /i/ et /u/ ainsi qu'une augmentation de l'intensité pour la voyelle /a/ en postopératoire pour un patient souffrant de PNS stade III.

L'étude de Giron et Mas (2016) n'a pas montré de différence significative concernant les mesures de temps maximum phonatoire (TMP) et de spectre moyen à long terme (LTAS). La chirurgie n'impacterait donc pas la partie laryngée du conduit vocal ni le mécanisme de soufflerie.

Les mesures de largeurs de bande ont révélé une augmentation significative de la largeur de bande de F1 pour /ɛ̃/, et de celle de F2 pour /ɔ̃/.

ii. Mesures de nasalance

Les chirurgies sinusiennes peuvent changer les caractéristiques acoustiques du conduit vocal mais aussi entraîner une augmentation significative de la nasalité. Kim *et al.* (2013) et Kim *et al.* (2015) ont montré grâce à la mesure de nasalance (ratio entre l'énergie acoustique nasale et totale) que la nasalité atteint ses plus hauts scores après un mois postopératoire (on parle d'hypernasalité) et retourne à son niveau préopératoire après cinq ou six mois (hyponasalité) selon le type de stimuli. La nasalance peut être modifiée par des éléments affectant les cavités nasales comme les polypes, par exemple. La variabilité du score de nasalance est due à une augmentation du volume des cavités nasales et des sinus ou à une baisse de la résistance du flux d'air nasal (élargissement des ostia, par exemple). Leur hypothèse est que la chirurgie naso-sinusienne entraîne une baisse de la résistance au flux d'air nasal, donc une hausse de la nasalance en augmentant l'énergie acoustique nasale. En effet, il y a moins de muqueuse dans les cavités sinusiennes et un passage plus large. L'hypernasalité s'explique par le fait que la muqueuse sino-nasale guérit en postopératoire et que la vibration de la muqueuse et sa fonction d'amortisseur du son se rétablissent au fur et à mesure. Pour rendre la nasalance normale, des phénomènes compensatoires comme le contrôle du port vélopharyngé peuvent se mettre en place. Dans l'étude de Hong *et al.* (1997), le score de nasalance des consonnes nasales était significativement plus bas chez les patients

avec polypes que chez les sujets sains, mais après chirurgie, ce score a augmenté significativement à un niveau « normal » c'est-à-dire au niveau observé chez les sujets sains. L'étude de Jiang et Huang (2006) a relevé une hyponasalité en préopératoire, avant une chirurgie endoscopique fonctionnelle des sinus. Les scores de nasalance ont significativement augmenté de même que le volume des cavités nasales. La nasalance est mise en corrélation avec l'augmentation au niveau postérieur et moyen de la cavité nasale. Deux types de patients ont été observés : patients atteints de sinusite chronique avec et sans polypes : la corrélation entre nasalance et volume des cavités était plus remarquable chez les patients sans polypes. De même, ce score était plus haut dans le cadre de rhinites allergiques que de rhinites non allergiques.

Soneghet *et al.* (2002) ont montré que la nasalance a décru entre la phase préopératoire et la phase suivant immédiatement l'opération, mais qu'à un mois postopératoire, le score avait augmenté significativement. Cela est dû au temps de rétablissement de la muqueuse nasale : guérison des œdèmes, croûtes, etc. qui permettra aux sinus et à la muqueuse nasale de se restaurer. Par exemple, le score de nasalance de la syllabe [mi] est passé de 60,6% à 75,7%. Arslan *et al.* (2016) ont eux aussi montré une augmentation du score de nasalance à trois mois postopératoire. L'intervention chirurgicale permet donc une augmentation des capacités de production des consonnes nasales (Borel, 2005).

iii. Mesures temporelles

Giron et Mas (2016) ont mesuré la durée de voyelles nasales : après chirurgie des cavités naso-sinusiennes, la durée de ces voyelles a significativement augmenté. Cette augmentation pourrait être gage d'une amélioration de la nasalité après chirurgie.

iv. Mesures de qualité vocale

L'étude de Acar *et al.* (2014) n'a pas montré de différence significative après chirurgie chez des patients atteints de polypose nasale à différents stades d'obstruction nasale pour les paramètres suivants : jitter, shimmer, Harmonics to Noise Ratios (HNR) et F0. Il en va de même pour Brandt *et al.* (2014), Giron et Mas (2016) et Wong et Chong (2019).

L'étude de Brandt *et al*. (2014) a procédé à une évaluation perceptive par des naïfs qui n'a révélé aucun changement dans la qualité de voix. Il s'agissait de coter une phrase de 12 mots à l'aide d'une échelle allant de hyponasal à hypernasal avec au milieu de l'échelle le stade « normal nasality ». Les phrases étaient enregistrées chez des patients atteints de polypose naso-sinusienne avant chirurgie et à six mois postopératoire. Des extraits sonores de cas extrêmes d'hyponasalité et d'hypernasalité étaient enregistrés en amont et présentés aux auditeurs avant de commencer le test. L'étude de Behrman *et al.* (2002) comprenait un questionnaire propre à la nasalité évoquant les phénomènes d'hypo- et hypernasalité : aucune différence significative entre préopératoire et postopératoire n'a été montrée. Aucun patient ne percevait sa voix comme hypernasale que ce soit avant ou après chirurgie. Cinq patients percevaient leur voix comme hyponasale avant chirurgie et cela persistait après chirurgie pour un patient.

Il est difficile de tirer des résultats clairs de l'impact de la chirurgie des sinus sur l'acoustique de la parole. Toutes ces études sont basées sur des techniques opératoires différentes et sur une petite cohorte de patients. Les valeurs individuelles mesurées sont soumises à une variabilité importante de changements en fonction du sous-groupe de patients et du phonème. Selon la littérature, nous pouvons tout de même dire que l'ablation du tissu polypoïde peut entraîner une diminution de la perte acoustique. En effet, le nez étant obstrué par les polypes, il y a une perte acoustique mais l'opération permettra de diminuer cette perte en ôtant les polypes. La chirurgie peut non seulement amener à un élargissement des cavités nasales avec une augmentation significative de la surface de section, mais aussi une augmentation du couplage acoustique des sinus, d'une part et du couplage entre cavités orale et nasales, d'autre part. Enfin, des changements dans les propriétés acoustiques de la muqueuse nasale sont eux aussi à envisager.

B. Perturbations aérodynamiques

Il existe une différence de coordination entre flux d'air nasal et flux d'air oral pour les locuteurs ayant une obstruction dans le canal nasal (Villet, 2017). Un contraste intéressant a été mis en avant entre les consonnes orales et nasales, avec une nette différence dans l'apparition du flux d'air nasal lors de l'émission des consonnes occlusives chez les patients atteints de sinusite aspergillaire, selon que l'on se situait en pré ou en postopératoire. En préopératoire, le flux d'air oral était plus important et le flux d'air nasal moins important qu'en postopératoire, et arrivait plus tardivement.

Giron et Mas (2016) se sont intéressées aux voyelles orales nasalisées, aux voyelles orales non nasalisées et aux voyelles nasales. Le débit d'air nasal en postopératoire a montré une variabilité importante : certains patients ont augmenté, d'autres diminué et certains ont une moyenne de débit d'air nasal identique. Il n'y a pas réellement de tendance qui se dessinait.

Le débit d'air oral quant à lui n'a pas montré de différences après chirurgie.

Les auteures ont aussi mesuré le ratio DAN / (DAO + DAN). Les changements de moyenne de DAN en postopératoire n'ont pas affecté ce ratio : la répartition de l'air pour les voyelles reste identique en postopératoire.

L'étude d'Elmerich, Amelot et Crevier-Buchman (2020) converge avec les résultats de Giron et Mas (2016). En effet, sur quatre patients, deux ont augmenté, un a baissé et l'autre a stabilisé leur moyenne de débit d'air nasal sur les consonnes nasales /m/ et /n/. Cette variabilité dans les résultats peut s'expliquer par des stades de PNS et des sexes différents. En effet, les degrés d'altérations aérodynamiques ne seront pas les mêmes. Les auteurs s'attendaient à une baisse de la moyenne de débit d'air oral en postopératoire, ici aussi une variabilité dans les résultats est apparue.

Enfin, il était attendu que la coordination des flux d'air oral et nasal s'améliore en postopératoire. Cette hypothèse s'en est trouvée en partie vérifiée : des résultats variables selon la consonne nasale et le patient étaient observés.

C. *Perturbations de la qualité de vie*

La qualité de vie est la perception selon le patient des conséquences subjectives d'une maladie et de son traitement (Klossek, 2003, p. 37). Elle est évaluée à l'aide de questionnaires d'auto-évaluations. Ils permettent de quantifier la qualité de vie en se basant sur les réponses subjectives des patients. Les réponses dépendent donc de l'avis du patient, son état de santé et non sur des paramètres physiques ou radiologiques. Ils sont conçus avec une échelle de Likert c'est-à-dire une échelle composée de quatre à cinq graduations la plupart du temps. Ces graduations peuvent correspondre, par exemple, aux degrés de sévérité possibles (aucun problème à problème très sévère) ou à la fréquence d'un événement (jamais à toujours). Les patients doivent attribuer un score à une ou plusieurs affirmations ou items. Plus le score est haut et plus les retentissements sur la vie du patient sont importants. Les questionnaires de qualité de vie permettent aussi de quantifier la réussite d'un traitement médicamenteux, d'une chirurgie ou d'une rééducation orthophonique, par exemple.

i. Perturbations de la qualité de vie : en parole

Concernant les questionnaires d'auto-évaluation de la voix et de la parole, peu d'études s'y sont intéressées dans le cadre de la polypose naso-sinusienne. Le Voice Handicap Index (VHI) (Jacobson *et al.*, 1997) et le Speech Handicap Index (SHI) (Rinkel *et al*., 2008) sont les deux questionnaires les plus courants dans les études en phonétique clinique pour évaluer le handicap relatif à la voix et la parole. Ils se composent tous les deux de 30 items qu'il faut coter de 0 (jamais) à 4 (toujours) avec en graduations intermédiaires : presque jamais (1), parfois (2), presque toujours (3). Le score minimum est de 0 et le score maximal de 120. Le VHI est le plus complet et le plus commun aux études sur les pathologies vocales. Les questions sont réparties en 3 sous-parties : physique, fonctionnelle et émotionnelle. Le patient répond à des items comme par exemple « On m'entend difficilement à cause de ma voix ». Le SHI est un questionnaire qui cible la parole avec deux catégories : Psycho-Social et Parole. Des items comme « Je suis à bout de souffle quand je parle » sont à coter dans ce questionnaire. Il a été conçu une dizaine d'années après le VHI dans le but de quantifier les problèmes liés à la parole de patients atteints de cancers oropharyngés. Cependant, certains items sont communs aux deux questionnaires.

Behrman *et al.* (2002) se sont aussi intéressés à la perception des voix en préopératoire et postopératoire à l'aide du VHI. Tous les patients de l'étude étaient opérés pour des septoplasties et turbinectomies (n=44) et quelques-uns avaient en plus des polypectomies (n=6), ethmoïdectomies (n=12) ainsi que d'autres gestes chirurgicaux de la sphère sino-nasale (sphénoïdotomie, antrostomie, etc.). Les résultats du test VHI de l'étude de Behrman *et al.* n'a pas révélé de différences cliniques ou significatives en postopératoire.

Enfin, à une question plus générale de changement de la voix après chirurgie : un cinquième des patients perçoivent une amélioration de la voix et aucun des patients ne la perçoit comme pire. Il est difficile pour les patients de percevoir un changement dans leur voix mais lorsqu'un changement est perçu, il est positif. Hosemann *et al.* (1998) dressent le même constat : peu de patients ressentent un changement dans leur voix. Chez 6 des 21 patients, les patients ou d'autres personnes ont détecté des changements perceptifs de la voix après l'opération.

A l'aide du VHI-10 (Rosen *et al.*, 2004), une version courte du VHI, Arslan *et al.* (2016) ont noté une amélioration significative de ce score en postopératoire chez 62 patients de leur cohorte de 63 patients. Notre mémoire (Elmerich, 2019) révélait aussi cette tendance dans le domaine de la voix. La majorité des patients a connu une baisse postopératoire de son score VHI. La patiente présentant le stade de PNS le plus élevé a connu la baisse la plus importante de son score VHI en postopératoire. Les domaines les plus touchés concernaient l'aspect fonctionnel et physique. Tandis que l'étude de Giron et Mas (2016) n'a pas pu réellement mettre en évidence de plaintes vocales en préopératoire ni de potentielles modifications de la voix en postopératoire, à l'aide du VHI. Un seul patient sur les 11 avait une plainte vocale en amont et a trouvé sa voix améliorée à trois mois postopératoire. Les autres patients n'ont pas ressenti de changements au niveau de la résonance nasale. Nous pouvons mettre en relation ce constat en raison de l'hétérogénéité de sa cohorte alliant polypose unilatérale et une diversité de pathologies (aspergillose, polype de Kilian, par exemple).

Chen et Metson (1997) ont noté que trois patients sur cinq ont fait part de changements dans leur voix qui impliquaient, généralement, une réduction de la nasalité en postopératoire. Ces résultats dépendaient du moment de la journée. Un autre patient rapporte que sa voix est plus nasale, et le dernier n'a pas noté de changements. Pour la plupart des patients, ce sont bien souvent leurs interlocuteurs qui leur signalaient un changement dans leur voix, notamment lors de conversations téléphoniques.

Brandt *et al.* (2014) ont fait passer le questionnaire Voice-Related Quality of Life (V-RQOL) à des patients souffrant de pathologie naso-sinusienne nécessitant une chirurgie. Ce questionnaire de mesure des troubles de la voix se compose de 10 items répartis en deux catégories (Fonctionnement physique et Socio-émotionnel) que les patients doivent coter de 1 (Aucun) à 5 (Le problème est aussi « grave qu'il peut l'être ») donnant ainsi un score total de 0 à 100. Ils ont observé qu'il n'y avait pas de changements significatifs de ce score après chirurgie.

Wong et Chong (2019) ont comparé les changements subjectifs dans la voix de patients à l'aide de questionnaires. Avant l'opération, 30% des patients et 40% de leurs amis ou parents ont remarqué une modification de leur voix due à la polypose nasale, tandis que 33,3% des patients et 16,7% de leurs amis ou parents ont remarqué une modification de leur voix due à une rhinosinusite chronique sans polypes. La majorité des patients ont décrit leur voix comme étant « plus nasale », « moins claire » ou « pire que d'habitude ». Au cours de la période postopératoire immédiate (dans les deux semaines), la plupart des patients ont décrit leur voix comme étant « moins nasale » ou « revenue à la normale ». En revanche, aucun changement subjectif ou amélioration n'ont été remarqués par les patients atteints de rhinosinusite chronique sans polypes ou par leurs amis ou parents. Après trois mois, la majorité des patients ont décrit leur voix comme « améliorée » ou « revenue à la normale », mais un patient a décrit sa voix comme « devenue plus nasale après l'opération ». Là encore,

aucun changement subjectif n'a été constaté chez les patients souffrant de rhinosinusite chronique sans polypes.

ii. Perturbations de la qualité de vie : dans la sphère rhinosinusienne

Dans le domaine rhinosinusien, la prise en compte des tests de qualité de vie est fondamentale. Elle s'évalue par des tests génériques mais aussi des tests spécifiques à la pathologie en question. Beaucoup de questionnaires rhinosinusiens se sont développés en anglais (van Oene *et al.,* 2007). En 2011, Marro *et al.*, ont fait valider en français deux questionnaires de qualité de vie relatifs au domaine rhinologique : le Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) (Stewart *et al.*, 2004) et le Rhinosinusitis Quality of Life Survey (RhinoQOL) (Atlas *et al.*, 2005). A cette époque, les médecins ne disposaient que de deux tests validés en français : le Short Form Health Survey (SF-36) (Ware & Sherbourne, 1992) et le Sinonasal Outcome Test-16 (SNOT-16) (Anderson *et al.*, 1999). Il y avait une réelle nécessité d'intégrer de nouveaux tests car le premier est un questionnaire généraliste de qualité de vie, indépendant de la pathologie et le second ne prend pas en compte l'obstruction nasale (Leplège *et al.*, 1998 ; Mortuaire *et al.*, 2010). Le NOSE et le RhinoQOL ciblent tous les deux des aspects différents : le premier est spécifique à l'obstruction nasale et permet des évaluations avant et après traitement mais n'explore pas les différentes manières par lesquelles la qualité de vie peut être altérée. Le second est spécifique aux rhinosinusites chroniques, et cible les différents aspects de la qualité de vie potentiellement impactés. En ce sens, ils sont complémentaires, et doivent être associés pour mesurer l'obstruction nasale dans toutes ces dimensions. A la suite du SNOT-16, d'autres questionnaires se sont développés : le SNOT-20 (Piccirillo *et al.*, 2002) et le SNOT-22 (Hopkins *et al.*, 2009). Adapté en français en 2015 par de Dorlodot *et al.* (2015), ce dernier est le plus largement utilisé en pratique clinique, et est considéré comme le système le plus adapté pour évaluer les pathologies naso-sinusiennes (Morley et Sharp, 2006 ; Quintanilla-Dieck *et al.*, 2012). Mais aussi pour évaluer d'autres branches de la sphère rhinologique comme les septoplasties (Buckland *et al.*, 2003 ; Poirrier *et al.*, 2013). Par rapport au SNOT-20, deux questions concernant l'obstruction nasale et la perte de l'odorat y sont ajoutées. Il se compose d'une échelle de Likert allant de 0 (Aucun problème) à 5 (Problème très sévère). Le score maximum est de 110. Il est le plus utilisé en pratique clinique et le premier à introduire la notion de Différence Minimale Cliniquement Significative (DMCS). Elle correspond au plus petit changement de score qui est considéré comme cliniquement significatif c'est-à-dire qui témoigne d'une réelle amélioration. Pour les patients ayant subi une chirurgie, il est de 8,9 ce qui signifie qu'un changement inférieur à 9 points ne peut pas être perçu comme une réelle amélioration.

Le tableau ci-dessous (Tableau 2) résumé les différents questionnaires de qualité de vie rhinosinusiens avec leurs caractéristiques (items, domaines, domaines absents).

Tableau 2 : Tableau résumant les différents questionnaires de qualité de vie rhinosinusiens avec leurs caractéristiques (items, domaines, domaines absents).

Questionnaire	Items	Domaines	Domaines absents
NOSE	5	2 domaines : - Domaine général : sommeil - Domaines physiques : symptômes rhinologiques, extra-rhinologiques et oto/faciaux	Manières dont la qualité de vie peut être altérée par l'obstruction nasale
RhinoQoL	17	3 domaines : - 2 domaines physiques : symptômes rhinologiques et oto/faciaux - 2 domaines généraux : symptômes psychosociaux et sommeil	Pas d'évaluation de la toux, de l'odorat ou du retentissement otologique
SNOT-16	16	5 domaines : - 3 domaines physiques : symptômes rhinologiques, extra-rhinologiques et oto/faciaux - 2 généraux : symptômes psychosociaux et sommeil	Pas d'évaluation émotionnelle ni de l'obstruction nasale ou de l'odorat
SNOT-22	22	5 domaines : - 3 domaines physiques : symptômes rhinologiques, extra-rhinologiques et oto/faciaux - 2 domaines généraux : symptômes psychosociaux et sommeil	

La motivation d'évaluer la qualité de vie est notamment due à la nécessite d'obtenir des preuves quant à l'efficacité de nouvelles molécules pour le traitement médicamenteux, par exemple. Améliorer la qualité de vie du patient est un enjeu thérapeutique. En effet, les symptômes de la PNS sont fortement invalidants : perte de l'odorat, écoulements, nez bouché, etc. L'étude de Miwa *et al.* (2001) a montré que cette perte d'odorat altérait les domaines de la sécurité (ne plus sentir les odeurs de gaz ou de brûlé) ainsi que de l'alimentation (perte du plaisir à manger). Que la prise en charge soit médicamenteuse (Alobid *et al.*, 2005 ; Alobid *et al.*, 2006 ; Gevaert *et al*., 2013) ou chirurgicale (Gliklich & Metson, 1997 ; Radenne *et al.*, 1999 ; Welby & Barnett, 1998), une amélioration significative de la qualité de vie a été relevée. Ces études se sont basées sur le test du SF-36. Cette amélioration de la qualité de vie se traduit par une récupération de l'odorat et une baisse des symptômes rhinosinusiens. Il en va de même avec d'autres tests comme le SNOT-20, qui révèle une amélioration significative de la qualité de vie des patients après chirurgie endoscopique des sinus. L'utilisation de questionnaires rhinosinusiens de qualité de vie permet aussi de comparer les techniques chirurgicales : Browne *et al.*, en 2006, ont montré, à l'aide du SNOT-22, qu'une polypectomie avec chirurgie additionnelle n'a pas de bénéfices par rapport à une simple polypectomie en termes de qualité de vie. Par chirurgie additionnelle, ils entendent une chirurgie du méat moyen, du sinus frontal ou sphénoïde. Le SNOT-22 a été complété à 12 et 36 mois postopératoire.

Chapitre II : Objectifs et problématiques de cette étude

Résumé du chapitre :

Nous détaillerons dans cette partie les objectifs et les problématiques de nos quatre études. Afin d'avoir une description multiparamétrique de la voix et de la parole de patients atteints de PNS avant et après chirurgie, nous utiliserons des mesures aérodynamiques, acoustiques, volumétrique et perceptives. Nous observons le comportement des locuteurs sains et nous comparerons avec celui des patients pour voir s'il s'en éloigne et si certains paramètres sont plus impactés que d'autres. Nous aimerions dresser une tendance générale des comportements aérodynamiques des patients. Au niveau acoustique, nous voulons essayer une nouvelle mesure qui nous est rendue possible grâce à l'AeroMask afin de quantifier la nasalité avec une mesure plus globale que ce qui est présent dans la littérature. Nous utiliserons la mesure plus classique de la durée des voyelles dans le but d'observer la dynamique postopératoire de la durée sur une population plus homogène qu'est la nôtre. Nous souhaitons exploiter les scanners préopératoire et postopératoire pour la dimension volumétrique, cette approche innovante en sciences phonétiques nous permettra d'apporter un éclairage supplémentaire aux trois études. Enfin, l'étude perceptive ciblera l'auto-perception et l'hétéro-perception. Nous exploiterons le questionnaire de qualité de vie rhinosinusien complété par les patients avant et après chirurgie afin de le mettre en regard avec les questionnaires de qualité de vie propres à la voix et à la parole. Partant du constat qu'il n'existe pas de questionnaires ciblant la nasalité, nous essayerons un questionnaire conçu par nos soins et adapté de précédentes études. Pour l'hétéro-perception, nous souhaitons voir si la PNS impacte la qualité vocale. Face à la difficulté à coter la résonance nasale et le manque d'échelles en pratique clinique, nous proposons dans cette étude une nouvelle mesure.

I. Étude aérodynamique

Cette première partie expérimentale a pour but de mesurer l'impact au niveau aérodynamique de la PNS et de sa chirurgie. Les cavités nasales étant encombrées puis vidées de leurs polypes, il apparaît primordial que le passage de l'air en soit impacté. Quelques rares études se sont intéressées aux perturbations aérodynamiques. Un certain nombre de problèmes ont émergé : celle de Giron et Mas (2016) a brassé une population hétérogène avec des sexes, une étiologie, latéralité de la PNS et chirurgies différentes. Les effets de la chirurgie ont montré une variabilité importante rendant compliqué de dresser une tendance générale. Celle d'Elmerich, Amelot et Crevier-Buchman (2020) avait une population plus homogène mais toutes les deux avaient l'inconvénient d'utiliser la station EVA2 qui peut être problématique pour l'enregistrement de patients avec PNS. Selon le stade de PNS, l'utilisation d'embouts narinaires peut s'avérer compliquée. En effet, le placement des embouts dans des cavités nasales réduites par les polypes peut perturber l'enregistrement aérodynamique. De plus, l'étude de Giron et Mas (2016) apporte des résultats par contexte phonétique mais n'affine

pas les résultats en observant les phonèmes de manière isolée. Nous avons donc voulu approfondir l'analyse en utilisant l'AeroMask sur une population plus homogène pour tenter de dresser un panorama des changements aérodynamiques postopératoires.

Les questions de recherche auxquelles nous tentons de répondre sont les suivantes :

- Quels sont les changements aérodynamiques en postopératoire ? Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ?
- Différent-ils selon les contextes ?
- Est-ce que notre population pathologique se calque sur les données de la littérature ? A-t-elle un comportement différent des locuteurs sains ?

II. Étude acoustique

Cette deuxième partie expérimentale a pour but de mesurer l'impact au niveau acoustique de la PNS et de sa chirurgie. L'acoustique de la nasalité reste obscure encore de nos jours. De nombreux auteurs ont essayé de trouver les indices acoustiques précis de la nasalité vocalique et consonantique. Cette recherche s'est heurtée à une variabilité interindividuelle importante et à un impact non négligeable de facteurs tels que le contexte consonantique ou la nature de la voyelle. Les études sur la PNS ont essayé plusieurs mesures telles que la largeur de bande, l'amplitude des formants ou encore le rapport A1-$P1_n$ (A1 étant l'amplitude du premier formant et $P1_n$ l'amplitude du pic nasal à 1 kHz). Ces mesures ont été calculées sur des phonèmes en particulier. Il en résulte une variété de changements selon les sinus impliqués, le type de chirurgie ou le phonème sans pouvoir dresser une tendance générale. Nous avons essayé d'appliquer le rapport A1-$P1_n$ à notre cohorte. En effet, cette mesure était utilisée dans une étude avec une population de patients similaire à la nôtre (Chen & Metson, 1997). Mais en analysant les coupes spectrales, nous avons trouvé que cette mesure passait à côté de certains éléments. Nous voulions avoir une vue globale pour essayer de dresser une tendance générale mais la mesure de A1-$P1_n$ était trop précise pour cela.
Grâce à l'AeroMask, nous avons la possibilité d'isoler le signal acoustique global et le signal nasal, et de pouvoir les exploiter pour une étude acoustique étant donné qu'ils sont dépourvus de distorsion. Nous avons donc voulu mettre à profit cet avantage en essayant une nouvelle mesure qui a pu être testée en amont dans une communication aux Journées de Phonétique Clinique 2023 (Elmerich, Amelot *et al.*, 2023). Nous avons donc souhaité proposer une mesure plus globale qui est le spectre moyen de 0 à 2kHz. Nous avons aussi voulu appliquer une mesure temporelle : la durée des voyelles. Elle est utilisée dans l'étude de Giron et Mas (2016), nous avons souhaité la redupliquer à notre cohorte.

Les questions de recherche auxquelles nous tentons de répondre sont les suivantes :

- La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient-elle en préopératoire et postopératoire ?
- Quels sont les changements acoustiques en postopératoire ? Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ?

- Différent-ils selon les contextes phonétiques ?
- Comment la contribution acoustique des cavités orale et nasales évolue-t-elle en postopératoire ? Est-elle perturbée en préopératoire ?

III. Étude volumétrique

Cette troisième partie expérimentale a pour but de mesurer l'impact au niveau volumétrique de la PNS et de sa chirurgie. Il est question ici de l'utilisation de l'imagerie médicale c'est-à-dire des scanners tomodensitométriques des patients. Nous avons choisi de les exploiter afin de quantifier le volume d'air restant au sein des cavités nasales et sinusiennes avant et après chirurgie. L'usage des scanners représente une information supplémentaire qui est à mettre en regard avec les dimensions acoustique, aérodynamique et perceptive. La mise en relation de ces quatre dimensions est peu réalisée dans les études sur la parole.

Les études récentes utilisant les données d'imagerie (scanner ou IRM) sont utilisées pour mieux comprendre les phénomènes de nasalité notamment dans le cadre de l'activité vélaire (Byrd *et al.*, 2009 ; Douros *et al.*, 2019 ; Laprie, 2015 ; Rossato *et al.*, 2003 ; Vaxelaire, 1997).

Peu d'études phonétiques se sont intéressées aux cavités nasales (Serrurier, 2007).

Le volume des sinus issu de l'imagerie a été utilisé par quelques études à des fins de calcul de la résonance d'Helmholtz (Dang & Honda, 1996 ; Dang *et al.*, 1994). Il est aussi utilisé dans une perspective plutôt clinique : pour l'obstruction nasale, afin de reconstruire la dynamique des fluides à l'intérieur des cavités nasales (Michel, 2015; Radulesco *et al.*, 2019), pour prédire les résultats post-chirurgie d'une déviation septale (Meister *et al.*, 2019) ou enfin, dans le cadre de la forensique (Christensen, 2005 ; Quatrehomme *et al.*, 1996).

Les questions de recherche auxquelles nous tentons de répondre sont les suivantes :

- Y a-t-il une augmentation du volume d'air des cavités naso-sinusiennes en postopératoire ?
- Les volumes postopératoires des patients sont-ils proches du témoin ?

IV. Étude perceptive

1. Qualité de vie et auto-perception

Cette première sous-partie a pour objectif de mieux appréhender l'impact de la PNS et de sa chirurgie sur la qualité de vie. Nous avons voulu ici croiser les questionnaires de qualité de vie propres à la voix et la parole comme le VHI et le SHI avec un questionnaire de qualité de vie rhinosinusien, le SNOT-22. Mais aussi en savoir plus sur les dimensions de la nasalité altérées par la pathologie et la chirurgie ainsi que les possibles changements au niveau de la parole et de le voix induits par la pathologie et la chirurgie. Nous avons donc créé un questionnaire : le questionnaire Nasalité-Parole. Il comprend des questions précises en lien avec l'hypo- et l'hypernasalité adaptées de l'étude de Behrman *et al.* (2002) : il n'existe pas à notre connaissance de questionnaires construits sur le modèle du SHI et VHI qui cibleraient les phénomènes de résonance nasale que ce soit pour des obstructions nasales ou des insuffisances vélo-pharyngées. Nous avons décidé de concevoir nous-même ce questionnaire

en veillant à le garder concis afin de ne pas surcharger la tâche de complétion de questionnaires déjà bien fournie. C'est pour cela que nous avons ajouté seulement ces deux questions propres à des phénomènes possibles en préopératoire et postopératoire (respectivement hypo- et hypernasalité). Nous voulions aussi ajouter des questions qui ciblent de manière directe les changements dans la voix et la parole induits par la pathologie et la chirurgie d'où la présence de questions liées aux adaptations que le locuteur pense mettre en place pour parler, à la difficulté à lire le corpus et enfin, à la comparaison de leur voix avant et après chirurgie.

Le VHI a été choisi car il est traditionnellement utilisé dans les études en phonétique clinique pour quantifier les altérations vocales. De plus, les études sur la PNS ayant utilisé ce questionnaire donnent des résultats différents les unes des autres allant soit vers une baisse importante du score en postopératoire soit vers une absence de changement. Nous avons voulu ici voir vers quelle tendance allait se placer cette thèse et essayer de trouver des indices expliquant cette tendance.

Nous avons choisi d'utiliser le SHI d'une part car il n'a jamais été utilisé dans le cadre de patients avec PNS et d'autre part, il fait écho à un constat dressé par une patiente lors de notre mémoire de master qui disait pouvoir « débiter plus facilement ses phrases en postopératoire », il permettrait ainsi de quantifier certains problèmes qui sont plus spécifiques à la parole qu'à la voix.

Le SNOT-22 fait partie du parcours de soin du patient, nous l'utilisons pour mettre en regard les atteintes propres à la voix et à la parole avec ces atteintes rhinosinusiennes.

Nous nous proposons de répondre à ces questions de recherche :

- Quel est le ressenti du patient par rapport à sa voix et sa parole avant et après chirurgie ? Représentent-elles un handicap ? Le cas échéant, s'améliorent-elles en postopératoire ? Ces scores sont-ils liés aux stades de PNS ?
- Existe-t-il une relation entre les symptômes rhinosinusiens et les répercussions sur la voix et la parole en préopératoire ?
- Est-ce que le questionnaire Nasalité-Parole permet de rendre compte d'éléments dont le SHI et le VHI feraient abstraction ? Permet-il d'ajouter des détails, de rendre compte d'éléments propres à la nasalité qui pourraient être perturbés ?

2. Qualité de voix et hétéro-perception

La terminologie pour qualifier la voix des personnes ayant un trouble rhinologique est foisonnante et détaillée (Borel , 2005) comme nous avons pu l'évoquer dans le chapitre I, partie IX.1, p.53 : « il parle du nez », « il nasonne », « il a une voix nasillarde », « il souffre de rhinolalie, d'hyperrhinophonie », etc. Qui plus est, il n'existe pas forcément de consensus sur la signification exacte de ces termes. Il n'est donc pas aisé de trouver un terme qualifiant la voix des patients ayant une pathologie nasale. Peu de termes sont utilisés en pratique clinique, le mot « nasonnement » est le plus employé par les professionnels. Le terme d' « hyponasalité » qui serait le plus proche des voix des patients en préopératoire couvre des

concepts très hétérogènes : « rhinolalie fermée », « modification de résonance », « voix nasale », « nasillement », « manque de nasalité », etc.

Lorsqu'il s'agit de coter la résonance nasale, la cotation orthophonique est développée pour les enfants notamment dans le cadre d'insuffisance vélo-pharyngée mais l'est beaucoup moins pour les adultes. Bien souvent la rééducation des troubles de la nasalité chez l'adulte est une adaptation de ce qui est mis en place chez les enfants. Les professionnels ont la nécessité d'évaluer la résonance nasale dans le cadre de dysarthrie paralytique ou d'usage de prothèse palatale. Par exemple, dans la Batterie d'Évaluation Clinique de la Dysarthrie (Auzou & Rolland-Monnoury, 2006), son évaluation est bornée à la cotation de 0 (pas d'anomalie) à 4 (anomalie sévère) de l'item « Trouble de la résonance nasale ». Cet item est très large et comprend à la fois, dans sa définition, l'hypernasalité : « la résonance peut être excessive, inappropriée, permanente », l'hyponasalité : « manque de résonance nasale » et la « dénasalisation » (Auzou & Rolland-Monnoury, 2006, p. 21). Il apparaît donc compliqué dans la littérature actuelle de trouver une échelle ciblant les voix des patients avec obstruction nasale.

De plus, les patients ayant des troubles de la nasalité comme les insuffisances vélo-pharyngées représentent une moindre part dans la patientèle totale des orthophonistes. De même que les consultations de patients ayant une polypose naso-sinusienne sont quasiment inexistantes en pratique orthophonique. Selon Giron et Mas (2016) sur 54 orthophonistes interrogées, 67% ont déjà reçu en consultation des personnes avec un trouble de la résonance nasale et la cause majeure de ces consultations en était l'insuffisance vélo-pharyngée. Seulement 36% des orthophonistes ont déjà reçu un patient souffrant d'une pathologie sinusienne avec une plainte vocale et par la suite seulement 15% ont eu des patients après chirurgie des cavités nasales.

Cette seconde sous-partie expérimentale a pour but de mieux concevoir la perception par autrui des voix de patients en quantifiant l'altération potentielle de leur qualité de voix mais aussi de savoir comment coter la nasalité dans le cadre de la PNS. Nous cherchons à savoir si leur pathologie est perceptible et si certains éléments comme le contexte vocalique ou le stade de PNS peuvent avoir un impact dans le jugement du jury.

Les questions de recherche auxquelles nous nous proposons de répondre sont les suivantes :

- Les voix des patients avant chirurgie sont-elles considérées comme altérées de manière générale ?
- Les voix sont-elles considérées comme enrhumées en préopératoire ? le cas échéant est-ce que ce score baisse en postopératoire ?
- Peut-on observer une différence de jugement selon le jury ? selon le stade de PNS du patient ? ou selon le contexte vocalique ?

Chapitre III : Description d'un système d'enregistrement de données aérodynamiques développé au LPP : l'AeroMask

Résumé du chapitre :

L'AeroMask est un système développé au LPP. Ce système est innovant car il nous permet d'acquérir simultanément des données aérodynamiques et acoustiques sans distorsions.
La conception d'outils pour l'acquisition aérodynamique connaît ses débuts à la fin du 19ème siècle avec le kymographe. Par la suite, plusieurs systèmes de captation du flux d'air ont vu le jour : le pneumotachographe, le pléthysmographe, l'anémomètre à fil chaud, etc. Pour recueillir ce flux d'air, les masques rigides respiratoires ou d'anesthésie ont bien souvent été utilisés mais ils engendraient un certain nombre d'inconvénients dont la distorsion acoustique. Nous avons utilisé le principe du pneumotacographe avec un masque souple en fibre de papier pour pallier ces problèmes. Une adaptation de ce masque a été réalisée en y ajoutant un certain nombre d'éléments comme un isolant, un pont de nez ou une séparation entre DAO et DAN.
Ce masque a été validé au niveau acoustique, aérodynamique et perceptif.

Dans cette partie, nous décrirons l'AeroMask, système complet développé au LPP pour enregistrer les données aérodynamiques et acoustiques de la parole, qui est constitué d'un système de captation de type pneumotachographe à pression différentielle à grille (PTG) et d'une embouchure de type masque.

Nous commencerons par décrire le principe de fonctionnement du système de captation, puis nous décrirons toutes les étapes d'élaboration du masque sur lequel nous avons travaillé et qui nous a servi à faire nos enregistrements. Puis, nous décrirons les tests que nous avons faits pour tester le système dans son ensemble.

I. Prise de mesures aérodynamiques : historique, principes et outils

1. Historique des prises de mesures aérodynamiques

« La parole est un mouvement, c'est l'air qui sort de la bouche ou du nez en vibrant sous l'impulsion des organes phonateurs. » (Rousselot, 1891, p. 8)

Ainsi, toute science qui voudrait étudier la parole se doit de développer des outils lui permettant de décomposer ce mouvement en lui donnant une forme graphique rendant possible son étude. Voici résumés les postulats de l'abbé Rousselot évoqués dans sa thèse de doctorat ainsi que dans son ouvrage *Principes de phonétique expérimentale* (1897). Ces deux travaux marquent le début de la phonétique expérimentale.
En 1875, le secrétaire de la société de linguistique de Paris, Louis Havet, se réfère à Etienne-Jules Marey, physiologiste travaillant sur les mouvements des organismes vivants, afin d'essayer d'inscrire les mouvements phonétiques dans la production des consonnes nasales au moyen de la méthode graphique (Rosapelly, 1876). En effet, Marey a cherché à visualiser de manière graphique les phénomènes physiologiques en s'aidant d'un système composé de

stylets retraçant ces phénomènes sur un cylindre recouvert d'un papier enduit de noir de fumée, appelé cylindre inscripteur (Marey, 1878). Ainsi, il demande à son élève Charles Rosapelly de concevoir un système permettant de visualiser l'activité de trois organes de parole : le larynx, les lèvres et le voile du palais (Figure 35). Pour l'étude du voile du palais, il s'agissait d'introduire dans une des narines un tube en verre relié à un tuyau de caoutchouc à un tambour à levier inscripteur, qui se soulève à chaque émission de l'air par le nez (Rosapelly, 1876).

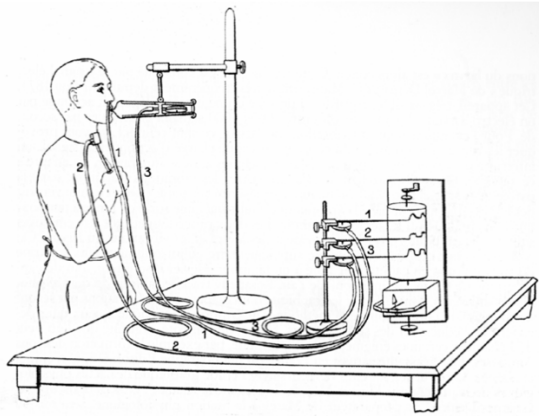


Figure 35 *: Montage de Rosapelly (1-Pression nasale, 2-Vibrations laryngiennes, 3-Mouvements des lèvres) (Marey, 1898, p. 446)*

Même si les mouvements du voile du palais ne pouvaient en être déduits, et qu'il ne s'agissait pas de pression nasale mais de débit (Figure 36), le premier appareil captant l'aérodynamique de la parole venait d'être conçu.

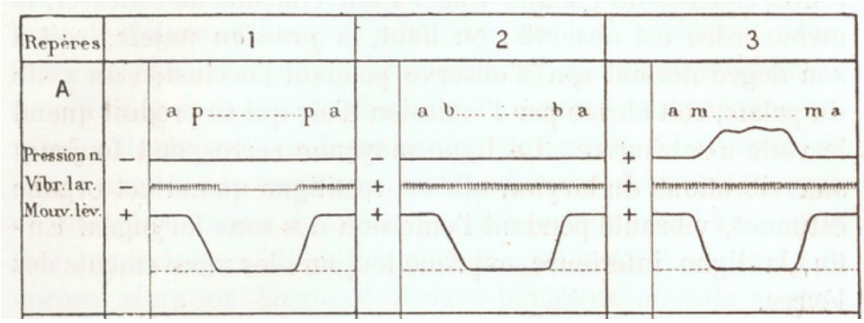


Figure 36 : Premiers tracés obtenus par Rosapelly au moyen de la méthode graphique montrant la pression nasale, les vibrations laryngiennes et le mouvement des lèvres (Rosapelly, 1876, p. 125)

L'abbé Rousselot commandera un système de prises de mesures similaire à Marey, l'appareil sera construit par Charles Verdin en 1895, et appelé le polygraphe. Celui-ci fonctionne grâce à un mouvement d'horlogerie avec un régulateur de Foucault.
L'appareil sera modifié par l'abbé Rousselot, qui l'appellera le kymographe portable (Rousselot, 1901).
Ainsi, le kymographe (Figure 37) est composé d' :

- Une partie inscription,

Elle est constituée d'un moteur mécanique (régulateur de Foucault) qui met en mouvement le cylindre inscripteur. Ce dernier est recouvert d'un papier enduit de noir de fumée sur lequel s'appuient des stylets inscripteurs, qui sont mis en mouvement grâce aux tambours de Marey.

- Une partie enregistrement comprenant :
    - un embouchoir pour le débit d'air buccal associé à une oreille inscriptive, nouveauté de l'époque qui ne donnera pas de grands résultats,
    - des olives de verre pour le débit d'air nasal, le flux d'air est entraîné grâce à des tuyaux en caoutchouc vers des membranes qui vibrent sous l'effet de la pression de l'air,
    - un collier pour les vibrations laryngiennes.

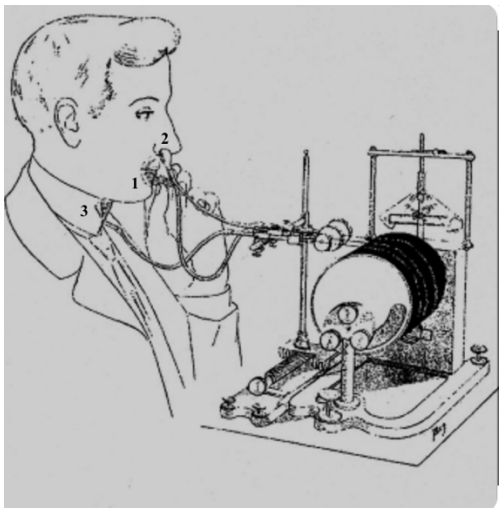


Figure 37 : Schéma du kymographe de Rousselot (Rousselot & Laclotte, 1903, p. 14) (1-Débit d'air buccal, 2-Débit d'air nasal, 3-Vibrations laryngiennes)

Ces premiers instruments permettant de restituer la parole de manière graphique ont permis l'essor de la phonétique expérimentale.

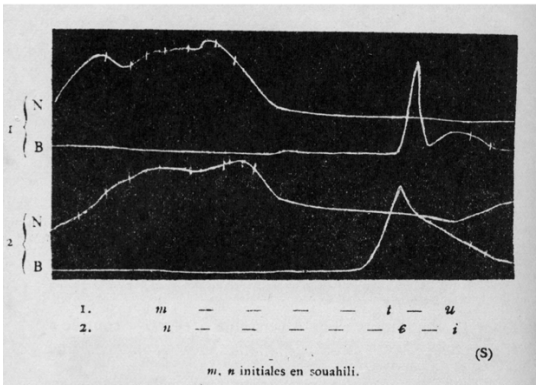


Figure 38 : Exemple de tracés des pressions nasale et buccale en langue souahili (Rousselot, 1901, p. 562)

Les tracés inscrits sur le kymographe de Rousselot restent qualitatifs et ne se prêtent pas à l'analyse quantitative (Figure 38). Cette méthode de capture des phénomènes présente un amortissement trop important et une forte contrainte sur l'articulation.

Peu de temps après et en parallèle de sa conception d'outils destinés à la parole, Marey et son préparateur Georges Demenÿ mettent au point un spiromètre (Figure 39) destiné à mesurer notamment le débit d'air inspiré et expiré (Demenÿ, 1888).



Figure 39 : Photographie du spiromètre de Marey et Demenÿ (Marey, 1886)

C'est un des premiers spiromètres de ce type, les spiromètres antérieurs étant consacrés à mesurer la capacité vitale c'est-à-dire le volume d'air maximum que l'on peut expirer en une seule respiration. Ce spiromètre enregistreur est le perfectionnement d'un dispositif déjà utilisé par Marey. « Un réservoir étanche et inextensible en tôle, d'une capacité de 300 à 400 litres, est muni d'une embouchure d'un diamètre au moins égal à celui de la trachée. On insuffle l'air par cette embouchure, la pression monte de quelques centimètres d'eau qu'un manomètre indique. A cette pression correspond un volume d'air injecté, et une échelle empirique permet de lire immédiatement ce volume. Une disposition spéciale facilite le réglage du niveau du liquide dans le manomètre et, pour rendre plus facile la lecture, un robinet peut maintenir ce niveau à son maximum après insufflation. L'appareil est rendu inscripteur en faisant communiquer l'air qu'il contient avec un tambour à levier. Les mouvements de celui-ci, inscrits sur un cylindre enregistreur, donnent toutes les indications sur les phases du débit d'air inspiré et expiré, la valeur de ce débit et même le rythme des mouvements respiratoires. » (Nicolas, 2018, p. 29).

2. Principes physiques de l'aérodynamique

Flux d'air, Volume, Pression

cf. Chapitre I, II. La nasalité du point de vue aérodynamique, p.24.

3. Les outils de captation des données aérodynamiques

Nous distinguerons dans ce chapitre, les outils de captation que l'on peut également appeler les capteurs de flux, et les embouchures ou supports permettant la captation qui regroupent notamment les masques et les embouts.

A. Les différents systèmes de captation

Il existe plusieurs systèmes qui permettent de transformer un flux d'air en un signal électrique approprié allant du pin-wheel rotor au détecteur ultrasonique. Concernant la parole, les

systèmes retenus sont généralement : le pneumotachographe, l'anémomètre à fil chaud, le pléthysmographe et l'électro-aréomètre.

i. Le pneumotachographe

C'est à partir des années 20 que les mesures aérodynamiques connaissent une avancée notable grâce en 1925, à l'invention du pneumotachographe (PTG) par Alfred Fleisch qui permet des mesures quantitatives et un enregistrement continu et linéaire de la vitesse d'écoulement de l'air. Constatant que les moyens de son époque pour étudier la respiration reposaient soit sur l'enregistrement des mouvements mécaniques de la cage thoracique, soit sur l'enregistrement bien plus précis de la quantité d'air grâce au spiromètre, Fleisch entreprend la conception de ce nouvel outil. S'inspirant des courbes obtenues à l'aide de la spirométrie, il en montre les limites comme la méconnaissance de la durée des différentes phases respiratoires ou des variations de la vitesse du flux d'air. C'est dans ce but qu'il conçoit ce PTG. Ce dernier est un capteur de débit d'air permettant de mesurer les échanges gazeux par le principe de la pression différentielle.

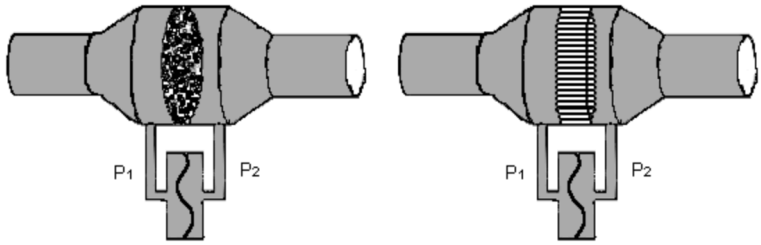


Figure 40 : Schémas des différents types de pneumotachographes (source : www.spirometrie.info)

L'air traverse un tube jusqu'à un limiteur de débit qui agit comme une résistance au flux d'air. Le passage de l'air au sein de ce limiteur donne lieu à une augmentation ou chute de pression en fonction de la direction du flux d'air (inspiration ou expiration).
Ce limiteur peut être de deux types : une fine grille métallique (Lilly, 1950) ou un faisceau de tubes capillaires (Fleisch, 1925), le principe étant de mesurer la différence de pression (P_1 et P_2, Figure 40) de part et d'autre d'une résistance à l'écoulement de l'air.
Cet appareillage nécessite donc un système qui permette d'évaluer la pression de chaque côté de la grille par des capteurs de pression. Pour cette raison, le PTG est généralement associé à un masque hermétique relié à un capteur qui permet d'obtenir la pression d'un côté et un capteur à l'extérieur du masque permettant de capter la pression atmosphérique de l'autre. La différence de pression entre les deux donne le volume d'air contenu dans le masque (*cf*. Chapitre I, II. La nasalité du point de vue aérodynamique, p.24).

Les pneumotachographes, s'ils sont utilisés pour enregistrer la parole continue, se doivent de respecter plusieurs contraintes qu'il n'est possible de combiner qu'en effectuant des compromis (Teston, 1993) :

1) le débitmètre (que nous appelons capteur de débit, plus haut) doit être bidirectionnel (expiration et inspiration),

2) les conditions thermodynamiques de l'air (température, composition, humidité, viscosité) ne doivent pas avoir d'effets sur les mesures, ce qui malheureusement peut arriver avec les PTG : la grille peut chauffer durant un usage prolongé et faire apparaitre des gouttelettes,
3) les turbulences aux lèvres (qui dépendent du type de phonème) ne doivent pas perturber la mesure du débit d'air oral, raison pour laquelle les PTG sont généralement couplés à des masques chirurgicaux,
4) le volume mort du capteur doit être le plus faible possible pour avoir une bonne réponse à des variations rapides de débit (surtout pour le débit d'air oral),
5) le débitmètre ne doit pas présenter une résistance à l'écoulement de l'air susceptible de perturber le fonctionnement du conduit vocal surtout au niveau glottique,
6) le débitmètre doit être bien adapté à l'anatomie du locuteur pour éviter les fuites, source d'erreurs de mesure et sans gêner les mouvements,
7) enfin, la conception du dispositif doit lui permettre de répondre à toutes les conditions d'hygiène des normes hospitalières.

Ainsi, il est rare qu'une instrumentation satisfasse ces nombreuses conditions.

Le pneumotachographe de Fleisch (Fleisch, 1925) a permis d'accéder aux premières mesures quantitatives mais disposait d'un grand volume mort et d'une résistance à l'écoulement importante. Le pneumotachographe de John Lilly (Lilly, 1950) a été inventé dans le but de pallier cet inconvénient.

Cependant, ce matériel n'était toujours pas adapté aux contraintes de mesures aérodynamiques de la parole, à savoir un temps de réponse trop long et donc plus adapté à des quantités d'air plus importantes et plus longues (comme pour la respiration, par exemple). Martin Rothenberg, en 1977, a tenté de l'améliorer en intégrant la grille de mesure directement dans les parois d'un masque d'anesthésie dans le but de résoudre le problème du temps de réponse du PTG. Ce dispositif est la première tentative de concilier les différentes contraintes aérodynamiques. Mais ce dernier présente un fort volume mort qui entraîne des inconvénients non négligeables.

Pour résoudre la contrainte de l'usage d'un masque pour recueillir les données aérodynamiques, certains auteurs (Worth *et al.*, 1968) ont proposé des systèmes dépourvus de masque, sans arriver à des résultats corrects : les capteurs de pression différentielle utilisés ne permettant pas d'obtenir des résultats probants sur des embouchures simples non hermétiques.

ii. Le pléthysmographe

La pléthysmographie corporelle étudie les variations de volume pulmonaire (Figure 41). La pression de l'air enfermée à l'intérieur du caisson varie directement avec le changement du volume pulmonique. Le sujet est assis dans un caisson hermétique et respire dans un masque. Sur ce dernier sont branchés un manomètre qui permet de mesurer la pression buccale et un

pneumotachographe mesurant les volumes mobilisés et les débits. L'avantage majeur de cette technique est qu'elle permet de mesurer la pression sous-glottique de manière non-invasive.

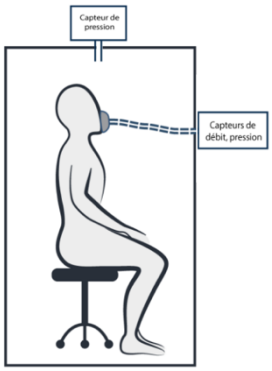


Figure 41 : Schéma d'un pléthysmographe (Flenet, 2017, p. 46)

iii. L'anémomètre à fil chaud

Il agit comme un capteur de débit d'air, des capteurs sont présents dans chaque compartiment du masque (Figure 42). Chaque unité de détection est composée d'un filament chauffant et non chauffant, tous deux exposés au flux d'air. Un courant électrique alimente de manière automatique le filament chauffant dans le but de maintenir sa température au-dessus de celle du filament non chauffant. Les vitesses de flux d'air plus élevées ont un plus grand effet de refroidissement sur le filament chauffant, et demandent donc plus de courant pour maintenir sa température. C'est donc ce courant qui indique la vitesse de l'air.
Ce système s'intègre dans les masques d'anesthésie. Ils ont cependant un temps de réponse limité : les variations aérodynamiques induites par les mouvements rapides du velum sont difficilement capturables avec ce système. Il permet plutôt une analyse qualitative (Quigley *et al.*, 1965 ; Van Hattum & Worth, 1967 ; Warren, 1967).
De plus, il entraîne une grande distorsion de linéarité, non-directivité et une sensibilité accrue aux variations thermodynamiques et aux variations de nature du fluide (Teston, 1980).

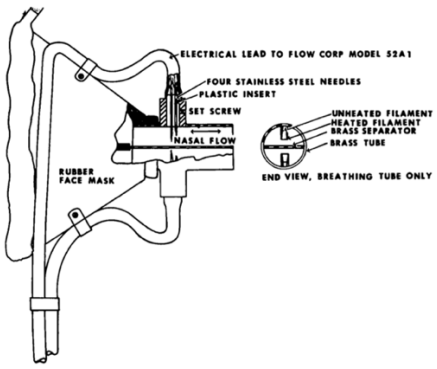


Figure 42 : Schéma de l'anémomètre (Quigley et al., 1964, p. 305)

iv. L'électroaéromètre

L'électroaéromètre se compose d'un masque facial dans lequel sont intégrés quatre systèmes de transducteurs de débit d'air qui permettent de mesurer séparément les flux d'air entrant et sortant du nez et de la bouche. Les quatre systèmes de transducteurs sont essentiellement

constitués d'une valve en caoutchouc activée par le flux d'air et d'un système de diode photoélectrique sensible à la lumière qui enregistre l'ouverture de la valve. L'ouverture des valves augmente à mesure que le débit d'air augmente (Haag, 1977, 1979).

B. Les embouchures utilisées pour la captation

i. Les embouchures

Les phonéticiens ont utilisé les instruments respiratoires à leur disposition comme l'Aerophone (Kay Elemetrics Corp.)[2] (Figure 43.a.) ou le masque de Rothenberg (Rothenberg, 1977) (Figure 43.b.) pour des utilisations phonétiques mais ces outils ont tous un fort volume mort et un masque d'anesthésie comme intermédiaire avec la face du sujet ce qui entraîne des inconvénients non négligeables. De même, le dispositif (masque et capteur) doit être tenu par le locuteur (dans le but d'en assurer l'étanchéité) mais cela peut potentiellement provoquer des déperditions d'air en cas de mouvement du locuteur.

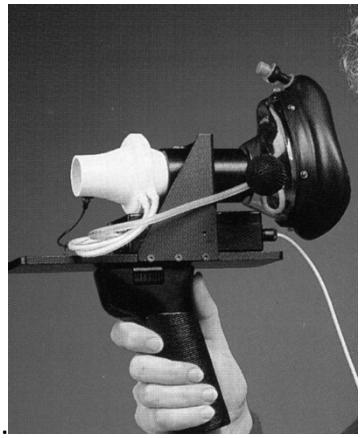
a.  b. 

Figure 43 : Aérophone (a.) et masque de Rothenberg (b.) (Teston, 2005, p. 13)

Pour optimiser la mesure des débits d'air simultanée à la bouche et aux narines, Bernard Teston a développé un dispositif adapté aux spécificités de ces paramètres : Le Polyphonomètre III (Teston, 1984) (Figure 44). C'est le premier instrument de mesure présentant un dispositif vertical pour la mesure du débit d'air nasal et une embouchure buccale souple ne limitant ainsi pas les mouvements de la mandibule. Ainsi, ce masque en silicone permet de recueillir le débit d'air buccal en s'adaptant à la morphologie du locuteur tout en minimisant les volumes morts. Cet instrument se place dans la lignée de deux autres polyphonomètres qui lui sont similaires mais plus simples.
Le débit d'air nasal est mesuré aux narines à l'aide d'embouts de silicone de taille différente. La position et la géométrie du capteur d'air nasal garantissent un meilleur écoulement d'air nasal.

[2] https://www.pentaxmedical.com/pentax/en/94/1/Phonatory-Aerodynamic-System-PAS-Model-6600



Figure 44 : Polyphonomètre III (Teston, 2005, p. 16)

Plus récemment, la création en 1995 d'un système voulant pallier ses inconvénients en réduisant le volume mort et en ajoutant des capteurs de pression plus sensibles, a vu le jour sous le nom d'Evaluation Vocale Assistée (EVA2 ™ (Sqlab)[3], (Teston & Galindo, 1995) (Figure 45).

Ce système a été développé pour une utilisation clinique, il a été agréé dans ce sens. Ses capteurs de pression sont les plus évolués parmi ses prédécesseurs.



Figure 45 : Station EVA2

D'autres systèmes ont émergé comme le Super Nasal Oral Ratiometry System (SNORS)[4] (Main *et al.*, 1999). Il a été créé pour pallier les inconvénients de l'anémomètre nasal. Il permet une évaluation du degré de fermeture vélaire en calculant le pourcentage du flux d'air total qui est oral.

Il est composé d'un masque à oxygène contenant les capteurs d'air à haute vitesse et les microphones oral et nasal (Figure 46). La précision de ces capteurs permet d'observer la répercussion des mouvements rapides du velum sur le débit d'air total.

[3] http://www.sqlab.fr/evaRootFR.htm

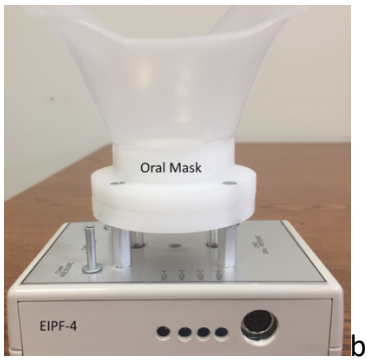
[4] https://icspeech.com/nasal-anemometry.html

Il est utilisé comme outil d'évaluation mais aussi en rééducation orthophonique. Différentes tailles de masque sont disponibles convenant ainsi à la fois aux adultes et aux enfants. Le pourtour en silicone souple épouse les contours du visage et assure une étanchéité confortable. Le masque employé étant rigide, les sons produits présentent une distorsion acoustique. L'autre inconvénient de ce système repose sur le fait que ce masque doit être tenu ce qui peut occasionner des fuites d'où l'utilisation d'une mesure de ratio entre flux d'air oral et flux d'air total.



Figure 46 : Masque SNORS, à gauche vue de profil et à droite vue de la face intérieure du masque avec ces deux compartiments (source : https://icspeech.com/nasal-anemometry.html)

En 2001, l'entreprise Scicon R&D Inc. lance la commercialisation d'un masque aérodynamique[5]. Ce système se caractérise par deux masques indépendants : un masque buccal et un masque nasal (Figure 47). Le masque buccal est tenu par le locuteur et le masque nasal est attaché sur le visage du locuteur à l'aide d'une sangle autour de la tête. Ce modèle élimine le risque de fuites entre les compartiments, qui survient avec un masque cloisonné, bien que des fuites latérales soient possibles.
Une calibration des capteurs de débit est nécessaire afin de convertir les valeurs physiques (millivolt) en valeurs aérodynamiques (ml/s).

a. 

b. 

Figure 47 : Masque buccal en a) et nasal en b) de Scicon (source : https://sciconrd.com/)

Récemment, une nouvelle version du masque de Rothenberg (1977) est apparue : l'OroNasal Mask (Figure 48) à ventilation circonférentielle (Glottal Enterprises)[6]. Ce masque a été créé dans le but d'apporter une alternative aux masques respiratoires rigides -dont fait partie la première version du masque de Rothenberg- qui étouffent et déforment la voix. Il se veut présenter une distorsion acoustique minimale. Cette version actualisée permet toujours de

[5] https://sciconrd.com/
[6] https://www.glottal.com/Oro_Nasal_Mask.html

mesurer les débits d'air oral et nasal séparément. Il existe en deux tailles (adulte et enfant), et est stérilisable. Contrairement à SNORS, son pourtour et sa structure sont faits de silicone souple. Ce matériau est aussi biocompatible et non allergénique. Ce système doit être calibré avant utilisation. Des trous sont pratiqués sur la circonférence du masque et sont recouverts de mailles résistantes à l'écoulement de l'air. Cette solution relativement complexe et coûteuse semble résoudre en partie le problème de la déformation des sons de la parole. Cependant, le problème de la séparation nez-bouche avec une plaque semi-rigide (souple uniquement à sa circonférence) et le fait que le masque doit être maintenu manuellement par le locuteur ne facilitent pas son adaptabilité en fonction du locuteur et peuvent être source de fuites et d'artéfacts entre les deux flux.



Figure 48 : OroNasal Mask (source : glottal.com)

ii. Avantages et inconvénients des différentes embouchures

Les masques de chirurgie ont l'inconvénient majeur d'être en plastique rigide (nécessaire pour les PTG (*cf*. Chapitre III.I.3.A.i.Le pneumotachographe, p.77) ce qui entraîne des distorsions acoustiques. Concernant le masque EVA2, bien que souple, le silicone qui le constitue agit comme un filtre passe-bas et crée une forte résonance autour de 1400 Hz et un phénomène d'anti-résonance autour de 3500 Hz (Ghio & Teston, 2002). Le signal audio enregistré est donc plus difficilement exploitable dans le cadre d'une analyse acoustique ou pour des expérimentations perceptives. Quant aux embouts narinaires, ils ont l'énorme inconvénient de bloquer la propagation acoustique et leur taille est problématique pour certaines morphologies.

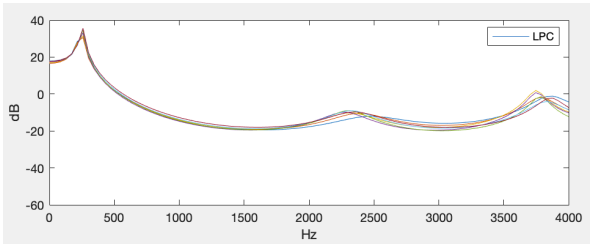
Le masque de Rothenberg (première génération), par sa forme et sa rigidité (Rothenberg, 1973) entraîne un abaissement des formants, c'est le cas notamment pour les voyelles ouvertes comme /a/, les deux premiers formants sont abaissés de 50 à 100 Hz environ en raison de l'augmentation de la longueur entre le conduit vocal et le masque (Rothenberg, 1973, 1977). De manière générale, cette baisse reste infime, elle est de l'ordre de 5%. D'autres études ont montré un creux entre 1600 et 2000 Hz (Hertegård & Gauffin, 1992), une atténuation générale de l'amplitude au-dessus de 1000 Hz combinée à un léger pic à 1300 Hz et un léger creux de 2000 à 2500 Hz (Badin *et al.*, 1990).

Le masque de Rothenberg a continuellement été amélioré en ajoutant des trous sur sa surface pour diminuer la résistance acoustique et donc atténuer ces artéfacts. La dernière version

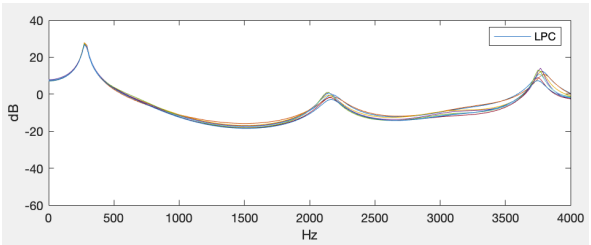
nommée OroNasal Mask est dite sans perturbation acoustique ; nous avons pu tester nous-mêmes le masque, les sons sont effectivement moins déformés que la première version mais sans pour autant être totalement dépourvus de distorsion.
Une analyse spectrale LPC a été réalisée sur le son /i/ prononcé par une locutrice francophone avec différents instruments aérodynamiques (Tableau 3). Une fenêtre de 512 points avec 32 coefficients a été utilisée.

Tableau 3 : Coupes spectrales du son [i] avec différents instruments

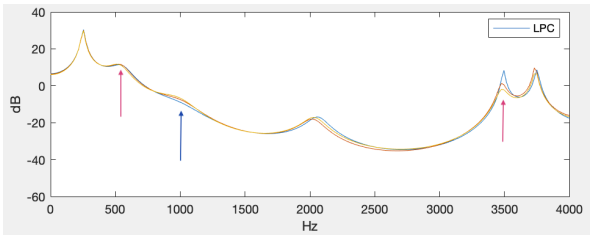
a) Microphone



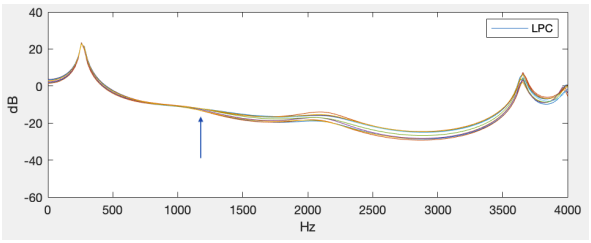
b) AeroMask



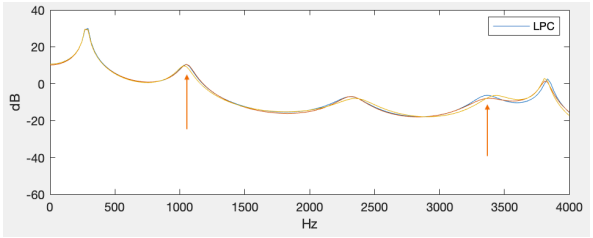
c) Masque de Rothenberg



d) OroNasal Mask



e) EVA2



Les coupes spectrales du son /i/ enregistré avec un microphone et avec l'AeroMask sont similaires. Des autres outils aérodynamiques, l'OroNasal Mask est celui qui se rapprochera le plus des deux premiers instruments. Un léger pic est observable entre 1000 Hz et 1500 Hz pour l'OroNasal Mask ainsi que pour le masque de Rothenberg. Ce pic a été évoqué par Badin *et al.* (1990) mais d'autres pics sont visibles notamment aux alentours de 500 Hz et de 3500 Hz pour ce masque.
Concernant EVA2, nous notons une résonance autour de 1000 Hz, qui est un peu plus basse que celle de 1400 Hz évoquée par Ghio et Teston (2002), ainsi qu'une résonance autour de 3500 Hz.
Pour cette voyelle, EVA2 et le masque de Rothenberg sont les instruments où l'on observe le plus de distorsions acoustiques visibles par l'ajout de pics dans le spectre (symbolisés par les flèches dans le Tableau 3), l'OroNasal Mask semble remplir son objectif de réduire les distorsions acoustiques.

Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous les différents systèmes actuels d'acquisition avec leurs avantages et inconvénients, nous avons pu réaliser des enregistrements avec les deux premiers systèmes :

Tableau 4 : Avantages et inconvénients des systèmes actuels d'acquisition

Système	Captation	Type de masque	Avantages	Inconvénients
Rothenberg (deuxième génération)	Pneumotachographe	Masque en silicone souple	- Problème de distorsion de l'acoustique réglé	- Masque tenu par le locuteur - Séparation partiellement rigide - Problème d'humidité sur la grille
EVA2	Pneumotachographe	Masque rigide en silicone	- Masque en silicone souple s'adaptant à la morphologie du locuteur pour la partie orale - Plusieurs tailles d'embouts narinaires - Calibration automatique - N'a pas besoin d'être tenu par le locuteur	- Distorsions acoustiques - Pression acoustique nasale inexistante - Voix nasillarde - Problème du positionnement des embouts narinaires - Aseptisation obligatoire
Super Nasal-Oral Ratiometry System (SNORS)	Anémométrie	Masque respiratoire	- Mesures automatiques de rapport nasal/oral - Contours du masque et de la séparation en silicone souple ce qui améliore le confort	- Distorsions acoustiques - Masque rigide - Séparation orale/nasale rigide et fixe - Aseptisation obligatoire
Masque de Scicon	Pneumotachographe	Masque rigide en silicone	- Un masque pour la bouche et un masque pour le nez permettent une plus grande liberté de mouvements - Le masque nasal n'a pas besoin d'être tenu - Silicone souple sur la circonférence des deux masques	- Calibration manuelle - Deux masques rigides - Distorsions acoustiques - Aseptisation obligatoire - Voix nasillarde - Le masque buccal doit être tenu

II. L'AeroMask

Pourquoi un nouveau système de captation et une nouvelle embouchure ?

Face à ces inconvénients (Tableau 4), le Laboratoire de Phonétique et Phonologie, grâce à Kioyshi Honda et Shinji Maeda, a essayé de développer un nouveau système complet (captation et embouchure).

Le développement de l'AeroMask a été motivé par différents points :

- réaliser un enregistrement simultané de données acoustiques dépourvues de distorsions et de données aérodynamiques,
- et de ce fait, pouvoir exploiter ces données acoustiques à des fins de tests de perception pour faire le lien entre aérodynamique, acoustique et perception,
- lever la contrainte de tenue du masque par le locuteur qui peut potentiellement entraîner des pertes aérodynamiques en cas de mouvement du locuteur,
- donner une plus grande liberté de mouvement au locuteur en ne le contraignant pas à rester fixe et face à un système d'enregistrement,
- limiter la durée de prise de données notamment en milieu hospitalier en pouvant réaliser à la fois l'acquisition aérodynamique et acoustique en une prise.

Pour ce faire, Kioyshi Honda et Shinji Maeda ont utilisé le principe du PTG, avec un capteur de pression différentielle et aussi les principes physiques du masque employé. En effet, les fibres tressées font office de grille et ont l'avantage contrairement au métal de ne pas s'échauffer, limitant ainsi la formation de gouttelettes ; les propriétés souples du masque permettent d'éviter les grands volumes morts (brevet 2009 n°0900696).

Le masque choisi était le plus adapté pour enregistrer des phénomènes aérodynamiques avec une distorsion acoustique quasi nulle (Figure 49). Ce dernier se présente comme un masque souple jetable en fibre de papier synthétique (Honda, 2011 ; Honda & Maeda, 2008 ; Vaissière *et al.*, 2010). Ce type de masque, appelé masque coquille anti-poussière, est conçu pour avoir une résistance au flux d'air relativement faible dans le but de garantir un confort pour l'utilisateur. Cette faible résistance est nécessaire pour mesurer le flux d'air sans perturber la propagation sonore. En effet, si la résistance au sein du masque est trop importante cela conduit à augmenter significativement l'amortissement des formants (Rothenberg, 1977). Les appareils basés sur la combinaison du masque facial et du capteur de pression différentielle sont appelés pneumotachographes à pression différentielle (PPD).

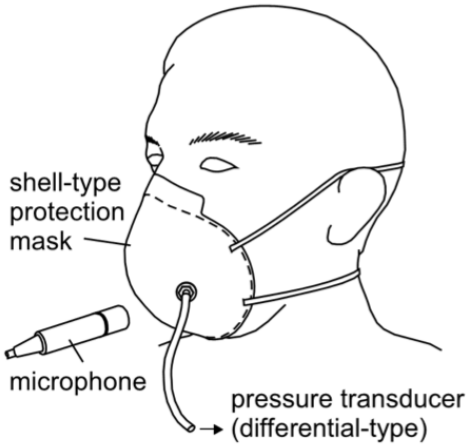


Figure 49 : Schéma du masque existant (Vaissière et al., 2010, p. 69)

On peut se demander comment calculer le débit d'air à partir de la pression différentielle mesurée. Pour cela, la PPD exige une relation linéaire entre la pression différentielle et le débit, quelle que soit la force de l'écoulement. En fait, l'un des objectifs de conception du limiteur de débit, le tube capillaire ou l'écran métallique, est d'obtenir une résistance à l'écoulement constante de sorte que la simple loi d'Ohm détermine la relation pression-débit comme suit :

$$\Delta p(t) = Ru(t) \text{ (} oi\ d'Ohm), \quad (1)$$

Équation 1 : Relation pression-débit (loi d'Ohm)

où *Δp(t)* désigne la pression différentielle variant dans le temps, par exemple en hPa*, R* la résistance à l'écoulement et u(t) le débit d'air en litre/s (ou l/s). Rappelons que 1(hPa) équivaut à 1,0197162 (cmH2O). Ensuite, le débit u(t) peut être calculé à partir de la pression mesurée Δp(t) de la manière suivante :

$$u(t) = (1/R)\, \Delta p(t). \quad (2)$$

Équation 2 : Calcul du débit à partir de la pression

La sortie du capteur de pression peut être décrite comme un signal variant dans le temps, x(t), en tension. Par conséquent, le capteur est livré avec les informations permettant de convertir x(t) en tension en unités de pression d'air, telles que hPa. Souvent, Δp(t) est proportionnel à x(t), ce qui peut être décrit en utilisant un coefficient d'échelle, k, comme suit :

$$\Delta p(t) = kx(t). \quad (3)$$

Équation 3 : Calcul de la pression à l'aide d'un coefficient d'échelle k

L'équation 2 devient alors :

$$u(t) = (k/R)\, x(t) = cx(t) \quad (4)$$

Équation 4 : Conversion de la sortie du capteur en débit d'air

où c = k/R est considéré comme un coefficient d'échelle permettant de convertir directement la sortie du capteur x(t) en débit d'air u(t).

1. Un nouveau système de captation

A. Les capteurs

Cette partie se base sur les notes de Shinji Maeda qui a conçu le module d'acquisition associé à la carte DataTranslation[7].
Concernant ce système de captation, le choix s'est porté sur le système du pneumotachographe. Les variations d'air (débit) sont recueillies avec un masque. Ensuite, l'air est acheminé par les tubes (modèle Masterflex® Tygon) placés à la surface du masque sur la vis prévue à cet effet, il circule ensuite dans le tube jusqu'à une tête d'écoulement composée d'un limiteur de débit agissant comme une légère résistance au flux d'air.

Un capteur de pression d'air différentielle peut mesurer ces variations de pression par rapport à la pression de l'air atmosphérique extérieur. L'un des deux orifices de pression du capteur est relié à une sonde située à l'entrée du limiteur et l'autre à une sonde située à la sortie du limiteur. Nous avons opté pour des capteurs de pression de la marque Copal Electronics (PA-100-100D-W) (Figure 50), un capteur de pression est destiné à la cavité orale et l'autre aux cavités nasales.

a. 

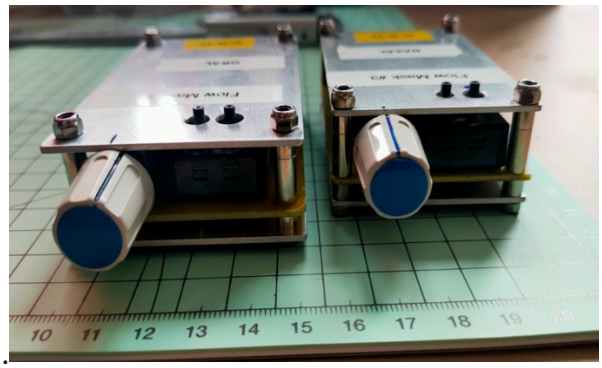
b. 

Figure 50 : Capteurs de pression utilisés dans notre système vue du haut en a. et de face en b.

Le PPD utilisé pour l'AeroMask peut être reconnu comme étant de type Lilly.

B. La carte d'acquisition

La carte d'acquisition utilisée est la DT9800-EC-I Series de la marque Data Translation®. Elle est classiquement utilisée pour les mesures physiques. C'est une carte d'acquisition USB multifonction avec une entrée analogique, elle permet l'acquisition multi canaux. Celle-ci dispose de cinq canaux. Cette carte permet la numérisation des signaux avec un suivi en temps réel et l'enregistrement sur ordinateur.

Elle est combinée avec une interface fabriquée par Shinji Maeda, appelée Speech Data Interface for DT (SDI-DT), qui conditionne les signaux entrants (audio et physiologiques) qui rentreront dans la carte d'acquisition. Ces deux éléments forment un ensemble appelé LPP-Speech Data Recorder (LPP-SDR) (Figure 51).

[7] https://www.datatranslation.info/

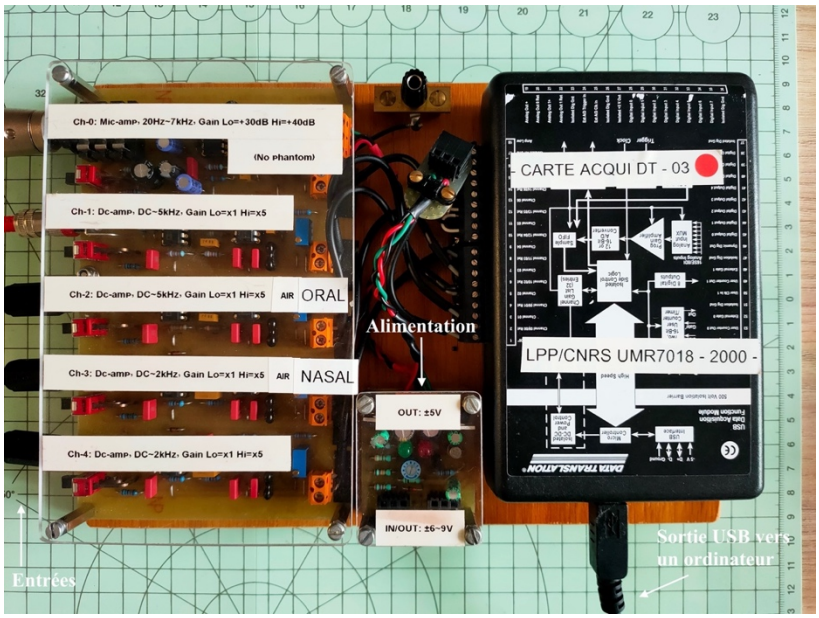


Figure 51 : Ensemble LPP-SDR consistant de gauche à droite de l'interface SDI-DT et de la carte d'acquisition DT9800

Avant d'introduire les signaux analogiques dans le système d'acquisition de données numériques, un filtre passe-bas doit leur être appliqué pour éviter un repliement de spectre. C'est dans ce but que l'interface a été mise au point. Étant donné que l'utilisation de nos enregistrements multicanaux est limitée aux signaux liés à la parole, Shinji Maeda a implémenté certaines caractéristiques spécifiques dans l'interface SDI-DT que nous décrirons ci-dessous.

D'un point de vue pratique, chaque canal de la carte d'acquisition doit avoir la même fréquence d'échantillonnage et la somme des fréquences d'échantillonnage des cinq canaux doit être inférieure ou égale à 100 kHz. En raison de ces contraintes, nous utilisons une fréquence d'échantillonnage fixe de 20 kHz.

- Canal 0 : Audio (couplé en courant alternatif)

Le canal 0 est dédié à l'enregistrement d'un signal audio avec un microphone. Il a une largeur de bande de 20 Hz à 7,4 kHz. Le gain est de 30 ou 40 dB, il peut être sélectionné par l'utilisateur en appuyant sur un interrupteur à droite de l'entrée jack (Figure 52). La position basse implique un gain de 30 dB et la position haute 40 dB. L'impédance d'entrée est de 10 kΩ. Il n'y a pas d'alimentation fantôme. Un microphone dynamique peut être connecté ou un microphone à condensateur ajoutant une alimentation fantôme à celui-ci.

- Canal 1 : Canal à faible gain et large bande (couplé en courant continu)

Le canal 1 est dédié aux signaux physiologiques comme le photoglottographe externe (ePGG) ou l'électroglottographe (EGG). Pour observer des phénomènes de ce type, une large

bande est nécessaire, théoriquement aussi large que la largeur de bande spectrale des sons voisés. Ce canal dispose donc d'une largeur de bande allant du courant continu à 5 kHz.

Le gain est sélectionnable, comme le canal audio, mais il est très bas, x1 (pas de gain) à la position basse de l'interrupteur ou x5 à la position haute. L'impédance d'entrée est de 10 kΩ comme dans le cas du canal audio. La prise d'entrée est de type RCA qui se caractérise par son faible coût, sa fiabilité et le fait qu'elle soit disponible partout.

- Canaux 2, 3, 4 : Canaux à faible gain et bande étroite (couplés en courant continu)

Ces trois canaux ont des caractéristiques identiques et conviennent à l'enregistrement de signaux physiologiques à bande étroite tels qu'un photonasographe (PNG) et un pneumotachographe (PTG) pour mesurer le débit d'air buccal/nasal. Ces canaux ont une largeur de bande allant du courant continu à 2 kHz. En fait, la limite supérieure de 2 kHz est trop élevée pour ces signaux physiologiques, dont la bande passante est souvent inférieure à 100 Hz. Cette fréquence de coupure inutilement élevée, c'est-à-dire 2 kHz, est utilisée pour contenir le délai du filtre passe-bas en dessous de 0,5 ms. Il est à noter que le délai du filtre des canaux audio et des canaux à large bande est beaucoup plus court que 0,5 ms. L'erreur d'alignement temporel entre les canaux devient donc toujours inférieure à 0,5 ms, ce qui peut être négligé dans l'analyse des aspects temporels de la parole.

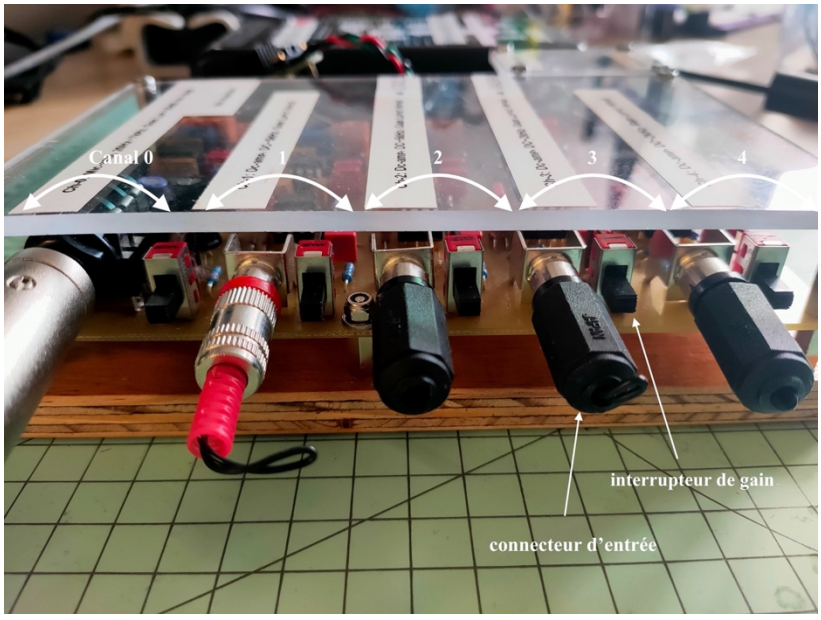


Figure 52 : Vue de face des connecteurs d'entrée et interrupteurs de gain du canal 0 (le plus à gauche) au canal 4 (le plus à droite) de l'interface SDI-DT

La SDI-DT est alimentée par des batteries. Elle nécessite au minimum une alimentation de +8 / - 8 V, qui est régulée pour obtenir une tension constante de +5 et -5 V afin d'alimenter la carte d'acquisition. Quatre jeux de trois batteries doivent être connectés en série pour les tensions positives et négatives. La consommation de courant de l'unité d'interface et du régulateur est d'environ 100 mA pour la tension positive et 90 mA pour la tension négative. Une batterie avec 12 piles LR6 complétement rechargées peut durer au moins huit heures.

Le régulateur de tension est doté d'un dispositif de surveillance de la tension d'entrée positive en cas de batterie faible. Lorsque les piles sont connectées, le voyant vert s'allume et le voyant rouge s'éteint, ce qui indique que les piles sont en bon état. Lorsque les piles deviennent faibles, le voyant rouge commence à émettre une lumière très faible. Quelque temps après, le voyant rouge commence à clignoter très lentement, puis de plus en plus rapidement en lien avec la charge des piles.
Le connecteur d'alimentation est double. Ces deux connecteurs sont connectés en parallèle de sorte que l'un des deux est connecté à la batterie et l'autre peut être utilisé pour alimenter les unités de capteurs, par exemple les modules de débit d'air. Pour faciliter les branchements sur les canaux (microphone ou capteurs de débit), une plaque permet de fixer la carte d'acquisition DT9800-EC-I Series et l'interface SDI-DT.

C. L'étalonnage

Le principe de l'étalonnage est de convertir les signaux de sortie d'un capteur de pression d'air différentielle en Voltage en litre par seconde.

La procédure d'étalonnage du masque détermine la valeur du coefficient d'échelle *c*.
Comme décrit ci-dessus au début de la partie II de ce chapitre, p.86 la valeur du coefficient d'échelle *c* peut être déterminée à l'aide d'une procédure d'étalonnage.
Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de connaître la valeur de *k* spécifique au capteur ainsi que la résistance spécifique du masque *R*. Cependant, l'équation 4 (*cf* p.87) montre que pour dériver la valeur de la résistance *R* du masque, il est nécessaire de connaître la valeur de *k* car R = k/c. La résistance *R* est le paramètre physique le plus pertinent pour caractériser le masque.

L'outil principal pour l'étalonnage du PPD est une seringue d'étalonnage manuelle. Sur le marché médical, des seringues d'étalonnage d'un ou cinq litres sont disponibles. Nous utilisons une seringue manuelle d'un litre (Cardinal Health, Allemagne) qui convient à l'étalonnage du PPD. Lorsque son piston est tiré au maximum, la seringue contient un litre d'air. Lorsque le piston est complètement poussé vers l'intérieur, un flux d'air régulier traverse le masque de protection, créant des variations de pression, p(t), par rapport à la pression atmosphérique ambiante, qui sont mesurées par le capteur de pression d'air.

Il est nécessaire de définir la direction du flux d'air et la polarité de x(t) et donc de u(t), car la seringue est bidirectionnelle. Définissons le flux d'air créé en poussant le piston vers l'intérieur comme décrit juste au-dessus, correspondant au flux expiratoire pendant la production de la parole, comme positif, c'est-à-dire u(t)≥0 (l/s). Pour ce faire, l'orifice positif du capteur de pression différentielle doit être relié par un tube souple en silicone à un tube en plastique rigide dont l'autre extrémité pénètre à l'intérieur du masque. Le port négatif est simplement

laissé libre. Avec cette disposition, le débit d'air inspiratoire créé en tirant sur le piston devient naturellement négatif, c'est-à-dire que u(t)<0 (l/s).

Il est nécessaire d'étalonner l'ensemble des capteurs de pression ou de débit utilisés pour les expérimentations. Ils sont étalonnés un à un afin de déterminer deux coefficients d'échelle qui nous permettent de dériver des valeurs de débit d'air ayant l'unité physique, le litre/s.

Pour obtenir ces coefficients, on fixe le masque sur une plaque d'étalonnage reliée à la seringue (Figure 53), on connecte la sonde du compartiment oral au premier capteur de pression et celle du compartiment nasal au second capteur de pression. La configuration de la plaque d'étalonnage dépend du nombre de capteurs utilisés. Dans notre cas, nous avons utilisé deux capteurs (un pour le DAN et un pour le DAO), nous avons donc utilisé une plaque d'étalonnage avec deux orifices.
Le masque est maintenu entre deux plaques : une plaque de maintien (Figure 54.a.) et la plaque d'étalonnage (Figure 54.b.) à l'aide de pinces. A l'intérieur du masque, une séparation (Figure 54.c.) est placée entre compartiment oral et nasal à l'aide d'un adhésif. Lorsque l'on étalonne le compartiment oral du masque, la seringue est placée sur la partie orale de la plaque d'étalonnage et la partie nasale est fermée à l'aide d'un bouchon (Figure 54.d.), et inversement pour l'étalonnage du compartiment nasal.

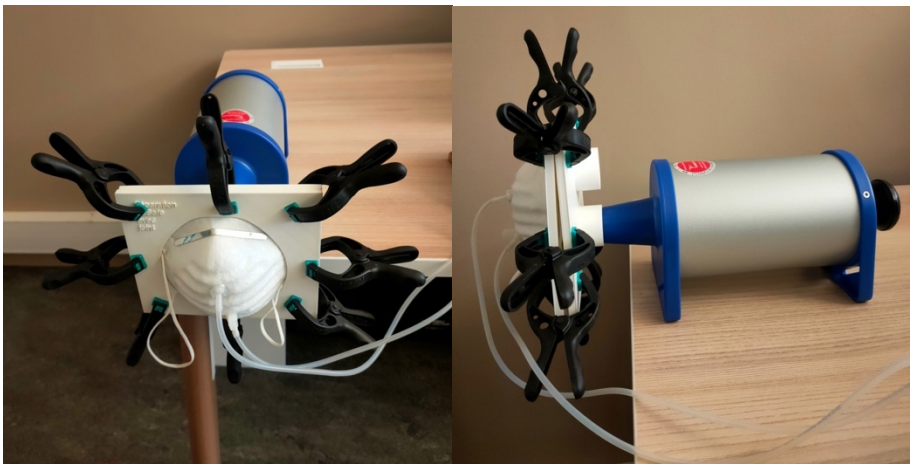
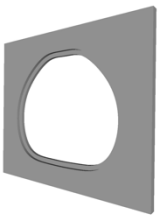


Figure 53 : Système d'étalonnage en pratique pour un masque recueillant le DAN et le DAO



a.



b.



c. d.

Figure 54 : Système d'étalonnage : a. plaque de maintien, b. plaque d'étalonnage pour DAN et DAO, c. plaque de séparation et d. bouchon

Le système permettant de maintenir les éléments et de s'assurer de l'étanchéité pour l'étalonnage a été conçu par nos soins sur le logiciel Autodesk Fusion 360. Le système d'étalonnage était initialement conçu en bois par Shinji Maeda. L'avantage de la conception avec un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) est de pouvoir moduler plus facilement le système au gré des besoins et de l'effectuer dans une perspective de diffusion de ce système à d'autres laboratoires.

Pour extraire le coefficient du DAN et du DAO, nous devons enregistrer plusieurs "pics" (pic de débit d'air maximum ou minimum) avec la seringue. Chaque "pic" correspond à 1L de débit positif (pic positif) ou 1L de débit négatif (pic négatif). Nous détectons les pics négatifs oraux et nasals et les pics positifs oraux et nasals pour extraire le volume d'air en Volt (Figure 55) et calculer les deux coefficients.

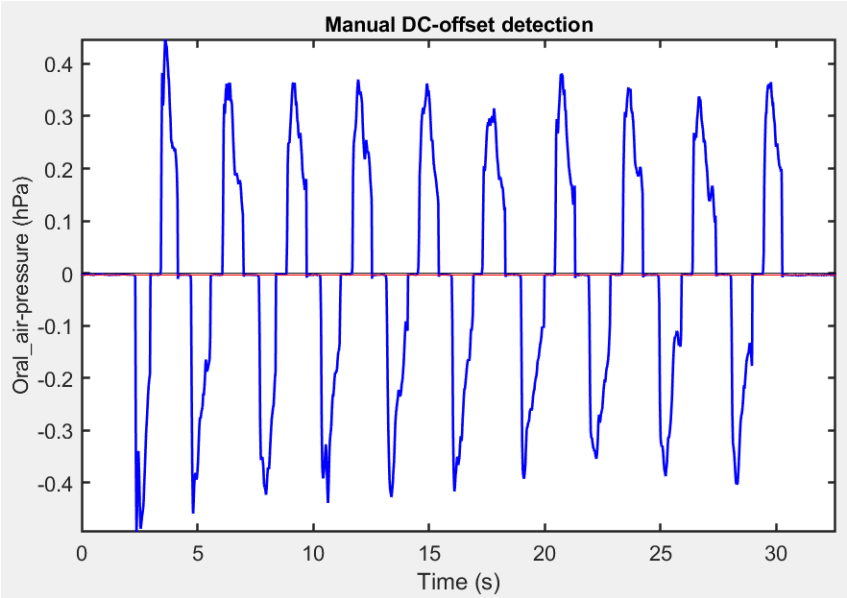


Figure 55 : Pics positifs et négatifs pour le débit d'air oral réalisés lors de l'étalonnage

Une fois que nous avons réalisé l'étalonnage du compartiment oral et du compartiment nasal, nous obtenons un fichier avec nos coefficients d'échelle (oral et nasal) pour convertir les signaux de Volt à l/s, obligatoire pour l'analyse des données. L'enregistrement des pics du compartiment oral et nasal est réalisé sur le logiciel d'acquisition QuickDAQ, et l'extraction des coefficients d'échelle sur Matlab à l'aide d'un script développé par Shinji Maeda.

2. Le masque à partir de 2019

La première version du masque n'était pas adaptée pour mesurer les flux d'air oral et nasal séparément. Elle permet une mesure du flux d'air total et/ou de pression intra-orale.

Ainsi, une partie de ce travail de recherche a consisté à chercher des solutions pour permettre :

- d'améliorer l'isolation du masque sans créer de distorsions acoustiques pour favoriser la pression différentielle et ainsi, avoir moins de déperditions d'air,
- d'enregistrer les débits d'air oral et nasal séparément,
- de s'astreindre du processus de stérilisation qui reste contraignant sur le terrain.

Cette partie reprend les différents cheminements décrits dans notre cahier de recherche, élaboré tout au long de ce projet de recherche, et, qui fait le bilan des différents tests, réflexions sur les matériaux, leurs positions, etc.

A. Choix des masques

Plusieurs marques de masques peuvent être utilisées, une partie de notre travail de recherche a consisté à chercher les masques ayant les meilleurs rapports entre résistance du flux d'air et perméabilité acoustique.
Il s'agit d'un masque en fibre de papier, initialement utilisé comme masque anti-poussière. Comme présenté plus haut, nous avons choisi ce masque en raison de son caractère souple permettant de préserver l'acoustique et de ne pas contraindre l'articulation de certains phonèmes. Il existe plusieurs modèles et de ce fait plusieurs formes.
Nous avons retenu trois marques : BeSafe®, Snipon® et Honeywell® (Figure 56).

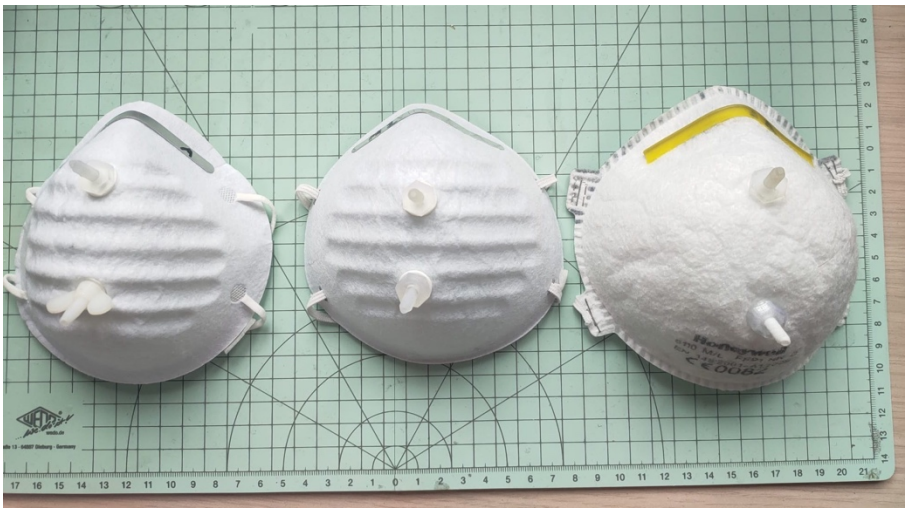


Figure 56 : Masque de la marque Besafe® à gauche, Snipon® au milieu et Honeywell® à droite

Le masque Besafe® est majoritairement utilisé tandis que les masques Snipon® et Honeywell® sont utilisés dans les cas où le premier n'englobe pas assez le visage du locuteur notamment le menton ou le nez, par exemple. Ces derniers sont plus larges que le masque Besafe® (Tableau 5).

Tableau 5 : Dimensions des masques utilisés

	Masque Besafe®	Masque Snipon®	Masque Honeywell®
Largeur	10,8 cm	11,8 cm	12,5 cm
Hauteur	12 cm	11,9 cm	13,3 cm
Profondeur	6,5 cm	5,5 cm	7 cm

B. Isolant et pont de nez

Afin de limiter les potentielles fuites d'air vers l'extérieur, un isolant adhésif de la marque 3M® est placé sur le pourtour du masque. Il nous permet aussi d'avoir un contact homogène avec le visage du locuteur (Figure 58). L'isolant n'ayant pas vocation à être appliqué sur la peau, il n'a pas été testé dans ce sens par l'entreprise 3M®. Mais il a une classification d'émissions dans l'air intérieur de A+ (échelle de A+ très faibles émissions à C fortes émissions).
Pour protéger la peau, il est possible d'utiliser des lingettes qui, lorsqu'elles sont passées sur l'isolant, forment un film protecteur entre la peau et l'isolant. Ces lingettes de la marque Coloplast® sont des dispositifs médicaux.
Avant d'arriver au choix de cet isolant adhésif, des essais ont été faits avec d'autres matériaux comme de la mousse, mais elle s'est avérée poreuse aux déperditions d'air et compliquée à mettre en place en raison de la découpe à réaliser dans un bloc de mousse.

Lors de nos premiers essais sur locuteurs avec l'isolant adhésif, nous avons pu observer que le compartiment nasal du masque était propice aux déperditions d'air vers l'extérieur notamment au niveau de l'arête nasale. Afin de les limiter au maximum, nous avons ajouté un pont de nez adhésif (Figure 57). Ce type d'accessoire a initialement été développé lors de la pandémie liée à la Covid-19 afin d'éviter la buée pour les personnes portant un masque et des lunettes. Plusieurs ponts de nez ont été essayés avant d'arrêter notre choix.

a. b. c.



Figure 57 : Ponts de nez testés : a. pont de nez Surakey® b. pont de nez 3M® c. pont de nez BBTO®

Des critères comme la repositionnabilité, l'adéquation à la forme du masque et au locuteur (mémoire de forme) ont été utilisés pour sélectionner le pont de nez adéquat. Nous avons arrêté notre choix sur le pont de nez de la marque BBTO®. Il nous permet de remplir les critères attendus (Tableau 6).

Tableau 6 : Tests des ponts de nez en fonction des critères choisis

	Repositionnabilité	Adéquation au masque	Adéquation au locuteur
Surakey®	Difficile : nécessite une étape supplémentaire d'ajout d'adhésif	Difficile : centre du pont de nez pointu, manque d'adhésion à cet endroit	Difficile : bords du pont de nez trop volumineux. Le caoutchouc utilisé permet difficilement d'avoir un côté mémoire de forme, il engendre trop de résistance.
3M®	Possible : adhésif intégré	Difficile : centre du pont de nez pointu, manque d'adhésion à cet endroit	Difficile : les ailes du pont de nez sont trop fines et engendrent trop de déperditions d'air.
BBTO®	Possible : adhésif intégré	Possible : centre du pont de nez arrondi ce qui permet de suivre la courbe du masque	Possible : la mousse permet une mémoire de forme et n'engendre pas de résistance excessive. Le volume des bords du pont de nez est de bonne taille.

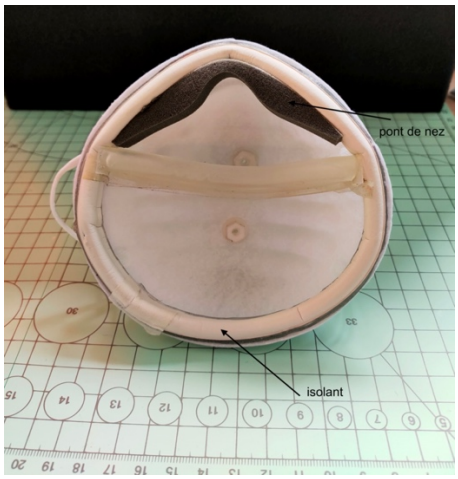


Figure 58 : Configuration finale du masque permettant l'enregistrement du flux d'air oral et nasal avec l'isolant et le pont de nez

Une série d'enregistrements a été effectuée pour tester ces différentes configurations. Les essais sont réalisés sur un /a/ et un /m/ tenus sur la locutrice MT11 (Tableau 17).
Les tests sont réalisés sur ces deux phonèmes car le phonème /m/ implique un passage de l'air uniquement par les cavités nasales et le phonème /a/ uniquement par la cavité buccale. Nous pouvons donc observer l'impact des différentes configurations testées sur la moyenne de débits d'air dans chaque compartiment de manière isolée.

Les moyennes de débit d'air oral et nasal (l/s) sont mesurées. Les figures présentent de haut en bas : le signal acoustique, le spectrogramme, le débit d'air nasal (DAN) et le débit d'air oral (DAO).

1) Sans isolant sur le pourtour du masque

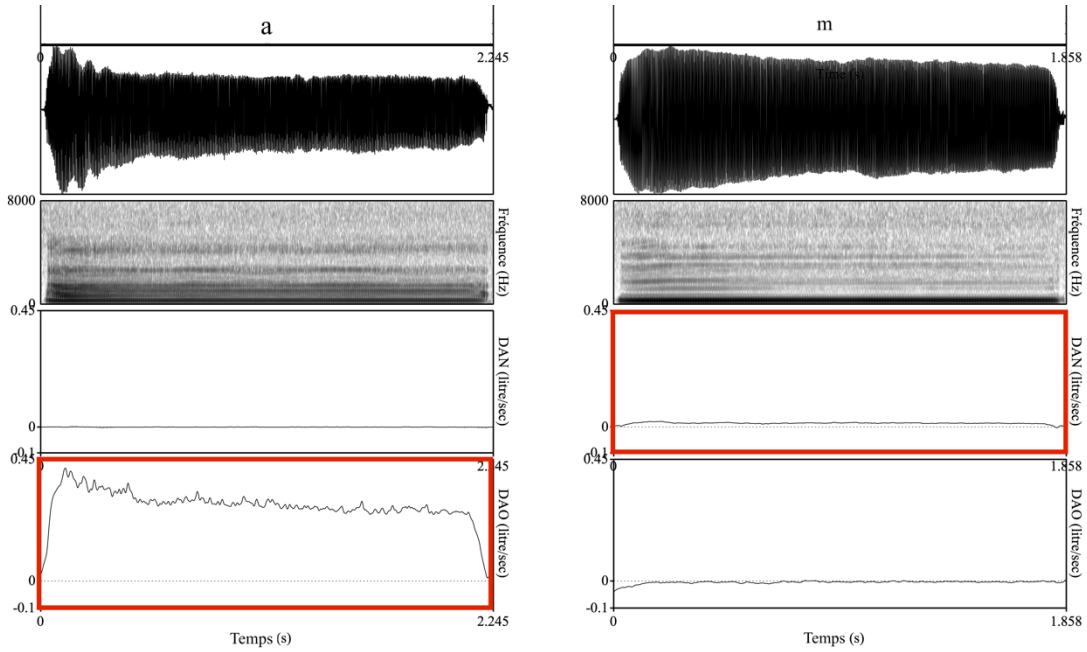


Figure 59 : [a] et [m] sans isolant

2) Avec isolant mais sans pont de nez

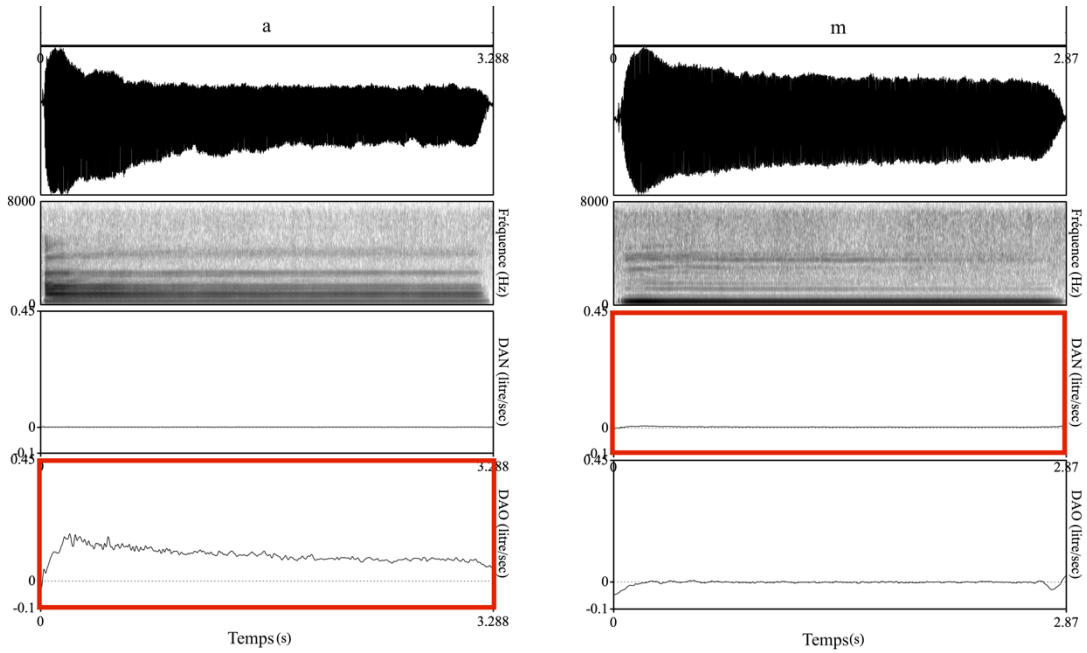


Figure 60 : [a] et [m] avec isolant mais sans pont de nez

Ces deux premières configurations (Figure 59 et Figure 60) entraînent une forte déperdition nasale visible sur le phonème [m]. Le signal est très proche de zéro pour le DAN.
On observe une plus grande moyenne de débit d'air oral sur [a] et de débit d'air nasal sur [m] dans la première configuration (sans isolant) par rapport à la deuxième configuration (sans pont de nez). L'ajout de l'isolant permet de créer une zone de contact régulière entre le masque et le visage.

3) Configuration finale avec isolant et pont de nez

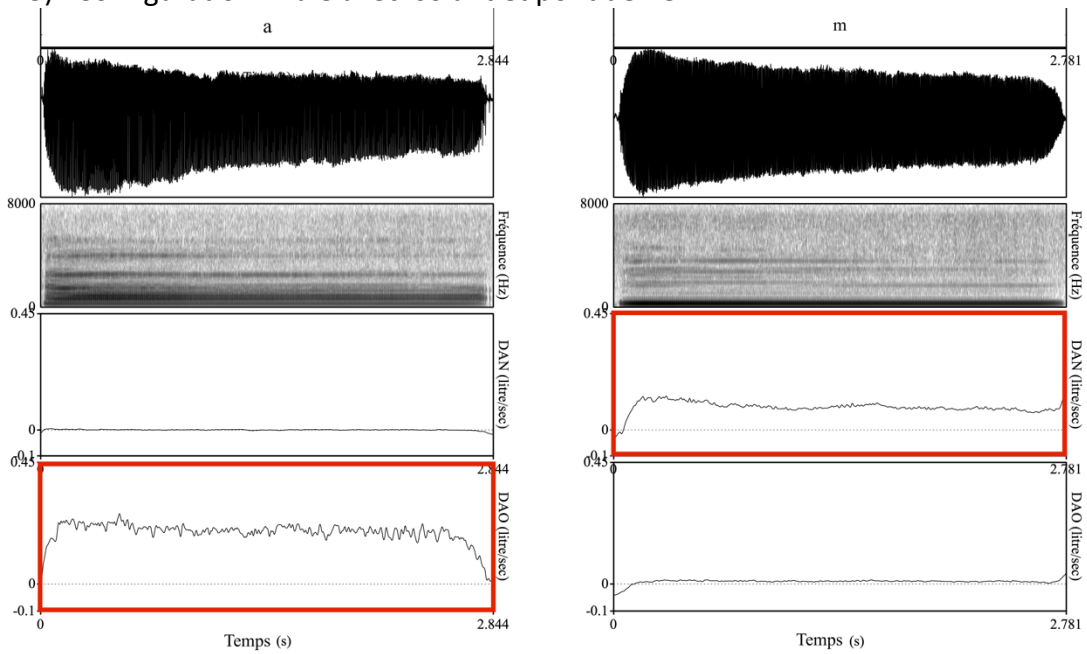


Figure 61 : [a] et [m] tenus avec la configuration finale

L'ajout d'un pont de nez dans la configuration finale permet d'éviter les fuites du compartiment nasal vers l'extérieur (Tableau 7). Une nette augmentation de la moyenne de DAN est visible sur [m] (Figure 61).

Tableau 7 : Moyennes de débit d'air (l/s) nasal (DAN) et oral (DAO) sur [a] et [m] avec les différentes configurations testées

	[a]		[m]	
	DAN	DAO	DAN	DAO
Configuration finale	-0,0001	0,190	0,0882	0,008
Sans pont de nez	0,0006	0,097	0,003	-0,002
Sans isolant	-0,0007	0,280	0,0144	-0,005

C. Élaboration des séparations entre DAO et DAN

La morphologie faciale des locuteurs étant très variable, il s'est avéré nécessaire de créer différentes séparations afin de favoriser l'adhérence. L'émergence des imprimantes 3D nous

a permis de créer des séparations de plus en plus souples et adaptées à nos besoins. Nous avons utilisé le logiciel de conception 3D Autodesk Fusion 360.

i. Résines

La résine étant un produit chimique, un élément important à prendre en compte était la possibilité d'avoir un contact avec la peau sans risque pour la santé. La recherche de résine devait donc remplir deux objectifs : cumuler un matériau élastomère et inoffensif pour la santé.

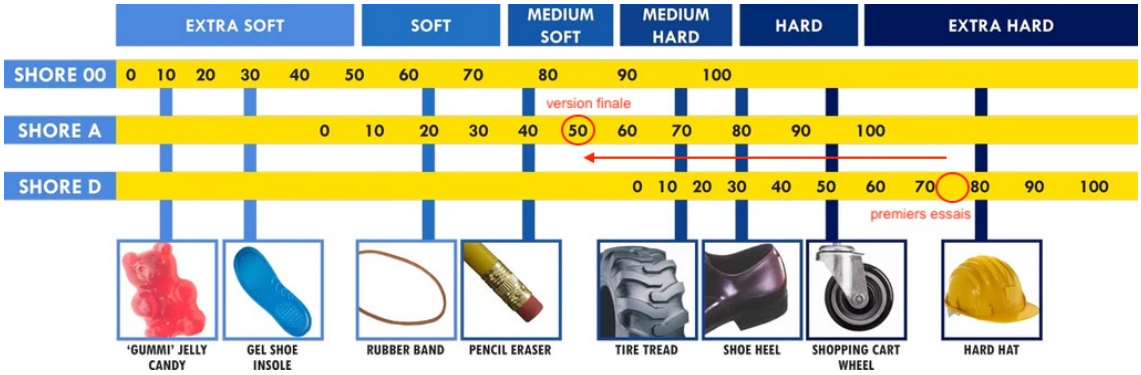


Figure 62 : Indice de dureté des résines pour imprimantes 3D (https://www.atome3d.com/)

Le caractère souple ou dur de la résine est déterminé à l'aide d'une échelle allant de 0 à 100 dupliquée sur 3 niveaux (Shore 00, A et D). Nos premiers essais ont été faits avec une résine d'une dureté Shore D 75 (Figure 62).

ii. Séparations

Les premières versions devaient être combinées avec l'application d'un isolant adhésif afin d'améliorer le contact entre la séparation et le locuteur (Figure 64, b). Le manque de souplesse de cette résine a ainsi limité nos possibilités de créer une séparation s'adaptant vraiment au locuteur comme c'est le cas pour les outils aérodynamiques actuels. En effet, la création par exemple, d'un tuyau vide qui permettrait un contact optimal avec la peau a été impossible compte tenu des contraintes techniques de cette première imprimante (Elegoo Mars[8]). D'autres essais ont été faits avec un système comportant deux éléments (Figure 63) : un rail dans lequel des séparations viendraient s'intégrer. Mais il entraînait trop de fuites d'air entre le compartiment oral et nasal, l'étanchéité d'un tel système étant plus difficile à contrôler qu'un système ne comprenant qu'un élément.

[8] https://elegoofrance.fr/

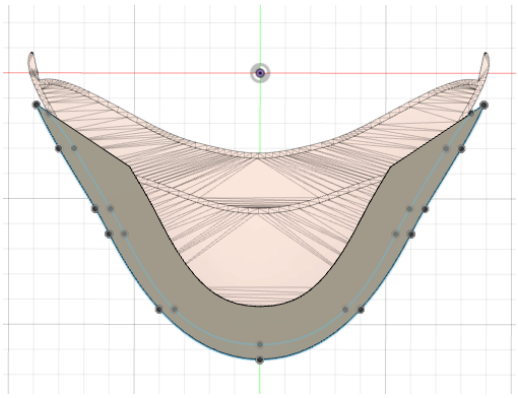


Figure 63 : Schéma 3D du système à deux éléments

De ce fait, un système en un élément comme c'est le cas avec la séparation a été préféré (Figure 64).

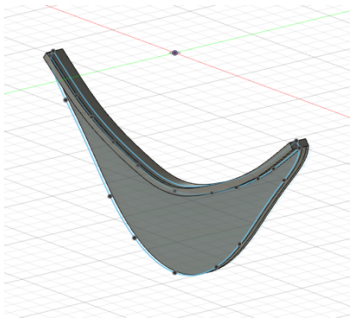
a.  b. 

Figure 64 : Schéma 3D du modèle de séparation initiale (a), (b) : à gauche : modèle de séparation initiale avec l'isolant adhésif, et à droite : modèle de séparation finale avec tuyau intégré

Nous avons donc opté pour l'acquisition d'une seconde imprimante permettant d'aller jusqu'à une dureté Shore A de 50 (Formlabs 2[9]).

Le matériau utilisé pour fixer la séparation dans le masque se devait d'être inoffensif pour la santé. C'est pour cela que l'utilisation d'adhésif double face a été privilégiée à l'application d'une colle qui si elle est inhalée peut s'avérer dangereuse pour les voies respiratoires.

[9] https://formlabs.com/fr/

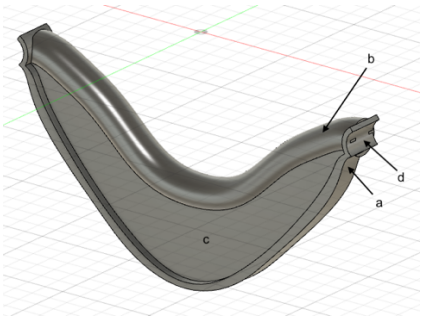


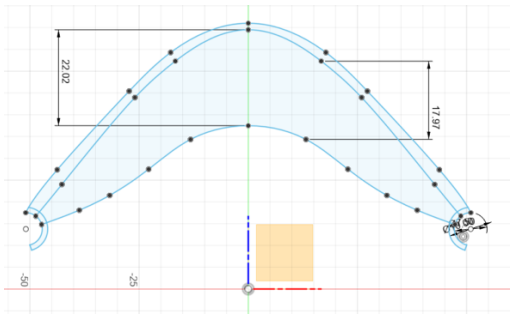
Figure 65 : Représentation 3D d'un modèle final de séparation

Toutes les séparations ont ces mêmes paramètres de base (Figure 65) :

- un bord de 6 mm, (en a. sur la figure 65)
- un tube creux d'un diamètre de 9 mm et d'une épaisseur de 1,5 mm (en b.)
- une extrusion du corps de la séparation de 4 mm (en c.)
- des pattes d'accroche à chaque extrémité de 10 mm (en d.)

Nous avons déterminé ces paramètres suite à de multiples essais. Il s'avère qu'un bord de 6 mm est optimal afin que la séparation, grâce à l'adhésif appliqué, ait une tenue étanche et homogène dans le masque. Un tube de 9 mm n'est ni trop large ni trop fin pour créer une séparation adéquate entre la cavité orale et la cavité nasale. En effet, il ne faut pas qu'il empiète sur la lèvre supérieure ou sur les narines, et il faut en même temps, qu'il soit assez large pour avoir un contact suffisant sur la peau. L'épaisseur de 1,5 mm a été choisie pour combiner à la fois souplesse et robustesse. Un corps de 4 mm permet d'avoir une séparation flexible mais aussi une séparation sur laquelle nous pouvons aisément ajouter les éléments supplémentaires (tube, bord, etc.). Les pattes d'accroche permettent d'avoir une bonne fixation de la séparation à l'isolant et limitent les fuites entre le compartiment buccal et nasal.

Nos multiples essais sur locuteurs nous ont amené à créer un éventail de séparations dans le but de s'adapter à la variabilité de leur morphologie.
Nous modifions la distance par rapport aux points du bord (Figure 66) en rapprochant (en a.) ou éloignant (en b.) certains points composant la courbe. Selon les points choisis et la distance, la courbure du tube se voyait elle aussi modifiée.

a. 

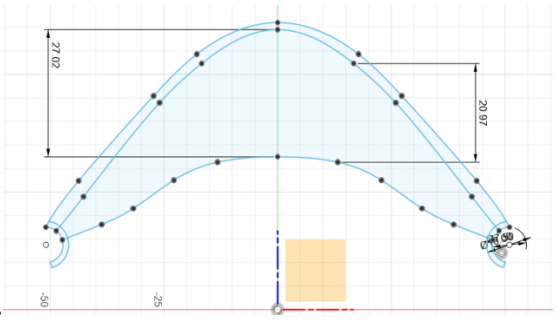
b. 

Figure 66 : Schémas des points composant la séparation, exemples de deux séparations (a. et b.)

D. Accessoires liés à l'embouchure

i. Visserie

Les tubes sont reliés au masque par des vis. Elles sont maintenues au masque par un écrou et deux rondelles qui assurent leurs positions, les immobilisent et évitent de déchirer le masque. L'ensemble vis - écrou et rondelle est imprimé avec l'imprimante 3D Creality Ender 5+.

Les impressions de ces trois éléments doivent permettre qu'elles s'emboitent parfaitement (Figure 67).

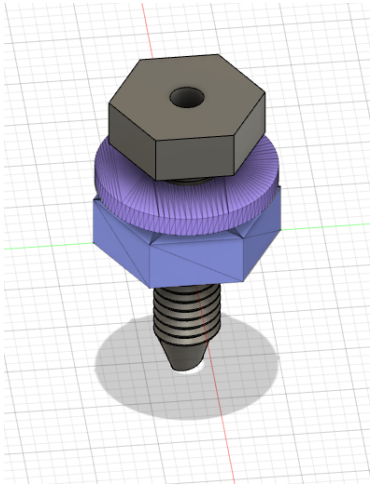


Figure 67 : Représentation 3D de l'ensemble vis-écrou-rondelle

Cet ensemble est placé sur la surface de chaque compartiment. Nous avons choisi de les aligner au milieu du masque à une distance de 6 cm du bord supérieur pour la vis du compartiment nasal, et avec un espacement de 2 cm avec la vis du compartiment oral dans le but d'avoir un espace suffisant pour pouvoir changer de place les séparations.

ii. Réflexion sur la position des vis sur le masque

Par mesure de précaution, un enregistrement en plaçant les capteurs de manière opposée a été réalisé (Figure 68 et Figure 69) afin d'observer si la position des vis avait un impact sur les débits d'air.



Figure 68 : Configuration d'un masque avec les capteurs placés de manière opposée

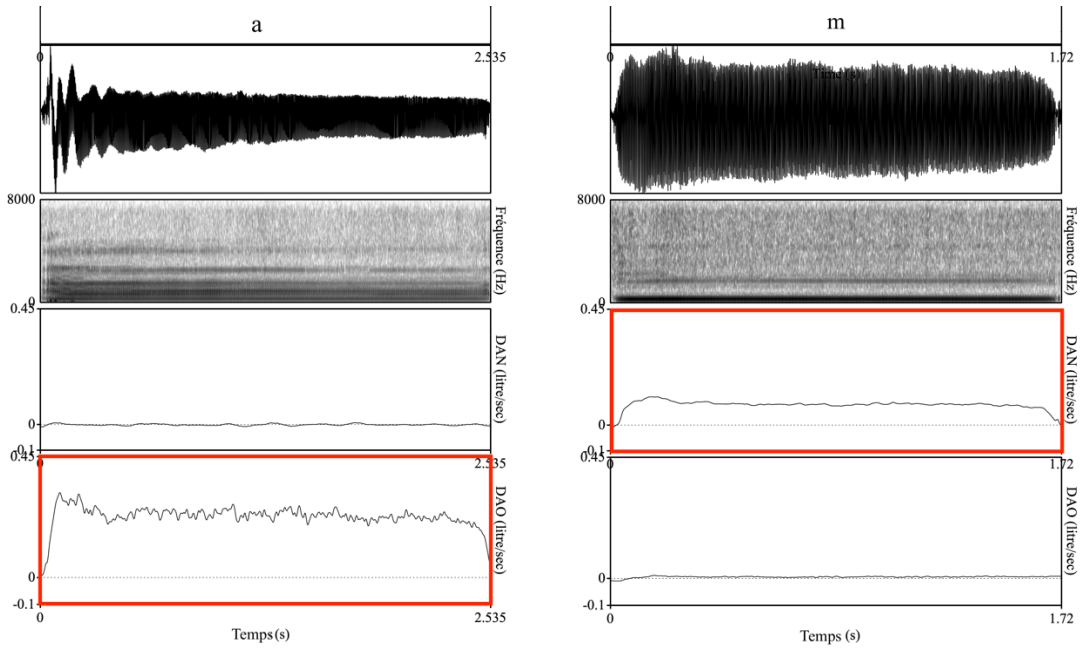


Figure 69 : [a] et [m] tenus avec les capteurs placés de manière opposée

Les moyennes de DAN et de DAO sont très proches des enregistrements avec les vis centrées (Tableau 7) au milieu du masque : une moyenne de DAN de 0,079 l/s pour [m], et une moyenne de DAO de 0,023 l/s pour [a].
La position des vis ne semble pas avoir d'effets sur les moyennes d'air enregistrées.

iii. Aide au maintien du masque

Afin d'avoir une meilleure étanchéité du masque sur le visage du locuteur, nous avons travaillé sur le maintien du masque à l'arrière du crâne. Les élastiques derrière les oreilles, peuvent être serrés avec des petits embouts de serrage mais, en ne serrant que derrière les oreilles, l'étanchéité du masque n'est pas optimum.

Nous avons donc réfléchi à un système qui permet de fixer le masque sur une grande zone derrière le crâne.

Nous gardons le système des élastiques mais à l'aide d'un système de maintien (Figure 70), nous tendons les élastiques en haut et en bas du crane, en laissant les oreilles libres, ce qui permet d'ajouter un microphone serre-tête sans gêne pour le locuteur.

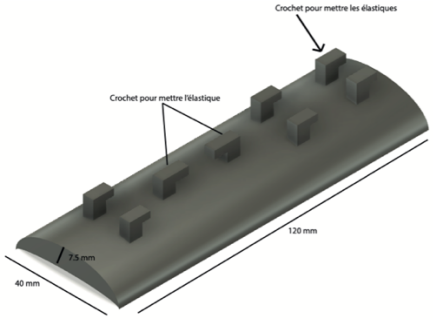


Figure 70 : Schéma 3D du système de maintien du masque derrière la tête

Le système de maintien a été imprimé à l'aide de l'imprimante 3D Creality Ender 5+.
Les dimensions sont les suivantes :

- Longueur = 120 mm
- Largeur = 40 mm
- Épaisseur = 7,5 mm
- Nombre de crochets = 8

Le système de maintien est mis à l'arrière de la tête et est fixé par un élastique large de type bandeau (Figure 71). Il existe deux tailles d'élastiques en fonction de la morphologie du locuteur.

a.  b.  c. 

Figure 71 : Illustrations du système d'accroche à l'arrière du crâne (a.), de profil (b.) et de face (c.)

Les crochets servent à positionner les élastiques du masque selon la morphologie des locuteurs. On privilégie les deux crochets du haut et les deux crochets du bas. Pour un meilleur maintien du masque, on peut croiser les élastiques sur les crochets.

E. Nouveaux développements

Depuis peu, nous avons retravaillé l'isolant : nous avons repris les mesures de l'isolant 3M® et nous avons conçu en 3D un élément ressemblant afin de l'imprimer avec une résine souple (Figure 72). Cette résine est biocompatible ce qui permet de nous astreindre des lingettes et est réutilisable après désinfection.

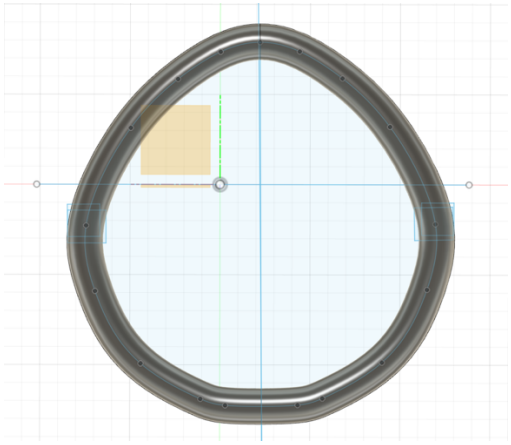


Figure 72 : Schéma 3D de l'isolant

Après avoir testé ce nouvel isolant, nous avons remarqué que la jonction entre la séparation et l'isolant générait trop de fuites entre cavités orale et nasales. En effet, le matériau de l'isolant ayant changé, la fixation de la séparation ne se fait plus de la même manière. Nous avions créé des encoches (Figure 73) mais l'adaptation avec la séparation ne se faisait pas de manière hermétique.

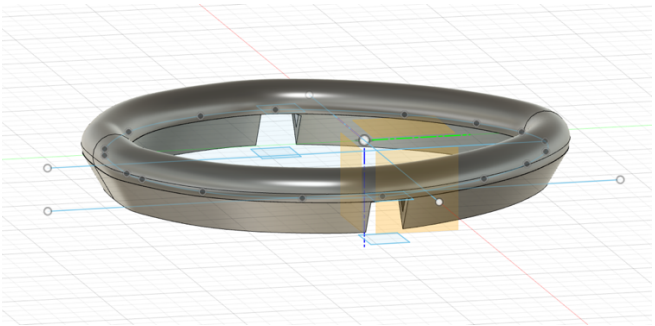


Figure 73 : Vue latérale de l'isolant avec les encoches à droite et à gauche

Pour pallier ce problème, nous avons donc décidé d'imprimer directement la séparation avec l'isolant (Figure 74).

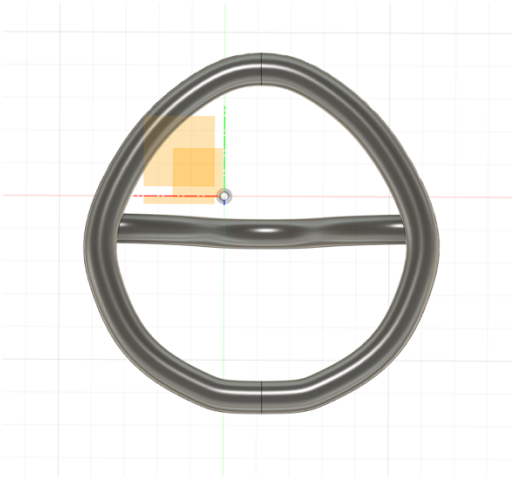


Figure 74 : Dernière version de l'isolant avec la séparation intégrée

Ce système a l'inconvénient de ne pas pouvoir changer la séparation en cas d'inadéquation au visage du locuteur. Il faut donc prévoir une séparation par isolant. Les premiers essais avec ce système sont concluants.

III. Validations du masque

Dans le but de montrer la pertinence de notre masque, des validations de différents types ont été menées.

Pour mener à bien ces validations, nous avons comparé l'AeroMask à d'autres instrumentations. Ce tableau (Tableau 8) résume les instruments mis en regard avec l'AeroMask pour chaque validation.

Tableau 8 : Instruments utilisés pour chaque validation

	Microphone	EVA2	OroNasal Mask	Rothenberg
Acoustique	✓	✓	✓	✓
Aérodynamique		✓	✓	✓
Perceptive	✓	✓		✓

1. Validation acoustique

A. Étude formantique

L'intérêt premier de ce système étant sa transparence acoustique, il a été primordial de le montrer en le comparant avec d'autres instrumentations (Elmerich, Amelot, Maeda *et al.*, 2020).

Dans cette publication, nous avons enregistré deux locutrices avec un microphone, la station EVA2, le masque de Rothenberg et l'AeroMask.

Nous avons repris les données de cet article en y ajoutant deux locuteurs masculins ainsi qu'un enregistrement avec l'OroNasal Mask.

Un corpus en trois parties a été utilisé (Annexe 3) : les voyelles orales dans les logatomes (n=2240) insérés dans une phrase porteuse "il a dit V : comme dans pV. PVp, pVp pVp, tu n'as pas dit pVpVp mais pVpVpVp" avec V= /i e ɛ a o u y ø/ et la première voyelle (V :) comme voyelles tenues (n=280) et les mêmes voyelles dans le contexte de phrases en position différente. Par exemple : "Popo a posé le pot sur sa peau" (n= 2154). Nous avons sélectionné ce corpus au sein du corpus AUPELF-UREF (Vaissière, 1998). Deux locutrices et deux locuteurs de langue maternelle française ont répété le corpus deux fois pour chaque enregistrement. Les enregistrements ont eu lieu dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (anciennement au 19 rue des Bernardins, 75005 Paris).

Nous avons effectué quatre types d'enregistrements :

1) Un enregistrement avec un microphone relié à une carte son Protools et un ordinateur iMac, il représente notre enregistrement contrôle,

2) Un enregistrement avec le masque oral du système EVA2 qui a l'avantage d'avoir une carte d'acquisition d'un modèle similaire à celle de l'AeroMask,

Ces deux premiers enregistrements ont été réalisés avec un microphone AKG C520L. Pour le premier enregistrement, le microphone était placé à 5 cm des lèvres, en position serre-tête tandis que pour le second, il est intégré à la pièce à main du système EVA2.

3) Un enregistrement avec l'AeroMask sans la séparation entre la bouche et le nez,

4) Un enregistrement avec le masque de Rothenberg (première génération),

Ces deux enregistrements ont été réalisés avec le microphone droit Primo EMU-4520 relié à une carte d'acquisition (DT9003) et placé à 2 cm des masques.

5) Un enregistrement avec l'OroNasal Mask et un microphone cravate Monacor ECM-500L/SK placé à l'intérieur du masque.

Toutes les données sont rééchantillonnées à 20 000 Hz. Pour chaque enregistrement, nous extrayons F1 et F2 pour toutes les voyelles : les valeurs ont été prises au milieu de la voyelle.

Les données acoustiques ont été analysées par groupe de sexe.

Le logiciel statistique R (R Core Team, 2022) a été utilisé pour l'analyse Anova ; une valeur de $p<0,05$ a été considérée comme significative. Les conditions de normalité des résidus et de son homoscédasticité ont été contrôlées visuellement à partir de diagrammes quantiles-quantiles et d'histogrammes des valeurs de résidus. Ce contrôle ne révèle pas de violation des conditions d'utilisation de l'Anova.

Des comparaisons par paire ont ensuite été réalisées à l'aide du test post-hoc de Tukey HSD. Nous avons choisi de réaliser ce test statistique sur le groupe des voyelles dans le contexte des logatomes étant donné que c'est le groupe présentant le plus d'occurrences ainsi que le même nombre d'occurrences par groupe de voyelles. Un tableau résumant les résultats statistiques est présenté en Annexe 1.

De manière globale, la comparaison, par voyelle, de F1 et F2 entre les différents masques a révélé des différences significatives pour tous les locuteurs et pour tous les contextes vocaliques sauf pour la voyelle [a]. En effet, il n'y a aucune différence significative que ce soit pour F1 ou F2 pour le groupe des hommes. Pour le groupe des femmes, il y a une seule différence significative entre le masque de Rothenberg et l'OroNasal Mask ($p<0,003$) pour F1 pour [a].

Les mesures de F1 et F2 pour la majorité des voyelles sont perturbées. La suite de notre analyse cherche à repérer les masques qui engendrent particulièrement ces différences significatives globales en les mettant en regard deux à deux.

Les enregistrements avec EVA2 et le masque de Rothenberg montrent une structure vraiment distincte et un triangle fortement déformé par rapport aux autres instruments (Figure 75 et Figure 76). Nos résultats montrent une forte modification de F2. F2 est probablement influencé par la résonance à 1400 Hz (Ghio & Teston, 2002).
Le tableau ci-dessous résume les différences significatives constatées pour F1 et F2 entre l'AeroMask et EVA2 puis Rothenberg (Tableau 9).

Tableau 9 : P-values du test post-hoc de Tukey pour les hommes (H) et femmes (F), concernant les cases grisées, elles indiquent que le test post-hoc n'a pas été réalisé en raison de la non-significativité du test Anova, le tableau complet se trouve en Annexe 1

			AeroMask-EVA2	**AeroMask-Rothenberg**
y	H	F1	0,536	**0,019 ***
		F2	**0,003 ****	1,000
	F	F1	0,968	0,187
		F2	**0,000 *****	0,708
i	H	F1	0,617	**0,016 ***
		F2	**0,000 *****	0,777
	F	F1	**0,000 *****	0,997
		F2	**0,000 *****	**0,000 *****
e	H	F1	0,969	**0,003 ****
		F2	**0,000 *****	0,949
	F	F1	0,099	0,984
		F2	**0,000 *****	**0,000 *****
u	H	F1	0,353	**0,001 ****
		F2	**0,029 ***	0,194
	F	F1	**0,000 *****	**0,035 ***
		F2	0,447	1,000
o	H	F1	0,169	**0,000 *****
		F2	0,963	0,259
	F	F1	1,000	**0,000 *****
		F2	**0,012 ***	**0,000 *****
ø	H	F1	1,000	0,889
		F2	1,000	**0,000 *****
	F	F1	**0,003 ****	1,000

		F2	0,999	0,599
a	H	F1		
		F2		
	F	F1	0,961	0,542
		F2	0,137	0,061

Bien que leurs triangles vocaliques soient proches, nous pouvons voir que les valeurs de F1 et de F2 des voyelles sont différentes selon le masque utilisé. Le système EVA2, par exemple, perturbe le F2 de [y], mais ce n'est pas le cas du masque de Rothenberg. Des perturbations communes aux masques de Rothenberg et d'EVA2 sont relevées pour les femmes pour le F1 de [o] et [u] et le F2 de [e] (Tableau 9).
Globalement, les voyelles s'éloignant le plus de la norme sont [i], [e], [u] et [o], ce sont donc plutôt des voyelles fermées ou mi-fermées.

Nous avons observé, grâce au triangle vocalique, une similitude entre la structure des formants de l'AeroMask (en jaune) et de l'enregistrement contrôle (en bleu) pour chaque type de voyelles (Figure 75 et Figure 76). En effet, nous avons trouvé une seule différence significative pour F2 pour la voyelle [o] pour le groupe des femmes (p=0) et le groupe des hommes (p<0,037). Des différences significatives pour F1 s'observent aussi pour la voyelle [o] pour les hommes (p=0,023) et les femmes (p=0,003) et pour la voyelle [u] pour les hommes (p=0,006).

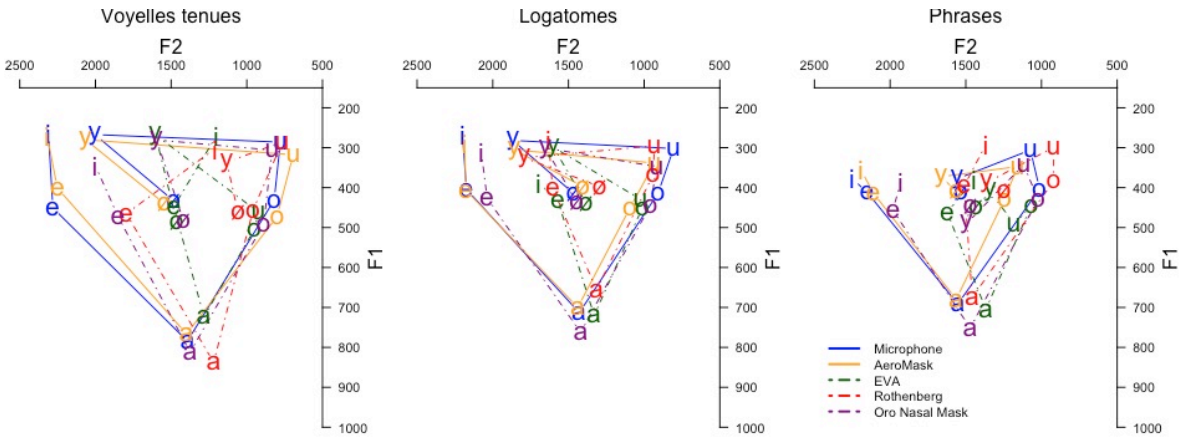


Figure 75 : Triangles vocaliques sur l'espace F1-F2 pour les femmes. Les moyennes de F1 et F2 pour les deux locutrices sont indiquées pour quatre conditions d'enregistrement : avec le microphone (en bleu), l'AeroMask (en jaune), EVA2 (en pointillé vert), le masque de Rothenberg (en pointillé rouge) et l'OroNasal Mask (en pointillé violet). Les voyelles tenues, les voyelles dans les logatomes et dans les phrases sont montrées respectivement de gauche à droite, les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 2, n=2335

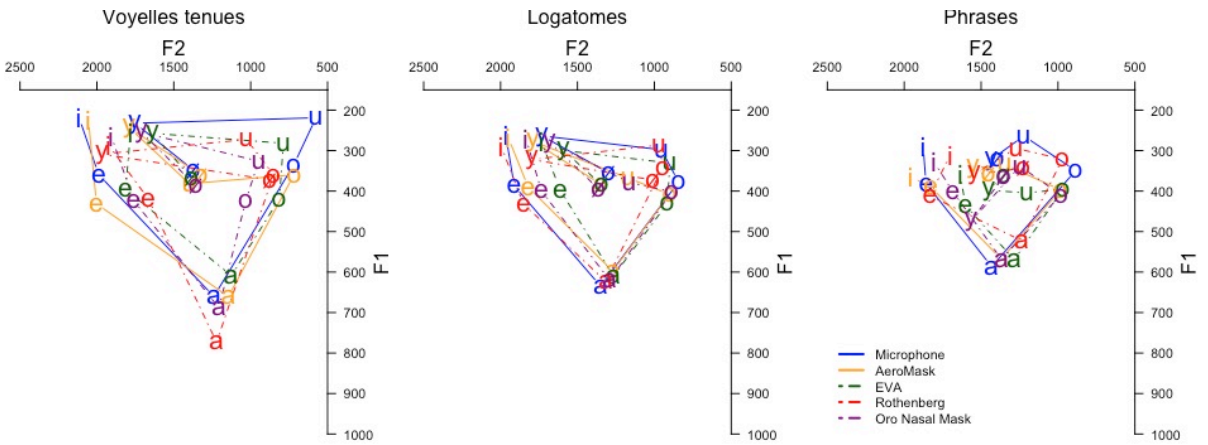


Figure 76 : Triangles vocaliques sur l'espace F1-F2 pour les hommes. Les moyennes de F1 et F2 pour les deux locutrices sont indiquées pour quatre conditions d'enregistrement : avec le microphone (en bleu), l'AeroMask (en jaune), EVA2 (en pointillé vert), le masque de Rothenberg (en pointillé rouge) et l'OroNasal Mask (en pointillé violet). Les voyelles tenues, les voyelles dans les logatomes et dans les phrases sont montrées respectivement de gauche à droite, les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 2, n=2335

L'OroNasal Mask (en violet), qui est une amélioration du masque de Rothenberg du point de vue acoustique, se situe entre les triangles du microphone et de l'AeroMask, d'une part et les triangles d'EVA2 et du masque de Rothenberg, d'autre part. Cela dénote donc une réduction des distorsions acoustiques. Très peu de différences significatives sont relevées entre l'OroNasal Mask et l'AeroMask contrairement à ses homologues rigides. Des différences significatives concernant F2 sont relevées dans trois cas : chez les femmes pour [y] ($p<0,0009$) et [o] ($p< 0,0000018$) et chez les hommes pour [i] ($p<0,024$) ; pour F1 nous trouvons une différence significative pour [ø] ($p<0,007$) uniquement pour les femmes. Ces altérations restent donc minimes.

Nous pouvons observer que le triangle vocalique des phrases est clairement différent des triangles vocaliques des voyelles tenues et des logatomes. Il est certain que la parole est plus naturelle dans le contexte des phrases, par conséquent le triangle se centralise par rapport à ceux des voyelles tenues et des logatomes (Lindblom, 1963).

B. Étude de la concordance

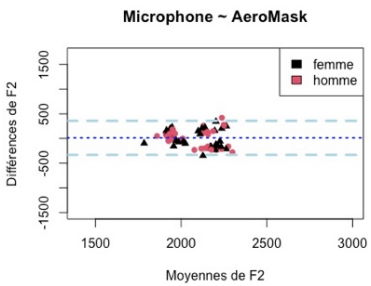
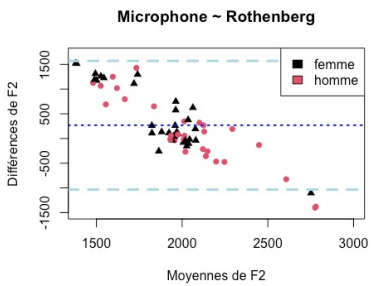
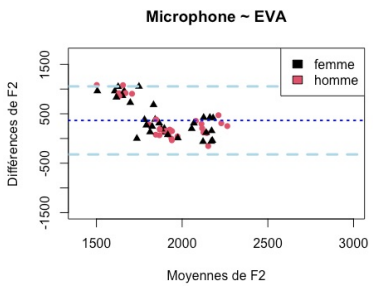
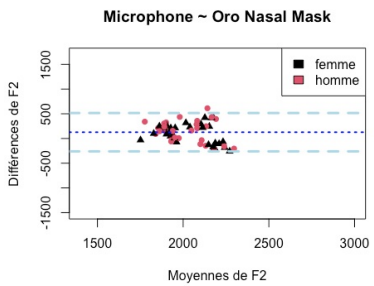
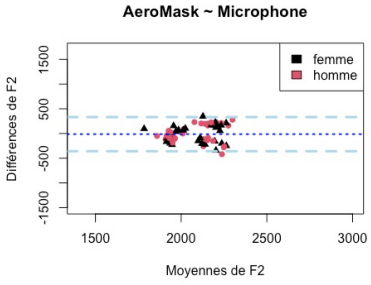
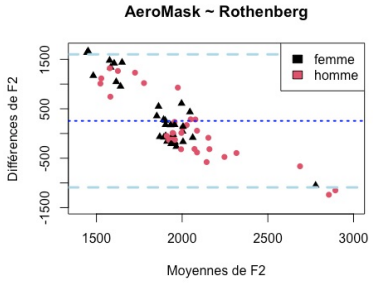
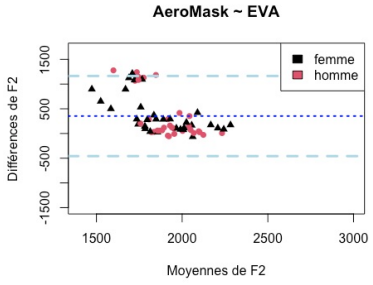
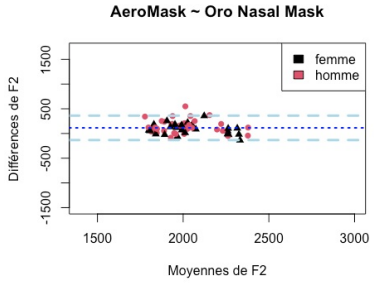
Pour la suite de l'analyse, nous souhaitons illustrer la concordance entre instrumentations en les comparant deux à deux à l'aide des graphiques de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986). Ils permettent de représenter graphiquement deux choses : le biais et la concordance (Freund, 2016). Le biais est la différence moyenne entre les deux mesures comparées, dans notre cas, lors de la comparaison entre l'AeroMask et le microphone : pour considérer que l'AeroMask est une méthode fiable, ce biais doit être le plus petit possible. La concordance permet d'évaluer la dispersion des mesures, afin de voir s'il y a des écarts importants ou non entre les deux mesures. Cette concordance s'observera grâce aux limites de concordance qui sont les bornes de l'intervalle de confiance à 95% du biais absolu. Sur les graphiques, l'axe *y* représente la différence entre les valeurs de la méthode de référence et la méthode testée, et l'axe *x* la moyenne de ces deux valeurs. Trois droites s'ajoutent en *y* : une droite représentant le biais,

et deux droites en pointillé au-dessus et au-dessous de cette droite, représentant les limites de concordance.

Les graphiques de Bland-Altman ont été effectuées grâce au package 'BlandAltmanLeh' (Lehnert, 2015). Pour ces mesures, nous avons utilisé la mesure de F2 étant donné que c'est le formant le plus perturbé par la rigidité des masques.

Les graphiques ont été réalisés sur le phonème /i/ dans le contexte des logatomes, le nombre d'occurrences de /i/ par groupe d'instrument est de 64.

Tableau 10 : Graphiques de Bland-Altman de comparaison de F2 pour /i/ avec différents référents (microphone ou AeroMask).

	Comparaison avec le microphone ou l'AeroMask	Comparaison avec le masque de Rothenberg	Comparaison avec le système EVA2	Comparaison avec l'OroNasal Mask
Référent : Microphone	1.a. 	1.b. 	1.c. 	1.d. 
Référent : AeroMask	2.a. 	2.b. 	2.c. 	2.d. 

Nous avons effectué deux types de comparaisons : celui prenant comme référent le microphone et celui prenant comme référent l'Aeromask dans le but d'avoir dans un premier temps, une comparaison à partir de notre enregistrement contrôle et dans un second temps, afin de montrer la fiabilité au niveau acoustique de notre nouveau dispositif (Tableau 10).
Que le référent soit l'AeroMask ou le microphone, nous observons la même tendance. Les comparaisons avec le masque d'EVA2 (Tableau 10 1.c., 2.c.) et de Rothenberg (Tableau 10.1.b., 2.b.) montrent des graphiques différents des autres instruments à savoir l'OroNasal Mask (Tableau 10.1.d., 2.d.) ou le microphone et de l'AeroMask (Tableau 10.1.a, 2.a). L'écart entre les deux droites des limites de concordance pour EVA et Rothenberg est beaucoup plus large que les autres instruments témoignant d'une grande dispersion entre les deux mesures.

La station EVA2, le masque de Rothenberg et l'OroNasal Mask présentent un biais positif haut (Tableau 11). Pour EVA2 il est le plus haut de tous : 353 et 366 Hz en ayant respectivement l'AeroMask et le microphone comme référent, 255 et 268 Hz pour le masque de Rothenberg et 114 et 127 Hz pour l'OroNasal Mask.
Graphiquement nous pouvons voir que la dispersion des mesures est la plus grande avec le masque de Rothenberg, puis se réduit pour EVA2 et l'OroNasal Mask qui est semblable à celle du microphone et de l'AeroMask (Tableau 10).

Tableau 11 : Différence moyenne (Hz) entre les différents enregistrements

	Différence moyenne (biais)
Microphone ~ EVA2	366
Microphone ~ Rothenberg	268
Microphone ~ OroNasal Mask	127
Microphone ~ AeroMask	13
AeroMask ~ EVA2	353
AeroMask ~ Rothenberg	255
AeroMask ~ OroNasal Mask	114
AeroMask ~ Microphone	-13

Les biais sont quasiment identiques que l'on prenne l'AeroMask ou le microphone en référence, cela témoigne de la fiabilité de notre système.
Lorsque l'on compare les mesures faites avec l'AeroMask et le microphone nous obtenons le plus petit biais de tous les outils : 13 Hz. Nous sommes face à un cas de concordance excellente étant donné que les limites sont très proches mais le biais étant légèrement supérieur ou inférieur à 0 (13 si on prend le microphone en référent et -13 avec l'AeroMask), nous pouvons dire que les différences ne varient pas beaucoup entre les deux instruments. Pour le F2 de /i/ les valeurs seront donc extrêmement proches les unes des autres, contrairement aux autres systèmes, attestant d'une acoustique non déformée.

Nous pouvons conclure que le masque en fibre est un dispositif fiable pour préserver l'acoustique.

2. Validation aérodynamique

Le but de cette validation est de montrer que les moyennes de débit d'air enregistrées avec l'AeroMask se rapprochaient des moyennes obtenues avec d'autres instrumentations : EVA2, le masque de Rothenberg et l'OroNasal Mask. Nous avons ainsi repris les mêmes instruments et les mêmes locuteurs que pour la validation acoustique.
Les enregistrements ont eu lieu dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie. La tâche reposait dans la lecture d'un corpus (Annexe 4) construit avec des phrases cadre « Non, tu n'as pas dit *ama* quatre fois tu as dit *aba* et *ada* quatre fois » auxquelles des logatomes sont insérés avec une structure de type VCV où C représente /m, n, p, b, t, d, s, z/ et V représente /a, i, y, u, o, e, ɑ̃, ɔ̃, ɛ̃/. Le corpus est constitué au total de 26 phrases cadre et de 78 logatomes. Nous avons mesuré la moyenne de débit d'air sur les voyelles et consonnes nasales. Nous avons choisi des phonèmes nasals car la plupart des instruments analysés séparent débit oral et nasal et cette séparation est essentielle pour l'AeroMask.
Pour tous les instruments les signaux aérodynamiques ont été obtenus grâce à un filtre Bessel passe-bas à 60 Hz. Les débits d'air oral et nasal ont été mesurés en litre par seconde (l/s).

L'AeroMask, le système EVA2 et le masque de Rothenberg ont des moyennes de débits totales proches. Le système EVA2 présente le moins de débit d'air nasal par rapport aux deux autres instruments (Figure 77).

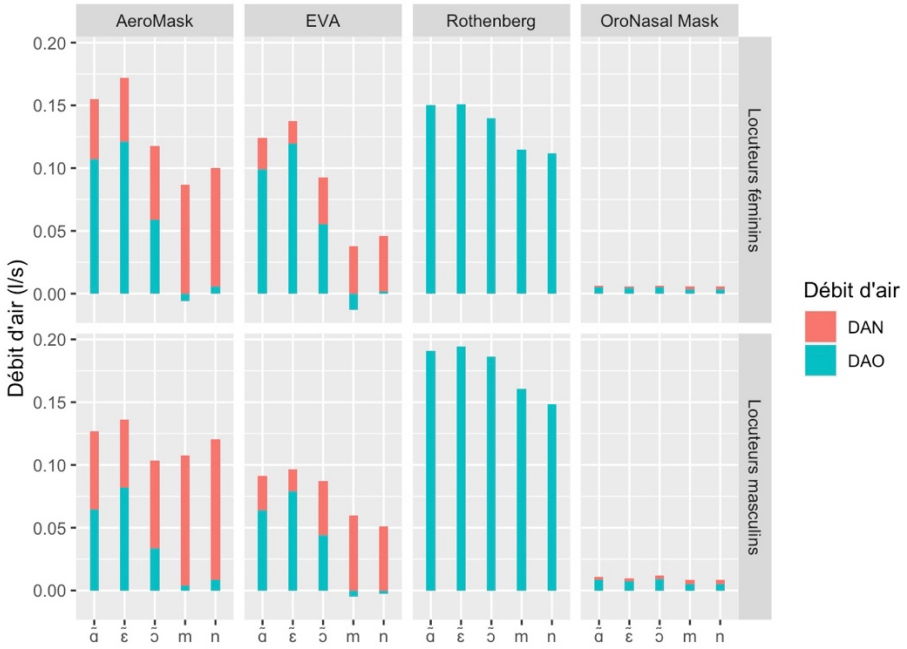


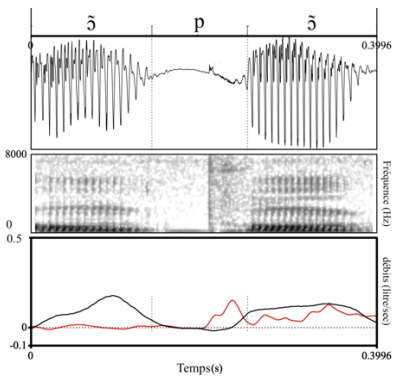
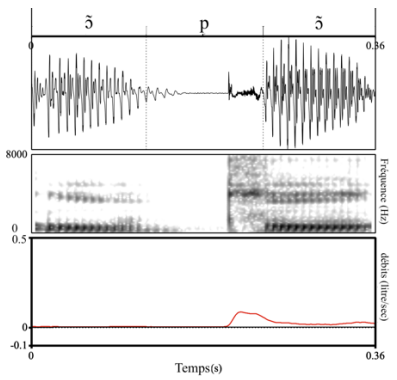
Figure 77 : Débits d'air nasal et oral (l/s) pour l'AeroMask, la station EVA2, le masque de Rothenberg et l'OroNasal Mask sur les phonèmes [ɑ̃, ɛ̃, ɔ̃, m, n], n=768, le tableau avec les moyennes et les écarts-types se trouvent en Annexe 5

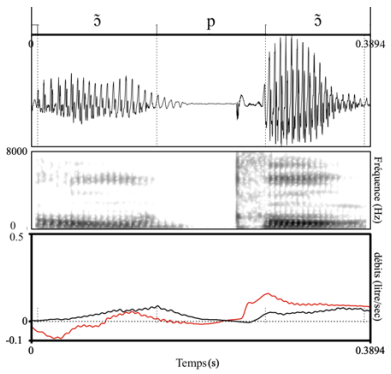
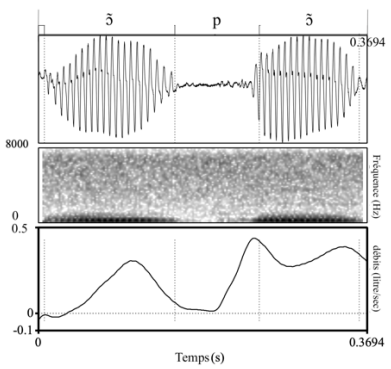
Pour les locuteurs masculins, l'enregistrement avec le masque de Rothenberg montre des valeurs plus élevées en comparaison avec les locuteurs féminins. Nous pouvons émettre plusieurs explications quant à cette augmentation. Ce masque est différent des autres dans le sens où seul le débit d'air total est recueilli, il n'y a pas de séparation entre DAN et DAO ou d'embouts narinaires. Il y a un unique compartiment pour recueillir les débits d'air oral et nasal ce qui limite aussi les potentielles fuites générées lorsque l'on commence à séparer DAN et DAO.
Le fait que cette augmentation du débit d'air total soit visible chez les locuteurs masculins laisse aussi penser qu'il serait plus adapté à la morphologie des visages masculins.
De plus, il doit être tenu par le locuteur, nous pouvions nous attendre à une augmentation du débit d'air si le locuteur le tient fermement contre son visage ou, au contraire, à une diminution de ce débit d'air si la tension n'est pas assez forte et qu'un flux d'air s'en échappe. Il semblerait que la première option soit à privilégier pour les locuteurs masculins.

L'OroNasal Mask fait apparaître des moyennes infimes de débit d'air. Le but de l'amélioration de ce masque était de réduire les distorsions acoustiques. Cette réduction passe par une baisse de la résistance du masque en optant pour un silicone souple, mais surtout, en y plaçant des trous recouverts d'une fine grille sur toute la circonférence du masque. C'est probablement une des raisons pour lesquelles nous avons ici des débits d'air de faible quantité. Ce masque ne permet pas vraiment d'observer les quantités de débit d'air en tant que telles, mais plutôt d'observer la proportion d'air qui passe par les cavités nasales et orale. Le fabricant indique d'ailleurs qu'il est utilisable pour les mesures de ratio comme la nasalance.

Afin d'illustrer ces différences, des tracés des DAO et DAN ont été réalisés sur le logatome /ɔ̃pɔ̃/ avec les masques utilisés (Tableau 12) :

Tableau 12 : Exemples de tracés aérodynamiques du locuteur sain MT04 avec les masques évoqués ci-dessus pour le logatome /ɔ̃pɔ̃/, le tracé rouge représente le DAO et le tracé noir le DAN, dans le cadre du masque de Rothenberg qui ne sépare pas les débits, le tracé noir représente le débit d'air total.

AeroMask	OroNasal Mask
	

EVA2	Rothenberg
	

Les moyennes de débit mesurées avec notre système sont proches du système EVA2 et du masque de Rothenberg.
La captation du débit d'air nasal apparaît meilleure avec l'AeroMask qu'avec le système EVA2. En effet, des moyennes de DAN plus importantes sont observées avec l'AeroMask.

3. Validation perceptive

A la suite des validations acoustique et aérodynamique, une étude perceptive a été menée (Elmerich, Gao *et al.*, 2023). Nous avons mené une expérience de perception pour étudier si et comment l'intelligibilité et la perception du caractère naturel des voyelles sont affectées par l'AeroMask, en comparaison avec le masque EVA2 et le masque de Rothenberg.
Les enregistrements utilisés dans la validation acoustique ont été utilisés pour ce test perceptif. Nos stimuli étaient de deux types : i) les voyelles tenues et ii) les voyelles orales dans le logatome /pVp/ extrait de la phrase porteuse « Il a dit V comme dans pV. PVp, **pVp,** pVp, tu n'as pas dit pVpVp mais pVpVpVp ». La syllabe en gras a été extraite de la phrase. Nous avons pris la première répétition pour en extraire nos stimuli.

Notre évaluation perceptive a consisté à étudier (1) comment la perception de chaque voyelle par les auditeurs était affectée par l'interaction entre les conditions d'enregistrement (Microphone, AeroMask, EVA2, Rothenberg) et la production isolée (ou V :) ou en contexte CVC (ou pVp)) et (2) si les auditeurs pouvaient percevoir la présence d'un masque dans ces conditions.

Vingt auditeurs francophones natifs (âge moyen = 27,8 ; écart-type = 5,3 ; 16 femmes, 4 hommes) ont participé volontairement à l'expérience. Nous avons écarté les données d'un auditeur en raison d'un taux d'erreur élevé de 43% dans la condition Microphone, alors que les autres auditeurs avaient une performance proche du plafond dans cette condition. Trois auditeurs ont déclaré avoir des antécédents d'acouphènes ou de dyslexie, mais leurs données ont été conservées car ils ne présentaient pas de comportements atypiques par rapport au

modèle général. Aucun autre auditeur n'a signalé d'antécédents de troubles de la parole, de l'audition ou de la motricité.

La collecte des données a été effectuée en ligne via PsyToolkit (Stoet, 2010, 2017)[10]. Les participants ont été invités à utiliser des écouteurs ou un casque pour réaliser l'expérience dans une pièce calme. Comme indiqué ci-dessous, chaque essai consistait en (1) l'identification de la voyelle ; (2) le jugement du port du masque (Figure 78).

Au début de l'essai, l'auditeur était invité à cliquer sur un bouton PLAY pour entendre un stimulus auditif deux fois de suite. Le début des deux répétitions était espacé de 1,5 seconde. Au début de la deuxième répétition, l'auditeur était invité à choisir la voyelle qu'il entendait parmi les sept voyelles orthographiquement représentées à l'écran (Figure 78), en cliquant sur le bouton correspondant. Comme certains graphèmes correspondent à plus d'un phonème vocalique, chaque graphème était placé au-dessus d'une forme lexicale contenant la voyelle appropriée dans l'ordre suivant : "i (lit), é (fée), ou (toux), u (bus), o (sot), eu (peu), a (chat)", pour /i, e, u, y, o, ø, a/, respectivement.

Une fois que l'auditeur a effectué le choix de la voyelle, une question apparaît à l'écran : "Est-ce que cette personne parle avec un masque ?". L'auditeur devait cliquer sur le bouton "oui" ou "non" avant de passer à l'essai suivant.



Figure 78 : Capture d'écran de l'interface du test de perception

Les stimuli ont été randomisés dans un ordre différent pour chaque participant. Chaque essai a été répété deux fois, soit 224 essais au total (7 voyelles × 2 productions (en contexte ou isolée) × 4 conditions d'enregistrement × 2 locuteurs féminins × 2 répétitions). La session de test a été précédée d'une session d'entraînement avec six essais utilisant des stimuli très faciles à identifier : des enregistrements de /i, a, u/ isolés provenant des deux locuteurs dans la condition Microphone. La plupart des participants ont consacré moins de 30 minutes à l'expérience.

[10] Lien du test de perception : https://www.psytoolkit.org/c/3.4.0/survey?s=jNsC7

En premier lieu, concernant les résultats de la catégorisation vocalique, le Tableau 13 montre les matrices de confusion par condition d'enregistrement ainsi que les précisions de catégorisation. Si nous comparons les précisions entre les quatre conditions d'enregistrement, Microphone et AeroMask donnent des résultats assez comparables, qui sont 10% plus élevés que pour EVA2, et beaucoup plus élevés que pour Rothenberg.

Tableau 13 : Matrices de confusion pour la catégorisation des voyelles par condition d'enregistrement. La partie supérieure correspond aux voyelles isolées, et la partie inférieure aux voyelles en contexte /pVp/. Les lignes correspondent aux voyelles de référence, les colonnes aux réponses des auditeurs. Les lignes inférieures correspondent aux précisions avec 95% d'Intervalle de Confiance (IC)

	V: Microphone						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	76	0	0	0	0	0	0
y	0	76	0	0	0	0	0
u	0	1	75	0	0	0	0
e	0	0	0	76	0	0	0
ø	0	0	0	1	75	0	0
o	0	0	0	0	0	76	0
a	0	0	0	0	0	0	76
	Accuracy: 0.996 (0.99, 1)						

	V: AeroMask						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	75	1	0	0	0	0	0
y	0	76	0	0	0	0	0
u	0	1	70	0	1	4	0
e	0	0	0	76	0	0	0
ø	0	0	0	2	74	0	0
o	0	0	0	0	1	75	0
a	0	0	0	0	0	0	76
	Accuracy: 0.981 (0.97, 0.99)						

	V: EVA						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	57	9	7	0	3	0	0
y	0	70	2	0	3	0	0
u	0	2	74	0	0	0	0
e	0	2	2	61	8	3	0
ø	0	0	0	1	73	2	0
o	0	0	2	0	3	71	0
a	0	0	0	3	5	5	63
	Accuracy: 0.883 (0.85, 0.91)						

	V: Rothenberg						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	60	0	12	0	2	2	0
y	12	31	29	0	3	1	0
u	0	0	58	0	0	18	0
e	4	0	4	17	11	40	0
ø	0	0	0	1	3	72	0
o	0	0	3	0	0	73	0
a	0	0	0	0	5	1	69
	Accuracy: 0.586 (0.54, 0.63)						

	pVp: Microphone						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	76	0	0	0	0	0	0
y	0	76	0	0	0	0	0
u	0	1	75	0	0	0	0
e	7	0	0	69	0	0	0
ø	0	1	1	0	74	0	0
o	0	0	5	0	0	71	0
a	0	0	0	0	1	0	75
	Accuracy: 0.970 (0.95, 0.98)						

	pVp: AeroMask						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	76	0	0	0	0	0	0
y	0	76	0	0	0	0	0
u	0	1	74	0	0	1	0
e	7	1	0	68	0	0	0
ø	0	2	0	0	74	0	0
o	0	0	5	0	0	71	0
a	0	0	0	0	0	0	76
	Accuracy: 0.968 (0.95, 0.98)						

	pVp: EVA						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	76	0	0	0	0	0	0
y	0	76	0	0	0	0	0
u	0	0	73	0	1	2	0
e	9	2	0	64	1	0	0
ø	0	1	1	0	73	0	0
o	0	0	23	0	1	51	1
a	0	0	0	3	11	5	57
	Accuracy: 0.885 (0.85, 0.91)						

	pVp: Rothenberg						
	i	y	u	e	ø	o	a
i	76	0	0	0	0	0	0
y	9	65	2	0	0	0	0
u	0	3	69	0	0	4	0
e	12	1	0	35	5	0	22
ø	1	3	16	10	17	28	1
o	0	0	12	0	2	60	2
a	0	0	0	0	3	0	73
	Accuracy: 0.744 (0.70, 0.78)						

La façon dont la catégorisation des voyelles est perturbée diffère selon les conditions d'enregistrement et la production (isolée ou en contexte CVC). Il y a quelques différences notables entre la production isolée et en contexte CVC. La première concerne deux voyelles mi-fermées /e, o/. Alors qu'elles sont presque à 100% correctement catégorisées dans les productions isolées, elles peuvent être mal catégorisées en tant que voyelles proches /i, u/ dans la syllabe /pVp/. Ceci est probablement dû à des contraintes phonotactiques, la présence de voyelles fermées comme /e/ et /o/ en syllabes fermées n'existe pas en français (Delattre, 1959), en particulier lorsque la première et la dernière consonne sont des occlusives. Indépendamment de cet effet phonotactique, la condition d'enregistrement joue toujours un rôle, donnant une précision équilibrée plus élevée pour les conditions Microphone (/e/ : 0,95 ; /o/ : 0,97) et AeroMask (/e/ : 0,94 ; /o/ : 0,96) que pour les conditions EVA2 (/e/ : 0,91 ; /o/ : 0,82) et Rothenberg (/e/ : 0,71 ; /o/ : 0,85).

La deuxième différence concerne les voyelles antérieures hautes /i, y/. Dans les productions isolées et les conditions EVA2 et Rothenberg, ces voyelles sont confondues entre elles. Ceci est probablement dû aux distorsions acoustiques causées par les deux conditions d'enregistrement. L'exactitude de la catégorisation de /i, y/ est cependant accrue dans les productions en contexte CVC, malgré des distorsions acoustiques similaires. Pour Rothenberg uniquement, la production en contexte augmente la justesse de la catégorisation par rapport aux productions isolées pour toutes les voyelles à l'exception de /o/, avec une augmentation globale de 15%. En particulier, les voyelles non focales /e, ø/ sont les plus incorrectement et variablement catégorisées dans la condition Rothenberg, et leur exactitude est améliorée

dans les contextes CVC. Pour les autres conditions d'enregistrement, le taux de précision est globalement inférieur de 1 à 3% pour les voyelles en contexte CVC par rapport aux voyelles isolées.

La catégorisation erronée de la voyelle /a/ en tant que voyelle non basse et non antérieure se produit pour les conditions EVA2 et Rothenberg. Pour Rothenberg et le contexte CVC uniquement, certaines voyelles peuvent également être mal catégorisées comme /a/.

Dans l'ensemble, la condition AeroMask donne un taux de précision très proche de la condition Microphone. La seule exception est le /u/ isolé qui est catégorisé comme /o/, 4 fois sur 76 dans la condition AeroMask, mais pas dans la condition Microphone. Cependant, étant donné que cette erreur de catégorisation ne se produit qu'avec les stimuli d'un seul locuteur, il pourrait s'agir d'un cas spécifique à une production ou à un locuteur.

En second lieu, nous avons utilisé un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM), utilisant le package « lmerTest » (Kuznetsova *et al.*, 2017) dans R (R Core Team, 2022). Nous testons ici la réponse de jugement des auditeurs quant au fait que le locuteur portait ou non un masque. Dans ce modèle, les facteurs fixes sont la voyelle, le contexte, et la condition d'enregistrement. L'interaction contexte × condition d'enregistrement a été incluse. Des intercepts aléatoires ont été inclus pour les voix des auditeurs et des locuteurs, et des pentes aléatoires par participant pour le contexte et la condition d'enregistrement. Les diagrammes d'interaction et les comparaisons par paires ont été réalisés à l'aide du package « emmeans » (Lenth, 2022).

Comme le montre la Figure 79, la probabilité de la présence d'un masque augmente comme suit : Microphone < AeroMask < EVA2 < Rothenberg. Les voyelles isolées (V) sont plus susceptibles d'être jugées comme produites par une personne portant un masque que les voyelles intégrées (pVp) pour le Microphone (est. = 0,84, SE = 0,36, z = 2,33, p < 0,05) et l'AeroMask (est. = 0,60, SE = 0,24, z = 2,45, p < 0,05), et moins pour la condition Rothenberg (est. = 1,23, SE = 0,28, z = 4,34, p < 0,0001).

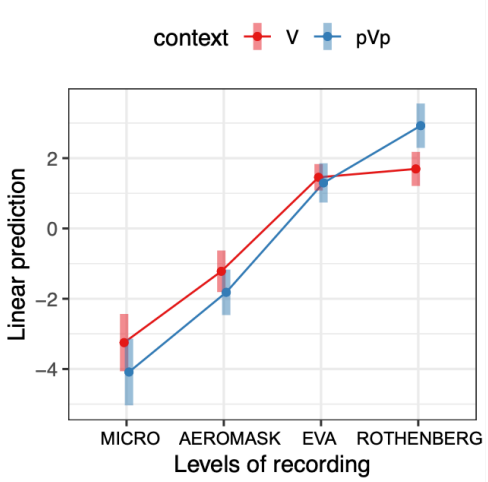


Figure 79 : Graphique d'interaction du jugement sur le port du masque en fonction de la condition d'enregistrement et du contexte. Plus les valeurs sont élevées, plus la probabilité de percevoir la voix comme masquée est grande. Barres : IC à 95%.

Il convient toutefois de noter que les stimuli enregistrés avec l'AeroMask ont obtenu un score plus élevé de jugement de port de masque que les enregistrements acoustiques seuls. Cela signifie que certaines formes d'atténuation spectrale ou d'autres caractéristiques du signal acoustique peuvent donner l'impression d'une voix masquée. Néanmoins, les stimuli enregistrés avec le masque EVA2 et le masque de Rothenberg étaient beaucoup plus susceptibles d'être jugés comme étant produits avec un masque.

Notre étude fournit une validation perceptuelle des données enregistrées avec l'AeroMask, en comparaison avec le masque EVA2 et le masque de Rothenberg. Les stimuli enregistrés avec l'AeroMask ont donné un taux de précision élevé pour la catégorisation des voyelles, qui était similaire au taux de catégorisation des données enregistrées uniquement avec un microphone. La seule exception concernait la voyelle /u/, ce qui pourrait être dû à un effet spécifique au locuteur ou à la production. Par rapport aux voyelles isolées, les voyelles en contexte CVC ont globalement diminué le taux de précision pour les voyelles moyennes /e, o/, peut-être en raison de contraintes phonotactiques. Néanmoins, leurs taux de précision étaient similaires entre les données enregistrées uniquement avec un microphone et les données enregistrées avec l'AeroMask. Nous pouvons donc conclure avec certitude que l'AeroMask a peu d'impact sur l'intelligibilité des voyelles orales.

Cela peut être considéré comme une grande amélioration par rapport aux masques rigides. L'abaissement des formants et/ou l'atténuation spectrale pour ces masques dans les zones de moyenne et/ou haute fréquence ont conduit à une catégorisation erronée des voyelles antérieures. Les voyelles non focales /e, ø/ présentaient le taux le plus élevé d'erreurs de catégorisation avec les stimuli enregistrés par le masque de Rothenberg, peut-être parce que les atténuations spectrales les affectaient davantage pour une perception correcte que les voyelles focales, qui sont plus saillantes sur le plan perceptif (Schwartz *et al.*, 2005).

Le taux de précision pour au moins certaines voyelles était plus élevé dans les productions en contexte CVC que dans le contexte isolé, malgré des distorsions acoustiques similaires à celles observées dans Elmerich, Amelot, Maeda, *et al.* (2020). L'interaction complexe entre l'assimilation perceptive et la normalisation des informations contextuelles (Rysling *et al.*, 2019) peut expliquer ce comportement.

Cependant, notre étude est limitée aux voyelles orales. Des recherches plus approfondies doivent aborder l'impact des outils aérodynamiques sur d'autres phonèmes comme les voyelles et consonnes nasales, ce qui nécessite des observations fines des mécanismes aérodynamiques.

De plus, l'OroNasal Mask se voulant dénué de distorsions acoustiques, il serait intéressant de l'intégrer dans un test de perception de ce type. Effectivement, nous n'avions pas prévu de faire des enregistrements avec ce masque, nous avons eu la chance tardivement de pouvoir le faire. Les résultats de ce test avaient déjà été analysés. Les contraintes temporelles telles que l'ajout de ces nouvelles données au test, une nouvelle campagne de diffusion du test et l'analyse de ces nouveaux résultats ont empêché son inclusion.

IV. Avantages et inconvénients de l'AeroMask

1. Avantages

Les différentes motivations, listées au début de la partie II de ce chapitre p.86, ont pu être remplies à l'issue de ce travail de recherche. Elles constituent les points forts de l'AeroMask à savoir :

- réaliser un enregistrement simultané de données acoustiques dépourvues de distorsions et de données aérodynamiques permettant ainsi de limiter la durée de prise de données,
- et de ce fait, pouvoir exploiter ces données acoustiques à des fins de tests de perception pour faire le lien entre aérodynamique, acoustique et perception,
- lever la contrainte de tenue du masque par le locuteur qui peut potentiellement entraîner des pertes aérodynamiques en cas de mouvement du locuteur,
- donner une plus grande liberté de mouvement au locuteur en ne le contraignant pas à rester fixe et face à un système d'enregistrement,

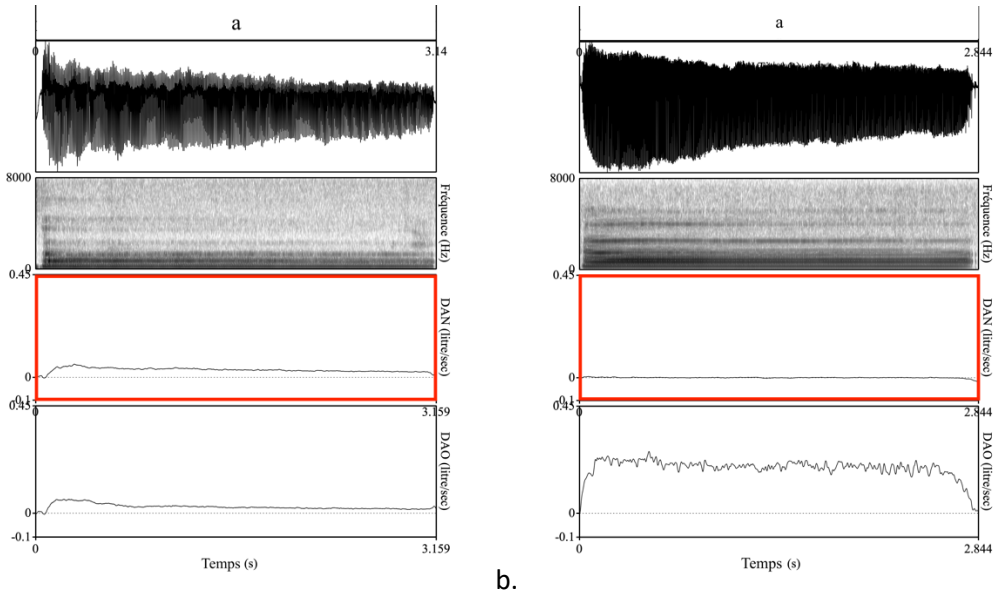
2. Inconvénients

Un des inconvénients est que tous les masques utilisés avec l'AeroMask doivent être étalonnés avant ou après les enregistrements (*cf*. II.1.C.L'étalonnage, p. 91).

Il est aussi nécessaire de passer par deux étapes de test :

i) d'adéquation du masque au locuteur : dans le cas où le premier masque (Besafe®) n'englobe pas assez le nez et la bouche, deux masques plus larges (Snipon® ou Honeywell ®) sont proposés au locuteur,

ii) d'adéquation de la séparation au locuteur : un protocole de test a été mis au point (Figure 80) : il est demandé au locuteur de produire un /a/ puis un /m/ tenus et enfin, la phrase « Papa est parti à Paris ». Visuellement, il est facile de déterminer si la séparation est adaptée grâce à la répartition des débits d'air. Pour /a/ et « Papa est parti à Paris », une absence de débit d'air nasal est attendue, et pour /m/ une absence de débit d'air oral. Par la suite, nous avons adapté ce test en demandant au locuteur de produire un /i/ à la place du /a/. Un débit d'air nasal peut être visible sur le son /a/ en particulier en raison de sa grande aperture ce qui est le moins cas pour /i/.



a. b.

Figure 80 : [a] tenu lors du processus de test en a. en cas d'inadéquation de la séparation et en b. en cas d'adéquation de la séparation pour le locuteur MT10 (Tableau 17)

Après avoir décrit le système de l'AeroMask, nous allons à présenter la méthodologie ainsi que les résultats de son application à une population pathologique et témoin.

Chapitre IV : Méthodologie générale

Résumé du chapitre :

Notre population est composée de quatre patients masculins atteints de PNS et de huit locuteurs sains masculins. Ils ont été enregistrés avec le système de l'AeroMask lors d'une tâche de lecture de corpus. Les patients ont été enregistrés avant et après chirurgie à l'hôpital Bicêtre. Il a aussi été demandé à tous les locuteurs de compléter des questionnaires de qualité de vie : le VHI, le SHI et un questionnaire conçu par nos soins : le questionnaire Nasalité-Parole. Des données incluses dans le parcours de soin du patient ont été utilisées : le questionnaire de qualité de vie propre au domaine rhinosinusien le SNOT-22, ainsi que leurs scanners préopératoire et postopératoire. Des données de différents types sont exploitées : volumétrique, acoustique, aérodynamique et perceptive. Nous avons utilisé les scanners des patients afin de quantifier le volume d'air des cavités naso-sinusiennes avant et après chirurgie, ces volumes ont été comparés avec celui d'un sujet sain. Au niveau acoustique, nous avons mesuré la durée des voyelles nasales et orales et le spectre moyen total et nasal sur différents phonèmes. Sur ces mêmes phonèmes, les moyennes de débit d'air nasal et oral ont été mesurées. Enfin, nous avons recueilli des données d'auto-perception avec les questionnaires de qualité de vie mais aussi d'hétéro-perception en faisant passer un test à des orthophonistes et des auditeurs naïfs.

I. Populations étudiées

Deux types de populations ont été enregistrées pour cette recherche : une population de patients ayant une polypose naso-sinusienne et une population de locuteurs sains.

1. Population pathologique

Notre recherche a été menée en partenariat avec le service d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Chirurgie cervico-maxilo-faciale de l'Hôpital Bicêtre. Compte tenu de nos critères d'inclusion et de non-inclusion, cinq patients ont été retenus pour notre étude. Outre le respect de nos critères d'inclusion et de non-inclusion, ce nombre s'explique par les restrictions en vigueur en milieu hospitalier au moment des enregistrements en raison de la Covid-19.
Le premier patient (PM01) enregistré avec l'AeroMask, a finalement été exclu de la cohorte en raison de déperditions trop importantes entre le compartiment oral et nasal, ainsi que vers l'extérieur. Ces déperditions étaient dues à un masque trop petit pour sa morphologie, ce qui nous a permis de travailler par la suite un masque plus grand pour pouvoir s'adapter à une plus grande population.

Le nombre total de patients se rapporte donc à quatre patients de sexe masculin (Tableau 14). Les patients devaient être âgés entre 18 et 75 ans, avoir le français comme langue maternelle, présenter une polypose naso-sinusienne primitive et avoir recours à une chirurgie pour la première fois.
Ne pouvaient être inclus dans notre étude les patients :

- ayant déjà subi une chirurgie du nez ou des sinus,
- ayant une dysphonie, une pathologie vocale ou été opéré des cordes vocales,
- ayant une PNS secondaire de type fongique ou dans le cadre de maladies telles que la mucoviscidose, la dyskinésie ciliaire ou les déficits immunitaires,
- ayant une PNS unilatérale.

Trois patients ont subi une polypectomie et le quatrième a subi en plus une ethmoïdectomie. Ils présentaient des stades de PNS variés. Les patients ont été enregistrés à T1 en préopératoire lors de leur rendez-vous avec le médecin anesthésiste, puis à T2 (3 à 5 mois postopératoire) lors de leur visite de contrôle.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des patients, données épidémiologiques

Code Locuteur	Sexe	Age	Profession	Stade de PNS	Polypectomie	Méatotomie	Ethmoïdectomie	Septoplastie	Turbinoplastie
PM01	*M*	*30*	*Chef de projet*	*Stade III*	✓	✓			
PM02	M	47	Ingénieur	Stade II	✓	✓		✓	
PM03	M	47	Cuisinier	Stade II Gauche Stade III Droite	✓	✓			
PM04	M	18	Etudiant	Stade III Droite Stade IV Gauche	✓	✓			✓
PM05	M	55	Dirigeant d'entreprise	Stade III Droite Stade II Gauche	✓	✓	✓		

Tableau 15 : Scores scannographiques de Lund-Mackay

Code Locuteur		Score scannographique de Lund-Mackay
PM02	préopératoire	14
	postopératoire	12
PM03	préopératoire	24
	postopératoire	16
PM04	préopératoire	24
	postopératoire	6
PM05	préopératoire	20
	postopératoire	5

2. Population témoin

Huit sujets sains masculins de langue maternelle française ont été recrutés pour cette étude (Tableau 16). Ils sont âgés de 24 à 59 ans afin de former une population de référence de même âge et sexe. Ils ne présentent ni pathologie rhinosinusienne ni vocale.

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des locuteurs sains

Code Locuteur	Sexe	Age	Profession
MT01	M	24	Infirmier
MT02	M	52	Enseignant
MT03	M	59	Employé de banque
MT04	M	43	Enseignant-chercheur
MT05	M	30	Chef cuisinier
MT06	M	27	Ingénieur
MT07	M	34	Étudiant
MT08	M	27	En formation

Certains locuteurs sains ne font pas partie de notre cohorte de locuteurs sains mais ont participé à des tests spécifiques (de l'AeroMask par exemple) ou ont passé seulement un scanner, le tableau ci-dessous les récapitule.

Tableau 17 : Tableau récapitulatif des trois locuteurs sains ayant participé à des tests spécifiques

Code Locuteur	Sexe	Age	Profession
MT09	M	32	Architecte
MT10	M	25	Ingénieur
MT11	F	27	Enseignante

II. Corpus, données et mesures

1. Corpus

Le corpus est construit avec des phrases cadre « Non, tu n'as pas dit *ama* quatre fois tu as dit *aba* et *ada* quatre fois » auxquelles des logatomes sont insérés avec une structure de type VCV où C représente /m, n, p, b, t, d, s, z/ et V représente /a, i, y, u, o, e, ɑ̃, ɔ̃, ɛ̃/.
Le corpus est constitué au total de 26 phrases cadre et de 78 logatomes (Annexe 4). Le corpus a été lu une fois.

Nous utilisons quatre contextes phonétiques pour nos résultats aérodynamiques et acoustiques. Ces catégories sont utilisées dans les études sur la PNS et notamment dans celle de Giron et Mas (2016) :

- Les voyelles nasales,
- Les voyelles orales en contexte nasal,
- Les voyelles orales en contexte oral,
- Les consonnes nasales.

Pour les voyelles, nous avons séparé celles placées à l'initiale (nous les appellerons V1) de celles placées après la consonne, en finale de logatome (V2).

Outre les phrases cadre, ce corpus est aussi constitué d'une partie « Phrases » qui a été exploité dans l'étude perceptive. Cette partie avait pour objectif de réemployer les logatomes de la première partie dans un contexte de phrases plus naturel. Par exemple, le logatome « ana » était replacé dans la phrase « Il émet des réserves quant à l'avenir du fils ainé d'**Anna** ».

2. Prise de données

Avant de commencer la prise de données, le protocole expérimental a été évalué et validé par le Comité de Protection de Personnes (CPP N° 21.04.21.54552) Nord-Ouest II pour les patients et par le Comité d'Ethique et de la Recherche de l'Université Paris Descartes (CER N° 00012020-94) pour les sujets sains. L'étude est enregistrée sur Clinical Trials sous le numéro « NCT05131958 ».

Avant de procéder aux enregistrements, les patients sont invités à lire une lettre d'information et à donner leur non-opposition (Annexe 6). Il en va de même pour les locuteurs sains (Annexe 7), à la différence qu'ils signent un formulaire de consentement (Annexe 8).

Les patients ont été enregistrés dans un bureau isolé et calme du service d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Chirurgie cervico-maxilo-faciale de l'Hôpital Bicêtre.
Les sujets sains ont été enregistrés pour une partie chez eux (n=3), dans une pièce calme, en raison des normes sanitaires en vigueur liés à la Covid-19 au début de la période d'enregistrements et pour une autre partie (n=5), dans la chambre sourde de l'Institut de Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées (ILPGA) de l'Université Sorbonne Nouvelle.
La durée d'enregistrement pour les deux cohortes était de 20 minutes.
Patients ou sujets sains ont passé le même protocole d'enregistrement. La seule différence repose dans la prise de données volumétriques. En effet, les sujets sains n'ont pas passé de scanners mais nous avons eu l'opportunité d'obtenir un scanner d'un patient qui venait pour

une plainte au niveau sinusien. Le scanner n'a finalement pas révélé d'atteintes sinusiennes. Nous avons donc pu disposer de son scanner. Il s'agit du locuteur MT09 (Tableau 17).

A. Données et mesures volumétriques

Les patients ont réalisé un scanner préopératoire et postopératoire inclus dans leur parcours de soin. En préopératoire, les patients ont réalisé leur scanner par l'intermédiaire de leur ORL ou médecin. De ce fait, ils ont été faits dans des centres différents impliquant des machines et paramètres différents (Tableau 18).

Tableau 18 : Paramètres des scanners utilisés en préopératoire et pour le locuteur sain, le paramètre kV (kilovoltage) correspond à la tension envoyée.

	Machine	**Kv**	**Epaisseur de coupe**
PM02	Planmeca ProMax	90	0,2 mm
PM03	Siemens Somatom Definition	100	0,75 mm
PM04	Revolution EVO	120	0,6 mm
PM05	Siemens Somatom Definition	100	1 mm
MT09	Siemens Somatom Definition	110	1 mm

En postopératoire, les données ont été acquises dans le même centre, à l'hôpital Bicêtre, suite à leur visite de contrôle, grâce au scanner Siemens Somatom Definition avec les paramètres suivants -Kv : 120, épaisseur de coupe de 1 mm.

Les coupes tomodensitométriques anonymisées ont été importées dans ITK Snap®3.8.0 (Yushkevich, *et al.,* 2006) permettant ainsi de reconstruire les images du scanner dans les trois plans de l'espace et de quantifier le volume d'air des cavités. La région d'intérêt (ROI) correspond aux sinus maxillaires, ethmoïdaux et aux cavités nasales. Nos mesures volumétriques allaient jusqu'au rhinopharynx en prenant comme limite la lame horizontale de l'os palatin. Nous avons pris cette zone pour tous les patients même si les sinus ethmoïdaux bénéficiaient d'un acte chirurgical seulement pour PM05. Le choix de cette zone nous permet la comparaison entre patients. L'algorithme des contours actifs (« Active Contours ») disponible dans ce logiciel a été utilisé. Il estime une région d'intérêt à l'aide d'une technique de croissance des régions. Elle implique le regroupement de points voisins afin de créer des régions de plus en plus importantes, un point de départ est donné et si l'intensité du pixel voisin lui est similaire la région s'étend et ainsi de suite. Un cadre est placé sur la ROI où la

segmentation automatique doit être réalisée. Puis, une méthode de seuillage est utilisée pour mettre en évidence la zone à segmenter. Pour ce faire, nous avons réalisé pour cette zone un « Mask » basé sur l'échelle des gris tomodensitométrique (seuil entre -1024 et -401 Unités Hounsfield). Le « Mask » permet de détourer une portion spécifique du scanner compris entre une limite basse et haute. En effet, selon ces limites, certains éléments ressortiront plus ou moins en fonction de l'intensité du pixel, qui est liée à la densité des tissus. Par exemple, les pixels d'une région d'intérêt peuvent apparaître plus clairs que l'arrière-plan ou avoir une couleur différente de celle de l'arrière-plan. Étant donné que différents éléments peuvent être sensibles à ce seuillage, des bulles (en rouge sur la figure) sont ensuite placées pour préciser la zone à détourer (Figure 81).

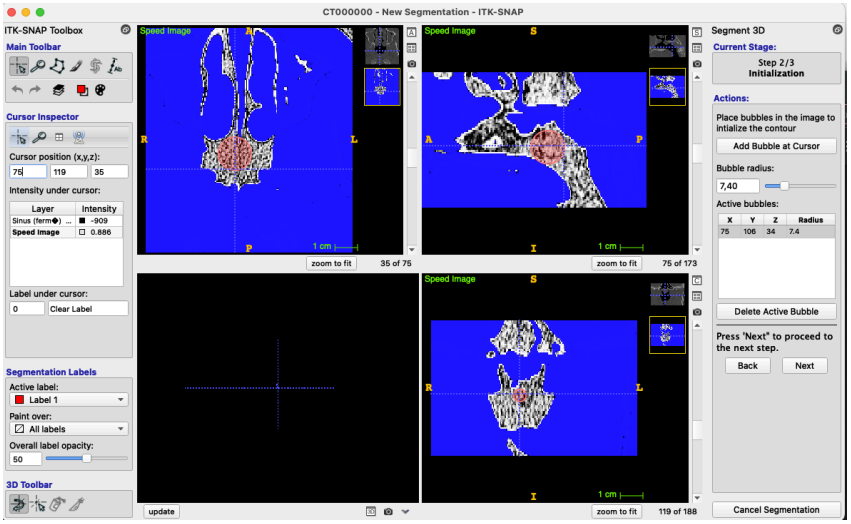


Figure 81 : Interface du logiciel ITK Snap®3.8.0. : réalisation d'un « Mask » pour les sinus maxillaires, ethmoïdaux et les cavités nasales

Une correction manuelle du « Mask » a été effectuée. Cette correction est utile dans le cas où certaines zones auraient été exclues du détourage en raison d'un mauvais placement du cadre par exemple, ou si au contraire des éléments n'appartenant pas à la zone y auraient été inclus. Nous obtenons ensuite le « Mask » final (Figure 82).

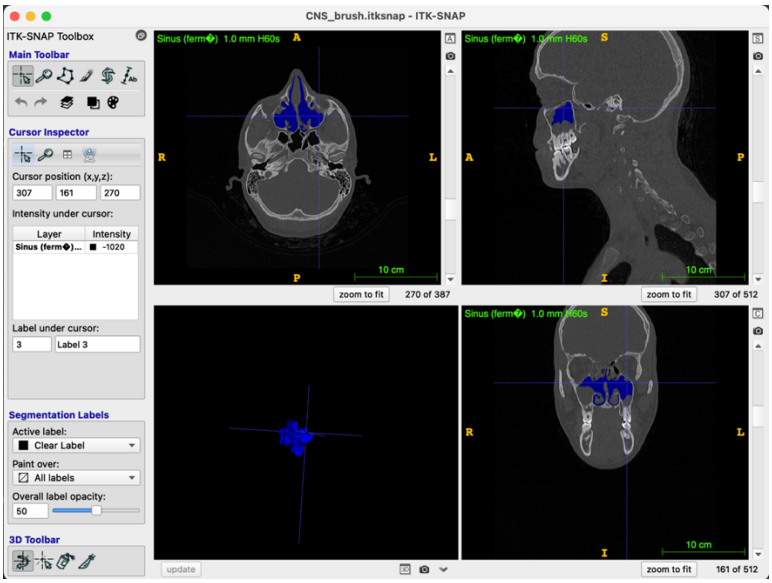


Figure 82 : Interface du logiciel ITK Snap®3.8.0. : « Mask » final pour les sinus maxillaires, ethmoïdaux et les cavités nasales.

Une fois ces étapes réalisées, le volume de notre ROI est calculé par le logiciel et les résultats sont obtenus en mm^3.

B. Données et mesures acoustiques et aérodynamiques

i. Données et mesures acoustiques

Les données acoustiques ont été acquises avec un microphone serre-tête AKG 520, positionné à 5 cm des lèvres, et connecté à une alimentation 48 Volt de la marque The t.bone L-Pack. Le tout était reliée à la carte d'acquisition DataTranslation DT9803. Elle est connectée à un PC via un câble USB, comme le montre la Figure 51 dans le chapitre II.I.b (p.89). Elle est alimentée par le PC via le câble USB. Sa consommation de courant est légèrement inférieure à 100mA (+5V). Les signaux numérisés sont introduits dans le PC par ce câble USB. Dans notre cas, trois canaux ont été utilisés : un canal pour le microphone (canal 0), un autre pour le capteur de débit d'air oral (canal 2) et le dernier (canal 3) pour le capteur de débit d'air nasal. Les données ont été enregistrées sans gain.
La fréquence d'échantillonnage pour l'ensemble des canaux était de 20 000 Hz.

La configuration des acquisitions nous a aussi permis d'exploiter le signal acoustique nasal issu du capteur de pression nasal.

A partir de l'enregistrement acoustique issu du microphone, les enregistrements de la population pathologique et témoin ont été segmentés en phonèmes avec le logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2022).
En premier lieu, un alignement automatique a été réalisé avec l'outil Astali, élaboré au Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications (Loria)[11]. Il permet un

[11] Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications - UMR 7503 (Loria) (2016). ASTALI [Outil]. ORTOLANG (Open Resources and TOols for LANGuage) - www.ortolang.fr, v2, https://hdl.handle.net/11403/astali/v2.

découpage en phonèmes à partir d'un fichier texte contenant la version orthographique du corpus lu par les locuteurs.
En second lieu, les segmentations ont été corrigées manuellement.

La segmentation acoustique ci-dessus a permis de faire les mesures acoustiques. Nous avons utilisé le spectre moyen total et nasal et la durée des voyelles. Le spectre moyen a été calculé sur le signal acoustique du microphone (spectre moyen total) et sur le signal issu du capteur nasal (spectre moyen nasal) au milieu de chaque phonème. Nous avons choisi de le mesurer de 0 à 2000 Hz. En effet, comme évoqué dans le Chapitre I, l'impact acoustique de la nasalité est surtout dans les basses fréquences du spectre.
Nous illustrerons les mesures de spectre moyen à l'aide de coupes spectrales. Elles ont été extraites sur les mêmes signaux à savoir le signal acoustique du microphone et le signal issu du capteur nasal. Elles ont été mesurées au milieu des voyelles de tous les logatomes de notre corpus sur trois cycles de vibration et en tenant compte de la fréquence du fondamental des locuteurs (Figure 83). Une fenêtre de 30 ms et de 1024 points a été utilisée.

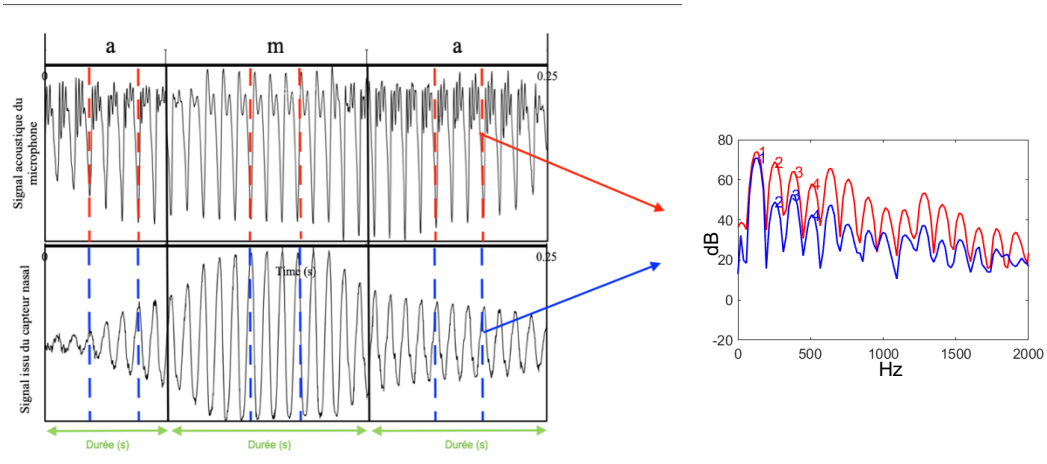


Figure 83 : Illustration des mesures acoustiques de durée et de spectre moyen total et nasal extraites sur chaque phonème de chaque logatome

ii. Données et mesures aérodynamiques

Les données aérodynamiques ont été acquises avec l'AeroMask (*cf.* Chapitre III, p.73). Les débits d'air buccal et nasal ont été mesurées en litre par seconde (l/s). Un filtre passe-bas de Bessel à 60Hz a été appliqué sur les signaux aérodynamiques pour récupérer uniquement la composante basse fréquence du signal.

La segmentation acoustique ci-dessus, a été utilisée pour l'analyse aérodynamique. Les mesures aérodynamiques utilisées sont la moyenne de débit d'air buccal et la moyenne de débit d'air nasal en litre/seconde. Elles ont été calculées sur chaque phonème (Figure 84).

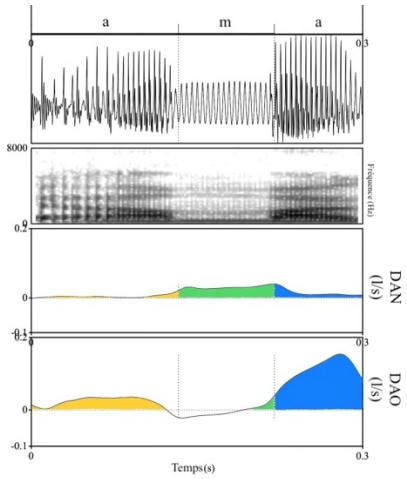


Figure 84 : Illustration des mesures de moyennes de DAN et DAO extraites sur chaque phonème de chaque logatome (une couleur correspond à un phonème)

Nous avons choisi ces mesures car elles sont employées dans l'étude de Giron et Mas (2016) qui se rapproche le plus de la nôtre, très peu d'études se sont focalisées sur les paramètres aérodynamiques. Les moyennes de débit d'air oral et nasal permettent d'observer les changements aérodynamiques quantitatifs une fois les cavités nasales désencombrées.

Ces valeurs sont confrontées à la population de locuteurs sains.

C. *Données d'auto et d'hétéro-perception*

Nous avons demandé à tous les locuteurs de remplir des questionnaires afin d'avoir des indices sur leur perception de la nasalité mais aussi sur leur qualité de vie. Un questionnaire d'informations générales était aussi demandé aux locuteurs (Annexe 9). Il portait notamment sur la situation professionnelle, les langues parlées au quotidien, la pratique d'une activité demandant une utilisation importante de la voix et le tabagisme.

i. Auto-perception / qualité de vie

Il est question ici de la complétion de quatre questionnaires :

a. Un questionnaire spécifique que nous avons élaboré pour explorer la nasalité et les possibles changements au niveau de la parole et de le voix induits par la pathologie et la chirurgie (Questionnaire Nasalité-Parole, Annexe 10).

Ce questionnaire comportait deux premières questions générales :

- Une première relative à la difficulté à lire le corpus, le locuteur devait répondre en cotant de 0 (pas difficile) à 3 (très difficile),
- Une seconde relative aux adaptations que le locuteur pense mettre en place pour parler, il pouvait répondre librement.

S'en suivaient ensuite trois questions plus spécifiques à la nasalité traduites de l'étude de Behrman *et al.* (2022). Ces deux questions sous la forme d'un vrai/faux se voulaient de cibler respectivement les phénomènes d'hypo- et d'hypernasalité. Comme nous le savons les concepts d'hypo- et d'hypernasalité sont souvent confondus dans la terminologie et méconnus de manière générale. C'est pour cela que cette étude a souhaité les éviter en les remplaçant par les phrases ci-dessous :

- « Quand je parle cela sonne comme si j'avais le nez bouché »
- « Quand je parle il me semble que les sons viennent de mon nez à la place de ma bouche »
- La 3ème question posée uniquement en postopératoire : « Comparez votre voix actuelle à votre voix avant la chirurgie : Dans l'ensemble, maintenant votre voix est : pire, inchangée, meilleure »

Puis, les locuteurs complétaient

b. le Voice Handicap Index (VHI) (Annexe 11),
c. le Speech Handicap Index (SHI) (Annexe 12),
d. ainsi que le Sino Nasal Outcome Test-22 (SNOT-22) (Annexe 13).

ii. Hétéro-perception /qualité de voix

Une évaluation de la qualité vocale sur le modèle du GRBAS (Hirano, 1981) a été demandée à un jury d'orthophonistes et de naïfs. Nous l'avons adapté en prenant seulement les dimensions acoustiques de Grade, Raucité et Souffle et en y ajoutant la dimension « Enrhumée ». En effet, la question de la cotation s'est posée. Nous étions d'accord pour réaliser une cotation sur le même modèle que le GRBAS c'est-à-dire allant de 0 (normal) à 3 (très altéré). Des cotations avec des termes comme « Hyponasale » (ce qui peut être attendu en préopératoire) ou « Hypernasale » (ce qui peut être attendu en postopératoire) nous apparaissent trop flous sémantiquement pour un public de non-initiés. Une autre idée était de mettre une cotation avec l'item « Troubles de la nasalité » mais nous préférions utiliser un seul terme de type qualificatif, par exemple. Nous sommes arrivés au constat qu'une voix enrhumée est la première impression auditive lors de l'écoute de voix de patients avant chirurgie. Les cavités nasales étant encombrées par les polypes, la résonance des phonèmes nasals s'en trouvé altérée, amortie. Ainsi, une des questions possibles dans l'évaluation de ces voix serait de savoir si le panel d'auditeurs considère la voix comme enrhumée. En préopératoire, cet item aurait un score plus important qu'en postopératoire où il avoisinerait zéro.

L'auditeur doit évaluer chaque item pour pouvoir passer à l'extrait sonore suivant. Les extraits sonores sont présentés de manière aléatoire. Le test de perception est présenté de cette façon (Figure 85) :

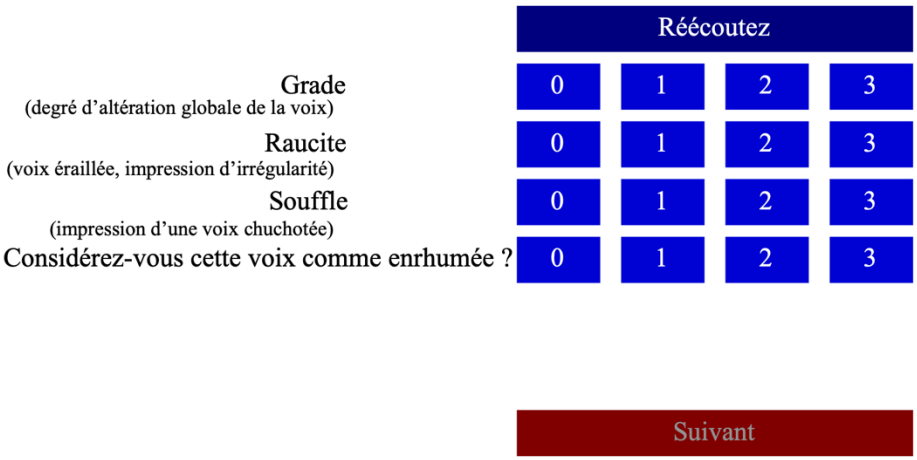


Figure 85 : Capture d'écran du test de perception

Deux types de phrase étaient présentes dans ce test de perception : une phrase dite en contexte oral « Loulou nous a appris à pêcher » et une phrase dite en contexte nasal « Tintin a entendu son tonton ». Ces phrases sont présentes dans la partie « Phrases » du corpus lu par les participants (Annexe 4). Elles comportent toutes les deux le même nombre de syllabes mais différent dans le sens où la première -en contexte oral- possède le minimum de phonèmes nasals de tout le corpus-contrairement à la seconde qui en possède le maximum (7). Nous avons voulu tester un potentiel effet du contexte sur la cotation de l'item Enrhumé. Les phrases en contexte nasal pourraient être plus enclines à être cotées de manière plus sévère que les phrases en contexte oral pour les patients en préopératoire. Le caractère enrhumé de la voix pourrait être plus perceptible dans des phrases avec un nombre important de phonèmes nasals. Nous avons extrait ces phrases pour tous les patients de notre cohorte en préopératoire et en postopératoire ainsi que pour nos huit locuteurs sains ce qui fait un total de 32 phrases.

Concernant le jury, il est composé d'un jury expert de sept orthophonistes et d'un jury naïf de cinq personnes, tous locuteurs natifs de français. Avant de passer le test de perception, trois exemples de voix caractéristiques de la voix rauque, soufflée et enrhumée était proposés à l'écoute au jury. Cela s'adressait surtout au jury naïf afin qu'il puisse se familiariser avec les items à coter par la suite.

Les extraits sonores (d'une durée moyenne de 1,64 s (SD =0,32)) ont été présentés de manière aléatoire grâce à un script Praat (Boersma & Weenink, 2022). Ce script est initialement prévu pour l'évaluation GRBAS (Mayer, 2017), nous l'avons donc adapté pour cette étude en enlevant les items d'Asthénie et de Serrage qui font parties des cinq dimensions acoustiques de l'évaluation GRBAS, en ajoutant des précisions (Figure 85) aux items Grade, Raucité et Souffle et en ajoutant l'item Enrhumé. Nous l'avons modifié car le but ici n'est pas de faire un bilan vocal complet mais plutôt d'en avoir un aperçu et d'évaluer l'item de nasalité sur le même modèle. De plus, les items GRB sont évalués de manière plus sûre et moins sensibles à la variabilité que l'asthénie (A) et le forçage (S) (Revis, 2004).

L'accord inter-juges a été calculé à l'aide du coefficient de Kappa-Fleiss 'κ' (Fleiss, 1971), il nous permet de comparer des corrélations entre plusieurs évaluateurs. Les valeurs du coefficient 'κ' s'interprètent comme suit (Landis & Koch, 1977) :

$\kappa < 0 \Leftrightarrow$ pas d'accord,

0 - 0,20 : accord léger,

0,21 - 0,40 : accord moyen,

0–41 - 0,60 : accord modéré,

0,61 - 0,80 : accord substantiel, et

0,81 - 1 pour un accord presque parfait.

Nous avons mesuré ce coefficient séparément sur le groupe des auditeurs experts et sur le groupe des auditeurs naïfs pour chaque item et sur tous les extraits sonores du test.

Pour l'accord intra-juges, 10 extraits sonores sur les 32 ont été sélectionnés dans le premier test de perception pour créer un test-retest à 15 jours. Nous avons utilisé quatre enregistrements en préopératoire, quatre en postopératoire ainsi que deux enregistrements de locuteurs sains. Pour chaque catégorie (préopératoire, postopératoire et locuteur sain), il y avait autant de phrases en contexte nasal que de phrases en contexte oral. Les auditeurs ont donc entendu dix phrases qu'ils avaient déjà entendues et cotées une première fois.

Dans un premier temps, nous avons calculé l'accord intra-juges en comparant les scores attribués à nos quatre items entre la première écoute et la seconde écoute à 15 jours (Tableau 38).
Dans un second temps, nous avons ajouté la mesure du coefficient de Kappa-Cohen 'κ' (Cohen, 1960, 1968) pour chaque item. Il s'interprète de la même manière que le coefficient de Kappa-Fleiss. La différence repose dans le fait que le coefficient de Kappa-Cohen permet de comparer seulement deux évaluations alors que le coefficient de Kappa-Fleiss permet d'en comparer plus de deux.

D. Analyse statistique

Pour simplifier la présentation de la quantification des résultats, nous emploierons des statistiques descriptives. Nous analyserons les moyennes et écarts-types.
Pour déterminer l'existence de données aberrantes, nous effectuerons une analyse de leur distribution à l'aide de boîtes à moustaches créées sur le logiciel R. Ces boîtes à moustaches

révéleront des statistiques clés telles que la moyenne, la médiane et les quartiles pour nos variables numériques, comme la durée des sons, les moyennes de DAN et DAO etc.
Nous avons choisi de ne pas effectuer de statistiques inférentielles pour l'analyse des données aérodynamiques et acoustiques. Nous sommes face à des données présentant une forte variabilité entre locuteurs. Nous voulions comparer les données de la population pathologique avec la population de locuteurs sains mais leur variabilité inhérente a rendu impossible la création d'un ou deux groupes de locuteurs sains ne présentant pas de différence statistiquement significative entre eux. Les résultats de nos tests statistiques se trouvent en Annexe 14.
Les données volumétriques ont été analysées à l'aide d'un test-t de Student.
Les données relatives à l'hétéro-perception ont été analysées avec un test de Wilcoxon.

Chapitre V : Résultats

Résumé du chapitre :

Ce chapitre présente les résultats obtenus dans nos quatre études : i) aérodynamique, ii) acoustique, iii) volumétrique et iv) perceptive. i) Dans le chapitre aérodynamique, nous montrons qu'il y a une variabilité de changements aérodynamiques en postopératoire, les résultats aérodynamiques des patients deviennent proches de ceux des locuteurs sains. ii) Pour l'acoustique, la PNS et sa chirurgie ne perturbent pas la durée des voyelles nasales, elles restent plus longues que les voyelles orales. La majorité des patients augmente leur spectre moyen total, seul PM05 le baisse. iii) Pour l'étude volumétrique, une augmentation du volume a été notée en postopératoire, volume qui se rapproche de celui du locuteur sain. iv) Pour l'étude perceptive, les patients ne sont pas handicapés par leur voix, mais deux patients sont gênés par leur parole en préopératoire uniquement. La qualité vocale de tous les patients n'est pas altérée.
Le corpus est commun aux études aérodynamique et acoustique. Les mesures sont appliquées sur les voyelles orales en contexte oral, consonnes nasales, voyelles nasales et voyelles orales en contexte nasal.
Les locuteurs sont les mêmes pour toutes les études hormis l'étude volumétrique où le locuteur sain est différent.
Quatre résumés précéderont les sous parties, chacun détaillant une expérimentation distincte.

I. Étude 1 : Étude aérodynamique

Résumé de l'étude :

L'objectif de cette étude était d'observer les changements aérodynamiques induits par la pathologie et la chirurgie et de confronter ces résultats avec la population témoin.
Les mesures utilisées sont les moyennes de DAN et DAO.

Les résultats de l'étude aérodynamique sont les suivants :

- Il existe une variété de changements aérodynamiques en postopératoire. Il n'y a pas une augmentation et une baisse systématique des moyennes de DAN et de DAO pour tous nos patients. Chaque patient a un profil aérodynamique postopératoire différent.
- Il y a une homogénéité d'évolution aérodynamique en postopératoire quel que soit le contexte phonétique.

- Le comportement aérodynamique des patients est assez proche de celui des locuteurs sains. Les patients en préopératoire et postopératoire, malgré des moyennes de DAN et de DAO parfois inférieures à celles des locuteurs sains, ne semblent pas être perturbés dans leur réalisation de la nasalité. Concernant les voyelles nasales, ils présentent la même tendance constatée dans la littérature à savoir une moyenne de DAN élevée pour /ɔ̃/. La nasalisation persévératrice attestée dans la littérature est visible chez nos locuteurs sains et pathologiques, nous observons un DAN supérieur pour les voyelles suivant la consonne nasale. Un DAN est tout de même visible pour certains locuteurs sur les voyelles précédant la consonne nasale. Les voyelles hautes ont une moyenne de DAN élevée et une moyenne de DAO des plus faibles. Les voyelles en contexte oral ont une faible moyenne de DAN. Les consonnes nasales sont réalisées avec une faible moyenne de DAO et la présence de DAN.

---

1. Résultats des moyennes de débit d'air

Notes à propos des graphiques :
Les graphiques de type boîte à moustache comportent un point blanc avec son contour de la même couleur que le phonème, ce point représente la moyenne. Chaque couleur est associée à un phonème (Figure 86).

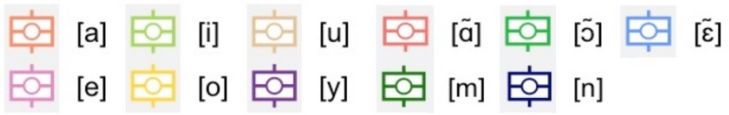


Figure 86 : Code couleur des phonèmes

Le fond des boites à moustaches des locuteurs sains est blanc, celui des patients comporte des nuances de gris dépendant du moment préopératoire (gris clair) ou postopératoire (gris foncé).
L'échelle pour le DAN est de -0,05 à 0,25 l/s et pour le DAO de -0,05 à 0,4 l/s.

A. Voyelles orales en contexte oral = VCV

Corpus utilisé :
C = /p, b, t, d, v, s, z/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 1344

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 15.

i. Pour les locuteurs sains

a. Moyenne de DAN

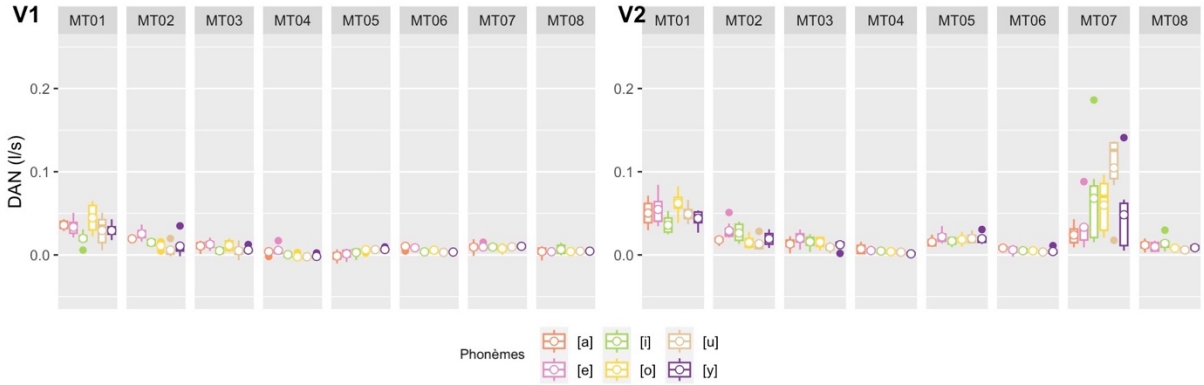


Figure 87 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672

En V1, les moyennes de DAN des voyelles orales avoisinent le zéro pour la plupart des locuteurs sains (autour de 0,005 l/s (**σ** 0,002)) hormis MT01 (0,031 l/s (**σ** 0,014)) et MT02 (0,014 l/s (**σ** 0,008)) où elles sont légèrement plus hautes.

En V2, MT06 est le seul locuteur à présenter la même moyenne de DAN qu'en V1 (environ 0,005 l/s (**σ** 0,003)). Les autres locuteurs augmentent leur moyenne de DAN. MT07 connaît la hausse de sa moyenne de DAN la plus importante de la cohorte passant d'une moyenne de 0,009 l/s (**σ** 0,003) en V1 à 0,06 l/s (**σ** 0,046) en V2 soit une hausse du DAN de 0,051 l/s. Pour les locuteurs sains MT01, MT02, MT03, MT04 et MT08 cette augmentation est entre 0,004 l/s et 0,006 l/s. Pour MT05, elle est de 0,015 l/s (Figure 87).

Cette augmentation de la moyenne de DAN pour certains locuteurs s'explique par le fait qu'en position finale de mot le voile du palais s'abaisse ce qu'on appelle *speech-relaxation gesture*. Cette augmentation est globale, elle touche tous les phonèmes sauf pour MT07 où les voyelles [i, u, y, o] ont une augmentation de leur DAN supérieure aux autres voyelles [a, e]. Le degré d'augmentation du DAN est différent selon les locuteurs.

b. Moyenne de DAO

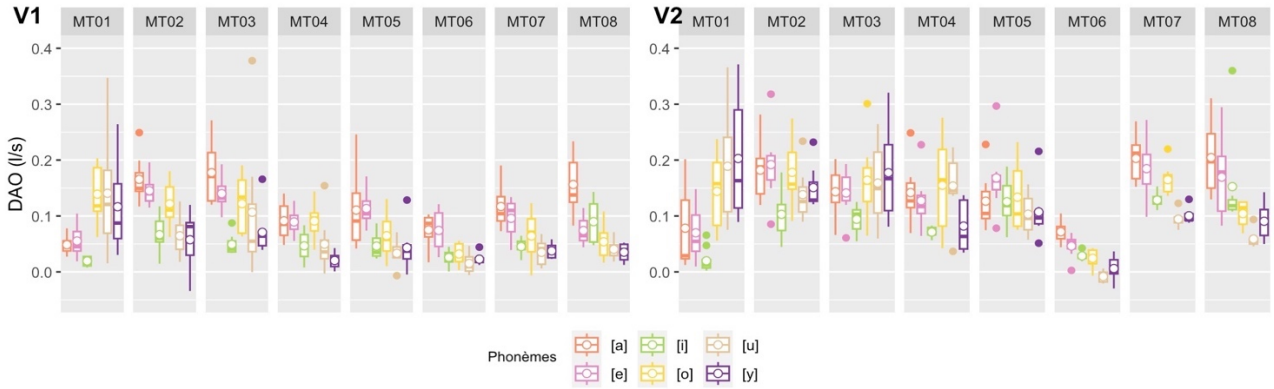


Figure 88 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672

Globalement, la moyenne de DAO augmente chez tous les locuteurs en V2 sauf MT06 qui connait une baisse de sa moyenne de DAO de 0,013 l/s (Figure 88). L'augmentation de la moyenne de DAO est de 0,03 l/s à 0,08 l/s.
Quelle que soit la position, dans la majorité des cas, les voyelles de petite aperture [i, y, u] ont la moyenne de DAO la plus faible contrairement à [a] et [e] qui ont les moyennes de DAO maximales. MT01 fait exception à cette tendance : [o, u, y] ont les moyennes de DAO les plus importantes et [a] et [e] les plus petites moyennes.

ii. Pour les patients

a. Moyenne de DAN

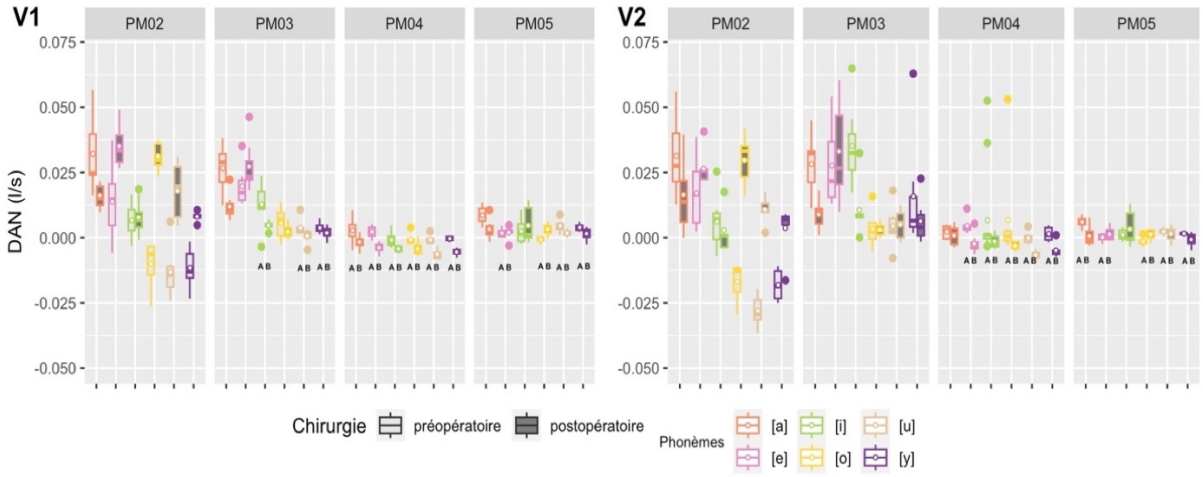


Figure 89 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B). Pour ce graphique, l'échelle a été changée pour une meilleure lisibilité.

En contexte oral, que ce soit en V1 ou en V2, la moyenne de DAN sur les voyelles orales est similaire. Cette moyenne change très peu après chirurgie. Les patients gardent une bonne perméabilité nasale en postopératoire, le désencombrement soudain en postopératoire n'entraîne pas un excès de nasalisation. PM04 et PM05 ont une moyenne de DAN très proche de zéro avant et après chirurgie pour toutes les voyelles en V1 et en V2. Pour PM04, en préopératoire en V1, la moyenne de DAN est de 0,0003 l/s (**σ** 0,003) et en V2 de 0,004 l/s (**σ** 0,011) et en postopératoire, en V1 et V2, les valeurs deviennent négatives (respectivement -0,004 l/s (**σ** 0,002) et -0,003 l/s (**σ** 0,003)). Pour PM05, que ce soit en V1 ou en V2, la moyenne de DAN des toutes les voyelles orales reste quasiment identique en postopératoire, elle baisse de 0,001 l/s. La moyenne de DAN des voyelles orales, en préopératoire est de 0,004 l/s (**σ** 0,003) en V1 et de 0,002 l/s (**σ** 0,002) en V2.

PM02 et PM03 ont une moyenne de DAN légèrement plus haute que PM04 et PM05 notamment sur les voyelles [a] et [e] qui ont une moyenne de DAN autour de 0,023 l/s (**σ** 0,008) (Figure 89). Les autres voyelles ont une moyenne de DAN négative ou maximum à 0,01 l/s.

b. Moyenne de DAO

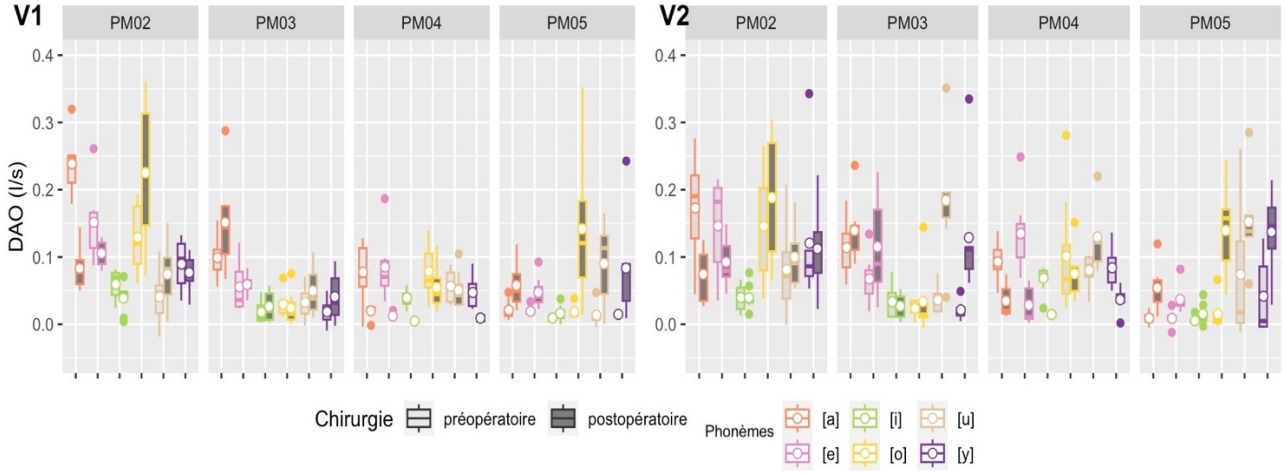


Figure 90 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite

La position V1 ou V2 ne joue pas sur les changements aérodynamiques de DAO en postopératoire : nous observons les mêmes changements que ce soit en V1 ou en V2 (Figure 90).

Que ce soit en V1 ou en V2, la moyenne de DAO de PM02 baisse légèrement en postopératoire (0,001 l/s). En V2, la moyenne de DAO de toutes les voyelles confondues est identique à la V1 (environ 0,01 l/s). Lorsque nous observons par voyelle, les changements sont variables : [u] et [y] ont une moyenne de DAO plus élevée de 0,03 à 0,9 l/s, pour les autres voyelles, nous constatons une baisse en V2 de 0,005l/s à 0,07 l/s.

La moyenne de DAO de PM03 augmente en postopératoire de 0,04 l/s. En V2, le DAO augmente globalement de 0,001 l/s à 0,13 l/s que ce soit en préopératoire ou postopératoire. Deux cas font exception : en préopératoire, la moyenne de DAN de [o] baisse en V2 de 0,006 l/s et en postopératoire, pour [a] de 0,012 l/s.

La moyenne de DAO de PM04 baisse en postopératoire d'environ 0,04 l/s. La moyenne de DAO de toutes les voyelles en V2 est supérieure à V1.

La moyenne de DAO de PM05 augmente en postopératoire de 0,05 l/s. En V2, en préopératoire et postopératoire, la moyenne de DAO de toutes les voyelles confondues augmente de 0,01 l/s. En observant dans le détail, la moyenne de DAO de [u] et [y] augmente en V2 de 0,027 à 0,062 l/s, en préopératoire et postopératoire et la moyenne de DAO des autres voyelles reste identique en V2.

Nous pouvons voir que les voyelles ayant la moyenne de DAO la plus importante sont souvent [a], [o] et [e]. A l'inverse, [i], [y] et [u] ont souvent la moyenne de DAO la plus faible. Nous retrouvons la même tendance chez les locuteurs sains.

iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et DAO

Après avoir présenté les résultats aérodynamiques des voyelles orales de manière détaillée, nous souhaitons adopter une vue plus générale des moyennes de DAN et DAO. Nous avons réalisé des graphiques communs aux patients et aux locuteurs sains afin de pouvoir mettre leur DAN et DAO en regard. Ici, il s'agit de la moyenne globale de DAN puis de DAO toutes voyelles confondues. Étant donné que la cavité naso-sinusienne des patients est obstruée, nous pouvons nous attendre à ce que leurs débits soient perturbés en préopératoire par les polypes, puis que la chirurgie entraînerait des changements dans la répartition des débits entre cavités. L'idée étant ici de savoir si la pathologie, puis la chirurgie les éloigne de la tendance observée chez les locuteurs sains ou non.

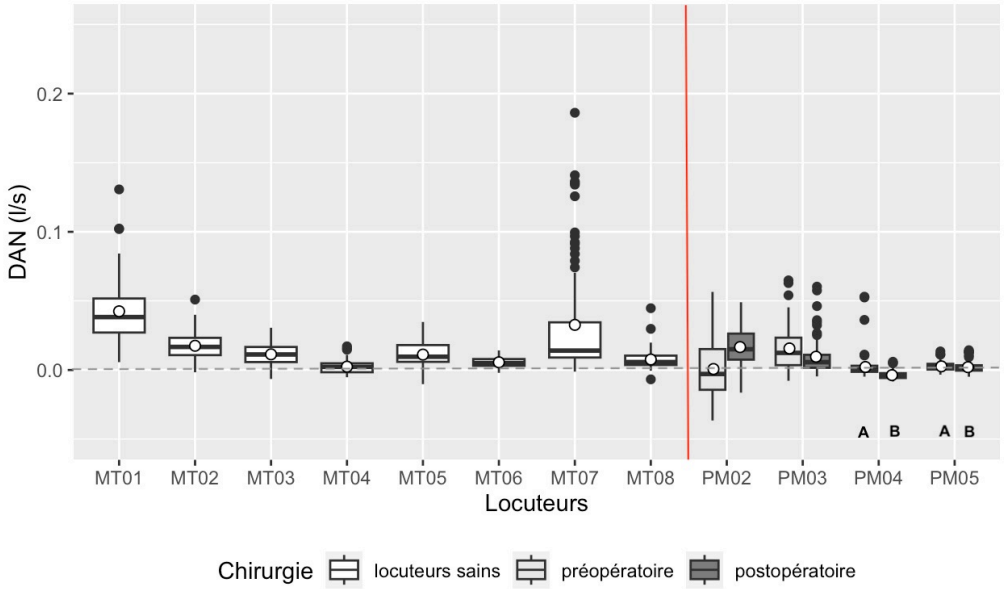


Figure 91 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

Les locuteurs sains comme pathologiques ont une moyenne globale variable de DAN sur les voyelles orales toute position confondue (Figure 91). Les patients PM02 en préopératoire, PM04 et PM05 sont ceux avec le moins de DAN de tous les locuteurs allant de -0,003 (**σ** 0,003) à 0,002 l/s (**σ** 0,003). La plage de DAN des locuteurs sains s'étend de 0,007 (**σ** 0,006) à 0,04 l/s (**σ** 0,02).

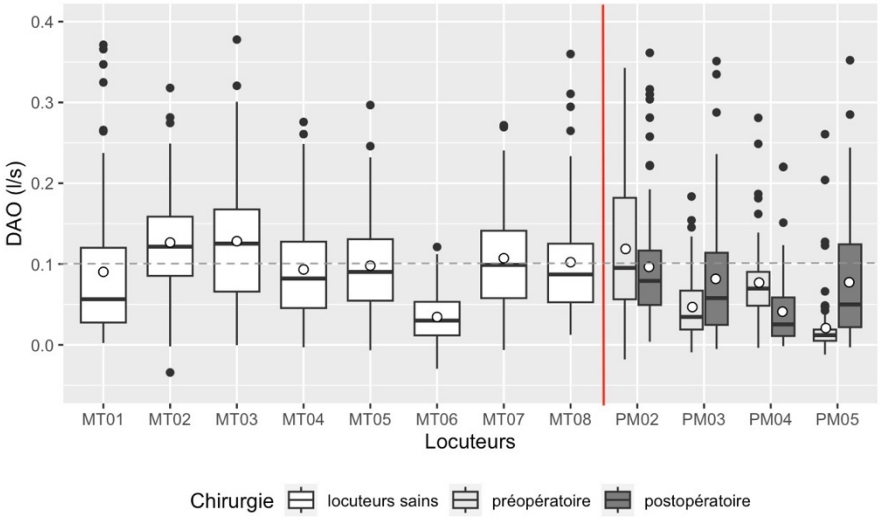


Figure 92 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite

Les moyennes de DAO des locuteurs sains sont autour de 0,1 l/s, MT06 présente une moyenne de DAO plus faible (0,03 l/s (**σ** 0,03)). Le patient PM05 en préopératoire est en-dessous de cet intervalle avec une moyenne globale de 0,02 l/s (**σ** 0,03), les autres patients surtout PM02 sont proches de la tendance générale (Figure 92).

iv. Schémas récapitulatifs

Ces schémas reprennent de manière synthétique les patrons aérodynamiques des voyelles orales en contexte oral. Les patrons ne changent pas entre le préopératoire et postopératoire pour les patients (Figure 93.b.). Ce sont les mêmes que certains locuteurs sains (Figure 93.a.), les couleurs communes indiquent que ce sont les mêmes patrons. Par exemple, MT01, MT02, PM02 et PM03 ont le même patron.
La différence principale réside dans la plus ou moins grande moyenne de DAN sur V1 ou V2.

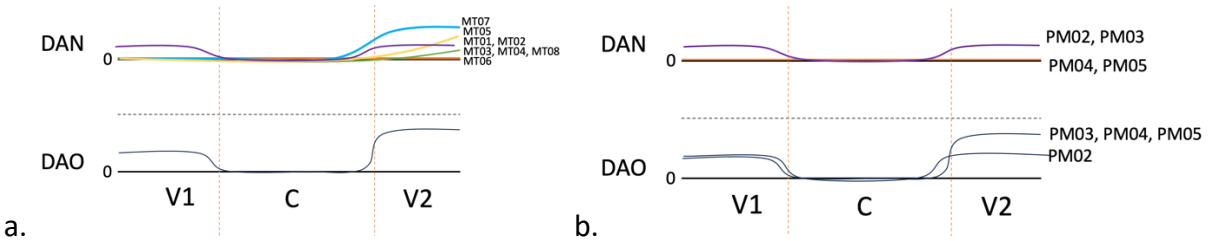


Figure 93 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte oral pour les locuteurs sains en a. et les patients en b.

B. Les consonnes nasales = VC_nV

Corpus utilisé :

C_n = /n, m/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 192

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 16.

i. Pour les locuteurs sains

a. Moyennes de DAN

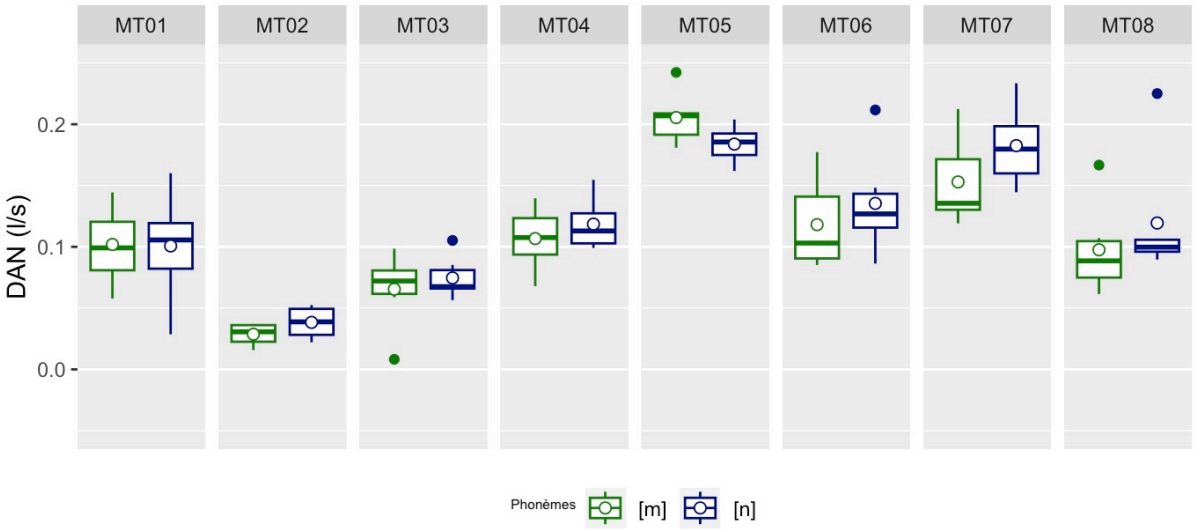


Figure 94 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les consonnes nasales, n=96

La moyenne de DAN est variable d'un locuteur à un autre : de 0,029 l/s (**σ** 0,008) pour [m] pour MT02 à 0,205 l/s (**σ** 0,021) pour [m] pour MT05.
[n] présente aussi généralement une moyenne de DAN plus importante que [m] bien que ce ne soit pas systématique, cela n'est pas valable pour MT01 et MT05. De plus, la différence de DAN entre [n] et [m] est bien souvent légère pour la plupart des locuteurs sains. Pour MT01 à MT04, elle est souvent de 0,001 l/s à 0,012 l/s et pour MT05 à MT08 elle est un peu plus importante (de 0,017 l/s à 0,03 l/s) (Figure 94).

b. Moyennes de DAO

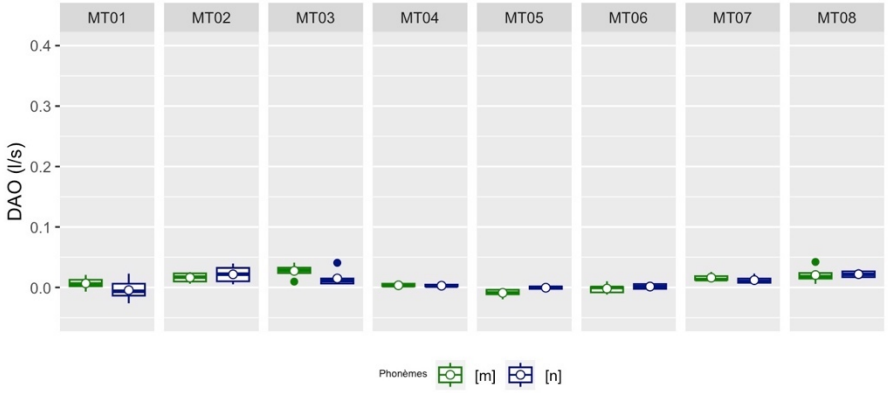


Figure 95 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les consonnes nasales, n=96

La moyenne de DAO est minime pour tous les locuteurs. Elle se situe entre -0,009 l/s (**σ** 0,006) et 0,027 l/s (**σ** 0,011) (Figure 95).

ii. Pour les patients

a. Moyenne de DAN

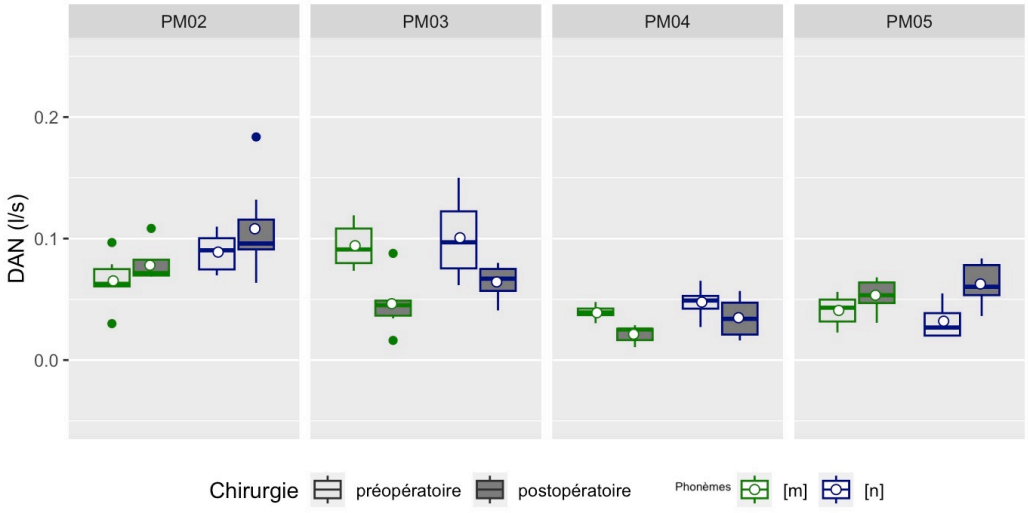


Figure 96 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales, n=96

La moyenne de DAN de PM03 et PM04 baisse en postopératoire, elle baisse globalement de 0,042 l/s pour PM03 et de 0,015 l/s pour PM04. Elle augmente pour PM05 de 0,02 l/s et de 0,015 l/s pour PM02 en postopératoire. La consonne [n] a, tous comme les locuteurs sains, légèrement plus de DAN que [m] sauf pour PM05 en préopératoire. La différence de DAN entre [m] et [n] est de 0,007 l/s à 0,03 l /s, valeurs qui sont semblables aux locuteurs sains (Figure 96).

b. Moyenne de DAO

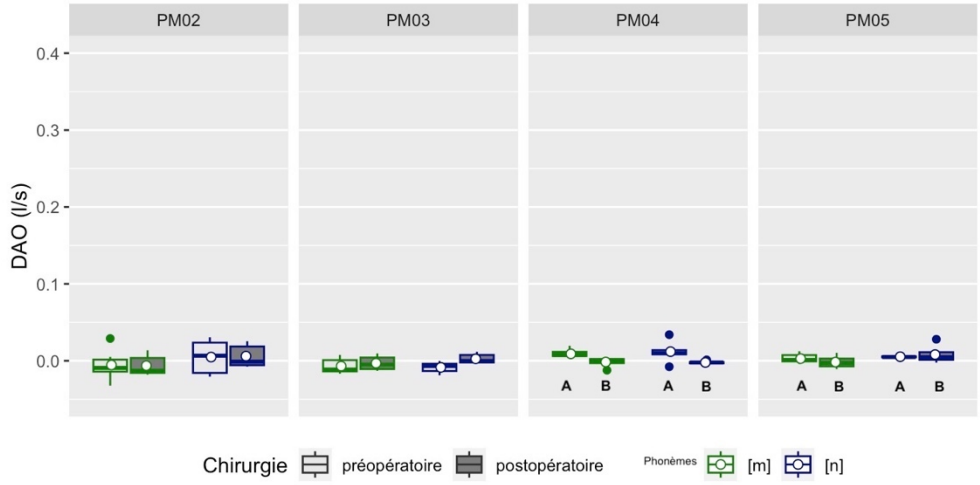


Figure 97 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales, n=96. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

La moyenne de DAO avoisine le zéro pour les deux consonnes nasales en préopératoire et postopératoire, tout patient confondu, elle est comprise entre -0,009 l/s (**σ** 0,006) et 0,012 l/s (**σ** 0,01) (Figure 97).

En postopératoire, la moyenne de DAO de PM02 et PM05 est quasiment identique, elle baisse de 0,001 l/s, pour PM03 elle augmente de 0,008 l/s.

PM04 connaît une baisse de sa moyenne de DAO un peu plus importante que les autres patients en postopératoire (0,011 l/s). Nous pouvons penser que l'occlusion requise pour ces consonnes était peut-être plus difficile à mettre en place en raison de l'encombrement naso-sinusien.

iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et de DAO

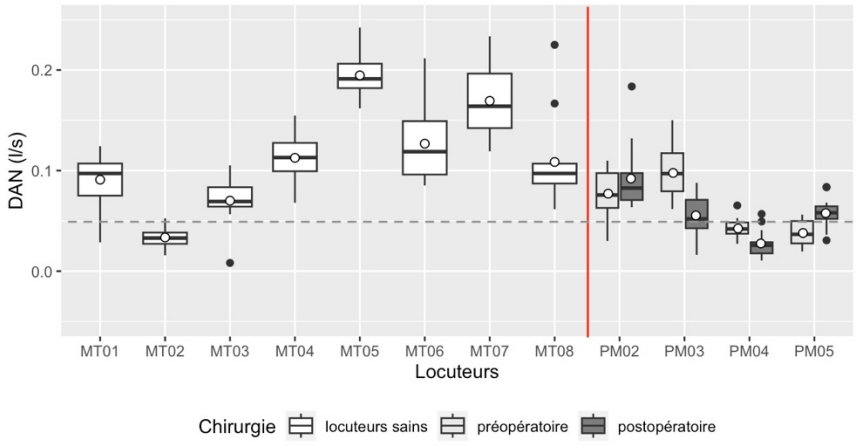


Figure 98 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues, n=192.

En comparant avec la population de locuteurs sains, nous notons une forte variabilité dans la moyenne de DAN pour les consonnes nasales. La plupart des valeurs pour les locuteurs

sains se situe au-dessus de 0,05 l/s. MT02 est le locuteur sain dont la moyenne de DAN est en-dessous de ce seuil (Figure 98).

PM04 et PM05 en préopératoire se situent sous ce seuil. PM02 et PM03 gardent une moyenne de DAN proche des locuteurs sains même en préopératoire.

Ces résultats peuvent être expliqués par le stade de PNS qui entraîne un encombrement différent selon les locuteurs mais quelques fois, il semble que ces différences sont imputables aux variations individuelles.
La moyenne de DAN de PM02 proche des locuteurs sains peut être expliqué par un encombrement minimal des cavités naso-sinusiennes. En revanche, PM03 a le même stade de PNS que PM05 mais une moyenne de DAN relativement bien préservée en préopératoire à la différence de PM05.
PM04 a un encombrement plus important, et sa moyenne de DAN baisse de manière générale quel que soit le contexte, ce qui explique ces valeurs de DAN en deçà des autres patients.

Nous constatons que l'écart interquartile de certains patients comme PM04, PM05 est beaucoup moins étendu que d'autres locuteurs sains. PM04 a un écart interquartile de 0,011 en préopératoire et postopératoire et de 0,013 pour PM05 en postopératoire à la différence de MT06 et MT07 qui ont respectivement des écarts interquartiles de 0,053 et 0,054.
Les moyennes de DAN ont une dispersion moins importante chez certains patients. Cette mesure est en lien avec la moyenne de DAN, les patients ou certains locuteurs sains comme MT02 ayant de faibles moyennes de DAN ont une étendue plus réduite.

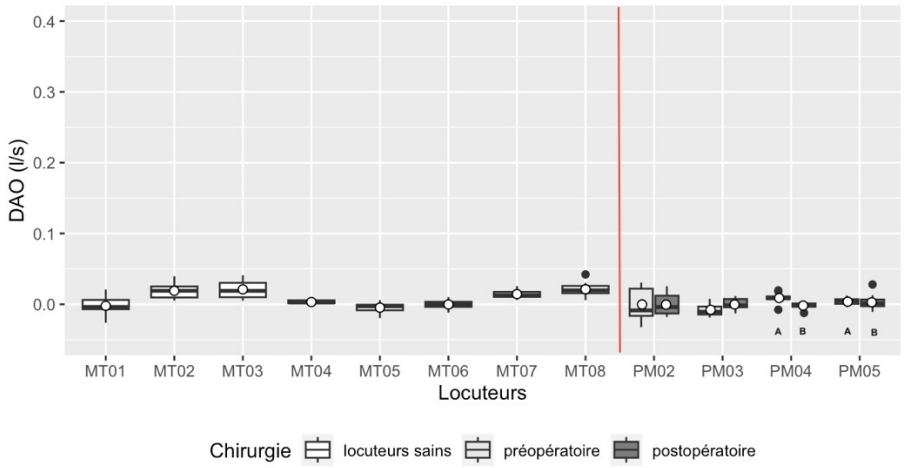


Figure 99 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues, n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 99, les patients conservent une moyenne de DAO proche de zéro malgré les changements provoqués par la polypose naso-sinusienne au sein de leurs cavités. L'occlusion nécessaire à la production des consonnes nasales est conservée.

iv. Schémas récapitulatifs

Ce schéma (Figure 100) synthétise les patrons aérodynamiques de DAO et DAN dans le cadre des consonnes nasales pour nos deux cohortes. Les tracés en pointillé correspondent aux patrons différents de certains locuteurs par rapport à la majorité qui est en trait plein. La différence repose sur la moyenne de débit d'air qui est inférieur aux autres locuteurs pour le DAN.

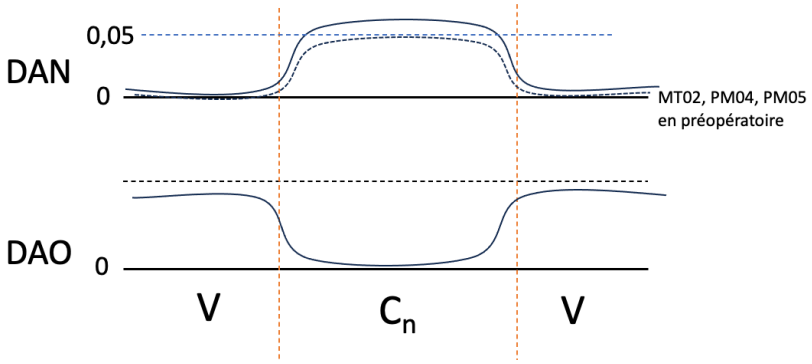


Figure 100 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les consonnes nasales pour tous les locuteurs

C. Les voyelles nasales = ṼCṼ

Corpus utilisé :
C = / p, b, t, d, s, z/
Ṽ = /ɔ̃, ɑ̃, ɛ̃/
n = 554

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 17.

i. Pour les locuteurs sains

a. Moyenne de DAN

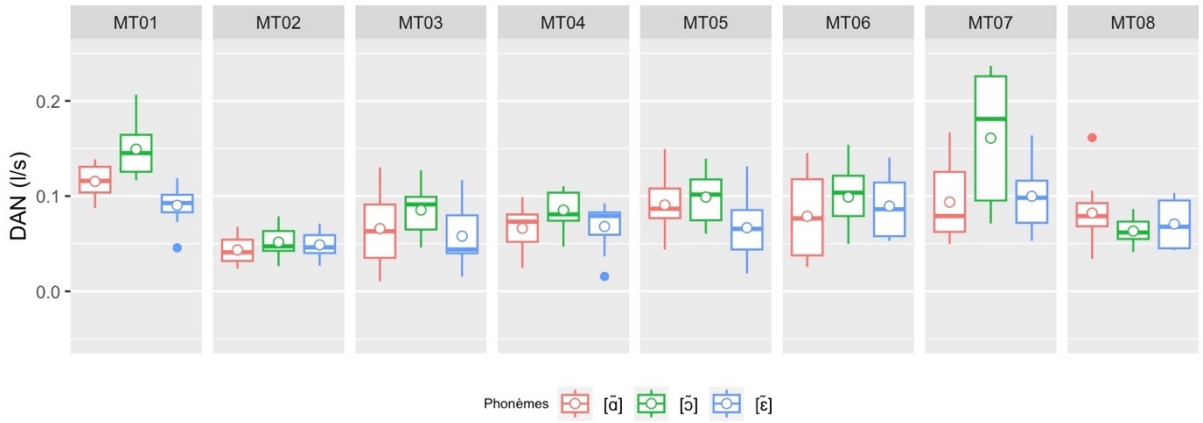


Figure 101 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, n=276

A l'exception de MT08, [õ] est la voyelle présentant la moyenne de DAN la plus importante. Pour trois des locuteurs sains (MT02, MT06 et MT07), [ã] est la voyelle avec la moyenne de DAN des plus faibles, pour trois autres locuteurs sains (MT01, MT03, MT05) il s'agit de [ɛ̃] et pour MT04, [ɛ̃] et [ã] arrivent *ex aequo* (0,066 l/s).
Le locuteur MT08 présente une tendance inversée aux autres locuteurs, [õ] a une moyenne de DAN des faibles (0,063 l/s (**σ** 0,015)) et [ã] des plus importantes (0,082 l/s (**σ** 0,035)) (Figure 101).

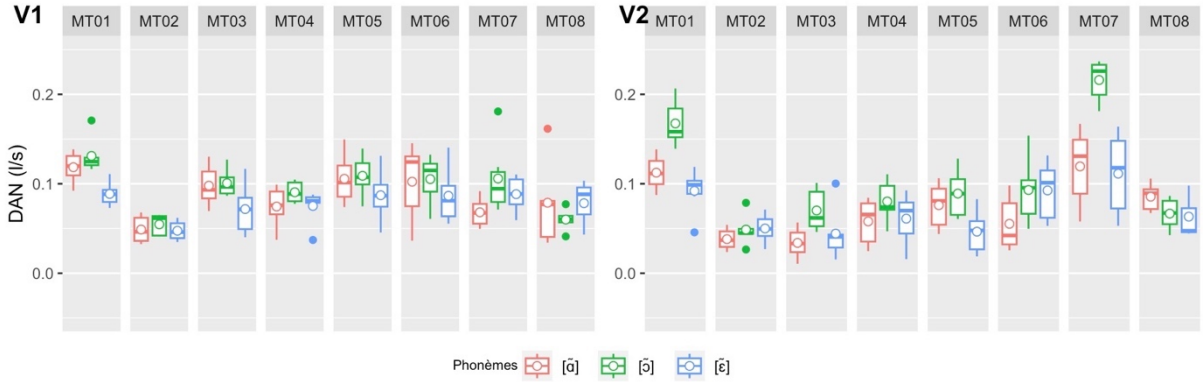


Figure 102 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=276

Sur la Figure 102, nous observons une tendance dans notre cohorte de locuteurs sains à présenter une moyenne de DAN plus faible en V2. Pour les locuteurs MT03, MT04 et MT05 cela est applicable à toutes leurs voyelles nasales. Cette baisse est légère et à des degrés différents allant de -0,01 à -0,04 l/s. Le locuteur MT07, quant à lui, augmente son DAN sur toutes les voyelles nasales en V2, il présente le changement aérodynamique le plus important de tous les locuteurs (une augmentation de 0,06 l/s). Pour les autres locuteurs (MT01, MT02, MT06), c'est souvent la moyenne de DAN du son [ɛ̃] qui augmente en V2 mais de manière légère (+/- 0,01 l/s). De même que pour MT08 pour [ã] en V2.
Pour MT01 et MT08, la moyenne de DAN augmente légèrement pour [õ] en V2 (respectivement 0,03 l/s et 0,01 l/s).

b. Moyenne de DAO

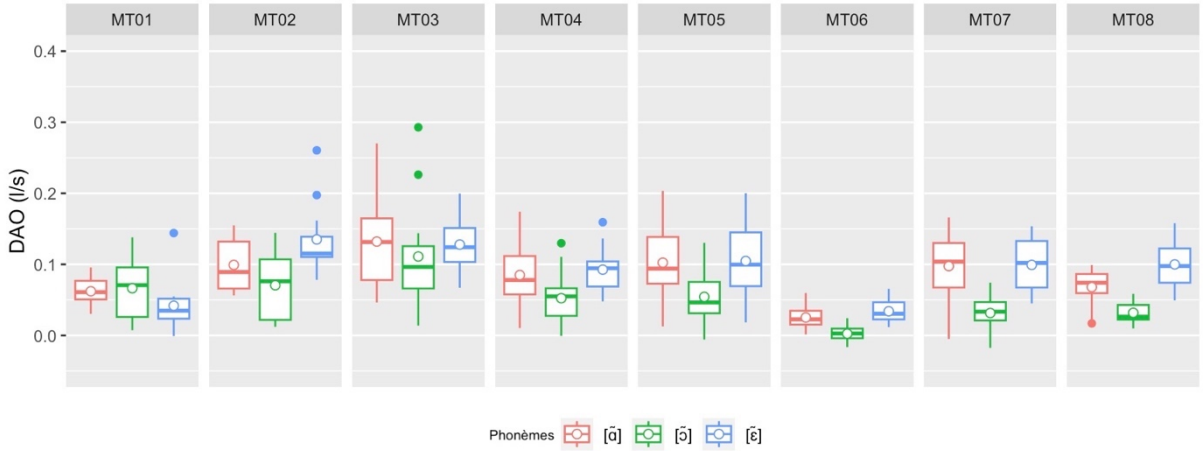


Figure 103 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales, n=276

A l'exception de MT01, [ɔ̃] est la voyelle présentant la moyenne de DAO la plus basse. Pour ce locuteur, il s'agira de [ɛ̃] (0,042 l/s (**σ** 0,036).
Pour la voyelle avec la moyenne de DAO la plus importante, pour deux locuteurs (MT05 et MT07), les voyelles [ɛ̃] et [ɑ̃] ont la même moyenne de DAO (autour de 0,1 l/s), pour quatre autres locuteurs (MT02, MT04, MT06, MT08) [ɛ̃] a la moyenne de DAO la plus importante, pour MT03 il s'agit de [ɑ̃] (0,132 l/s (**σ** 0,069)) et pour MT01, il s'agit de [ɔ̃] (0,066 l/s (**σ** 0,043)) (Figure 103).

La voyelle nasale [ɔ̃] se démarque bien des autres voyelles nasales d'un point de vue aérodynamique : elle se caractérise quasi systématiquement par la moyenne de DAN la plus élevée et la moyenne de DAO la plus faible. Les voyelles [ɛ̃] et [ɑ̃] présentent plus de variabilité à ce niveau-là. Il est rare dans notre cohorte que ce soit la même voyelle ([ɛ̃] ou [ɑ̃]) qui ait à la fois la moyenne de DAN la plus basse et la moyenne de DAO la plus élevée. Lorsque c'est [ɛ̃] qui a la plus petite moyenne de DAN par exemple, ce n'est pas forcément celle qui aura la plus importante moyenne de DAO, en l'occurrence il s'agira de [ɑ̃], et inversement.

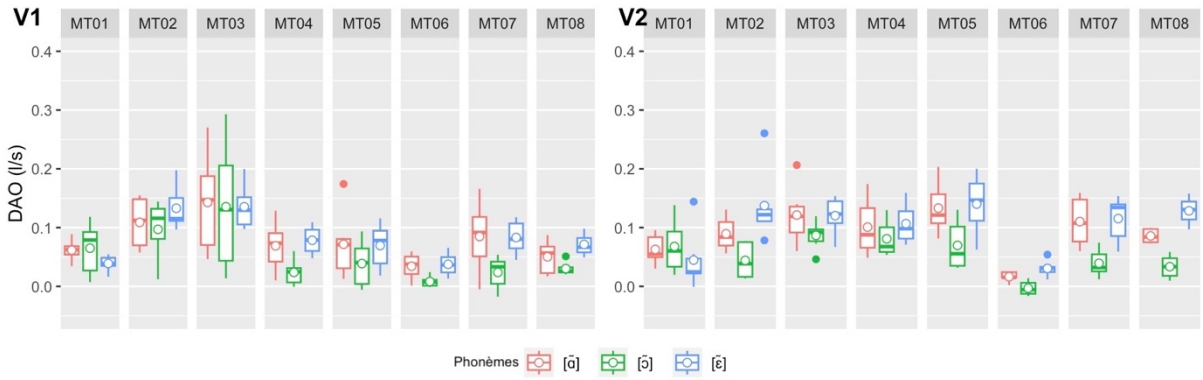


Figure 104 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=276

On observe une tendance dans notre cohorte de locuteurs sains à présenter une moyenne de DAO plus importante en V2 entre 0,003 l/s et 0,054 l/s (Figure 104). Cela est valable pour la majorité des locuteurs. Pour MT02, MT03 et MT06 en revanche, une baisse de leur moyenne de DAO est observable en V2 (respectivement de 0,03 l/s, 0,02 l/s et 0,01 l/s).

ii. Pour les patients

a. Moyenne de DAN

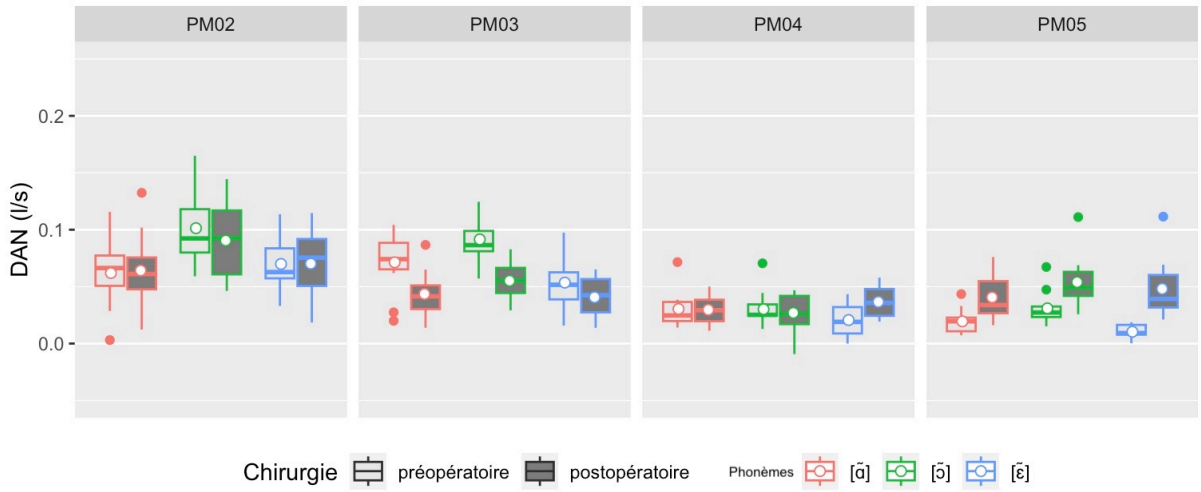


Figure 105 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales, n=278.

Les patients présentent des changements divers concernant leur moyenne de DAN pour les voyelles nasales. Les patients PM03 et PM05 ont des changements aérodynamiques marqués en postopératoire dans le sens où la moyenne globale de DAN de PM03 passe de 0,072 l/s (**σ** 0,027) à 0,046 l/s (**σ** 0,019), tandis que pour le second elle augmente en doublant passant de 0,020 (**σ** 0,014) à 0,048 l/s (**σ** 0,022). Les patients PM02 et PM04 ne présentent pas de changements d'une telle envergure. La moyenne de DAN de PM02 reste stable ou baisse de 0,003 l/s en postopératoire pour PM02 et augmente très légèrement pour PM04 (environ 0,003 l/s) (Figure 105).

Il est question de savoir si ces changements postopératoires auront un impact sur les répartitions des débits d'air dans le cadre des voyelles nasales et qui plus est, de voir si cette répartition est similaire aux locuteurs sains comme évoqué plus haut.

Pour trois patients, à savoir PM02, PM03 et PM05, [ɔ̃] est la voyelle en préopératoire et en postopératoire avec la moyenne de DAN la plus élevée. Concernant PM04, [ɑ̃] et [ɔ̃] sont les voyelles en préopératoire avec la moyenne de DAN la plus importante (autour de 0,03 l/s), puis en postopératoire, il s'agit de [ɛ̃] (0,037 l/s (**σ** 0,014)).

Pour la moyenne de DAN la plus faible, à l'image des locuteurs sains, une certaine variabilité est visible. PM02 et PM03 sont les seuls patients pour qui la chirurgie n'a pas changé la voyelle nasale avec la plus faible moyenne de DAN : pour PM02, il s'agit de [ɑ̃] et pour PM03 de [ɛ̃]. Pour PM04 et PM05, en préopératoire, [ɛ̃] est la voyelle nasale avec la moyenne de DAN la moins importante, puis en postopératoire, il s'agit de [ɔ̃] pour PM04 et de [ɑ̃] pour PM05.

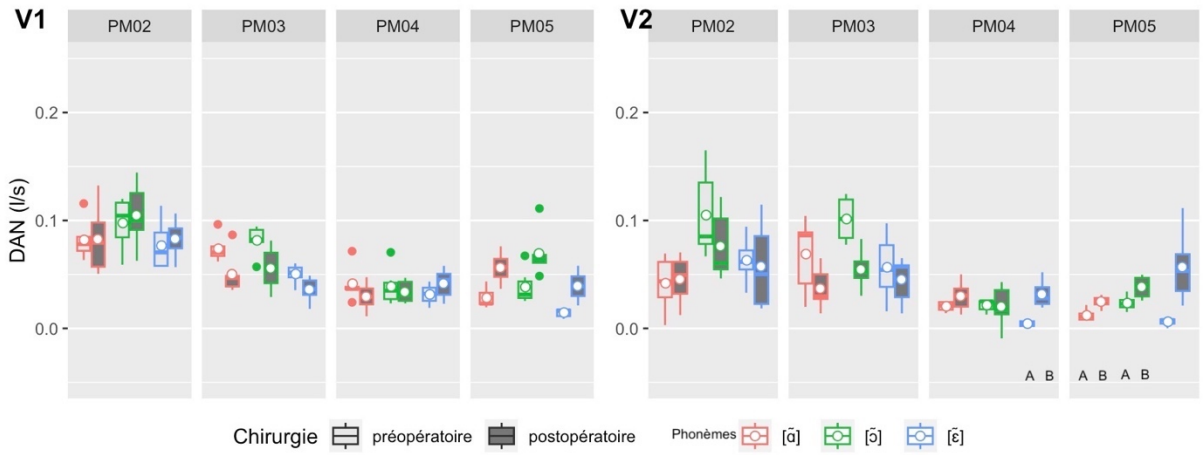


Figure 106 : Moyennes de DAN des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

De manière globale, les changements aérodynamiques postopératoires observés ci-dessus se répercutent aussi bien en V1 qu'en V2 (Figure 106). Pour PM02 et PM04 qui ont des changements plus légers en postopératoire, il y a quelques cas où la moyenne de DAN de certaines voyelles ne varie pas dans la même direction.

Globalement, en V2, nous observons une baisse de la moyenne de DAN par rapport à la V1 allant de 0,002 l/s à 0,03 l/s. Nous relevons quelques cas divergents où la moyenne de DAN augmente : de 0,007 l/s pour PM02 pour [ɔ̃] en préopératoire, de 0,02 l/s pour PM03 pour [ɔ̃] en préopératoire et pour [ɛ̃] (de 0,007 l/s en préopératoire et 0,009 l/s en postopératoire)-et pour PM05, pour [ɛ̃] en postopératoire de 0,018 l/s.

b. Moyenne de DAO

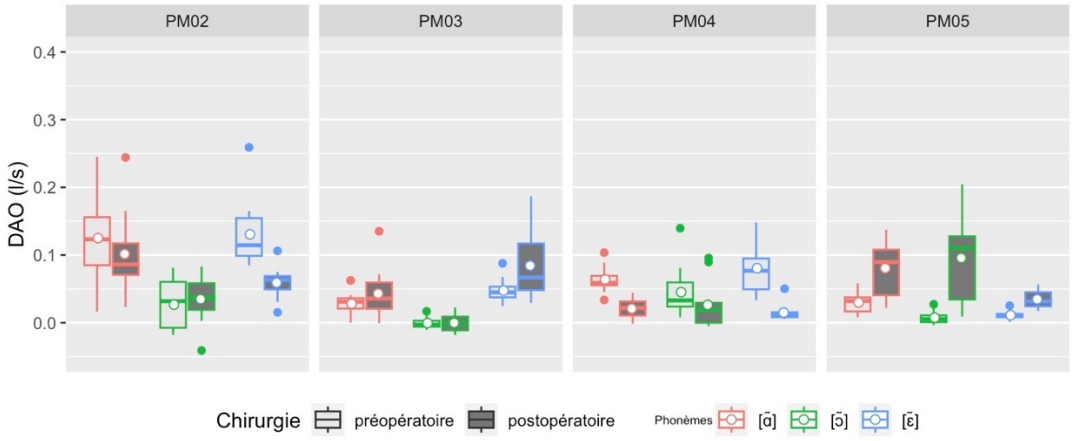


Figure 107 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales, n=278.

[ɔ̃] est la voyelle en préopératoire et en postopératoire avec la moyenne de DAO la plus faible pour PM02 et PM03. Pour PM04 et PM05, ce n'est le cas qu'en préopératoire, en postopératoire c'est [ɛ̃] qui a la moyenne de débit la plus faible pour tous les deux.

La voyelle nasale avec la moyenne de DAO la plus importante tend à entraîner aussi beaucoup de variabilité tout comme chez les locuteurs sains.
En préopératoire, pour PM02, PM03 et PM04, il s'agit de [ɛ̃] et pour PM05 de [ɑ̃].
En postopératoire, il est question de [ɔ̃] pour PM04 et PM05, de [ɛ̃] pour PM03 et de [ɑ̃] pour PM02 (Figure 107).

La voyelle nasale [ɔ̃] se démarque un peu moins bien des autres voyelles nasales d'un point de vue aérodynamique comparée aux locuteurs sains : pour deux de nos patients (PM02 et PM03), elle se caractérise systématiquement par la moyenne de DAN la plus élevée et la moyenne de DAO la plus faible. Pour les deux autres patients, nous allons retrouver cette dynamique seulement en préopératoire.
Pour les voyelles [ɛ̃] et [ɑ̃], nous nous rapprochons des locuteurs sains, il est tout aussi rare dans notre cohorte que ce soit la même voyelle ([ɛ̃] ou [ɑ̃]) qui ait à la fois la moyenne DAN la plus faible et la moyenne de DAO la plus importante. Cela concerne PM03 et PM02 en postopératoire.

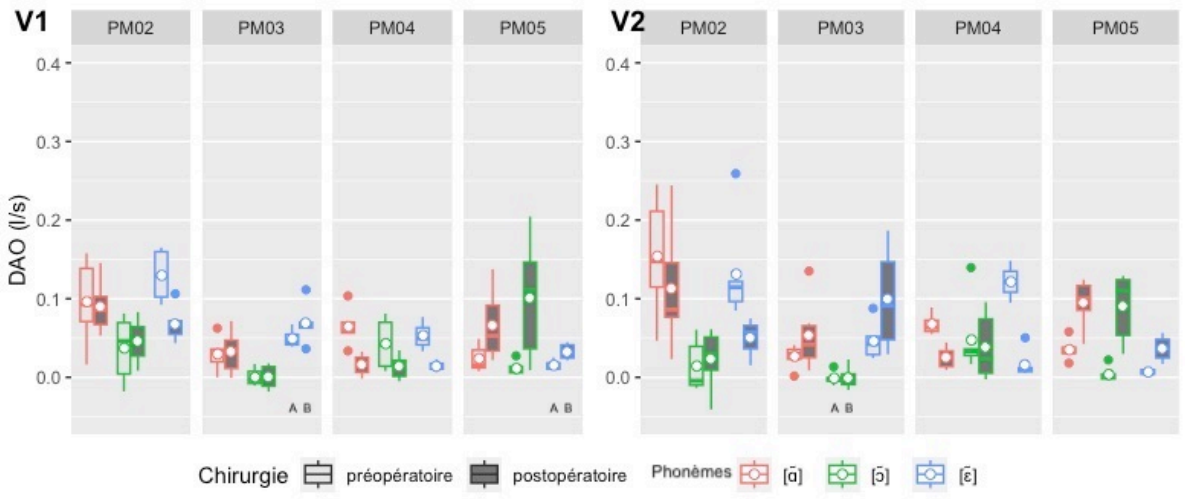


Figure 108 : Moyennes de DAO des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

De manière globale, il est difficile de dresser une tendance générale pour les patients : une augmentation de la moyenne de DAO en V2 de 0,008 l/s est observable pour PM02 en préopératoire, de 0,017 l/s pour PM03 en postopératoire et PM04 (0,014 l/s en préopératoire et 0,012 l/s en postopératoire) ; une baisse de la moyenne de DAO de 0,006 l/s en V2 est visible pour PM02 en postopératoire et de 0,002 l/s pour PM03 en préopératoire, enfin, pour PM05 globalement son DAO baisse de 0,001 l/s en préopératoire et augmente de 0,007 l/s en postopératoire en V2 (Figure 108).

iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et de DAO

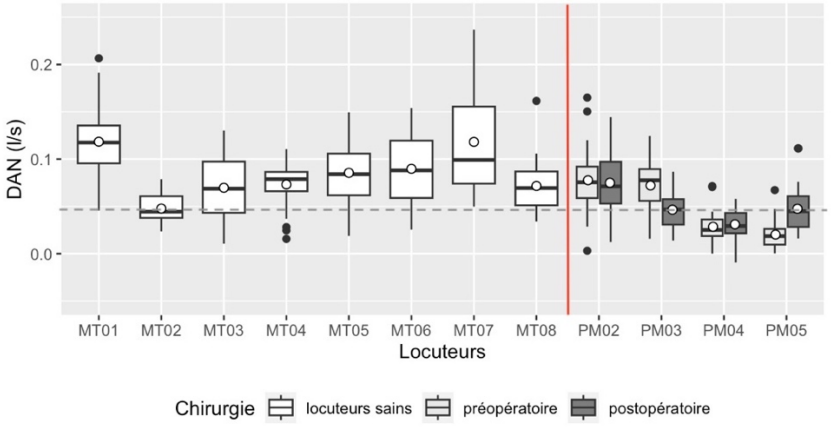


Figure 109 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554.

Même si en préopératoire certains patients ont des moyennes de débit d'air nasal très proches des locuteurs sains, les moyennes des locuteurs sains sont comprises entre 0,048 et 0,118 l/s, les moyennes de PM04 et PM05 en préopératoire sont en-dessous de cette intervalle. En postopératoire, la moyenne de DAN de PM04 reste en-dessous de cet intervalle en postopératoire : 0,031 l/s (**σ** 0,002) (Figure 109).

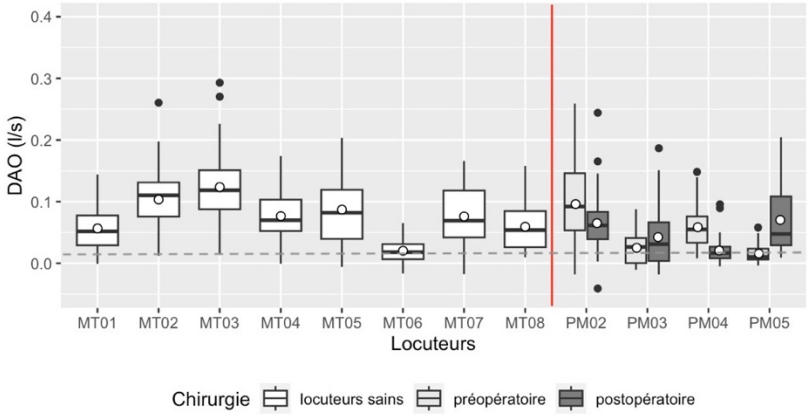


Figure 110 *: Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554.*

Les moyennes de DAO des patients sont comprises dans l'intervalle des moyennes de la population témoin (0,020 à 0,124 l/s) hormis pour PM05 en préopératoire (0,016 l/s (**σ** 0,014)) (Figure 110).

iv. Schémas récapitulatifs

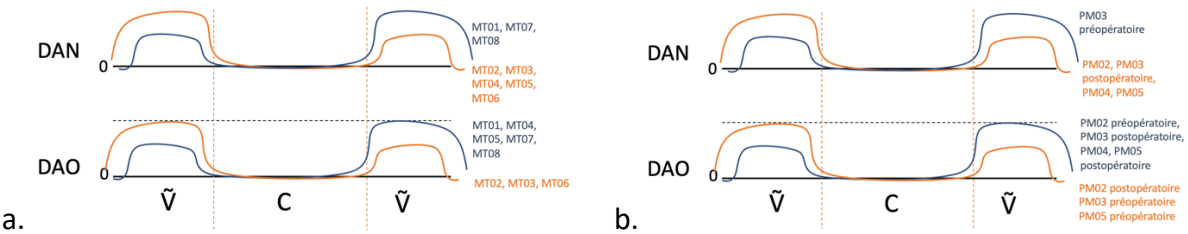


Figure 111 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles nasales pour les locuteurs sains en a. et les patients en b.

Nous distinguons trois patrons :

- En bleu : les moyennes de DAN et de DAO en V2 sont supérieures à celles de V1,
- En orange : le phénomène inverse : les moyennes de DAN et de DAO en V2 sont inférieures à celles de V1.

Les trois locuteurs sains qui ont une moyenne de DAN supérieure à V1 en V2 (MT01, MT07 et MT08) ont aussi en V2 une moyenne de DAO supérieure à V1 (Figure 111.a., tracé bleu). Les locuteurs MT02, MT03 et MT06 qui font partie des locuteurs qui ont une moyenne de DAN plus faible en V2 (en orange) ont aussi une moyenne de DAO plus faible en V2.
Les locuteurs MT04 et MT05 ont moins de DAN en V2 qu'en V1 (en orange) et plus de DAO en V2 (en bleu).
Les patients suivent la tendance générale des locuteurs sains (Figure 111.b., tracés orange et bleu). Nous pouvons observer que la plupart du temps la pathologie et la chirurgie ne changent pas la dynamique du DAN, à savoir un DAN plus important en V1 sauf pour PM03. Le DAO est plus variable entre préopératoire et postopératoire.

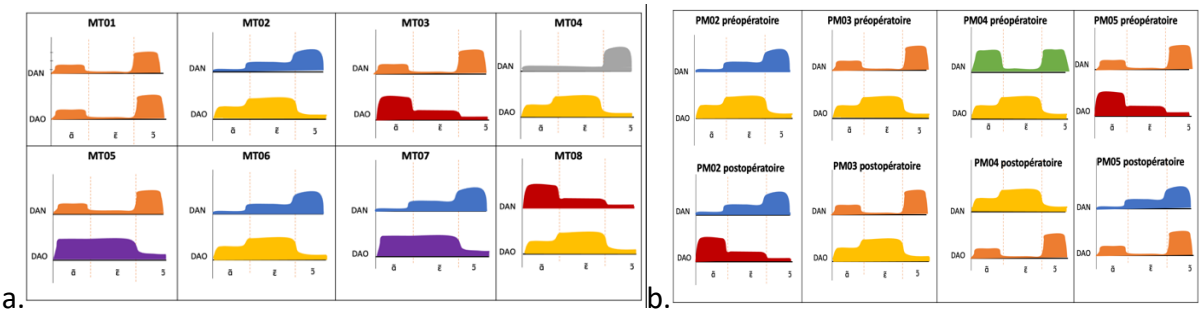


Figure 112 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles nasales une à une pour les locuteurs sains en a., les patients en b.

Chaque patron aérodynamique est signifié par une couleur.
Par exemple, la ligne orange montre que la moyenne de DAN est maximale sur [ɔ̃] et minimale sur [ɛ̃]. Ce constat est visible pour MT01, MT03, MT05 (Figure 112.a.), en préopératoire pour PM03 et PM05 (b.), et en postopératoire pour PM03.
La majorité des patrons des locuteurs sains se retrouve chez les patients en préopératoire et postopératoire. Les comportements aérodynamiques des patients sont proches des locuteurs sains.
En postopératoire, PM02 et PM03 gardent le même patron de DAN qu'en préopératoire. Pour PM04 en préopératoire, des moyennes équivalentes de DAN sont visibles sur [ɑ̃] et [ɔ̃] avec

une faible moyenne de DAN pour [ɛ̃] (Figure 112). En postopératoire, sa moyenne de DAN est maximale pour [ɛ̃] et minimale pour [ɔ̃] (en jaune). Pour PM05, il garde une moyenne de DAN maximale sur [ɔ̃] en postopératoire (en bleu). Les moyennes de DAN sont différentes sur [ɛ̃] et [ɑ̃] : en postopératoire, la moyenne de DAN est minimale sur [ɑ̃] alors qu'elle l'est sur [ɛ̃] en préopératoire.
Nous notons deux patrons pour le DAO en préopératoire, seul PM03 garde le même patron en postopératoire (en jaune).

D. Les voyelles orales en contexte nasal =VC$_n$V

Corpus utilisé :
C$_n$ = /n, m/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 384

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 18.

i. Pour les locuteurs sains

a. Moyenne de DAN

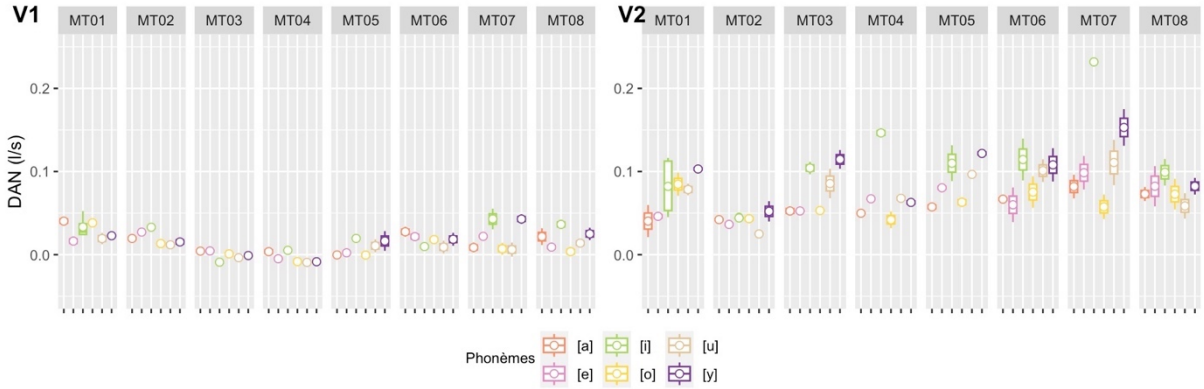


Figure 113 : Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192

En V1, nous constatons une moyenne de DAN plus basse qu'en V2 de 0,02 l/s à 0,1 l/s. Certains locuteurs ne nasaliseront pas du tout leurs voyelles comme MT03 (-0,0006 l/s (**σ** 0,005)) ou MT04 (-0,004 l/s (**σ** 0,006)) tandis que d'autres auront un DAN plus important comme MT07 (0,021 l/s (**σ** 0,018)) ou MT08 (0,018 l/s (**σ** 0,013)).

En V2, les voyelles de petite aperture ont un DAN plus important. Ce phénomène est plus flagrant en V2 étant donné qu'il y a une moyenne de DAN plus importante même s'il est déjà visible pour certains locuteurs en V1 comme pour MT07 et MT08. On peut voir qu'en V1, [a] est la voyelle avec la moyenne de DAN la plus importante pour MT06 (0,027 l/s (**σ** 0,008) et MT01 (0,04 l/s (**σ** 0,007)) mais cela change en V2 où les voyelles de petite aperture ont les moyennes de DAN les plus importantes (Figure 113).

b. Moyenne de DAO

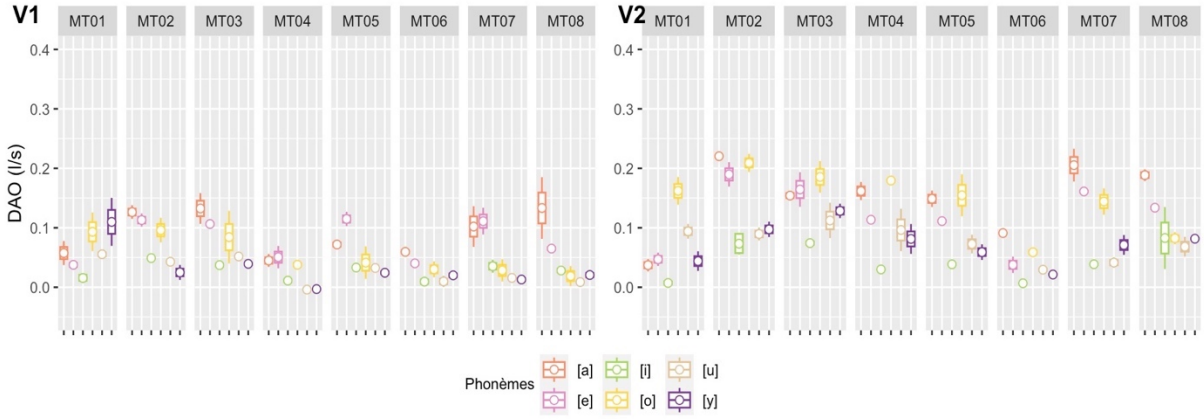


Figure 114 : Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192

De manière globale, nous observons une moyenne de DAO plus importante en V2 de 0,002 l/s à 0,09 l/s.

En V2, la moyenne de DAO augmente surtout pour [o], [a] et [e] qui ont les moyennes de DAO les plus importantes (en moyenne 0,139 l/s (**σ** 0,054)). [i], [y] et [u] ont les plus petites moyennes de DAO (0,064 l/s (**σ** 0,031)) (Figure 114).

ii. Pour les patients

a. Moyenne de DAN

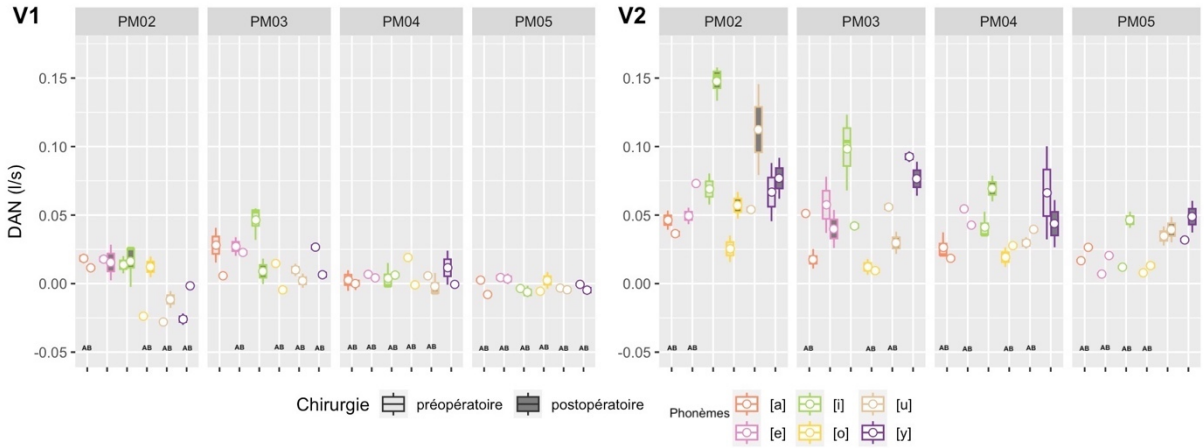


Figure 115 : Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite(B). Pour ce graphique, l'échelle a été changée pour une meilleure lisibilité

D'un point de vue général, nous observons une moyenne de DAN plus importante pour les voyelles orales situées après la consonne nasale de 0,019 l/s à 0,081 l/s.

En V1, pour PM04 et PM05, la moyenne de DAN avoisine zéro : entre 0,001 l/s et 0,008l/s pour PM04 et entre -0,001 l/s et -0,004 l/s pour PM05. PM02 a des moyennes de DAN un peu plus hautes notamment pour [a], [e] et [i].

La moyenne de débit d'air nasal de PM03 baisse en postopératoire que ce soit en V1 ou en V2 (une baisse globale de 0,02 l/s en V1 et de 0,031 l/s en V2).

La moyenne de DAN de PM05 baisse globalement en V1 de 0,003 l/s sur toutes les voyelles sauf sur [o] en postopératoire alors qu'en V2 elle augmente sur toutes les voyelles de 0,016 l/s.

La moyenne de DAN de PM04 baisse sur toutes les voyelles sauf sur [i] de 0,007 l/s en V1, et en V2 la moyenne de DAN augmente sur [i, o, u] de 0,015 l/s (**σ** 0,008) et baisse sur [a, e, y] de 0,014 l/s (**σ** 0,006).

La moyenne de DAN de PM02 augmente en moyenne en postopératoire en V1 de 0,012 l/s et en V2 de 0,037 l/s.

En V2, [i], [y] et [u] se détachent des autres voyelles par leur moyenne de DAN supérieure aux autres phonèmes.

b. Moyenne de DAO

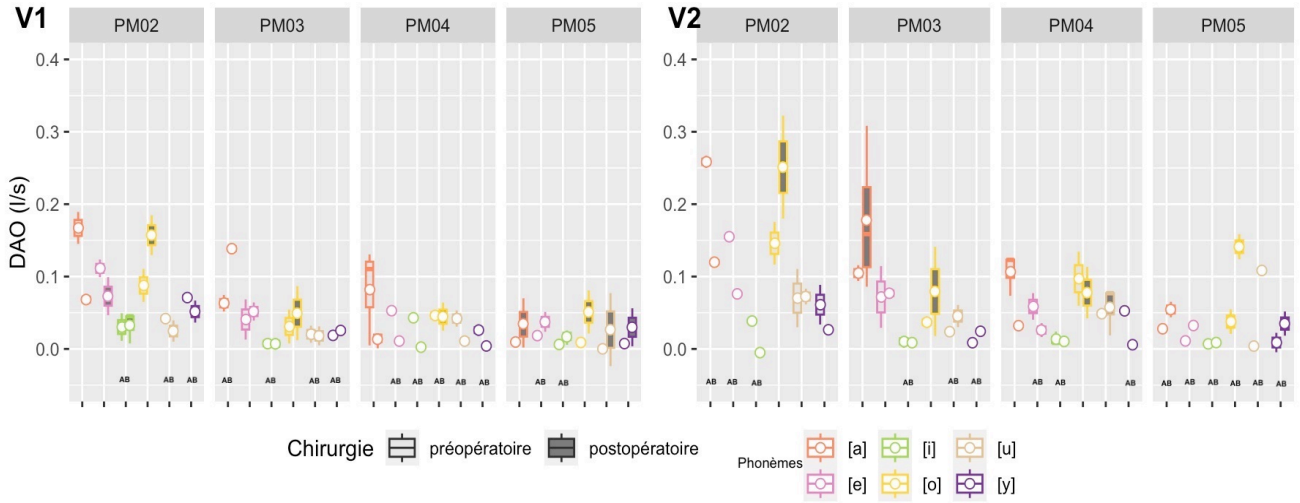


Figure 116 : Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche et le postopératoire à droite

En postopératoire, la moyenne de DAO globalement baisse pour PM02 de 0,029 l/s et de 0,034 l/s pour PM04 tandis qu'elle augmente de 0,033 l/s pour PM03 et PM05.

Les patients ont eux aussi une moyenne de DAO plus importante en V2 de 0,01 l/s à 0,04 l/s. Pour la majorité des patients [o], [a] et [e] apparaissaient bien détachées des autres voyelles dans le sens où elles ont une moyenne de DAO supérieure aux autres voyelles (Figure 116).

iii. Comparaison des moyennes globales de DAN et DAO

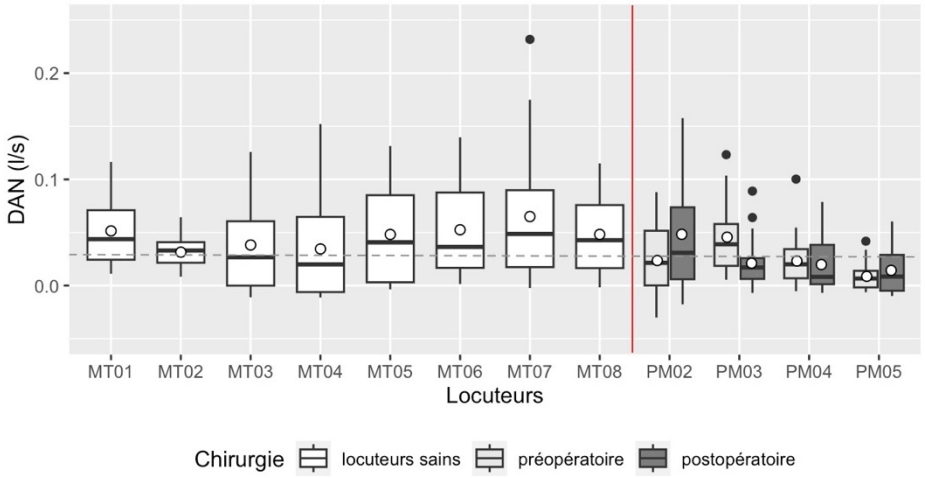


Figure 117 : Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384

Concernant le DAN, la moyenne de la plupart des patients est en dessous de celles des locuteurs sains à l'exception de PM02 en postopératoire (0,048 l/s (**σ** 0,052)) et PM03 en préopératoire (0,046 l/s (**σ** 0,031)) (Figure 117). En effet, les moyennes globales des locuteurs sains s'étendent de 0,031 l/s (**σ** 0,013) pour MT02 à 0,074 l/s (**σ** 0,073) pour MT07.

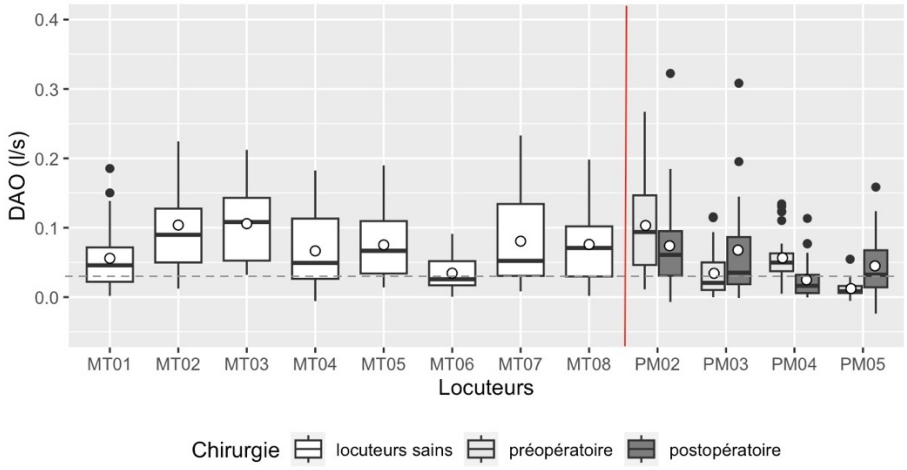


Figure 118 : Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384

Les moyennes de DAO de PM04 en postopératoire (0,025 l/s (**σ** 0,027)) et PM05 en préopératoire (0,012 l/s (**σ** 0,012)) sont inférieures à celles des locuteurs sains qui sont situées entre 0,056 l/s (**σ** 0,047) pour MT01 et 0,106 l/s (**σ** 0,052) pour MT03 (Figure 118).

iv. Schémas récapitulatifs

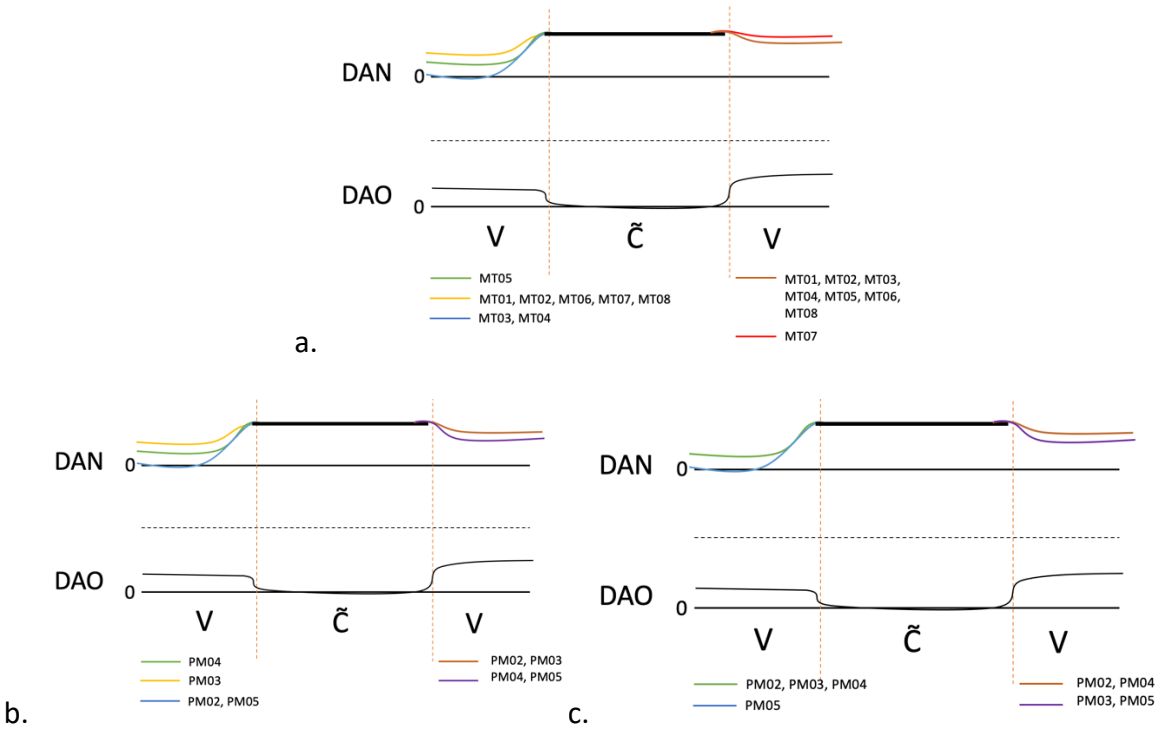


Figure 119 : Schémas récapitulatifs des patrons aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte nasal pour les locuteurs sains en a., pour les patients en préopératoire en b. puis en postopératoire en c.

Dans tous les cas, nous observons une moyenne de DAN plus importante en V2 que ce soit pour les locuteurs pathologiques ou sains. La différence réside dans la moyenne de DAN présente en V1. Les patients ont globalement une moyenne de DAN plus faible en postopératoire en V1(Figure 119.c.) que les locuteurs sains (Figure 119.a.). Trois niveaux ont été schématisés (<0, 0 à 0,01, 0,01 à 0,02 l/s, respectivement en bleu, vert et jaune).
La moyenne de DAN en V2 se répartit de 0,01 à 0,08 l/s pour les locuteurs sains et de 0,04 à 0,12 l/s. Nous les avons répartis en trois catégories : de 0,01 à 0,04 l/s, de 0,04 à 0,08 l/s et de 0,08 à 0,12 l/s.

2. Discussion

- Quels sont les changements aérodynamiques en postopératoire ? Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ?

Il existe une variété de changements aérodynamiques en postopératoire (Tableau 19) due à plusieurs facteurs : la complexité morphologique des cavités naso-sinusiennes qui entraine une variabilité interindividuelle mais aussi le stade de PNS et le type de chirurgie. Il est difficile de dresser une tendance générale des changements aérodynamiques en postopératoire et cela en raison notamment du faible effectif dans notre cohorte de patients.

Tableau 19 : Tableau récapitulatif des changements aérodynamiques en postopératoire, le symbole ↑ indique une hausse et ↓ une baisse.

	PM02	PM03	PM04	PM05
DAN	↑ * *sauf les voyelles nasales où le DAN est stable	↓	↓* *sauf les voyelles orales en contexte nasal où le DAN est stable et les voyelles nasales où le DAN augmente légèrement	↑* *sauf les voyelles orales en contexte oral où le DAN est stable
DAO	↓	↑	↓	↑

Nous nous attendions à ce qu'il y ait une augmentation de la moyenne DAN en raison du désencombrement naso-sinusien et une baisse de la moyenne de DAO étant donné que plus d'air peut s'échapper par les cavités nasales. Toutefois le tableau ci-dessus (Tableau 19) montre qu'en postopératoire, il n'y a pas une augmentation et une baisse systématique des moyennes de DAN et du DAO pour tous nos patients. Notre hypothèse de départ n'est valide que pour PM02.

Chaque patient a un profil aérodynamique postopératoire différent :

- Une augmentation de la moyenne de DAN et une baisse de la moyenne de DAO : PM02,
- Une baisse de la moyenne DAN et une augmentation de la moyenne de DAO : PM03,
- Une augmentation des moyennes de DAN et du DAO : PM05,
- Une moyenne de DAN un peu plus fluctuante et une baisse de la moyenne de DAO : PM04.

Les changements en postopératoire de la moyenne de DAO sont homogènes à travers tous les contextes phonétiques, la moyenne de DAN l'est un peu moins.

PM05 est le seul patient à augmenter à la fois ses moyennes de DAN et DAO, c'est aussi le seul de la cohorte à avoir bénéficié d'une ethmoïdectomie. Cette opération un peu plus invasive pourrait expliquer ce comportement. Un désencombrement plus important des cavités nasales allant jusqu'aux sinus ethmoïdaux et ne se limitant pas aux cavités nasales et aux ostiums des sinus maxillaires pourrait expliquer l'augmentation de la moyenne de DAN. L'augmentation de la moyenne de DAO reste quant à elle plus difficile à comprendre. Le désencombrement des cavités naso-sinusiennes aurait augmenté à la fois ses débits oral et nasal.

PM03 baisse sa moyenne de DAN dans tous les contextes phonétiques et augmente sa moyenne de DAO. Cette baisse pourrait être expliquée par l'apparition d'une inflammation

des cavités naso-sinusiennes dix jours avant l'enregistrement postopératoire selon son examen postopératoire.

Nos résultats sont en accord avec l'étude de Giron et Mas (2016) et d'Elmerich, Amelot, et Crevier-Buchman (2020) en ce qui concerne la moyenne de DAN. En effet, le DAN en postopératoire a montré une variabilité importante. Certains patients ont augmenté, d'autres diminué et certains ont une moyenne de débit d'air nasal identique. Il n'y a pas réellement de tendance qui se dessinait.

En revanche, dans l'étude de Giron et Mas, la moyenne de DAO n'a pas montré de différences après chirurgie tandis que dans notre étude elle fluctue entre baisse et augmentation. Nous nous attendions à ce qu'il y ait une baisse.

Outre ces changements en postopératoire, la moyenne de DAN sera différente selon les patients (Tableau 20). On peut distinguer deux groupes : PM02 et PM03 d'un côté, et PM04 et PM05, de l'autre. Le premier groupe a une moyenne de DAN en préopératoire et postopératoire plutôt haute (supérieur ou égal à 0,051 l/s) par rapport au second groupe (inférieure ou égale à 0,053 l/s).

Tableau 20 : Moyennes de DAN (l/s) et écarts-types sur les voyelles nasales et les consonnes nasales pour les patients en préopératoire et postopératoire

	Préopératoire	Postopératoire
PM02	0,077 (**σ** 0,0003)	0,084 (**σ** 0,0086)
PM03	0,085 (**σ** 0,0128)	0,051 (**σ** 0,0045)
PM04	0,036 (**σ** 0,007)	0,029 (**σ** 0,002)
PM05	0,029 (**σ** 0,009)	0,053 (**σ** 0,005)

Les moyennes de DAN de PM02 en préopératoire et postopératoire-parmi les plus élevées de toute la cohorte- peuvent être le reflet de son stade de PNS qui est des plus bas (stade II). L'encombrement naso-sinusien est moindre par rapport aux autres patients ce qui fait qu'il conserve un DAN conséquent et qui augmente tout de même en postopératoire du fait de la chirurgie. Dans la plupart des contextes phonétiques, ses moyennes de DAN et DAO seront comprises dans les valeurs des locuteurs sains contrairement aux autres patients.
PM04 a une moyenne de DAN parmi les plus faibles ce qui pourrait provenir de son stade de PNS élevé (stade III droite et IV gauche) mais PM05 a une moyenne de DAN similaire et pourtant il a un stade de PNS moins élevé (stade III droite et stade II gauche). La variabilité des moyennes de DAN n'est pas forcément systématiquement imputable à la pathologie et son stade de PNS ou à la chirurgie mais bien à des variabilités propres aux locuteurs tout comme c'est le cas pour les locuteurs sains.
De même que PM03 et PM05 partagent le même stade de PNS mais ont toutefois des moyennes de DAN en préopératoire bien différentes. PM03 a plus du double de moyenne de DAN que PM05.

- Différent-ils selon les contextes phonétiques ?

Nous pouvons dire que les changements aérodynamiques en postopératoire ne différent pas selon les contextes. Il y a quelques variations pour trois de nos patients mais ces variations sont minimes, soit elles vont dans le sens d'une absence de modification de la moyenne de DAN, soit la moyenne de DAN fluctue légèrement vers le haut.

- Est-ce que notre population pathologique se calque sur les données de la littérature ? A-t-elle un comportement différent des locuteurs sains ?

Le comportement aérodynamique des patients est assez proche de celui des locuteurs sains. Certes, certains patients présenteront souvent des différences par rapport aux locuteurs sains comme PM03, PM04 et PM05 avant ou après chirurgie en ayant des moyennes de DAN ou de DAO plus faibles mais globalement, ils se trouveront dans la même dynamique que les locuteurs sains. Les observations aérodynamiques de nos locuteurs sains correspondent à celles des patients.

<u>Les voyelles orales en contexte oral</u> :

Dans la littérature :

Dans un contexte avec une consonne orale, une absence de débit d'air nasal est attendu sur les voyelles environnantes.
Les voyelles de petite aperture ont un débit d'air oral plus faible que les autres.
En position initiale de mot, le voile du palais est plus élevé, cela serait dû à une contraction de l'ensemble des muscles du voile du palais.

Nous avons pu constater :

Les voyelles de petite aperture ont un DAN élevé et un DAO des plus faibles.
Les phonèmes ayant la moyenne de DAO la plus faible ne changent pas en fonction de la position (V1 ou V2) ou de la chirurgie, à quelques exceptions près, [i] a le moins de DAO, et si ce n'est pas le cas, il s'agit toujours de voyelles de petite aperture. Les voyelles avec la moyenne de DAO la plus importante sont plus variables, il peut s'agir de [a], [e], [o] ou [y]. C'est aussi le cas pour le DAO des voyelles orales en contexte nasal avec une moyenne moins importante de DAO.
Les voyelles en contexte oral ont une faible moyenne de DAN.

<u>Pour les voyelles nasales</u> :

Dans la littérature :

/ɔ̃/ est la voyelle nasale avec une moyenne de débit d'air nasal des plus importantes contrairement à /ɑ̃/ où la moyenne est des plus faibles (Amelot, 2004; Delvaux, 2003). La

moyenne de débit d'air nasal est plus importante quand la voyelle nasale est en position finale de mot.
Durant la phase d'ouverture et de fermeture du velum, le débit d'air nasal est proportionnel au débit d'air oral : quand le débit d'air nasal augmente , le débit d'air oral diminue (Amelot, 2004; Warren *et al.*, 1987).

Nous avons pu constater :

Concernant les voyelles nasales, les patients présentent la même tendance constatée dans la littérature à savoir une moyenne de DAN élevée pour /ɔ̃/. En revanche, /ɑ̃/ n'est pas forcément la voyelle avec le moins de DAN, il y a plus de variabilité à ce niveau-là que ce soit pour les patients ou les locuteurs sains. /ɔ̃/ a le moins de DAO pour tous les locuteurs sains à l'exception de MT01, c'est le cas pour deux de nos patients, les deux autres présentent plus de variabilité.
Nous tempérons le fait que la moyenne de débit d'air nasal est plus importante quand la voyelle nasale est en position finale de mot, cela n'est valable que pour certains patients et locuteurs sains.

<u>Pour les voyelles orales en contexte nasal :</u>

Dans la littérature :
Les études aérodynamiques montrent plutôt un phénomène de propagation du débit d'air nasal après le phonème nasal (coarticulation persévératrice) (Amelot, 2004; Amelot *et al.*, 2002; Basset *et al.*, 2001; Benguerel, 1974; Cohn, 1990) Par conséquent, la moyenne de DAN est plus haute sur les voyelles suivant une consonne nasale que sur celles la précédant.
Le niveau global du flux d'air nasal est plus élevé pour les voyelles orales hautes que pour les voyelles orales non hautes qui suivent une consonne nasale (Delvaux *et al.*, 2008). Cette nasalisation aurait par la suite un effet sur le DAO : les voyelles hautes auraient un débit d'air oral plus faible que les autres.

Nous avons pu constater :
La nasalisation persévératrice attestée dans la littérature est visible chez nos locuteurs sains et pathologiques, nous observons une moyenne de DAN supérieure pour les voyelles suivant la consonne nasale. Un DAN est tout de même visible pour certains locuteurs sur les voyelles précédant la consonne nasale en raison du geste d'abaissement du velum, qui débute avant la consonne nasale.

<u>Les consonnes nasales</u> :

Dans la littérature :

Les consonnes nasales sont caractérisées par une très petite moyenne de DAO et une moyenne importante de DAN.

Nous avons pu constater :
Les consonnes nasales sont réalisées avec une faible moyenne de DAO et la présence de DAN.

Nous retrouvons les mêmes tendances chez les patients et les locuteurs sains concernant les voyelles orales en contexte nasal, les consonnes nasales, les voyelles orales en contexte oral et les voyelles nasales.

Les patients en préopératoire et postopératoire, hormis en termes de moyennes de DAN et DAO qui sont pour certains en-dessous des locuteurs sains, ne semblent pas être perturbés dans leur production de la nasalité.

II. Étude 2 : Étude acoustique

Résumé de l'étude :

L'objectif de cette étude est de mesurer l'impact au niveau acoustique de la PNS et de sa chirurgie.
Les mesures utilisées sont la durée des voyelles orales et nasales ainsi que le spectre moyen total et nasal.
Les résultats de l'étude acoustique sont les suivants :

- La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient en préopératoire et postopératoire.
- La majorité des patients augmentent leur spectre moyen total, seul PM05 le baisse. Ce constat reste inchangé quel que soit le contexte phonétique.
- Nous pouvons voir que les résultats avant ou après chirurgie sont comparables aux résultats des locuteurs sains. Leur comportement acoustique n'est pas différent de celui des locuteurs sains.

1. Résultats

A. Durée moyenne en seconde

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 19.

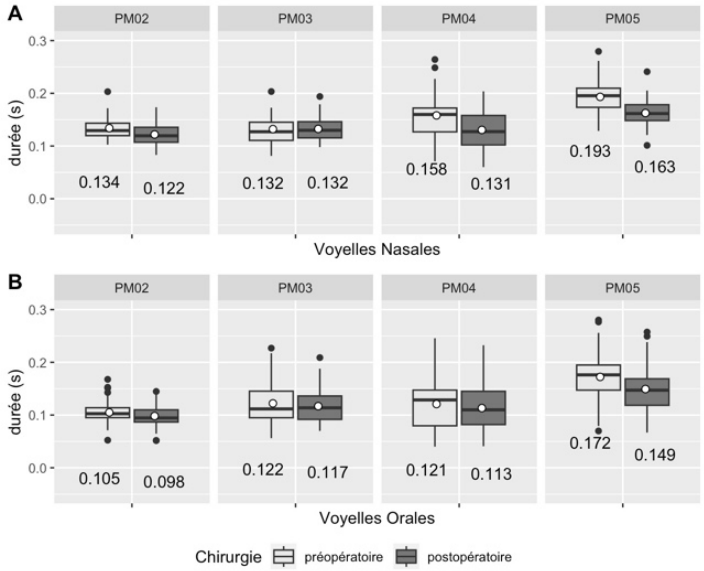


Figure 120 : Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les patients en préopératoire et en postopératoire, n=950

La durée des voyelles orales est plus courte que les voyelles nasales comme il en est attesté dans la littérature. Cela est valable en préopératoire, en postopératoire ainsi que pour les locuteurs sains.

La durée des voyelles orales et nasales baisse en postopératoire, à l'exception de PM03 qui garde la même durée de ces voyelles nasales en postopératoire (Figure 120).

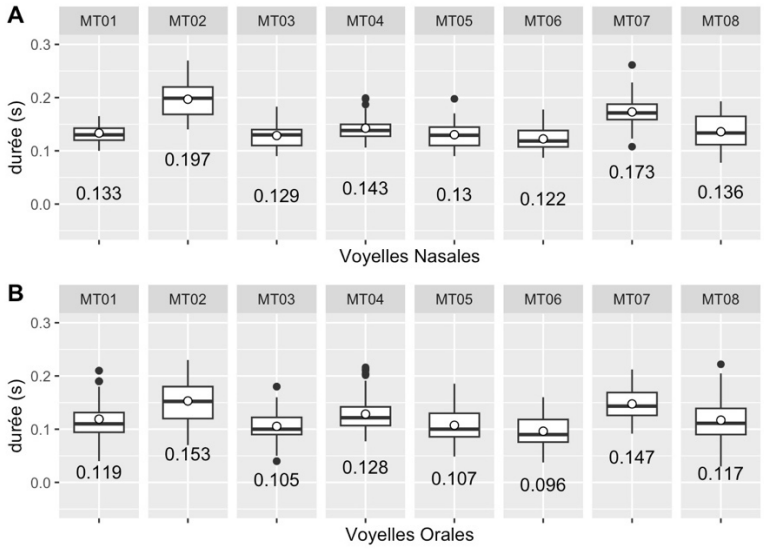


Figure 121 : Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les locuteurs sains, n=950

La comparaison avec les locuteurs sains fait apparaître que les moyennes de durées des voyelles orales et nasales des patients en préopératoire et postopératoire sont comprises dans l'intervalle de moyennes des locuteurs sains, à l'exception de PM05 où la durée de ces voyelles orales est supérieure en préopératoire (Figure 121).

B. Spectre moyen total et nasal

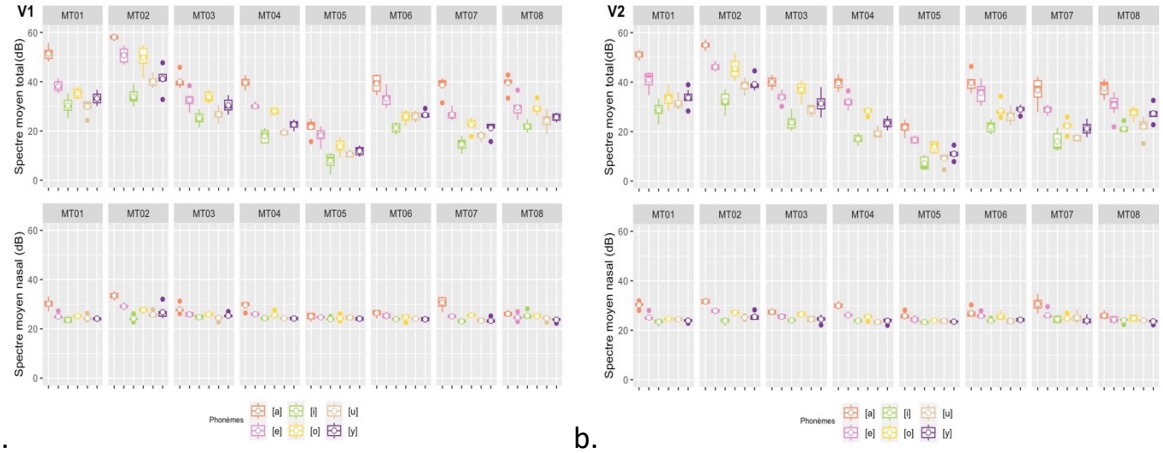
Les contextes phonétiques et corpus de la partie aérodynamique sont identiques à cette partie acoustique. Le code couleur y est donc identique. Pour les coupes spectrales illustrant les résultats de spectre moyen total et nasal, la courbe rouge indique la coupe spectrale calculée sur le signal du microphone et la courbe bleue sur le signal du capteur de pression nasal. Les paramètres de la coupe spectrale sont indiquées dans le Chapitre IV : Méthodologie, II.2.B.i, p.130.

i. Voyelles orales en contexte oral = VCV

Corpus utilisé :
C = /p, b, t, d, v, s, z/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 1344

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 20.

a. Pour les locuteurs sains



a. b.

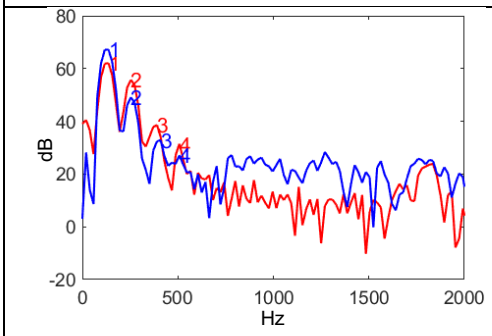
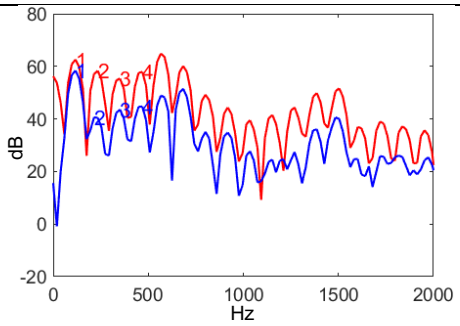
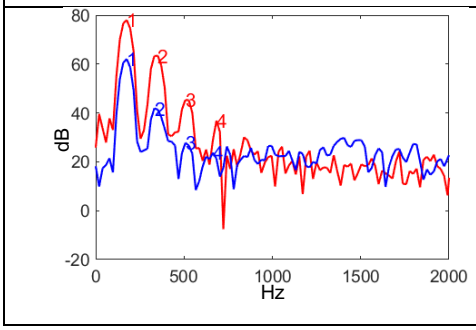
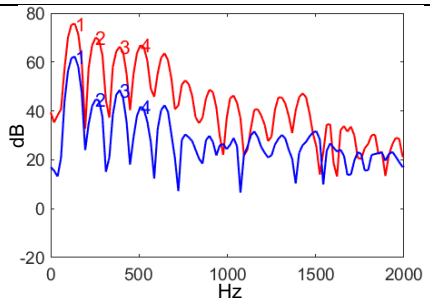
Figure 122 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=672

Le spectre moyen total est variable selon les locuteurs sains : la moyenne globale pour les voyelles orales s'étend de 14 dB pour MT05 à 43 dB pour MT02. Le spectre moyen nasal se montre plus stable entre 24 et 27 dB. La moyenne du spectre moyen nasal dans le cadre des voyelles orales est la plus basse de tous les contextes phonétiques.

La position V1 (Figure 122.a.) ou V2 (Figure 122.b.) ne joue pas un rôle sur le spectre moyen total et nasal. Les voyelles en V2 ont quasiment la même moyenne de spectre moyen total, il peut y avoir un changement de 1 à 3 dB maximum. Il en est de même pour le spectre moyen nasal qui varie maximum de 2 dB.

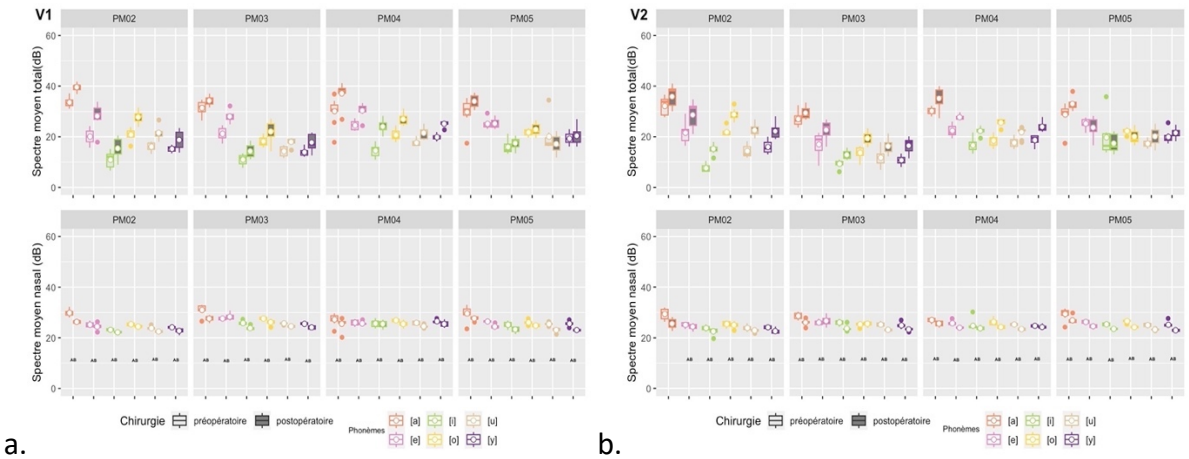
Un même patron se distingue pour le spectre moyen total, la plupart du temps [a] et [e] ont un spectre moyen total des plus hauts et [i], [y], [u] des plus faibles. Ce patron est aussi visible dans le cadre des voyelles orales en contexte nasal. Pour le spectre moyen nasal, [a] se distingue par une moyenne plus élevée, les autres voyelles sont assez proches.

Tableau 21 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT03 et MT04 sur [i] et [a] en V1. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.

[i] (V1) dans [idi]	[a] (V1)dans [ada]
MT04	MT04
	
MT03	MT03
	

On peut distinguer deux groupes : les locuteurs MT01, MT02 et MT03 qui ont une moyenne d'environ 40 dB pour leur spectre moyen total et les autres locuteurs qui se situent autour de 30 dB (Figure 122). Pour ce premier groupe, le spectre moyen total prend le pas sur le spectre moyen nasal des voyelles orales. Pour le second groupe, les deux spectres seront plus proches. Cela n'est pas forcément valable pour toutes les voyelles orales par exemple pour [a] et [e] qui ont un spectre total moyen élevé, le spectre moyen nasal reste inférieur. Mais pour des voyelles comme [i], [y] et [u] qui ont un spectre total moyen plus bas, les deux spectres seront plus proches pour le premier groupe (MT01, MT02 et MT03) et pour le second groupe, le spectre moyen nasal aura tendance à être supérieur au spectre moyen total.
Le Tableau 21 illustre ce constat avec les locuteurs MT03 et MT04.

b. Pour les patients



a. b.

Figure 123 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=672. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

Le spectre moyen nasal présente peu de changements en postopératoire, il baisse de 1 à 2 dB aussi bien en V1 (Figure 123.a) qu'en V2 (Figure 123.b).

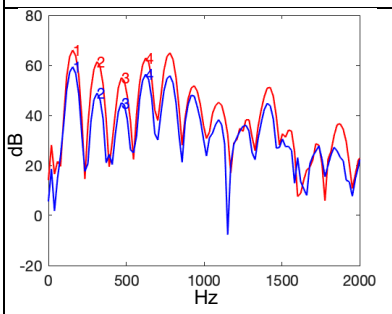
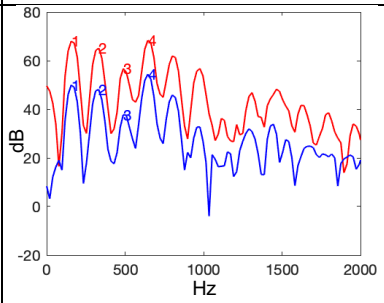
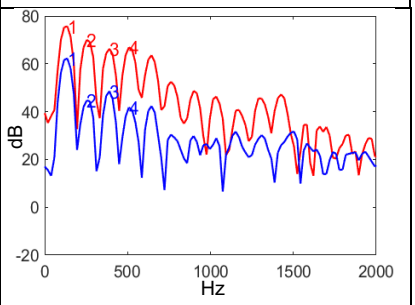
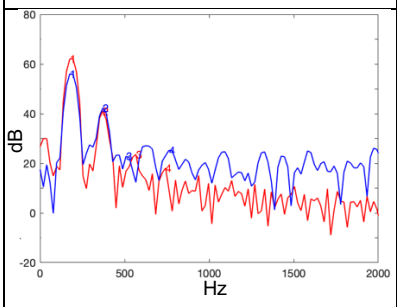
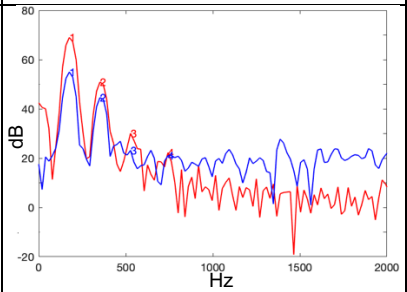
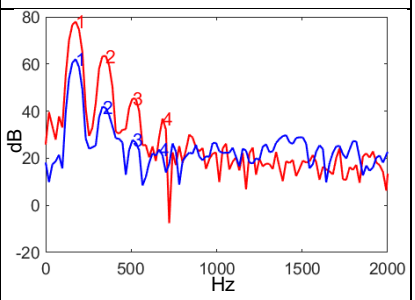
Que ce soit pour les voyelles orales en contexte nasal ou en contexte oral, le spectre moyen total baisse ou augmente pour tous les patients dans les mêmes proportions : le spectre moyen total de PM02, PM03 et PM04 augmente entre 4 à 6 dB et pour PM05 il reste quasiment stable (baisse d'environ 1dB).

Concernant le spectre moyen total, nous retrouvons le même patron acoustique que pour les locuteurs sains même si le spectre moyen total apparaît moins différent entre les voyelles, surtout pour [i], [y], [u].

Les moyennes de spectre moyen total sont moins hautes que pour les locuteurs sains. Globalement, elles sont comprises entre 20 et 60 dB pour les locuteurs sains, à l'exception du locuteur MT05. Pour les patients, elles se situent entre 0 et 40 dB. Cela implique que le spectre moyen nasal sera plus proche du spectre moyen total.

A l'image des locuteurs sains, la position V1 ou V2 n'a pas d'impact sur les valeurs de spectre moyen total et nasal. Que ce soit en préopératoire ou en postopératoire, le spectre moyen total des voyelles en V2 varient de 1 à 3 dB maximum et le spectre moyen nasal de 1 dB.

Tableau 22 : Coupes spectrales pour le patient PM02 en préopératoire et postopératoire ainsi que pour le locuteur sain MT03 sur [i] et [a] en V1. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.

PM02 en préopératoire	PM02 en postopératoire	MT03
[a] (V1) dans [ada]	[a] (V1) dans [ada]	[a] (V1) dans [ada]
		
[i] (V1) dans [idi]	[i] (V1) dans [idi]	[i] (V1) dans [idi]
		

Sur les figures du Tableau 22, nous observons une baisse de l'amplitude du spectre moyen nasal (en bleu) et une augmentation du spectre moyen total (en rouge) en postopératoire sur la voyelle [i] du logatome [idi]. Les valeurs postopératoires se rapprochent des valeurs du locuteur sain. La différence entre les 4 premiers harmoniques (numérotés sur les coupes spectrales du tableau) du spectre total et nasal augmente en postopératoire. On observe une plus grande dissociation entre les spectres total et nasal. Le spectre total prend le pas sur le spectre nasal en postopératoire de manière plus importante qu'en préopératoire. Les deux spectres sont plus proches pour le son [i] que le son [a] : [i] a un spectre moyen total bas comparé à [a] ce qui explique la proximité des deux spectres.

c. Comparaison des spectres moyens oral et nasal globaux

Les valeurs de spectre moyen total des patients (17 db (**σ** 7,082) et 27 dB (**σ** 5,57)) sont comprises dans l'intervalle des locuteurs sains (entre 14 dB (**σ** 5,343) et 43 dB (**σ** 8,625)) (Figure 124).

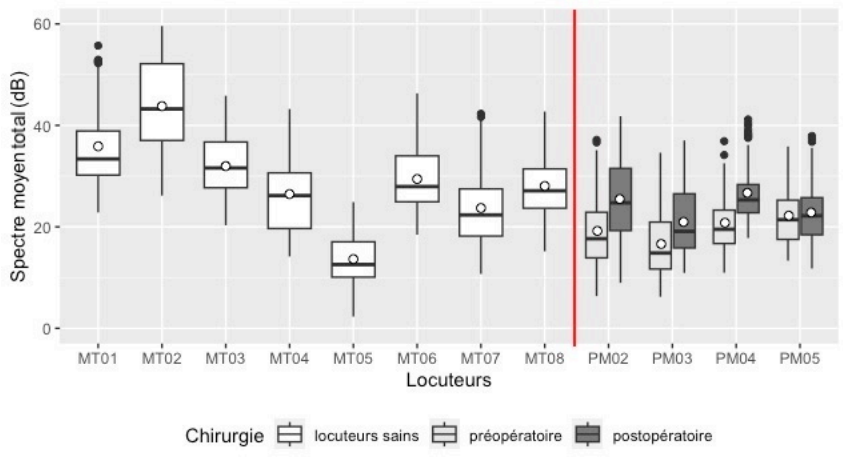


Figure 124 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344

Il en va de même pour les valeurs globales de spectre moyen nasal (Figure 125). Elles sont comprises entre 24 et 27 dB pour les locuteurs sains et pour les patients.

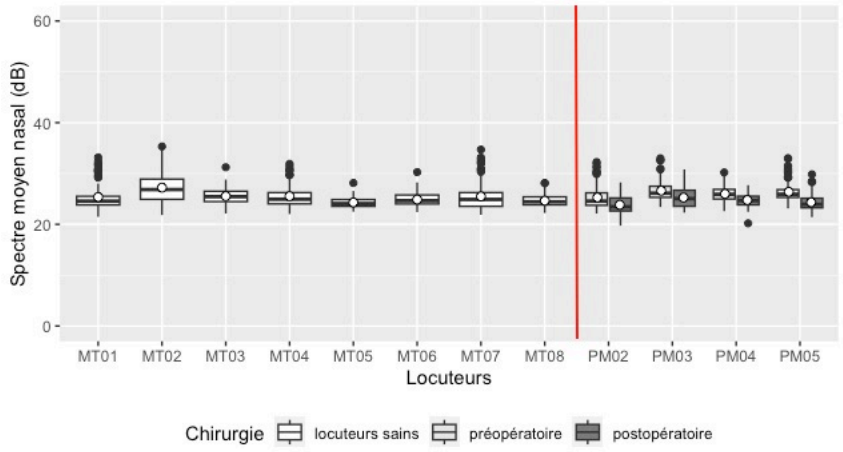


Figure 125 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues, n=1344

d. Schémas récapitulatifs

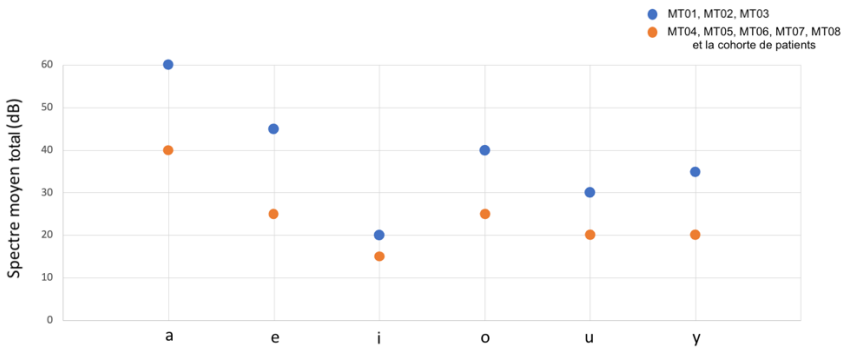


Figure 126 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les voyelles orales

La figure ci-dessus schématise le patron trouvé pour les voyelles orales concernant le spectre moyen total. Les points en bleu font référence aux locuteurs MT01, MT02, MT03 qui ont un spectre moyen total supérieur aux autres locuteurs et patients (Figure 126,en orange).

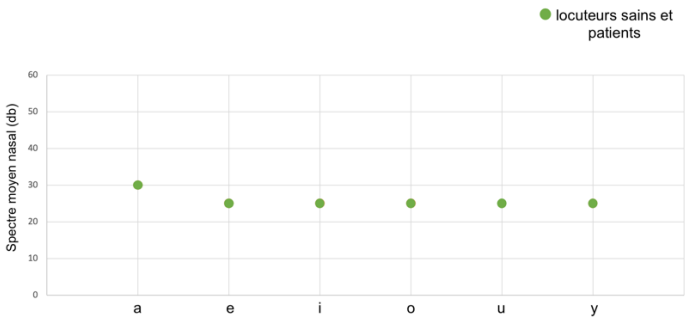


Figure 127 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les voyelles orales

Les points verts de la figure ci-dessus symbolisent les valeurs de spectre moyen nasal pour tous les patients et les locuteurs sains, [a] apparaît avec une valeur légèrement supérieure de manière globale (Figure 127).

ii. Les consonnes nasales = VC_nV

Corpus utilisé :

C_n = /n, m/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 192

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 21.

a. Pour les locuteurs sains

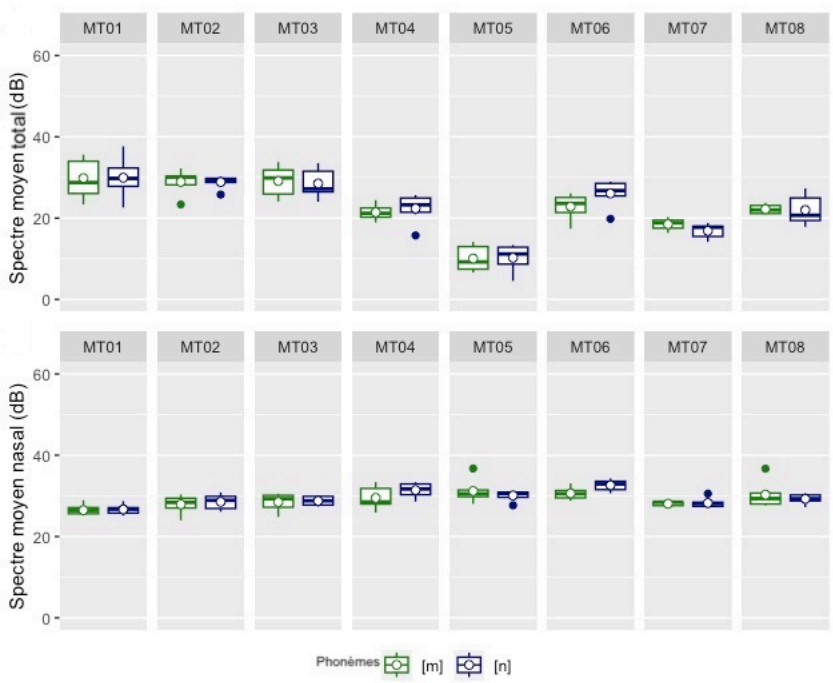
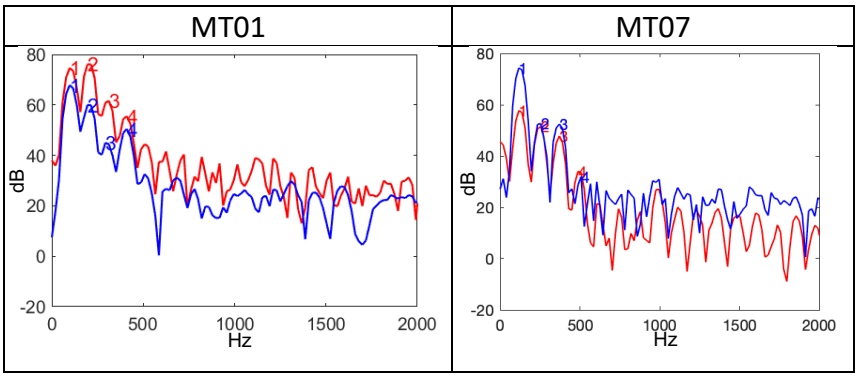


Figure 128 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les consonnes nasales chez les locuteurs sains, n=96

[m] et [n] sont proches en termes de moyenne de de spectre moyen total, il y au maximum 3 dB de différence entre ces deux consonnes nasales. Tout comme pour les voyelles orales, le

même groupe de locuteurs sains a ici un spectre moyen total « haut », autour de 30 dB et les autres locuteurs seront au-dessous de ce seuil (Figure 128). Cela implique que pour le groupe des locuteurs MT01, MT02 et MT03 le spectre total a une amplitude plus importante que le spectre nasal et inversement pour les autres locuteurs (Tableau 23).

Tableau 23 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT01 et MT07 sur [m] dans le logatome [ama]. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.



b. Pour les patients

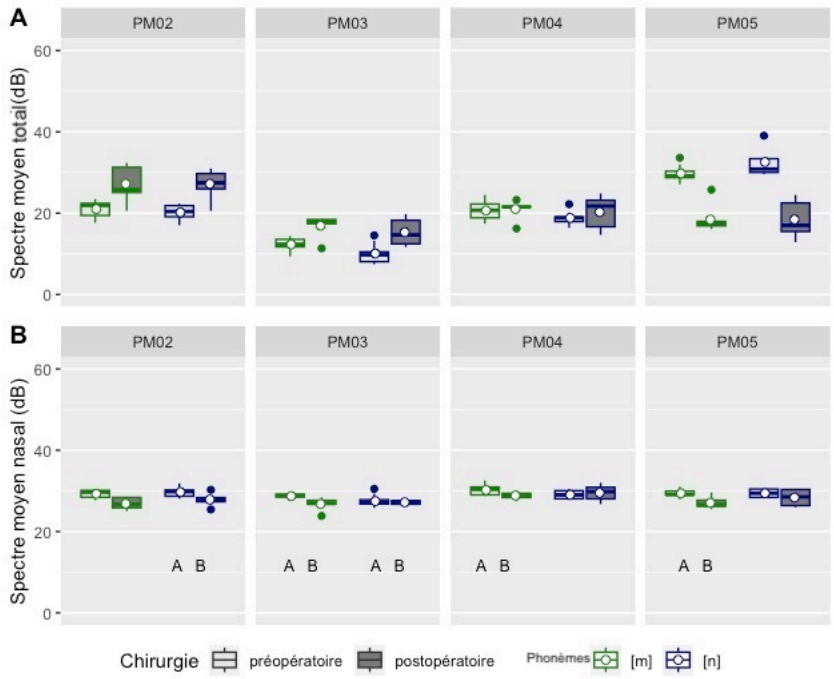
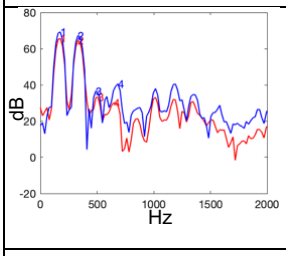
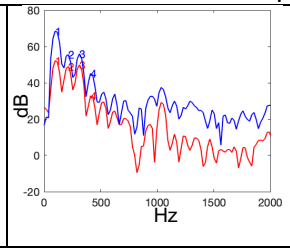
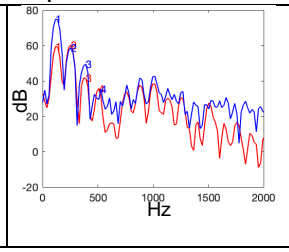
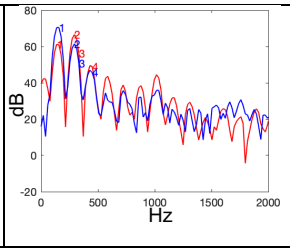
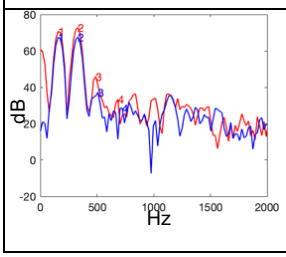
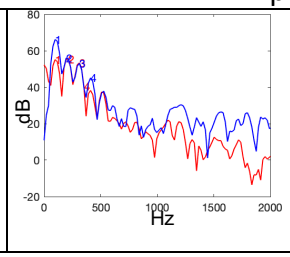
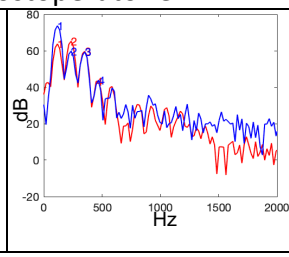
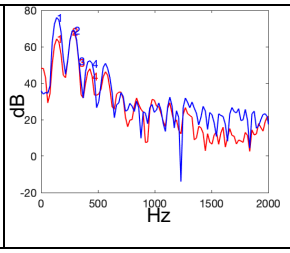


Figure 129 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les consonnes nasales chez les patients en préopératoire et postopératoire, n=96. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

Le spectre moyen total de PM05 connait une baisse des plus importantes (environ 12 dB) contrairement à celui de PM04 qui reste quasiment identique (augmentation d'environ 1 dB). Le spectre moyen total de PM02 et PM03 augmente d'environ 5 dB en postopératoire (Figure 129).

[m] et [n] sont proches au niveau de leur moyenne de spectre moyen total à l'image des locuteurs sains. Il y a au maximum 3 dB de différence entre les deux consonnes nasales.
Le spectre moyen nasal est supérieur au spectre moyen total en préopératoire et postopératoire sauf pour PM05 en préopératoire où les deux spectres sont proches de même que pour PM02 en postopératoire (Tableau 24).

Tableau 24 : Coupes spectrales pour nos patients en préopératoire et postopératoire sur [m] dans le logatome [ama]. *Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.*

PM02	PM03	PM04	PM05
En préopératoire :			
			
En postopératoire :			
			

c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux

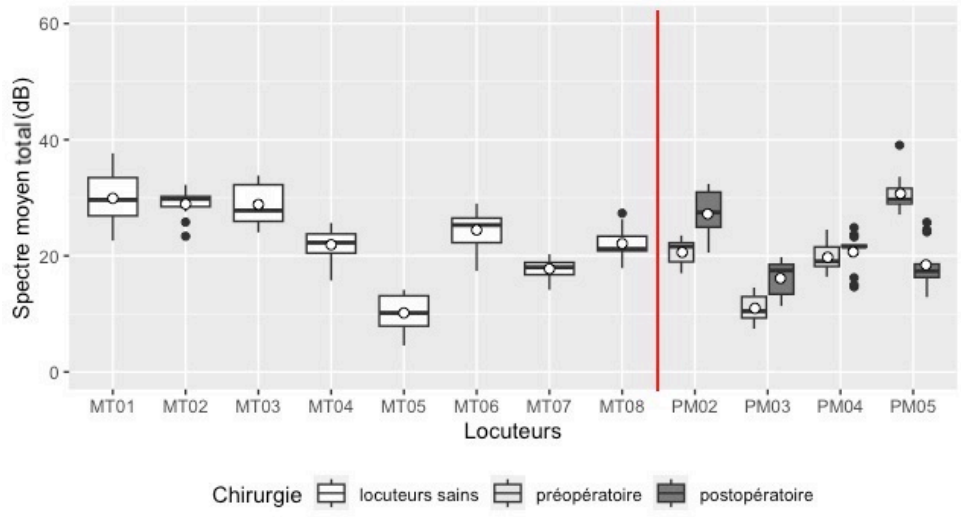


Figure 130 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues, n=192

Les valeurs de spectre moyen total des patients (entre 11 dB (**σ** 2,433) et 30 dB (**σ** 3,146)) sont comprises dans l'intervalle des locuteurs sains (entre 10 dB (**σ** 3,217) et 30 dB (**σ** 4,025)) (Figure 130).

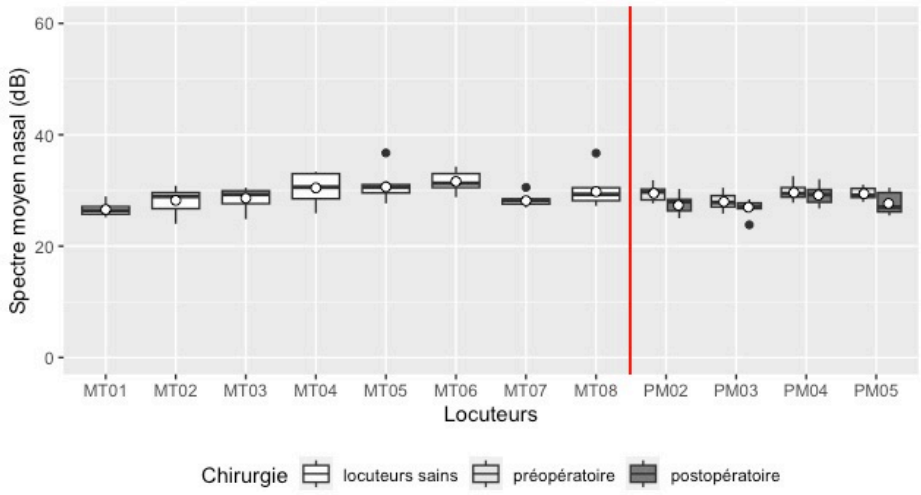


Figure 131 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues, n=192

Les valeurs de spectre moyen nasal sont stables et varient très peu, elles se situent entre 27 et 32 dB (Figure 131).

d. Schémas récapitulatifs

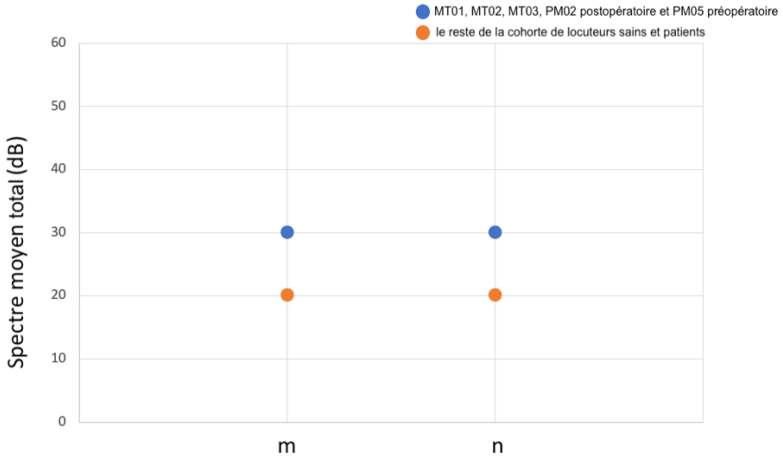


Figure 132 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les consonnes nasales [m] et [n]

Nous retrouvons nos deux groupes de locuteurs, ceux symbolisés par les points bleus pour lesquels le spectre moyen total est autour de 30 dB comprenant MT01, MT02 et MT03 mais aussi PM02 en postopératoire et PM05 en préopératoire. Le reste de la population est représenté par les points orange (Figure 132).

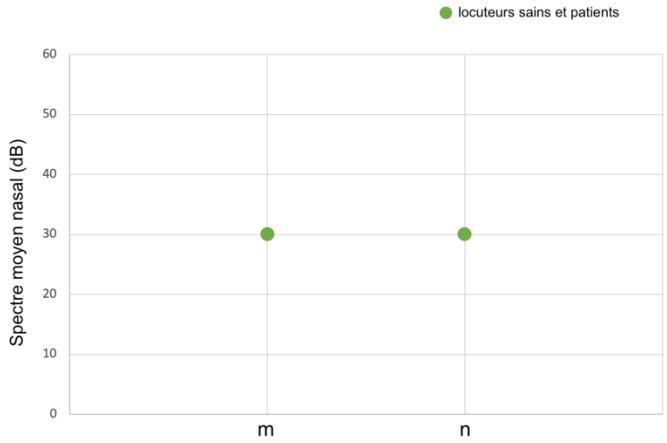


Figure 133 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les consonnes nasales [m] et [n]

Globalement tous les locuteurs de la cohorte ont un spectre moyen nasal autour de 30 dB. Les valeurs de spectre sont similaires pour les deux consonnes nasales (Figure 133).

iii. Les voyelles nasales = ṼCṼ

Corpus utilisé :
C = /p, b, t, d, s, z/
Ṽ = /ɔ̃, ɑ̃, ɛ̃/
n = 554

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 22.

a. Pour les locuteurs sains

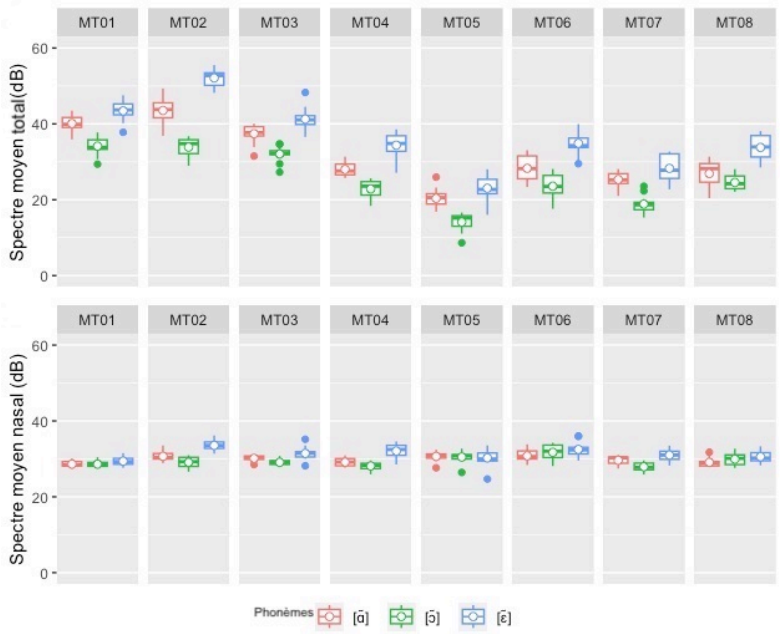
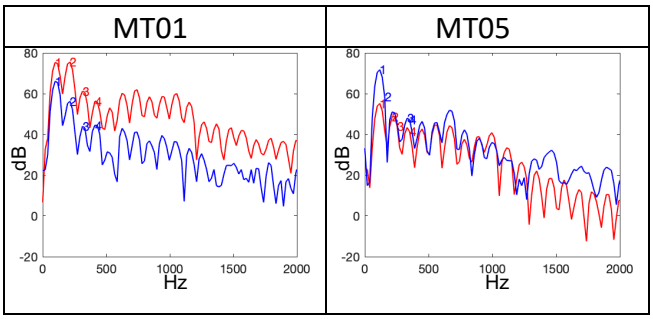


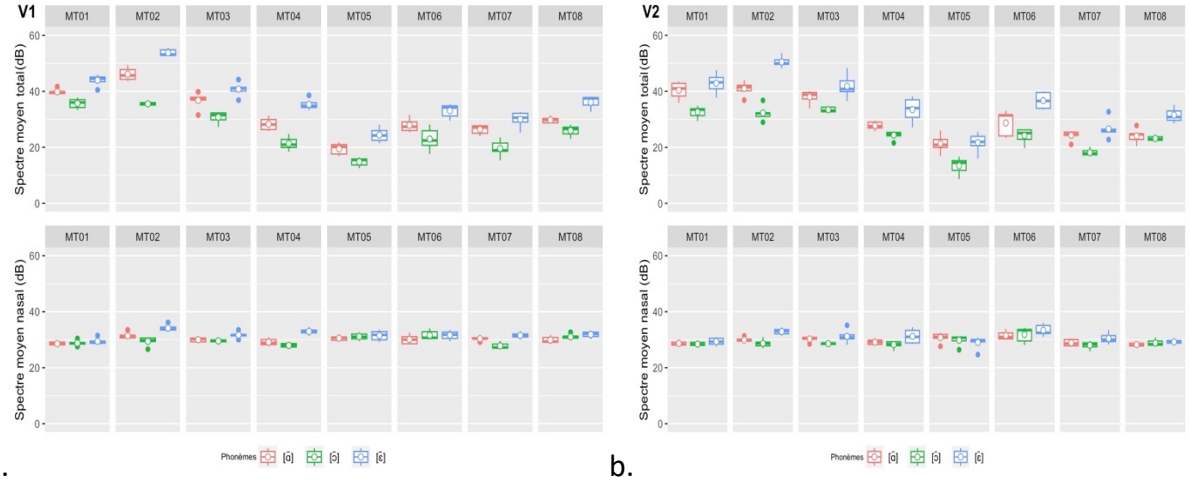
Figure 134 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains, n=276

Sur la Figure 134, nous observons que le spectre moyen nasal est assez stable, environ 30 dB. Certains locuteurs sains ont une légère modulation dans leurs valeurs du spectre moyen nasal en fonction des phonèmes. C'est le cas pour MT02, MT03, MT04 et MT07. Ces modulations vont dans le sens des observations du spectre moyen total à savoir [ɔ̃] avec une moyenne des plus faibles, suivi de [ɑ̃] et [ɛ̃].

Nous distinguons toujours deux groupes : les locuteurs MT01, MT02 et MT03 qui ont une moyenne d'environ 40 dB pour leur spectre moyen total et les autres locuteurs qui se situent autour de 30 dB. Pour ce premier groupe, le spectre moyen total prend le pas sur le spectre moyen nasal des voyelles nasales. Pour le second groupe, [ɑ̃] et [ɔ̃] ont un spectre moyen nasal supérieur tandis que [ɛ̃] présentera un spectre moyen total supérieur sauf pour MT05 et MT07 (Tableau 25).

Tableau 25 : Coupes spectrales pour les locuteurs sains MT01 et MT05 sur [ɛ̃] en position initiale (V1) dans le logatome [ɛ̃pɛ̃]. Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.





a. b.

Figure 135 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=276

Le spectre moyen total des voyelles nasales en V2 (Figure 135.b) ne présente quasiment pas de changements par rapport à la V1 (Figure 135.a). De manière globale, il varie de 1 à 4 dB en baissant pour cinq locuteurs et en augmentant pour trois autres locuteurs.
Il en va de même pour le spectre moyen nasal, il varie de 1 à 2 dB.

b. Pour les patients



Figure 136 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (A) et le postopératoire à droite (B)

La tendance générale, ici, est une hausse du spectre moyen total en postopératoire pour trois de nos patients et une baisse pour un patient. L'augmentation est plutôt légère pour PM03 et PM04 (de 2 à 4 dB) tandis que pour PM02 et PM05 les fluctuations en postopératoire sont un peu plus importantes (environ 7 dB).

Sur le spectre moyen nasal, on note beaucoup moins de changements en postopératoire. Il est quasiment stable pour chaque patient entre préopératoire et postopératoire, il baisse très légèrement (1 à 2 dB). L'allure du spectre moyen total est similaire aux locuteurs sains.

A la différence du spectre moyen total où l'on voyait le même patron chez tous les patients, à savoir une voyelle [ɔ̃] avec une moyenne des plus faibles, suivi de [ɑ̃] et [ɛ̃], ici le spectre moyen nasal est équivalent pour chaque voyelle nasale. Le spectre moyen nasal est autour de 30 dB, ce que l'on retrouve aussi chez les locuteurs sains, il est donc la plupart du temps supérieur au spectre moyen total (Figure 136).

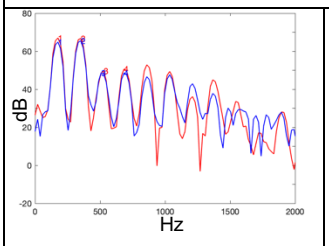
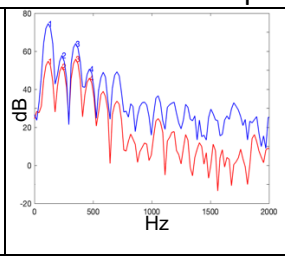
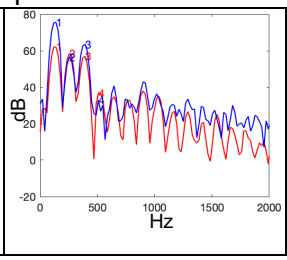
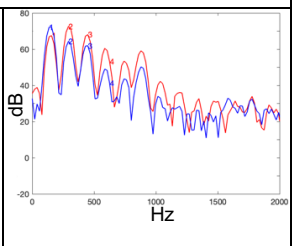
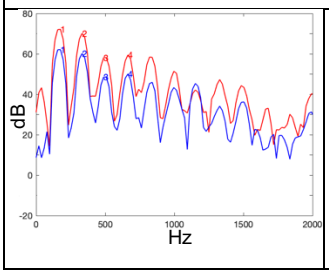
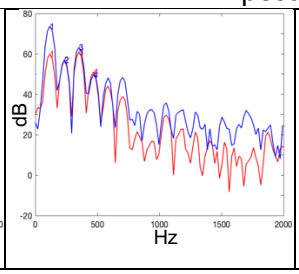
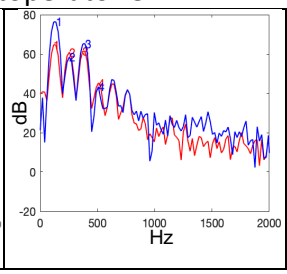
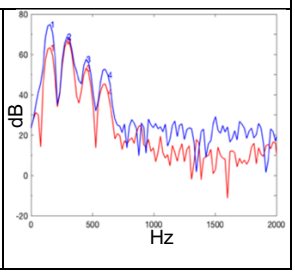
Les figures du Tableau 26 nous permettent d'illustrer ce constat. En préopératoire, le spectre moyen nasal est supérieur partout sauf pour PM05 (la différence étant tout de même faible, pour le premier harmonique le spectre nasal est systématiquement supérieur mais ensuite le spectre total prend le pas). En postopératoire, le spectre total prend le pas sur le spectre nasal pour PM02, pour les autres patients le phénomène inverse est visible.

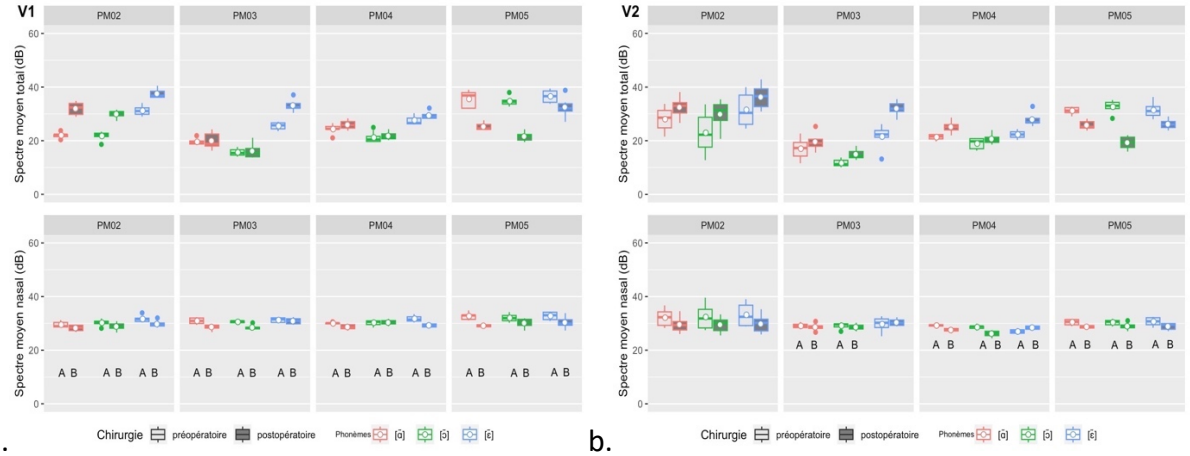
Pour PM02 pour [ɛ̃], les valeurs moyennes des spectres total et nasal seront très proches en préopératoire. Les deux spectres se superposent, puis en postopératoire, le

spectre moyen total étant plus haut et le spectre moyen nasal plus faible, une plus grande distance s'installera entre les deux spectres.

Pour PM03 et PM04 (sauf pour [ɛ̃]), le spectre moyen nasal reste supérieur.

Tableau 26 : Coupes spectrales pour les patients en préopératoire et postopératoire sur différentes voyelles nasales en position initiale (V1). Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.

PM02	PM03	PM04	PM05
[ɛ̃] dans [ɛ̃bɛ̃]	[ɔ̃] dans [ɔ̃bɔ̃]	[ɔ̃] dans [ɔ̃zɔ̃]	[ɔ̃] dans [ɔ̃bɔ̃]
En préopératoire :			
			
En postopératoire :			
			



a. b.

Figure 137 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=278. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche(A) et le postopératoire à droite (B)

En V2 (Figure 137.b.), la tendance est à une égalité ou une baisse du spectre moyen total et nasal par rapport à la V1 (Figure 137.a.). Les variations du spectre moyen nasal sont minimes (de 1 à 2 dB). Pour le spectre moyen total, les valeurs varient de 1 à 6 dB.

c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux

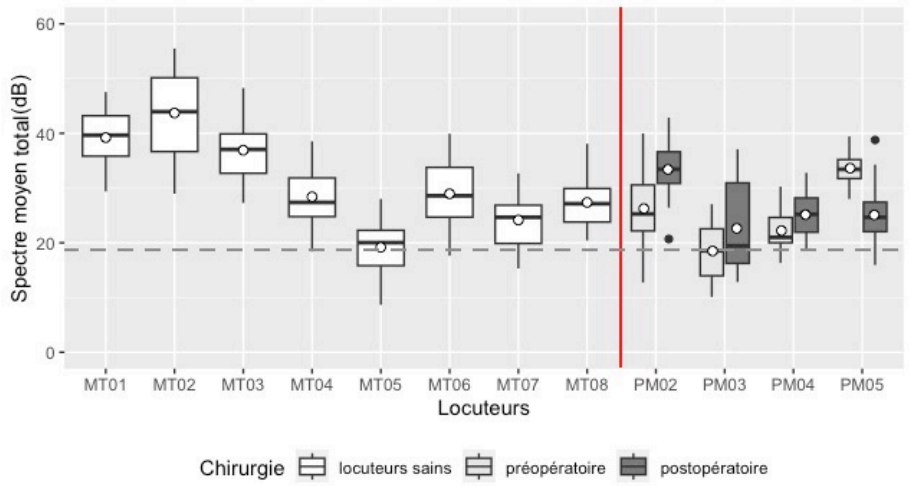


Figure 138 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554

PM03 en préopératoire a un spectre moyen total légèrement inférieur à tous les autres locuteurs sains et patients (Figure 138). Leurs moyennes de spectre moyen total sont comprises entre 19 dB (**σ** 5,845) pour MT05 et 44 dB (**σ** 7,926) pour MT02. PM03 en préopératoire a une moyenne de 18 dB (**σ** 5,124).

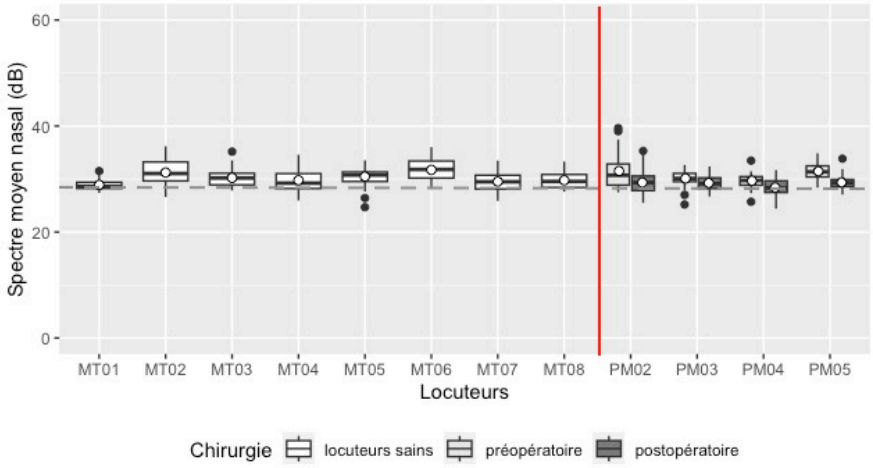


Figure 139 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues, n=554

PM04 en postopératoire a un spectre moyen nasal (28 dB (**σ** 1,595)) légèrement inférieur à la cohorte qui est en moyenne autour de 30 dB (**σ** 0,891) (Figure 139).

d. Schémas récapitulatifs

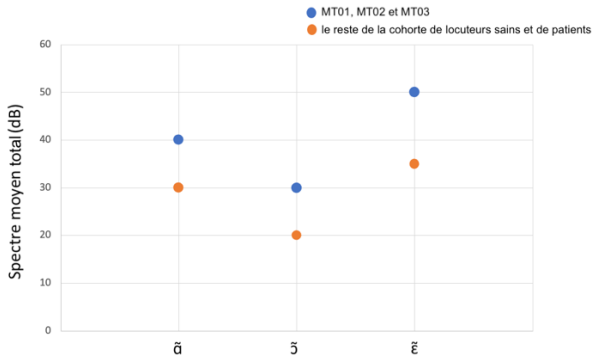


Figure 140 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen total pour les voyelles nasales

Ce schéma (Figure 140) reprend le patron observé à savoir un spectre moyen total élevé pour [ɛ̃] suivi de [ɑ̃] et de [ɔ̃]. Nous retrouvons nos deux groupes de locuteurs, ceux symbolisés par les points bleus où leur spectre moyen total est autour de 40 dB comprenant MT01, MT02 et MT03. Le reste de la population est représenté par les points orange et leur spectre moyen total est autour de 30 dB.

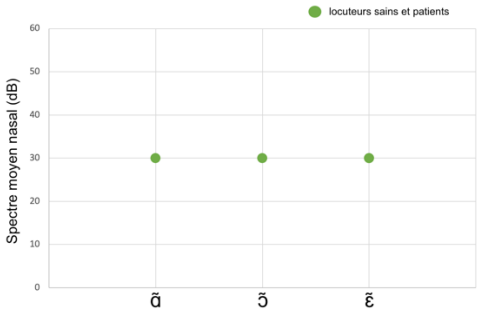


Figure 141 : Schéma récapitulatif du patron acoustique du spectre moyen nasal pour les voyelles nasales

Globalement, tous les locuteurs de la cohorte ont un spectre moyen nasal autour de 30 dB. Les valeurs de spectre sont similaires pour les trois voyelles nasales (Figure 141).

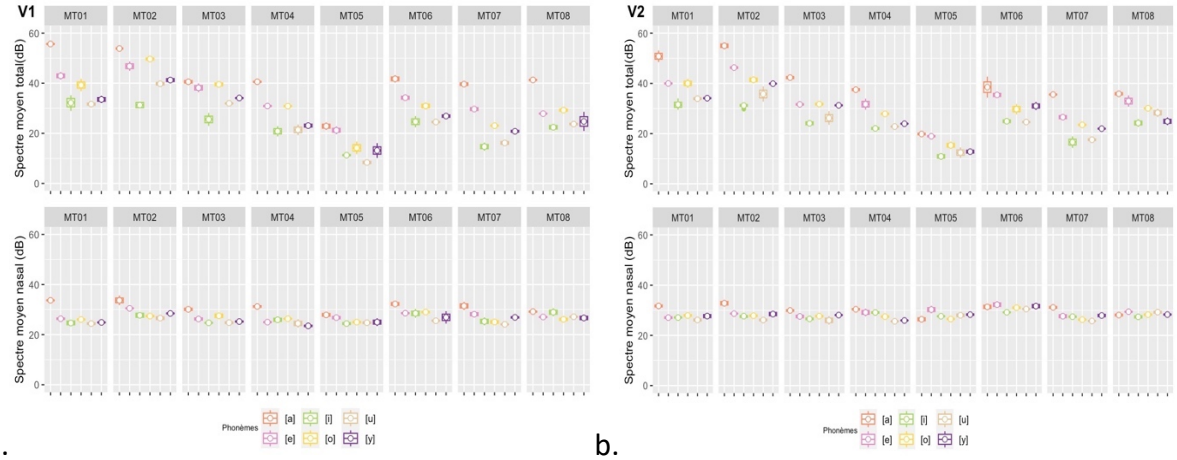
iv. Les voyelles orales en contexte nasal =VC_nV

Corpus utilisé :

C_n = /n, m/
V = /a, i, e, o, u, y/
n = 384

Les statistiques descriptives se trouvent en Annexe 23.

a. Pour les locuteurs sains



a. b.

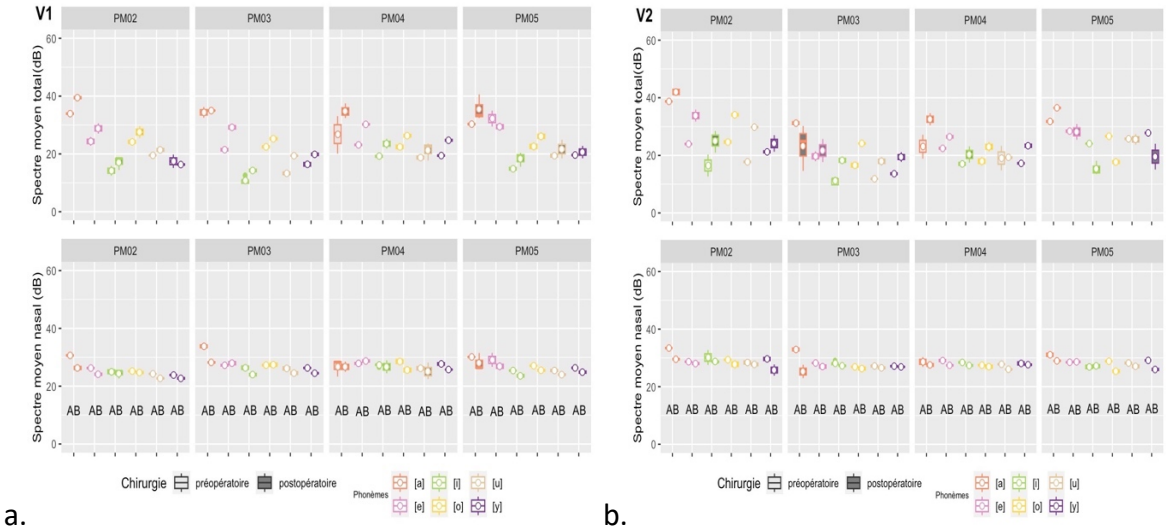
Figure 142 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales en contexte nasal chez les locuteurs sains en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=192

Le spectre moyen total en V2 (Figure 142.b.) montre une variabilité de résultats : pour trois locuteurs sains, le spectre moyen total est plus bas en V2 qu'en V1, pour trois autres locuteurs, il est identique et, pour deux autres, il est supérieur à la V1 (Figure 142.a). Ces fluctuations sont de 1 à 6 dB.

Pour six locuteurs sains, nous retrouvons un spectre moyen nasal plus élevé pour les voyelles placées après la consonne nasale. Cette augmentation est à tempérer, elle est de maximum 2 dB. Nous ne pouvons pas parler d'une réelle augmentation. Pour les deux autres locuteurs, soit le spectre moyen nasal reste identique à la V1, soit il baisse d'1 dB.

Le même schéma que pour les voyelles orales est visible avec [a], [e], [o] avec un spectre moyen supérieur et [i], [u], [y] avec des valeurs plus faibles.
Pour le spectre moyen nasal, [a] se détache pour certains locuteurs (MT01, MT02, MT07 en V1 et V2), les autres voyelles seront assez proches. Il n'y a pas beaucoup de différence entre ces voyelles contrairement au spectre moyen total.

b. Pour les patients



a. b.

Figure 143 : Spectre moyen total (en haut) et nasal (en bas) pour les voyelles orales en contexte nasal chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 (en a.) et en position finale V2 (en b.), n=192. Les valeurs étant petites, l'opposition préopératoire (gris clair) vs postopératoire (gris foncé) peut être difficile à observer, dans ces cas-là le temps préopératoire est toujours à gauche (B) et le postopératoire à droite (A)

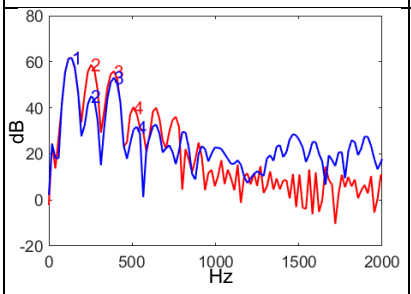
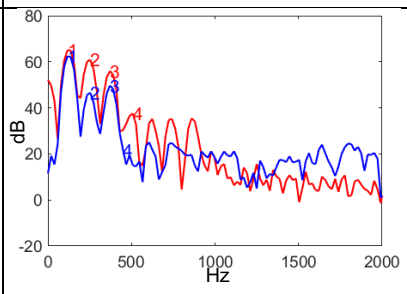
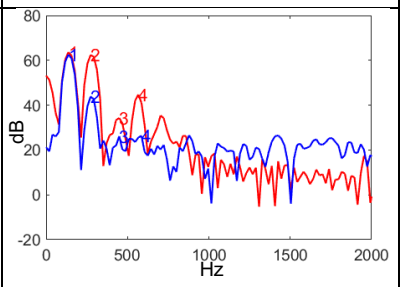
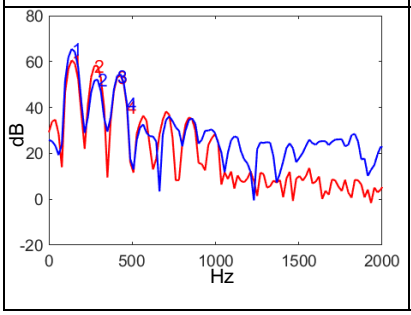
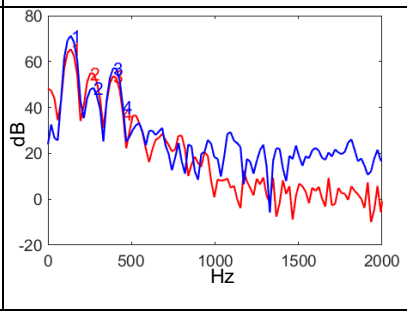
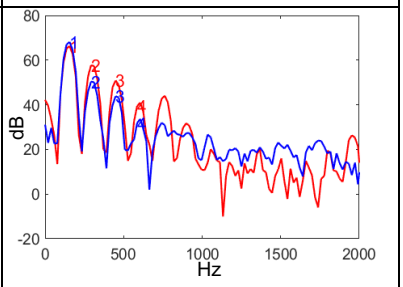
Le spectre moyen nasal présente peu de changements en postopératoire, il baisse de 1 à 2 dB, aussi bien en V1 (Figure 143.a.) qu'en V2 (Figure 143.b.).

Que ce soit pour les voyelles orales en contexte nasal ou en contexte oral, le spectre moyen total des patients baisse ou augmente dans les mêmes proportions : le spectre moyen total de PM02, PM03 et PM04 augmente de 3 à 8 dB, et pour PM05, il reste quasiment stable en V1 (augmentation de 2 dB) et baisse légèrement en V2 sur [i], [o] et [y]. Nous retrouvons le même patron acoustique que pour les locuteurs sains mais aussi pour les voyelles orales.

Les valeurs de spectre moyen total sont moins hautes que pour les locuteurs sains. Globalement, elles sont comprises entre 20 et 60 dB à l'exception du locuteur MT05. Pour les patients, elles se situent entre 0 et 40 dB. Cela implique que le spectre moyen nasal sera plus proche du spectre moyen total.

A l'image des locuteurs sains, la position V1 ou V2 n'a pas d'impact sur les valeurs de spectre moyen total et nasal. Que ce soit en préopératoire ou en postopératoire, le spectre moyen total des voyelles en V2 varient de 1 à 3 dB maximum et le spectre moyen nasal de 1 dB.

Tableau 27 : Coupes spectrales pour le patient PM04 en préopératoire et postopératoire ainsi que pour le locuteur sain MT04 sur [u] dans [umu] en position initiale (V1) et finale (V2). Les courbes bleues sont calculées sur le signal du capteur nasal et les courbes rouges sur le signal du microphone.

PM04 en préopératoire	PM04 en postopératoire	MT04
[u] dans [umu] (V1)	[u] dans [umu] (V1)	[u] dans [umu] (V1)
		
[u] dans [umu] (V2)	[u] dans [umu] (V2)	[u] dans [umu] (V2)
		

Les figures du Tableau 27 montrent des coupes spectrales du son [u] avant (V1) et après (V2) la consonne nasale [m] pour le patient PM04 et le témoin MT04.
Nous observons peu de différences pour le patient entre préopératoire et postopératoire en V1. Le spectre moyen nasal est légèrement plus élevé en V2 pour le patient et le locuteur sain.

c. Comparaison des spectres moyens total et nasal globaux

Ce graphique (Figure 144) est semblable à celui des voyelles orales. Les moyennes de spectre moyen total des patients (entre 17 et 29 dB) sont aussi comprises dans l'intervalle des locuteurs sains entre 15 et 41 dB.

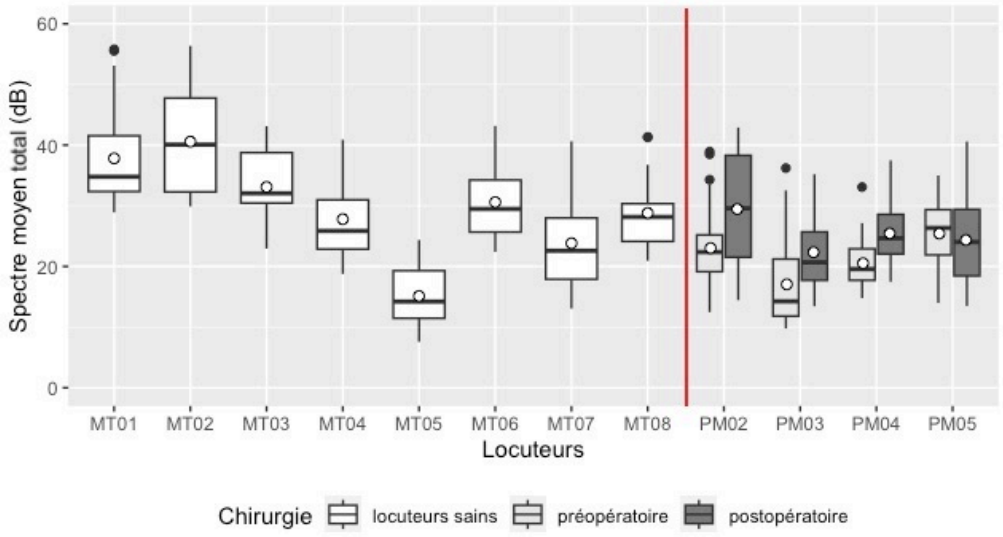


Figure 144 : Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384

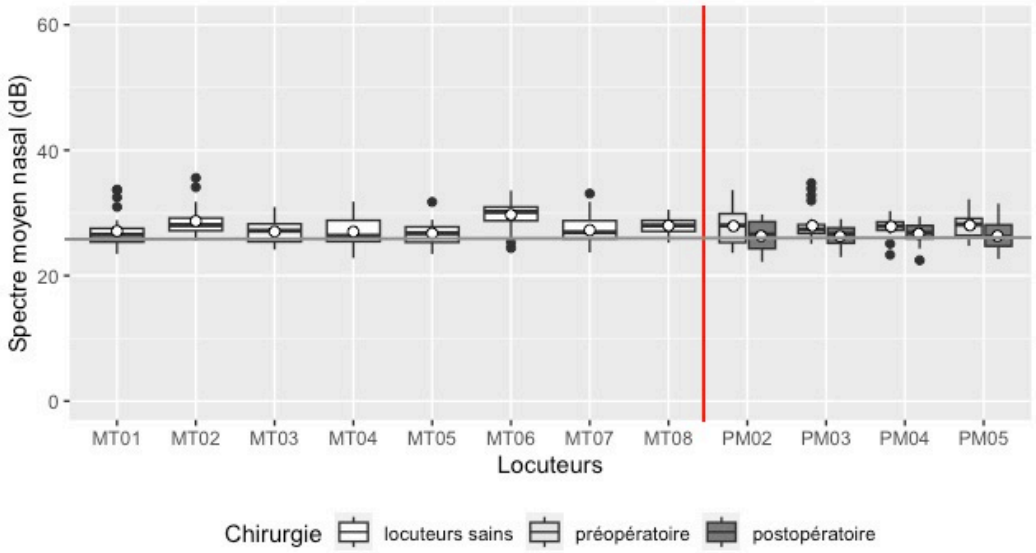


Figure 145 : Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues, n=384

En postopératoire, les moyennes de spectre moyen nasal en postopératoire de PM02, PM03 et PM05 sont légèrement inférieures (respectivement de 1, 2 et 1 dB) à celles des locuteurs sains qui sont comprises entre 27 et 30 dB. (Figure 145).

d. Schémas récapitulatifs

Les schémas sont identiques à ceux des voyelles orales en contexte oral (*cf*. p.172).

2. Discussion

- La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient-elle en préopératoire et postopératoire ?

La durée des voyelles nasales reste supérieure aux voyelles orales même en préopératoire.

En revanche, la durée des voyelles nasales baisse en postopératoire hormis pour un patient où elle reste stable. Nos résultats vont à l'encontre de l'étude de Giron et Mas (2016) qui montrait une augmentation de la durée. Pour elles, cette augmentation pouvait être le signe de plus de nasalité.

Nous pouvons émettre l'hypothèse que cette baisse de la durée des voyelles nasales est due au fait que les cavités sont désencombrées, le flux d'air nasal parvient plus rapidement dans les cavités, ce qui entraîne une baisse de la durée.

- Quels sont les changements acoustiques en postopératoire ? Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ? Différent-ils selon les contextes phonétiques ?

La majorité des patients augmentent leur spectre moyen total, seul PM05 le baisse. Ce constat reste inchangé quel que soit le contexte.

Le spectre moyen total de certains patients augmente dans les mêmes proportions à travers les différents contextes phonétiques comme PM02 et PM03. PM04 et PM05 présentent plus de variabilité : le spectre moyen total de PM05 connaît la plus grande augmentation parmi tous les patients (12 dB) pour les consonnes nasales, reste stable pour les voyelles orales en contexte nasal et en contexte oral, et augmente (8 dB) pour les voyelles nasales. Le spectre moyen total de PM04 augmente dans les mêmes proportions dans le contexte des voyelles orales en contexte nasal et oral (environ 5 dB), il augmente de manière plus légère (respectivement de 1 à 3 dB) pour les consonnes et voyelles nasales.

De manière globale, les spectres moyens réagissent aux différents contextes, même si bien souvent les différences sont de quelques décibels. Nous pouvons schématiser cela de cette façon :

Spectre moyen total :
Consonnes Nasales < Voyelles orales en contexte oral < Voyelles Orales en contexte nasal < Voyelles nasales

Spectre moyen nasal :
Voyelles orales en contexte oral < Voyelles orales en contexte nasal < Consonnes Nasales < Voyelles Nasales

Les patients et les locuteurs sains ont suivi ce même schéma. Ce schéma varie pour les patients en préopératoire, les voyelles orales ont un spectre moyen total inférieur aux consonnes nasales.
Concernant le spectre moyen nasal, il est le plus haut dans le contexte des voyelles nasales : une moyenne pour tous les locuteurs sains de 30 dB (**σ** 0,86), de 29 dB (**σ** 1,53) pour les consonnes nasales, de 28 dB (**σ** 0,97) pour les voyelles orales en contexte nasal et de 25 dB (**σ** 0,77) pour les voyelles orales en contexte oral.
Pour les patients en préopératoire, il est de 31 dB (**σ** 0,81) pour les voyelles nasales, de 29 dB (**σ** 0,66) pour les consonnes nasales, de 28 dB (**σ** 0,076) pour les voyelles orales en contexte nasal et de 26 dB (**σ** 0,5) pour les voyelles orales en contexte oral. En postopératoire, il est de 29 dB (**σ** 0,40) pour les voyelles nasales, de 28 dB (**σ** 0,82) pour les consonnes nasales, de 26 dB (**σ** 0,587) pour les voyelles orales en contexte nasal et de 24 dB (**σ** 0,5) pour les voyelles orales en contexte oral.

De manière globale, le spectre moyen total des voyelles orales (une moyenne globale de 29 dB (**σ** 8,14)) pour tous les locuteurs sains présente peu de changements par rapport à celui des voyelles orales en contexte nasal (28 dB (**σ** 7,37)). Le spectre moyen total des voyelles nasales (31 dB (**σ** 7,70)) est supérieur à celui des voyelles orales en contexte nasal. Le spectre moyen total global des consonnes nasales est de 23 dB (**σ** 6,23).
En préopératoire et postopératoire, le spectre moyen total est le plus élevé dans le contexte des voyelles nasales (25 dB (**σ** 5,61) et 26 dB (**σ** 4,07) respectivement), puis des voyelles orales en contexte nasal (21 dB (**σ** 3,10) et 25 dB (**σ** 2,91)). En préopératoire, le contexte des consonnes nasales (**σ** 6,71) est inférieur aux voyelles orales en contexte nasal puis ensuite les voyelles orales ont le spectre moyen total le plus faible (19 dB (**σ** 2)) alors qu'en postopératoire il s'agit d'abord des voyelles orales en contexte oral (24 dB (**σ** 2,23)) puis des consonnes nasales (21 dB (**σ** 2,12)).

- Comment la contribution acoustique des cavités orale et nasales évolue-t-elle en postopératoire ? Est-elle perturbée en préopératoire ?

Nous pouvons voir que les résultats avant ou après chirurgie sont comparables aux résultats des locuteurs sains. Leur comportement acoustique n'est pas différent de celui des locuteurs sains.

Cependant, nous observons des fluctuations après chirurgie notamment sur le spectre moyen total. Elles varient de 1 à 12 dB. Le spectre moyen total augmente pour 3 patients et baisse pour un patient. De manière générale, le spectre moyen nasal baisse légèrement en postopératoire. Une explication à l'augmentation du spectre moyen total pourrait se trouver dans le fait qu'en préopératoire, la résonance nasale étant perturbée par les polypes, un nasonnement constant est possible, les cavités étant encombrées comme dans le cadre d'un rhume, les patients auront tendance à « parler du nez ». En postopératoire, les cavités étant désencombrées, la contribution acoustique des cavités nasales diminue au profit de la cavité orale. Un rééquilibrage des contributions acoustiques entre cavités s'opère.

En d'autres termes, il y aurait plus d'amplitude orale car les patients ne nasonnent plus.

La baisse ou stabilité de PM05 est assez inattendue, ce patient a bénéficié d'une ethmoïdectomie qui est une chirurgie plus invasive que les autres patients. Nous pensions donc que les répercussions acoustiques seraient tout autant marquées. En postopératoire, ce patient baisse à la fois son spectre moyen total et nasal. Une hypothèse serait qu'en préopératoire ce patient a compensé son encombrement naso-sinusien en augmentant l'énergie acoustique émanant de la cavité buccale. L'amplitude de son spectre moyen total en préopératoire est plus haute que les autres patients. En postopératoire, cela n'est plus nécessaire ce qui expliquerait cette baisse.

III. Étude 3 : Étude volumétrique des cavités naso-sinusiennes

Résumé de l'étude :

L'objectif de cette étude est de mesurer l'impact au niveau volumétrique de la PNS en se demandant s'il y a une augmentation du volume d'air en postopératoire, et le cas échéant, si ce volume postopératoire est proche de celui d'un locuteur sain.

Nous avons extrait le volume d'air en mm^3 des cavités nasales, des sinus maxillaires et ethmoïdaux en préopératoire, en postopératoire ainsi que pour un locuteur sain.
Les résultats de l'étude volumétrique sont les suivants :

- Nous constatons une augmentation pour tous les patients.
- Le volume postopératoire des patients s'approche de celui du locuteur sain.

1. Résultats

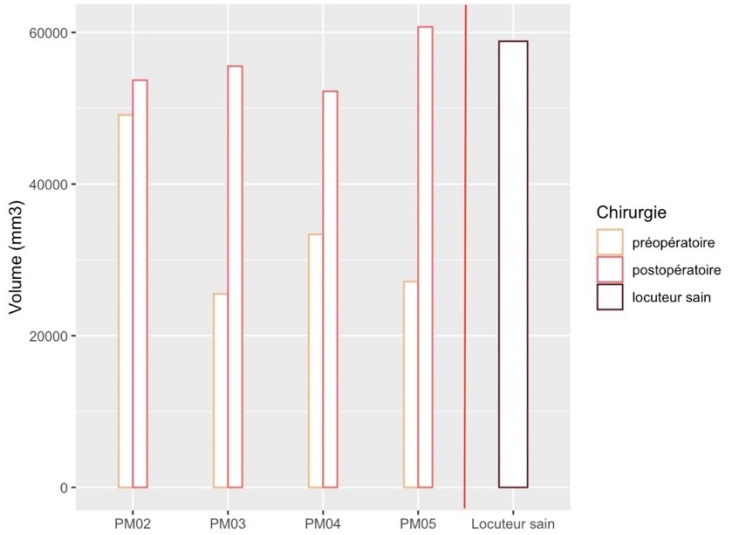


Figure 146 : Volumes d'air naso-sinusien préopératoire, postopératoire et pour le locuteur sain associé, les valeurs exactes sont présentes en Annexe 24.

Une différence de volume d'air entre le préopératoire et postopératoire est observable pour les patients PM03, PM04 et PM05 (Figure 146). PM02 garde presque le même volume d'air en postopératoire, les autres patients augmentent leur volume d'air en postopératoire. Selon le test-t apparié, il y a une différence significative entre les volumes en préopératoire et en postopératoire ($t(3)=-3.33$, $p=0.046$).

Tableau 28 : Pourcentages d'augmentation du volume naso-sinusien en postopératoire

Patients	Pourcentage d'augmentation
PM02	9%
PM03	118%
PM04	57%
PM05	124%

Nous avons calculé le pourcentage d'augmentation du volume en postopératoire pour chaque patient. Ce pourcentage reflète la variabilité d'augmentation de chaque patient (Tableau 28).

PM02 connait le plus petit changement en postopératoire (9%). Nous pouvons expliquer la stabilité de PM02 par son stade de PNS des plus faibles de la cohorte (stade II), ce qui fait qu'en préopératoire, il a plus d'air dans les cavités nasales que les autres patients. PM03 et PM05 vont plus que doubler leur volume en postopératoire (respectivement 118% et 124% d'augmentation).

PM05 a le plus grand volume en postopératoire, il subit une ethmoïdectomie ce qui explique cette différence.

PM04 augmente de moitié son volume en postopératoire.

2. Discussion

- Y a-t-il une augmentation du volume d'air des cavités naso-sinusiennes en postopératoire ?

Nous constatons une augmentation pour tous les patients. Pour la majorité des patients, cette augmentation est supérieure à 20 000 mm^3, pour un seul patient elle sera moins importante.

L'originalité de cette étude est d'avoir sélectionner les cavités nasales, les sinus maxillaires et ethmoïdaux. La comparaison avec d'autres études est plus difficile, bien souvent les études sur les volumes ciblent les sinus individuellement.

L'intérêt de cette dimension est de la mettre en regard avec les dimensions aérodynamique, acoustique et perceptive.

- Les volumes postopératoires des patients sont-ils proches du témoin ?

Le volume postopératoire des patients s'approche de celui du locuteur sain : les volumes de PM02, PM03 et PM04 restent en-dessous de celui du locuteur sain et celui de PM05 le dépasse légèrement. Comme énoncé ci-dessus, sa chirurgie est différente des autres, les ostia du sinus ethmoïdal ont été ouverts et les lamelles osseuses réséquées ce qui donne un volume plus important.

IV. Étude 4 : Auto- et Hétéro-perception de la voix des patients

Résumé de l'étude :

L'objectif de cette partie est de mieux appréhender l'impact de la pathologie et de la chirurgie sur la qualité de vie et la qualité vocale. Du côté de la qualité de vie, nous avons voulu savoir si la voix et la parole étaient un handicap pour le patient, s'il existait un lien entre les altérations de la voix et de la parole et les symptômes rhinosinusiens et enfin, si nous pouvions mettre en lumière de nouveaux éléments que les questionnaires de qualité de vie ne ciblaient pas à l'aide d'un nouveau questionnaire.
Du côté de la qualité vocale, nous avons voulu observer si elle était altérée avant et après chirurgie, et s'il était possible de rendre compte de l'altération de la résonance nasale chez les patients.
Nous avons quantifié la qualité de vie avec des questionnaires propres à la voix et à la parole : le VHI, le SHI, et un questionnaire conçu par nos soins ; et un questionnaire propre aux symptômes rhinosinusiens : le SNOT-22. Pour la qualité de voix, nous avons demandé une cotation GRB à un jury expert et naïf. En plus de cela, nous avons ajouté l'item « Enrhumé » pour rendre compte de la perturbation de la résonance nasale chez les patients.
Les résultats de l'étude perceptive sont les suivants :

- La voix ne représente pas un handicap pour le patient, la parole représente une gêne pour deux patients en préopératoire selon le barème de Rinkel *et al.* (2008). Les résultats aux VHI et SHI montrent que nous n'allons pas vers une baisse systématique des scores en postopératoire, il peut y avoir de légères augmentations. Dans l'ensemble, ces scores semblent être liés aux stades de PNS du patient.
- Pour certains patients, les altérations sont bien distinctes entre le plan de la parole / voix et de la sphère rhinosinusienne et pour d'autres, elles vont de concert.
- Le questionnaire que nous avons conçu s'est plutôt montré pertinent, il permet d'ajouter des éléments de réponse à l'impact de pathologie et de la chirurgie sur la parole, la voix et la nasalité.
- Nos résultats aux items Grade, Raucité et Souffle nous montrent que les voix ne sont que peu altérées, globalement les scores se situent entre 0 et 1.
- Nous pouvons considérer que les voix en préopératoire sont considérées comme plus enrhumées qu'en postopératoire.
- Ni le jury ni le stade de PNS ne semblent influencer la cotation de l'item Enrhumé contrairement au contexte vocalique.

1. Auto-perception

A. Résultats

Le détail des scores VHI et SHI par catégorie se trouvent en Annexe 25.

i. VHI

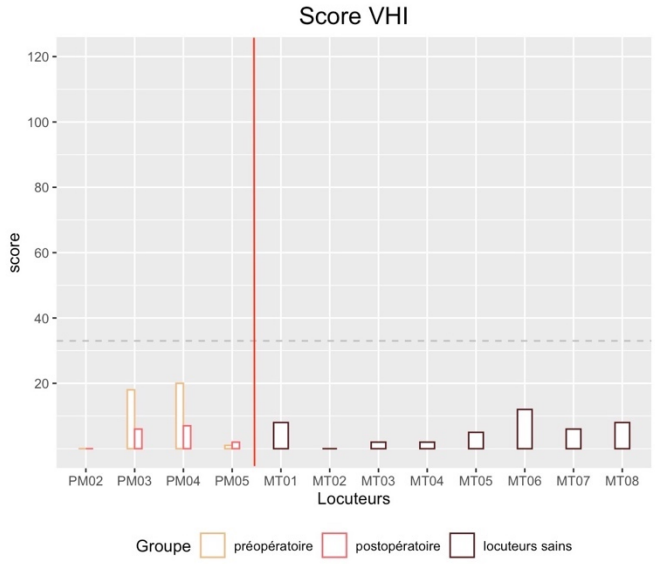


Figure 147 : Score VHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains, la ligne en pointillé gris représente le seuil à partir duquel il y a une altération légère de la voix

Une diversité de résultats est présente chez les patients : le patient PM02 a un score nul que ce soit en préopératoire ou en postopératoire, deux patients (PM03 et PM04) ont une baisse de leur score et le patient PM05 une légère augmentation en postopératoire (Figure 147).

Nous obtenons en préopératoire un score moyen de 9,75 sur 120 puis de 3,75 en postopératoire. Nous pouvons considérer qu'il n'y a pas d'altération de la qualité de vie, c'est à partir d'un score de 33 points que l'on peut parler d'une altération légère (Jacobson *et al.*, 1997). Les plaintes vocales se situaient plutôt au niveau physique (Tableau 29).

Tableau 29 : Scores moyens et écart-type au questionnaire VHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains

	Score VHI moyen /120	Score VHI Physique moyen	Score VHI Fonctionnel moyen	Score VHI Émotionnel moyen
Préopératoire	9,75 (**σ** 9,28)	4,25 (**σ** 4,91)	2,75 (**σ** 2,68)	2,75 (**σ** 3,26)
Postopératoire	3,75 (**σ** 2,86)	2 (**σ** 1,58)	1,25 (**σ** 0,83)	0,5 (**σ** 0,86)
Locuteurs sains	5,37 (**σ** 3,70)	1,63 (**σ** 2)	2,37 (**σ** 2)	1,37 (**σ** 1,40)

ii. SHI

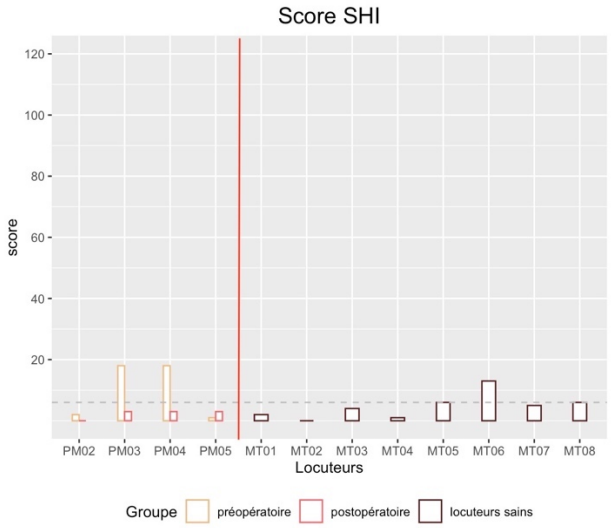


Figure 148 : Score SHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains, la ligne en pointillé gris représente le seuil à partir duquel il y a une altération de la parole dans la vie quotidienne

Un score au-dessus de 6 est indicateur d'altérations de la parole dans la vie quotidienne (Rinkel *et al.*, 2008). Pour les patients, c'est le cas en préopératoire de PM03 et PM04 (Figure 148).

Tableau 30 : Scores moyens et écart-type au questionnaire SHI en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains

	Score SHI moyen /120	Score SHI Psycho-Social moyen	Score SHI Parole moyen
Préopératoire	9,75 (**σ** 8,26)	1,75 (**σ** 1,79)	7,5 (**σ** 6,10)
Postopératoire	2,25 (**σ** 1,30)	0,25 (**σ** 0,43)	2 (**σ** 1,22)
Locuteurs sains	4,62 (**σ** 3,80)	0,62 (**σ** 1,11)	3,87 (**σ** 3,22)

La manière et le degré dont la voix est altérée chez nos patients se retrouvent dans la parole : PM02 présente aussi un score nul en postopératoire au SHI, mais nous observons une légère altération en préopératoire objectivée grâce au SHI. PM05 augmente légèrement son score en postopératoire tout comme au VHI ; et PM03 et PM04 ont le score préopératoire le plus haut et la baisse postopératoire la plus importante aux deux questionnaires.
Les plaintes se situent plutôt au niveau de la parole qu'au niveau psycho-social (Tableau 30).

iii. SNOT-22



Figure 149 : Scores au questionnaire SNOT-22 en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains

Tableau 31 : Scores moyens et écart-type au questionnaire SNOT-22 en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains

	Score moyen SNOT-22 /110
Préopératoire	45,25 (**σ** 20,24)
Postopératoire	20,25 (**σ** 13,59)
Locuteurs sains	6,12 (**σ** 7,35)

D'après Hopkins *et al.* (2009), les patients avec polypes ont un score moyen de 40,8 en préopératoire puis de 23,1 en postopératoire avec en moyenne un changement de 17,7 points en postopératoire. De même que dans son étude, le groupe contrôle a un score moyen de 9,3. Nos valeurs moyennes (Tableau 31) sont proches de cette étude.

Dans notre cas, seulement les patients PM03 et PM05 ont un score supérieur à 40 (Figure 149), les patients PM02 et PM04 éprouveraient moins de gênes liées à la PNS dans leur vie quotidienne.

Les changements en postopératoire sont aux alentours de 17 points pour tous nos patients hormis PM02. Concernant la Différence Minimale Cliniquement Significative (DMCS) qui doit être de 8,9 points après chirurgie, tous nos patients ont un changement postopératoire supérieur à ce score. La chirurgie apporte donc une réelle amélioration à la qualité de vie du patient.

iv. Questionnaire nasalité

a. Question relative à la difficulté de lecture du corpus

Le corpus a-t-il été difficile à lire ?

Tableau 32 : Scores des patients à la question « Le corpus a-t-il été difficile à lire ? » en préopératoire et postopératoire (0= pas difficile, 3=très difficile)

	Préopératoire	Postopératoire
PM02	0	0
PM03	0	0
PM04	1	0
PM05	1	1

Tableau 33 : Scores des locuteurs sains à la question « Le corpus a-t-il été difficile à lire ? » (0= pas difficile, 3=très difficile)

	Le corpus a-t-il été difficile à lire ?
MT01	0
MT02	1
MT03	0
MT04	0
MT05	0
MT06	1
MT07	0
MT08	0

Le Tableau 32 indique que deux patients sur quatre n'ont pas éprouvé de difficulté à lire le corpus (score de 0). Pour le patient PM04, il a éprouvé un peu de difficulté (score de 1), seulement en préopératoire. Pour le patient PM05, il nous a fait part d'un peu de difficulté en préopératoire et en postopératoire.
Concernant la cohorte des huit locuteurs sains, deux ont éprouvé un peu de difficulté à la lecture du corpus (Tableau 33).

Le degré de difficulté attesté est léger nous pouvons le mettre sur le compte du corpus qui, constitué de logatomes, n'est pas des plus naturels à la lecture.
PM04 est le patient avec l'encombrement nasal le plus important de la cohorte, cela l'a peut-être gêné en préopératoire pour la lecture du corpus (Tableau 14).

b. Question relative aux adaptations mises en place pour parler

Quelles adaptations pensez-vous mettre en place pour parler ?

Tableau 34 : Réponses des patients en préopératoire et postopératoire à la question « Quelles adaptations pensez-vous mettre en place pour parler ? »

	Préopératoire	Postopératoire
PM02		
PM03		
PM04	« plus se concentrer sur ses paroles et sa voix »	« moins essouflé, les gens me comprennent mieux »
PM05	« faire plus de pauses »	

Les locuteurs sains n'ont rien répondu à cette question.

Les deux locuteurs estimant avoir des difficultés à lire le corpus sont ceux mettant en place des adaptations pour parler (Tableau 34).

PM05 dit « faire plus de pauses », nous pouvons penser que le comblement naso-sinusien affecte sa respiration. Il ne rapporte pas d'adaptations en postopératoire contrairement à la difficulté toujours présente au niveau de la lecture, cela peut être donc dû au caractère peu naturel du corpus.

Pour PM04, il met aussi en place des adaptations en préopératoire, il dit devoir « plus se concentrer sur ses paroles et sa voix », puis cela s'améliore en postopératoire où il rapporte être « moins essoufflé, les gens me comprennent mieux ». Même si ses réponses postopératoires ne sont pas des adaptations mais plutôt des changements au niveau de la parole, nous pouvons voir qu'il semblait, tout comme PM05, aussi être affecté au niveau respiratoire en préopératoire étant donné qu'il nous dit être moins essoufflé en postopératoire. Ce même patient nous a fait part que son entourage trouvait sa voix changée en postopératoire, qu'il ne parlait plus du nez.

En parallèle, nous retrouvons cette dynamique d'amélioration dans la question concernant la difficulté à lire le corpus.

c. Question relative à l'hyponasalité et l'hypernasalité

Tableau 35 : Réponses aux questions relatives à l'hypo- et l'hypernasalité pour les locuteurs sains et patients

Hyponasalité :
Quand je parle cela sonne comme si j'avais le nez bouché.

	Préopératoire	Postopératoire
PM02	FAUX	FAUX
PM03	VRAI	VRAI
PM04	VRAI	FAUX
PM05	FAUX	VRAI

Hypernasalité :
Quand je parle il me semble que les sons viennent de mon nez à la place de ma bouche.

	Préopératoire	Postopératoire
PM02	FAUX	FAUX
PM03	FAUX	FAUX
PM04	VRAI	FAUX
PM05	VRAI	VRAI

	Quand je parle cela sonne comme si j'avais le nez bouché.	*Quand je parle il me semble que les sons viennent de mon nez à la place de ma bouche.*
MT01	FAUX	FAUX
MT02	FAUX	FAUX
MT03	FAUX	FAUX
MT04	FAUX	FAUX
MT05	FAUX	FAUX
MT06	FAUX	FAUX
MT07	FAUX	FAUX
MT08	FAUX	FAUX

Concernant l'hyponasalité, nous nous attendions à une réponse vraie en préopératoire, puis fausse en postopératoire, en raison successivement de l'encombrement préopératoire qui donne une impression de nez bouché en parole, puis du désencombrement naso-sinusien postopératoire (Tableau 35). Cela fonctionne pour le patient PM04. Le patient PM02 n'éprouve aucun encombrement que ce soit avant ou après chirurgie, contrairement à PM03. PM05 nous fait part d'une sensation de nez bouché en postopératoire.

Pour PM02, le fait qu'il n'ait pas la sensation de nez bouché quand il parle, peut s'expliquer par son stade de PNS de II qui est assez léger. Le fait, pour PM03, d'avoir toujours cette sensation en postopératoire, trouve écho dans son inflammation postopératoire qui peut donc perturber sa résonance nasale, comme cela l'était en préopératoire. Le résultat de PM05 est difficilement explicable étant donné qu'il n'a pas eu d'inflammations à nouveau.

Concernant l'hypernasalité, elle pourrait être présente en postopératoire due au désencombrement des cavités qui pourrait entrainer une résonance nasale excessive. En effet, il faut un certain temps pour que la muqueuse naso-sinusienne guérisse et retrouve sa fonction d'amortisseur. Le résultat attendu est une réponse fausse en préopératoire puis vraie en postopératoire. Cela n'est le cas pour aucun de nos patients. PM02 et PM03 répondent faux à la question en préopératoire et postopératoire. PM04 évoque une sensation d'hypernasalité en préopératoire mais pas en postopératoire, contrairement à PM05 qui répond vrai en préopératoire et postopératoire.

Pour résumer, PM02 ne se retrouve ni dans l'hyponasalité ni dans l'hypernasalité que ce soit avant ou après chirurgie. PM03 évoque une hyponasalité avant et après chirurgie mais pas d'hypernasalité. PM04 fait part d'une hyponasalité et d'une hypernasalité en préopératoire et PM05 d'une hyponasalité postopératoire et d'une hypernasalité préopératoire et postopératoire.

Les locuteurs sains répondent faux aux deux questions.

d. Comparaison de la voix avant et après chirurgie

Comparez votre voix actuelle à votre voix avant la chirurgie. Dans l'ensemble maintenant votre voix est :

Tableau 36 : Réponses des patients en postopératoire sur la comparaison de leur voix actuelle à leur voix avant la chirurgie

	Postopératoire
PM02	inchangée
PM03	meilleure
PM04	meilleure
PM05	meilleure

La voix en postopératoire est meilleure pour trois patients sur quatre, elle est inchangée pour le quatrième patient. Aucun patient ne perçoit sa voix comme pire après l'opération (Tableau 36).
Le seul patient pour lequel sa voix est inchangée est PM02 qui a le stade de PNS le plus faible de la cohorte, son faible encombrement naso-sinusien ne perturbe donc pas sa voix. Cela se reflète dans toutes ses réponses aux questionnaires de qualité de vie (VHI et SHI) ainsi qu'à ce questionnaire, des réponses nulles sont présentes.

B. Discussion

- Quel est le ressenti du patient par rapport à sa voix et sa parole avant et après chirurgie ? Représentent-elles un handicap ? Le cas échéant, s'améliorent-elles en postopératoire ? Ces scores sont-ils liés aux stades de PNS ?

La voix ne représente pas un handicap pour le patient selon le barème de Jacobson, il n'y a pas de gêne majeure. La parole représente une gêne pour deux patients.

Les résultats aux VHI et SHI montrent que nous n'allons pas vers une baisse systématique des scores en postopératoire. Pour le VHI, le score de PM03 et PM04 baisse, celui de PM05 augmente, et PM02 a un score nul en préopératoire et postopératoire.

Nos résultats coïncident avec l'hétérogénéité de résultats observable dans la littérature.

Pour le SHI, le score baisse pour PM02, PM03 et PM04 et augmente pour PM05.

Bien que les scores VHI et SHI restent minimes, nous pouvons émettre l'hypothèse que le score nul au VHI puis l'un des plus faibles au SHI en préopératoire pour PM02 est lié à son stade de PNS des plus légers de la cohorte (stade II). Les patients PM03 (stade III droite et II gauche) et PM04 (stade III droite et IV gauche) présentaient des stades de PNS un peu plus élevés ce qui pourrait expliquer des scores préopératoires des plus importants. En revanche, pour PM05 qui avait un stade de PNS similaire à ces derniers, l'atteinte apparaît plus faible en préopératoire, puis remonte légèrement en postopératoire sans que nous puissions trouver d'explications à cela (absence de complications postopératoires ou de plaintes du patient).

Parallèlement à ces résultats, nous pouvons voir une similitude en termes de scores dans la manière de répondre aux questionnaires VHI et SHI.

- Existe-t-il une relation entre les symptômes rhinosinusiens et les répercussions sur la voix et la parole en préopératoire ?

Nous pouvons voir que PM04 qui a le stade de PNS le plus élevé, et qui avait les plus hauts scores aux questionnaires propres à la voix et à la parole, a un score le plus faible au questionnaire concernant les symptômes rhinosinusiens (SNOT-22) en préopératoire. A l'inverse, PM05, qui avait jusque-là des scores bas aux VHI et SHI, présente un des scores au SNOT-22 les plus hauts en préopératoire. C'est aussi le cas pour PM02. PM03 quant à lui est assez stable dans sa manière de répondre aux questionnaires VHI, SHI et SNOT-22 : il a des répercussions de sa voix et sa parole sur son quotidien ainsi qu'une gêne au niveau rhinosinusien.

Nous constatons qu'il y a des profils distincts dans les liens entre altérations de la voix et de la parole et altérations rhinosinusiennes. Pour certains patients, les altérations sont bien

distinctes entre le plan de la parole / voix et de la sphère rhinosinusienne et pour d'autres elles vont de concert.

- Est-ce que le questionnaire Nasalité-Parole permet de rendre compte d'éléments dont le SHI et le VHI feraient abstraction ? Permet-il d'ajouter des détails, de rendre compte d'éléments propres à la nasalité qui pourraient être perturbés ?

Questions sur la difficulté à lire le corpus et les adaptations :

Ces questions n'ont jamais été formulées dans de précédentes études, nous n'avons donc pas de base de comparaison.

Néanmoins, la question sur la difficulté à lire le corpus a permis de révéler des désagréments chez les patients. Toutefois, nous ne pouvons pas savoir si cela est dû à une difficulté linguistique liée au corpus ou si cela relève de la dynamique articulatoire. Pour la plupart des patients, aucune difficulté n'est à signaler en postopératoire, et pour le patient PM05 nous ne savons pas à quel niveau cette difficulté se situe.

Quant à la question relative aux adaptations, *a posteriori* il semblerait qu'il serait pertinent d'ajouter une précision. En effet, cette question pourrait être interprétée comme portant sur les adaptations mises en place pour lire le corpus alors que nous voulons cibler les adaptations de manière générale, dans leur vie quotidienne. Elle peut être intéressante dans une approche qualitative.

Questions en lien avec l'hypo- et l'hypernasalité :

Même si certains résultats de patients sont assez curieux ou contraires à nos attentes, nous pouvons noter que la résonance nasale est quelque peu perturbée par la pathologie et la chirurgie. Cela est renforcé par le fait que notre cohorte de locuteurs sains n'éprouve aucune de ces sensations d'hypo- et d'hypernasalité. Il semble aussi qu'il est plus difficile pour les patients que pour les locuteurs sains de percevoir ces deux comportements, en raison de leur pathologie, puis de la chirurgie qui peut entraîner une perception différente, perturbée, plus difficile de la résonance nasale.

Nos résultats aux questions d'hypo- et hypernasalité sont un peu différents de l'étude de Behrman *et al.* (2002). En effet, dans son étude aucun patient ne percevait sa voix comme hypernasale que ce soit avant ou après chirurgie, dans notre cas cela concerne deux patients sur quatre. Une petite partie de la cohorte de Berhman (5 sur 44) percevait leur voix comme hyponasale avant chirurgie et cela persistait après chirurgie pour un patient.

Question sur la comparaison de la voix du patient :

Nos résultats à la question de la comparaison de la voix avant et après chirurgie sont en accord avec l'étude de Behrman *et al.* (2002) ; tout comme cette dernière, aucun des patients ne perçoit sa voix comme pire après chirurgie. Nous avons une part un peu plus importante de patients considérant leur voix comme meilleure (3/4, n=4) : pour lui cela ne concernait qu'un cinquième de ses patients. Il est à relever que toute sa cohorte (n=44) était opérée pour des septoplasties et des turbinectomies et six d'entre eux avaient des polypectomies en plus, sa population est donc plus hétérogène que la nôtre ce qui pourrait expliquer cette différence.

2. Hétéro-perception

A. Résultats

i. Accord inter- et intra-juges

L'accord inter-juges est léger pour tous les items et pour tous les juges sauf pour l'item Grade pour les auditeurs naïfs où il n'y a pas d'accord. L'accord inter-juges pour l'item Enrhumé est légèrement plus haut que les autres items. Nous pouvons émettre l'hypothèse notamment pour les auditeurs naïfs, que l'item est plus facile à coter que les autres items : la perception du caractère enrhumé de la voix est facilement reconnaissable au quotidien. Un effet de tâche peut aussi être possible : l'item Enrhumé est présenté d'une autre manière que les autres (Figure 85). En effet, cet item est sous forme de questions contrairement aux autres items.
Pour les items de Grade, Raucité et Souffle, nous avons à faire ici à des voix peu impactées, il semblerait qu'il est plus difficile de coter des voix se rapprochant de la voix de locuteurs sains. L'accord inter-juges sera donc plus faible.

Tableau 37 : Accord inter-juges

Items	Kappa-Fleiss	
	Auditeurs experts (n=7)	Auditeurs naïfs (n=5)
Grade	0,0264	-0,013
Raucité	0,0554	0,0878
Souffle	0, 0421	0,024
Enrhumé	0,196	0,136

Pour l'accord intra-juges, il a été calculé de deux manières (*cf.* Chapitre IV : Méthodologie, II.2.C.ii, p. 133), la première consistait à comparer les scores attribués à nos quatre items entre la première écoute et l'écoute à 15 jours.

Tableau 38 : Consistance des évaluations GRBAS réalisées par les juges des 10 stimuli en test- retest à 15 jours, la lettre J correspond au jury expert (n=7) et la lettre T au jury naïf (n=5)

Juge	Grade	Raucité	Souffle	**Enrhumé**	**Total**
J1	7/10	9/10	7/10	3/10	26/40
J2	5/10	6/10	8/10	8/10	27/40
J3	10/10	9/10	10/10	3/10	32/40
J4	8/10	7/10	9/10	8/10	32/40
J5	9/10	7/10	10/10	7/10	33/40
J6	6/10	6/10	7/10	3/10	22/40
J7	8/10	5/10	7/10	5/10	25/40
Somme	53/70	49/70	58/70	37/70	
Moyenne	7,57	7	8,28	5,28	
T1	6/10	5/10	6/10	4/10	21/40
T2	4/10	0/10	6/10	4/10	14/40
T3	6/10	4/10	6/10	4/10	20/40
T4	1/10	4/10	3/10	4/10	12/40
T5	3/10	4/10	4/10	5/10	16/40
Somme	20/50	17/50	25/50	21/50	
Moyenne	4	3,4	5	4,2	

Chaque item est noté sur dix points en raison des dix phrases retestées à 15 jours. Ce tableau est à interpréter de cette manière : pour le jury expert 1, par exemple, sept fois sur dix, il a coté l'item Grade de la même manière (avec le même score) que lors de la première cotation.

Pour le jury expert, la consistance moyenne est de 28,14 (**σ** 3,9) et de 16,6 (**σ** 3,44) pour le jury naïf. Ce dernier est moins consistant que le jury expert. L'Item Enrhumé est le moins consistant chez les experts tandis que chez les naïfs il s'agit de l'item Raucité.

Cette manière de rendre compte de la fiabilité intra-juges ne permet pas d'établir une granularité quant à la consistance intra-juges, nous n'avons pas affaire à une échelle standardisée et nous n'avons pas de point de comparaison. La deuxième manière consistait à calculer le coefficient de Kappa-Cohen.

Tableau 39 : Accord intra-juges en condition test-retest

	Grade	Raucité	Souffle	Enrhumé	Moyenne
J1	0,444	0,796	0	-0,029	0,302
J2	0	0,09	0,6	0,667	0,339
J3	1	**0**	1	0,066	0,516
J4	0,6	0,348	**0**	0,355	0,325
J5	**0**	0,444	1	0,444	0,472
J6	0,13	0,231	0,333	-0,129	0,141
J7	0,636	0	0,434	-0,25	0,205
Moyenne	0,401	0,272	0,481	0,16	0,328
T1	0,245	0,118	0,322	0,047	0,183
T2	-0,316	-0,509	0	0,062	-0,19
T3	0,365	**0**	0,437	0,032	0,208
T4	-0,5	0,167	-0,167	0,2	-0,075
T5	0	0,076	-0,176	0,18	0,020
Moyenne	-0,041	- 0,029	0,083	0,104	0,029

Pour les auditeurs naïfs, soit l'accord intra-juges est inférieur à 0 ce qui signifie qu'il n'y a pas d'accord entre le premier et le second test ou soit l'accord est léger. Pour les auditeurs experts, leurs moyennes de coefficient sont plus élevées : allant de léger à modéré (Tableau 39).
Les auditeurs experts sont plus consistants dans leurs réponses que les auditeurs naïfs.
L'item Enrhumé, qui est le plus faible pour les auditeurs experts dans notre première méthode de calcul de l'accord intra-juges, l'est aussi ici. Nous observons la même chose pour les auditeurs naïfs. Ces valeurs suivent la tendance de notre première méthode d'évaluation de la consistance (Tableau 38).

ii. Cotation GRB et Enrhumé

Les statistiques descriptives ainsi que le test de Wilcoxon se trouvent en Annexe 26.
Dans les graphiques suivants, les moyennes des résultats sont symbolisées par des ronds au sein du boxplot.

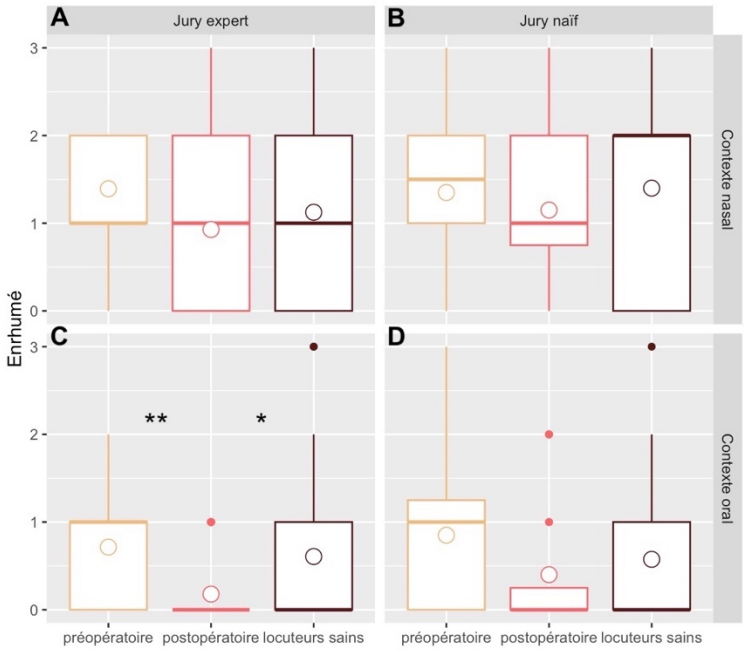


Figure 150 : Scores de l'item Enrhumé pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=384

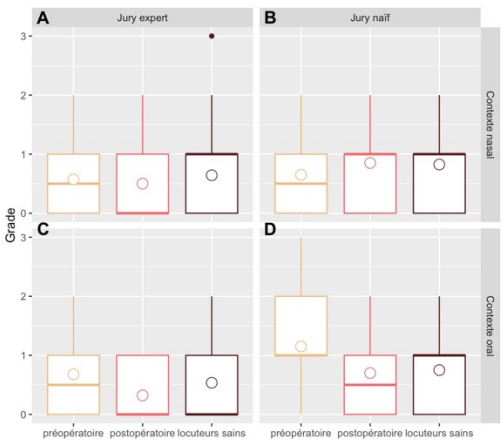
Sur la Figure 150, nous pouvons tout d'abord noter une baisse du score moyen de l'item Enrhumé en postopératoire quel que soit le jury ou le contexte.

L'item Enrhumé montre des différences selon le contexte : en contexte nasal, la moyenne en préopératoire, postopératoire et pour les locuteurs sains est plus élevée qu'en contexte oral. Nous retrouvons d'ailleurs des différences significatives pour le contexte oral entre préopératoire et postopératoire ($p<0,005$) et entre postopératoire et locuteurs sains ($p<0,03$) mais seulement pour le jury expert.

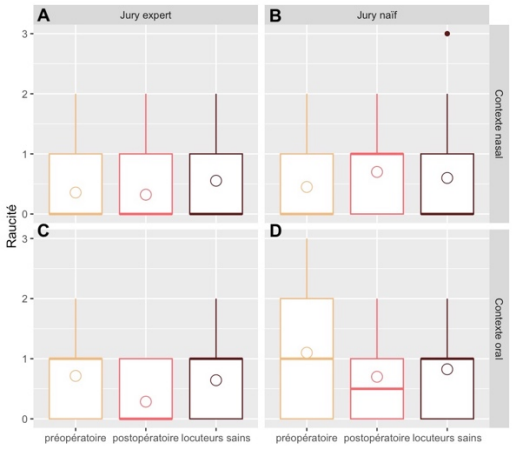
Les résultats pour les enregistrements des locuteurs sains sont toutefois assez hauts, ils sont plus proches du score moyen préopératoire que du score postopératoire de manière générale.

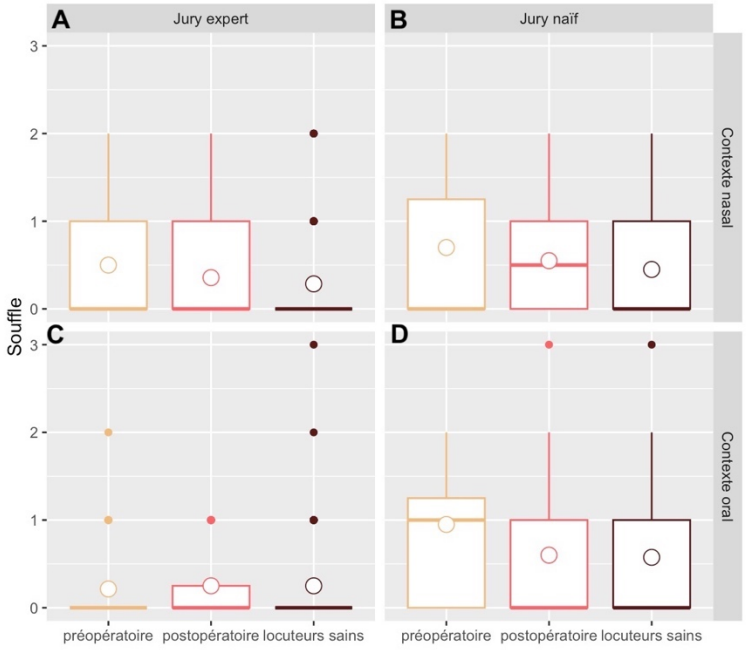
Intéressons-nous maintenant aux autres items cotés dans ce test de perception :

a.



b.





c.

Figure 151 : Scores de l'item Grade (en a.), Raucité (en b.) et Souffle (en c.) pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=1152

Les scores moyens ne vont pas tous dans le sens d'une baisse en postopératoire, cependant, les augmentations ne se cantonnent qu'au contexte nasal dans le cadre des juges naïfs, pour les items Grade et Raucité, et au contexte oral, pour les juges experts pour l'item Souffle.

Nous pouvons voir que la distribution des scores aux items Grade et Raucité est assez similaire pour les patients et les locuteurs sains dans tous les contextes. En moyenne, les scores oscillent entre 0 et 1. Il y a peu de différences entre contexte oral et nasal contrairement à l'item Enrhumé.

La distribution des scores pour l'item Souffle apparaît différente des items Grade et Raucité notamment pour le jury expert. En contexte oral, les valeurs sont beaucoup plus basses qu'en contexte nasal. La présence de phonèmes nasals caractéristique du contexte nasal pourrait renforcer une impression de souffle.

Pour ces trois items, aucune différence significative entre préopératoire et postopératoire n'a été relevée.

A présent nous souhaiterions regarder plus précisément l'item Enrhumé par patient.

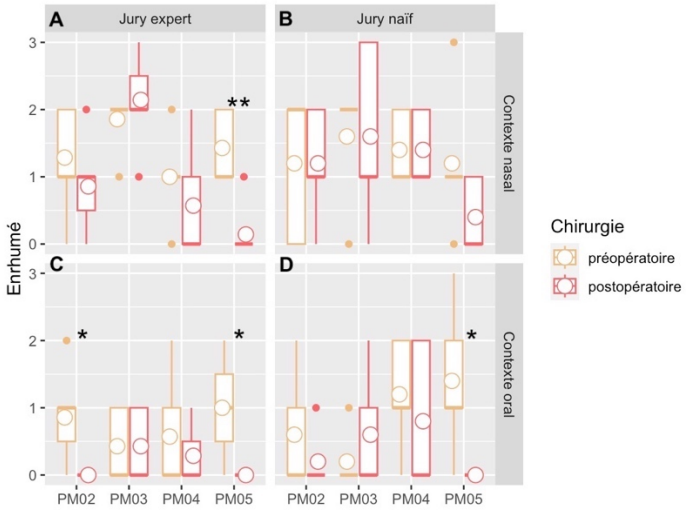


Figure 152 : Scores de l'item Enrhumé par patient pour le jury expert (colonne de gauche) en contexte nasal (A) et oral (C) et le jury naïf (colonne de droite) en contexte nasal (B) et oral (D), n=384

Ce que nous avions observé de manière globale, se retrouve de manière individuelle, à savoir un score moyen plus élevé en contexte nasal par rapport au contexte oral que ce soit en préopératoire ou postopératoire. La cotation de l'item Enrhumé en contexte nasal par le jury naïf s'avère être stable entre préopératoire et postopératoire sauf pour le patient PM05 ; pour le jury expert, une dynamique de baisse de ce score en postopératoire est visible hormis pour le patient PM03 où le score augmente. Il apparaît plus difficile pour le jury naïf de percevoir un changement en postopératoire pour cet item en contexte nasal.

PM05 est le patient qui a la cotation la moins élevée en postopératoire. Ses baisses sont d'ailleurs significatives pour le jury expert dans les deux contextes (oral : $p<0,0108$ et nasal : $p<0,00259$) tandis que pour le jury naïf il ne l'est que dans le contexte oral ($p<0,0248$).

La cotation des patients PM02 et PM04 suit la même dynamique : le score de l'item Enrhumé baisse partout sauf pour la cotation par le jury naïf pour le contexte nasal ; aucune différence significative n'a été relevée sauf pour PM02 dans le contexte oral avec le jury expert ($p<0,0102$).

PM03 a globalement son score postopératoire qui reste identique ou augmente.

B. Discussion

- Les voix des patients avant chirurgie sont-elles considérées comme altérées de manière générale ?

Nos résultats aux items Grade, Raucité et Souffle nous montrent que les voix ne sont que peu altérées, globalement les scores se situent entre 0 et 1.

Nous avons pu montrer que dans la plupart des cas les scores postopératoires vont dans le sens d'une baisse. Rares sont les études ayant réalisé une cotation GRBAS sur des patients atteints de PNS (Hernández-García *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2013), leur constat allait dans le sens d'une baisse du score moyen en postopératoire. L'étude de Kim *et al.* (2013)

n’ayant pas donné les moyennes GRBAS, nous ne pouvons nous appuyer que sur les résultats d’Hernández-García *et al.*, leur GRBAS moyen préopératoire est de 2,15, il baisse à deux semaines postopératoire à 1,69 puis à 0,92 à 3 mois postopératoire, les locuteurs sains ayant un score moyen de 0,63. Dans notre cas, la moyenne globale des items Grade, Raucité et Souffle est de 0,543 (**σ** 0,088) en préopératoire, 0,542 (**σ** 0,086) en postopératoire et de 0,547 (**σ** 0,089) pour les locuteurs sains. Conscients que nos moyennes ne sont pas calculées avec les mêmes items, n'ayant pas utilisé les items d’asthénie et de serrage, nous sommes tout de même bien en dessous de leur résultat pour les patients, nos scores se rapprochent de leur score témoin.

- Les voix sont-elles considérées comme enrhumées en préopératoire ? le cas échéant, est-ce que ce score baisse en postopératoire ?

Nous pouvons considérer que les voix en préopératoire sont considérées comme plus enrhumées qu’en postopératoire. Ce constat est à tempérer étant donné que les enregistrements de locuteurs sains ont été cotés de manière presque équivalente en termes de score moyen à celui des patients en préopératoire.

Un autre élément à relever est que le score moyen préopératoire de l’item Enrhumé n’est pas élevé, il est la plupart du temps en-dessous de 1,5. De manière globale, les patients n’ont pas perçu de gêne au niveau de leur voix, à l’écoute, le caractère enrhumé n’est pas très saillant, ce qui peut expliquer ce score assez bas. La perception par le jury reflète le vécu du patient par rapport à sa résonance nasale. La voix des patients en préopératoire n’étant pas perturbée de manière importante, elle se rapprochera de la voix d’un locuteur sain.

- Peut-on observer une différence de jugement selon le jury ? Y a-t-il une différence selon le stade de PNS du patient ? selon le contexte ?

Selon le jury :

De manière globale, le caractère expert ou naïf du jury ne semble pas influencer la cotation hormis localement comme nous avons pu le voir dans le contexte nasal pour l’item Enrhumé et le jury naïf. Lewis *et al.* (2003) ont montré une relation inversement proportionnelle entre la cotation de la nasalité et le degré d’expérience du jury. Une cotation sur une échelle de 1 (résonance normale) à 5 (hypernasalité sévère) d’enregistrements de patients avec fentes labio-palatines a été demandée à quatre groupes : des enseignants, des étudiants en orthophonie, des chirurgiens cranio-faciaux, et des orthophonistes expérimentés. Ces deux derniers ont eu tendance à coter moins fort la nasalité que les deux premiers. Nous pouvions espérer un résultat similaire mais le retentissement vocal de la pathologie étant minime, le côté enrhumé n’est pas perçu dans des dimensions importantes, les scores à cet item sont relativement bas ce qui ne permet pas de tirer ce type de conclusion.

Selon le stade de PNS :

PM05 est le patient pour lequel la différence préopératoire-postopératoire est la plus importante (-1,12 point en moyenne) : son score à l'item Enrhumé baisse dans tous les contextes, pour tous les jurys, et cela de manière significative 3 fois sur 4. Ce patient n'est pas celui avec le stade de PNS le plus élevé de la cohorte : un stade III droite et II gauche, le score allant jusqu'à IV. Mais c'est le seul patient à avoir été opéré d'une ethmoïdectomie totale, contrairement aux trois autres patients qui ont bénéficié d'une polypectomie et méatotomie. L'opération est plus invasive que les deux dernières, elle va plus loin dans l'évidement des cavités, ce qui peut expliquer la baisse plus importante en postopératoire. La perception de sa voix peut avoir été plus impactée avec une chirurgie plus invasive que les autres patients.

PM03 est le seul patient à augmenter son score à l'Item « Enrhumé », nous constatons que cela serait dû à un comblement sinusien des plus importants de la cohorte en postopératoire (un score de Lund-Mackay de 16 contre 12, 6 et 5 pour les autres patients, Tableau 15) dû en partie à une exacerbation (inflammation de la muqueuse naso-sinusienne) dix jours avant l'enregistrement qui pourrait apporter un caractère enrhumé à sa voix.

PM02 (stade II) et PM04 (stade III droite et IV gauche) connaissent des baisses légères de leur score moyen (respectivement -0,42 et -0,27 point en moyenne). PM04 est le patient avec le stade de PNS le plus élevé de la cohorte et présente une des baisses de son score des plus petites.

Le stade de PNS ne semble pas être l'élément impactant le plus la cotation de l'item Enrhumé mais plutôt le type de chirurgie pratiquée et les suites postopératoires.

Selon le contexte vocalique :

Le contexte semble jouer un rôle notamment pour l'item Enrhumé où les scores moyens sont plus hauts dans le contexte nasal qu'oral. En effet, le contexte nasal accentue le côté enrhumé de la voix, ce qui amènerait à coter de manière plus sévère l'item Enrhumé. Une présence importante de phonèmes nasals pourrait peut-être biaiser la perception. Pour les autres items, cela ne semble pas avoir d'influence.

V. Synthèse des résultats

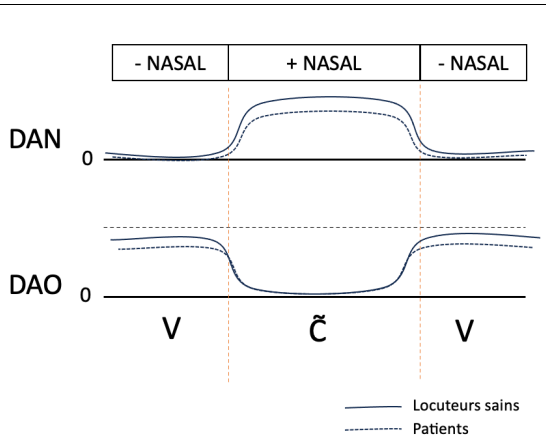
Bien qu'il y ait une variabilité entre locuteurs, nous souhaitons clore ce chapitre avec une synthèse de nos résultats.
Malgré les limites de ce travail qui sont notamment notre faible effectif de patients, nous pouvons tout de même amener des éléments de réponses quant aux effets de la pathologie et sa chirurgie sur les quatre dimensions. Le tableau ci-dessous résume les questions de recherche de nos quatre études avec les résultats et le cas échéant, les schémas correspondants (Tableau 40).

Tableau 40 : Tableau récapitulatif des questions de recherche de cette thèse avec les schémas correspondant et les résultats

<table>
<tr><th>Questions de recherche</th><th>Schémas</th><th>Résultats</th></tr>
<tr><td colspan="3">Aérodynamique</td></tr>
<tr><td>Quels sont les changements aérodynamiques en postopératoire ?

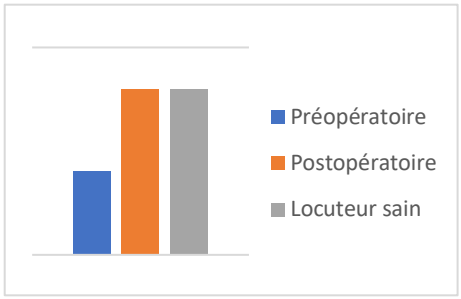
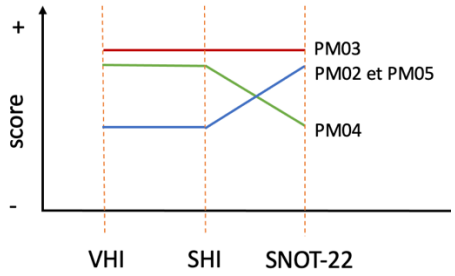
Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ?</td><td><table><tr><td></td><td>PM02</td><td>PM03</td><td>PM04</td><td>PM05</td></tr><tr><td>DAN</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td>DAO</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↑</td></tr></table>La flèche représente le changement de moyenne de débits d'air : ↑ symbolise une hausse, ↓ symbolise une baisse.</td><td>Nous observons une variabilité de changements aérodynamiques en postopératoire.

Chaque patient varie différemment en postopératoire.</td></tr>
<tr><td>Différent-ils selon les contextes phonétiques ?</td><td><table><tr><td></td><td></td><td>PM02</td><td>PM03</td><td>PM04</td><td>PM05</td></tr><tr><td rowspan="2">Voyelles orales en contexte oral</td><td>DAN</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td>DAO</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td rowspan="2">Consonnes nasales</td><td>DAN</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td>DAO</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td rowspan="2">Voyelles nasales</td><td>DAN</td><td>-</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↑</td></tr><tr><td>DAO</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↑</td></tr><tr><td rowspan="2">Voyelles orales en contexte nasal</td><td>DAN</td><td>↑</td><td>↓</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>DAO</td><td>↓</td><td>↑</td><td>↓</td><td>↑</td></tr></table>La flèche représente le changement de moyenne de débits : ↑ symbolise une hausse, ↓ symbolise une baisse et – des moyennes identiques.</td><td>Il y a une homogénéité d'évolution aérodynamique en postopératoire quel que soit le contexte phonétique.</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>Est-ce que notre population pathologique se calque sur les données de la littérature ? A-t-elle un comportement différent des locuteurs sains ?</td>
<td> 
</td>
<td>Les patrons aérodynamiques des patients sont similaires à ceux des locuteurs sains.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="3">Acoustique</td>
</tr>
<tr>
<td>La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient-elle en préopératoire et postopératoire ?</td>
<td>Voyelles Orales < Voyelles Nasales</td>
<td>La différence de durée se maintient en préopératoire et postopératoire.</td>
</tr>
<tr>
<td>Quels sont les changements acoustiques en postopératoire ? Vont-ils dans le même sens pour tous les patients ? Différent-ils selon les contextes phonétiques ?

Comment la contribution acoustique des cavités orale et nasales évolue-t-elle en postopératoire ? Est-elle perturbée en préopératoire ?</td>
<td>
<table>
<tr><th></th><th></th><th>PM02 PM03 PM04</th><th>PM05</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Voyelles orales en contexte oral</td><td>SMT</td><td>↑</td><td>↑</td></tr>
<tr><td>SMN</td><td>↓</td><td>↓</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consonnes nasales</td><td>SMT</td><td>↑</td><td>↓</td></tr>
<tr><td>SMN</td><td>↓</td><td>↓</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Voyelles nasales</td><td>SMT</td><td>↑</td><td>↓</td></tr>
<tr><td>SMN</td><td>↓</td><td>↓</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Voyelles orales en contexte nasal</td><td>SMT</td><td>↑</td><td>↓</td></tr>
<tr><td>SMN</td><td>↓</td><td>↓</td></tr>
</table>
La flèche représente le changement dans le spectre moyen : ↑ symbolise une hausse et ↓ symbolise une baisse. Le spectre moyen total est abrégé SMT et le spectre moyen nasal SMN.
</td>
<td>La majorité des patients augmente leur spectre moyen total. Ce constat reste inchangé quel que soit le contexte.

En postopératoire, le spectre moyen total augmente, nous pouvons penser que la contribution acoustique de la cavité orale est plus importante en raison du désencombrement naso-sinusien. En préopératoire, la résonance nasale étant perturbée par les polypes, un nasonnement constant est possible. La contribution acoustique des cavités</td>
</tr>
</table>

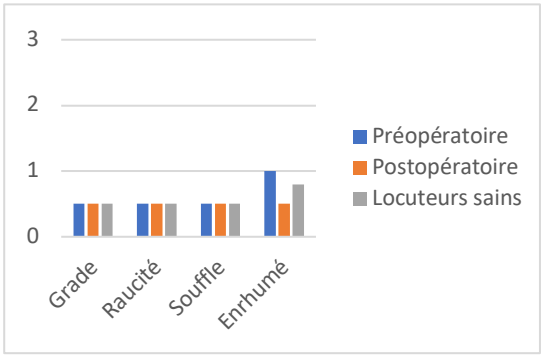
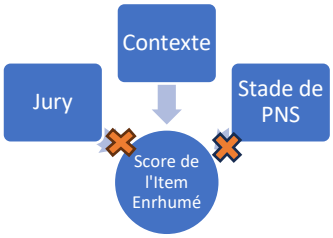
<table>
<tr><td></td><td></td><td>nasales diminue au profit de la cavité orale.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Volumétrie</td></tr>
<tr><td>Y a-t-il une augmentation du volume d'air des cavités naso-sinusiennes en postopératoire ? Se rapproche-t-il du locuteur sain ?</td><td> 
</td><td>Nous constatons une augmentation du volume des cavités naso-sinusiennes pour tous les patients qui s'approche de celui du locuteur sain.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Perception</td></tr>
<tr><td>Quel est le ressenti du patient par rapport à sa voix et à sa parole avant et après chirurgie ? Représentent-elles un handicap ? Le cas échéant, s'améliorent-elles en postopératoire ?</td><td><table>
<tr><td></td><td>PM02</td><td>PM03</td><td>PM04</td><td>PM05</td></tr>
<tr><td>VHI</td><td>-</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↑</td></tr>
<tr><td>SHI</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↓</td><td>↑</td></tr>
</table>
La flèche ↑ symbolise une hausse, la flèche ↓ symbolise une baisse et le tiret – montre une absence de changement.</td><td>La voix et la parole ne sont pas un handicap pour le patient. Les résultats aux VHI et SHI montrent que nous n'allons pas vers une baisse systématique des scores en postopératoire, il peut y avoir de légères augmentations.</td></tr>
<tr><td>Existe-t-il une relation entre les symptômes rhinosinusiens et les répercussions sur la voix et la parole en préopératoire ?</td><td> 
</td><td>Pour certains patients, les altérations sont bien distinctes entre le plan de la parole / voix et de la sphère rhinosinusienne et pour d'autres elles vont de concert.</td></tr>
<tr><td>Est-ce que le questionnaire Nasalité-Parole permet de rendre compte d'éléments dont le SHI et le VHI feraient abstraction ? Permet-il d'ajouter des détails, de rendre compte d'éléments propres</td><td>Ce questionnaire permet de rendre compte de ces éléments :

☑ Adaptations mises en place

☑ Difficultés à lire le corpus

☑ Résonance nasale

☑ Comparaison de la voix avant et après chirurgie</td><td>Ce questionnaire s'est plutôt montré pertinent, il permet d'ajouter des éléments de réponse à l'impact de pathologie et de la chirurgie sur la parole, la voix et la nasalité.</td></tr>
</table>

à la nasalité qui pourraient être perturbés ?		
Les voix des patients avant chirurgie sont-elles considérées comme altérées de manière générale ? Sont-elles considérées comme enrhumées en préopératoire ? le cas échéant est-ce que ce score baisse en postopératoire ?		Nos résultats aux items Grade, Raucité et Souffle nous montrent que les voix ne sont que peu altérées, globalement les scores se situent entre 0 et 1. Les voix en préopératoire sont considérées comme plus enrhumées qu'en postopératoire.
Peut-on observer une différence dans la cotation de l'Item Enrhumé selon : - le jury ? - le stade de PNS du patient ? -le contexte phonétique ?		Il n'y a que le contexte phonétique qui influence la perception de l'item Enrhumé.

Discussion générale

Dans ce travail de thèse, l'objectif principal était de contribuer à la compréhension de la perturbation de la nasalité dans le cadre de la polypose naso-sinusienne et sa chirurgie. Nous avons abordé quatre dimensions : aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptive.

Au niveau aérodynamique, l'analyse des moyennes de DAN et DAO a révélé une variabilité de changements en postopératoire, résultat qui s'avère être fidèle à la littérature (Elmerich, 2019 ; Giron & Mas, 2016*)*. Nous pensions qu'une population plus homogène, c'est-à-dire ici de sexe masculin avec la même pathologie, diminuerait la variabilité mais cela n'a pas été le cas. D'autres éléments comme le stade de PNS ou comme la variabilité interindividuelle de la morphologie des cavités, qui pose souvent problème dans le cadre de la nasalité, sont à prendre en compte.

Nous avons voulu aussi contourner d'éventuels problèmes de captation de débit d'air nasal qui peuvent être rencontrés avec les instruments avec embouts narinaires. En effet, lors de notre travail de master, nous avions un doute sur certaines données de DAN qui étaient extrêmement basses, nous pouvons ici émettre plus de confiance en nos données.

Les changements postopératoires de la moyenne de DAO convergent avec notre étude (Elmerich, 2019) qui montrait une variabilité de changements. Le comportement aérodynamique des patients en préopératoire et postopératoire est proche de celui des locuteurs sains. Les moyennes de DAN et de DAO peuvent être plus basses que celles des locuteurs sains pour certains patients mais cela n'aura pas d'impact sur la nasalisation des phonèmes. Au-delà du fait que nous retrouvons les résultats observés dans la littérature de l'aérodynamique de la nasalité, cette étude permet de valider l'usage aérodynamique de l'AeroMask pour l'étude de la nasalité.

Les recherches sur l'acoustique de la nasalité se sont souvent heurtées à trouver des indices précis de nasalité. De manière exploratoire, nous avons voulu essayer une mesure plus globale qui nous a été rendue possible par notre masque et que nous avons nommé le spectre moyen total et nasal. Ces mesures étant inédites, nous n'avons pas de base de comparaison dans la littérature. Le spectre moyen total a permis de mettre en valeur certains comportements, le spectre moyen nasal s'est montré plus opaque. Il ne permettait pas de différencier les phonèmes entre eux à l'inverse du spectre moyen total. Cette mesure de spectre moyen nasal ne semble pas apporter de résultats pertinents.

Nous avons tenu à séparer les voyelles avant (V1) et après (V2) la consonne, tout comme nous l'avons fait pour l'aérodynamique, cela n'a pas révélé de changements pertinents.

Certains locuteurs ont un profil différent avec un spectre moyen nasal supérieur au spectre moyen total et inversement. Le comportement acoustique des patients en préopératoire et postopératoire est similaire aux locuteurs sains. Les valeurs de spectre

moyen et les coupes spectrales en préopératoire pour certains patients sont observables chez certains locuteurs sains.

La mesure plus classique de la durée des voyelles nasales a révélé des résultats différents de ceux de la littérature. En effet, en postopératoire, l'étude de Giron et Mas (2016) attestait d'une augmentation de la durée. Dans notre étude, les patients baissent leur durée en postopératoire. Nous avons besoin de plus de données sur ce point pour pouvoir dresser une réelle tendance. Les atteintes de la PNS sur la durée semblent être divergentes. Cette baisse de la durée peut être expliquée par un désencombrement des cavités naso-sinusiennes qui facilite le passage du DAN dans les cavités nasales, les patients en postopératoire liraient donc plus vite et plus facilement. Un autre élément à prendre en compte est qu'en postopératoire les patients connaissaient le texte pour l'avoir lu en préopératoire. La tâche de lecture ne leur est pas inconnue.

Le but d'utiliser l'AeroMask était de pouvoir observer s'il y a un lien entre les mesures aérodynamiques et acoustiques. Nous avons souhaité comparer nos mesures de moyenne de DAO et DAN avec les mesures de spectre moyen total et nasal.

- [ɔ̃] est la voyelle nasale avec le DAN le plus élevé.

Nous retrouvons un spectre moyen total des plus bas pour [ɔ̃] par rapport aux deux autres voyelles nasales [ɑ̃] et [ɛ̃]. Nous pouvons expliquer cela par le fait que c'est la voyelle où le plus de DAN passe par les cavités nasales, et le moins de DAO par la cavité buccale. Une des caractéristiques acoustiques des voyelles nasales est l'affaiblissement de son intensité : nous savons que l'on ne peut pas attribuer à une voyelle nasale sa correspondante orale en raison des divergences articulatoires. Mais si l'on devait faire le rapprochement avec leurs correspondantes orales, en contexte oral ou en contexte nasal, la voyelle [o] avait le spectre moyen total le plus bas par rapport à [a] ou [e]. Si l'on ajoute l'affaiblissement de l'intensité en raison de la nasalisation, cela abaisse le plus cette voyelle en comparaison avec les autres.

- Nous observons un DAN supérieur pour les voyelles qui suivent les consonnes nasales [n] et [m]. Un DAN est tout de même visible pour certains locuteurs sur les voyelles précédant la consonne nasale en raison du geste d'abaissement du velum qui débute avant la consonne nasale.

Nous pouvions nous attendre à avoir des valeurs de spectre moyen nasal plus élevées après les consonnes nasales en V2. Cela n'a pas été observé de manière aussi importante que nous avons pu l'observer au niveau des moyennes de DAN, le spectre moyen nasal varie très peu en V2. Le DAN présent après la consonne nasale n'est pas visible sur le spectre moyen nasal. C'est une petite quantité de DAN, et nous avons pu voir que finalement le spectre moyen nasal n'est pas très sensible aux variations de DAN.

- Les voyelles hautes ont une moyenne de DAN élevée et une moyenne de DAO faible.

Les voyelles hautes présentent un spectre moyen total et nasal bas. Les voyelles non-hautes comme [a] et [e] adoptent le schéma inverse : un spectre moyen total et nasal haut.

Les voyelles hautes ont un DAO faible en raison de leur petite aperture ce qui se répercute sur les valeurs de leur spectre moyen total. Elles ont une énergie acoustique plus faible.

Les voyelles non-hautes, par leur aperture plus grande comme [a], ont un DAO plus important et une énergie acoustique haute.

- Les consonnes nasales sont réalisées avec une faible moyenne de DAO et la présence de DAN.

La moyenne de spectre moyen nasal dans le contexte des consonnes nasales est plus importante, après le contexte des voyelles nasales, pour les patients et les locuteurs sains. Bien qu'il y ait une occlusion au niveau buccal, nous retrouvons tout de même une faible moyenne de spectre moyen total. Cette mesure est obtenue grâce au microphone qui, par sa position, capte aussi l'émission nasale sonore.

- Les voyelles en contexte oral ont une faible moyenne de DAN.

C'est aussi le cas pour les moyennes de spectre moyen nasal qui se révèlent être les plus faibles dans ce contexte.

Nous observons un lien entre mesures aérodynamiques et acoustiques uniquement pour les voyelles orales et nasales.

Pour la volumétrie, les scanners, rarement utilisés en sciences phonétiques dans le but d'en exploiter les volumes naso-sinusiens, permettent d'apporter un éclairage à cette étude.

Enfin, l'atteinte au niveau de la voix et de la parole reste faible et variable chez nos patients. Ce résultat est concordant avec la littérature (Arslan *et al.*, 2016 ; Behrman *et al.*, 2002 ; Elmerich, 2019 ; Giron & Mas, 2016). Dans notre cohorte, il n'était pas rare d'observer que les patients ne ressentaient pas eux-mêmes de gêne ou de changement de leur voix avant et après chirurgie mais que c'était l'entourage qui notait une différence. De plus, cette étude est la première à avoir fait passer le SHI à ce type de population, ses résultats se sont montrés en miroir avec ceux du VHI. Il n'apparaît pas forcément nécessaire de faire passer les deux questionnaires.

Nous avons pu montrer que la perception de la résonance nasale est complexe, tant du point de vue d'un jury naïf et averti que du patient lui-même. Des évaluations sont présentes pour les patients avec fentes labio-palatines mais le flou persiste dans le cadre de

l'obstruction nasale. Nous pouvons expliquer cela par le fait que les patients avec PNS sont beaucoup moins enclins à consulter une orthophoniste pour une pathologie pourtant chronique. La gêne vocale est elle aussi extrêmement variable selon les patients.

La qualité vocale des patients s'est montrée non altérée avant et après chirurgie. Ce résultat est en adéquation avec la littérature (Acar *et al.*, 2014 ; Brandt *et al.*, 2014 ; Giron & Mas, 2016 ; Wong & Chong, 2019). Cela nous permet d'apporter certaines réponses aux professionnels de la voix quant aux effets de la pathologie et de la chirurgie sur leur voix.

Les dimensions acoustique, aérodynamique et perceptive ne dégagent pas une altération de la voix et de la parole des patients. Les patients en préopératoire et postopératoire sont proches des locuteurs sains. La seule dimension réagissant à la pathologie et sa chirurgie est la volumétrie : nous avons pu constater un volume d'air réduit des cavités naso-sinusiennes en préopératoire puis un volume agrandi en postopératoire se rapprochant du locuteur sain. La volumétrie permet de faire la différence entre patients en préopératoire et locuteurs sains.

Lors de l'enregistrement préopératoire, les patients ne percevaient pas de gêne en préopératoire au niveau de leur voix, par la suite, nos analyses acoustiques, aérodynamiques et perceptives vont dans la même direction. La perception d'une altération de la voix due à la PNS est variable, pour notre cohorte ce n'était pas le cas mais nos travaux de mémoire relataient une patiente qui se trouvait gênée et pour qui l'opération lui avait donné l'impression d'avoir une voix différente. Nous partons du constat qu'il y a une variabilité au départ dans le ressenti du patient quant à sa voix, nous ne savons pas si cette variabilité est due au sexe ou seulement à des variations individuelles. Certes il peut y avoir une altération des débits en préopératoire et une augmentation en postopératoire mais ces fluctuations n'empêchent pas une réalisation aérodynamique et acoustique des phonèmes nasals.

Trois patients sur quatre disent avoir une meilleure voix après chirurgie mais nous pouvons nous demander si ce n'est pas simplement le désencombrement de leurs cavités qui fait qu'ils peuvent mieux respirer et que leur voix n'était pas fondamentalement perturbée.

L'objectif de cette thèse était de mettre en lien les quatre dimensions aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptives. Pour les locuteurs sains, nous avons pu montrer une variabilité individuelle importante au niveau de l'étude aérodynamique et acoustique.

Les valeurs de DAN de certains locuteurs sains qui n'ont pourtant pas d'obstruction nasale sont équivalentes à celles de certains patients. En prenant huit locuteurs sains qui ont certainement des variations de volume d'air de leurs cavités naso-sinusiennes, nous aboutissons déjà à une variabilité acoustique et aérodynamique importante.

En postopératoire, les patients ont toutefois des volumes d'air naso-sinusiens assez proches les uns des autres mais pour autant nous notons une variabilité dans leur DAN, les patients sont plus ou moins proches de notre cohorte de locuteurs sains. Il en va de même pour le spectre moyen total, nous avons pu aussi observer une variabilité importante de changements en postopératoire.

Si l'on observe à l'inverse en préopératoire, les patients qui sont proches en termes de volume d'air naso-sinusien, ont des moyennes de DAN et de spectre moyen total bien différentes les uns des autres.

A volume quasiment égal, nous n'entrevoyons pas de lien tangible entre les dimensions volumétrique, acoustique et aérodynamique en raison de cette variabilité.

Nous pouvons aussi nous demander si nos mesures sont adaptées et pertinentes à l'étude de cette pathologie. Le faible changement dans nos valeurs acoustiques et aérodynamiques entre préopératoire et postopératoire ainsi que leur proximité avec les résultats des locuteurs sains nous font nous demander si nos mesures sont peu adaptées ou s'il y a vraiment un faible impact de la pathologie et de sa chirurgie sur l'aérodynamique et l'acoustique. A la lumière de nos mesures et de nos résultats sur cette population, nous pouvons dire que l'impact de la pathologie est minime sur la parole et la voix. Il n'apparait pas ainsi nécessaire d'approfondir les études sur cette pathologie en gardant ces mesures aérodynamiques et acoustiques ou en ayant une cohorte avec un petit effectif. Nous pouvons nous demander si une cohorte plus importante permettrait de dresser une tendance générale ou si la variabilité individuelle amènerait dans tous les cas à avoir des résultats hétérogènes. Enfin, les cas où la PNS impacte vraiment la parole et la voix des patients est peut-être très limité ce qui nous amène à nous poser des questions sur de futures études à ce sujet.

Perspectives

Si les quatre travaux mis en oeuvre dans cette thèse ont pu apporter des réponses sur l'impact de la PNS et sa chirurgie à différents niveaux tels que l'acoustique, l'aérodynamique, la volumétrie et la perception, des questions subsistent et nous en envisageons certaines dans ces perspectives.

Nous souhaiterions travailler sur plus de données. En effet, dans les études sur la PNS une des difficultés est de recruter un nombre de patients suffisant mais aussi d'avoir des sous-groupes de patients homogènes que ce soit en sexe ou en termes d'intervention chirurgicale. Cela permettrait de lisser la variabilité interindividuelle et d'avoir plus d'effet statistique. Nous avions par exemple, ici, uniquement une population masculine, il serait intéressant d'appliquer nos mesures sur une population féminine.

Nous voudrions évoquer la continuité de ce travail de thèse en lien avec les avancées de la médecine sur le traitement de la PNS telles que les biothérapies. Il serait intéressant à l'avenir d'enregistrer des patients dans ce protocole de traitement pour observer les effets sur la production vocale comparée à la chirurgie.

Un de nos travaux entamé dans cette thèse était de faire le lien entre le volume des sinus maxillaires, leur fréquence d'Helmholtz calculée numériquement à partir de leur volume, la simulation acoustique sur ces sinus imprimés en 3D et la trace acoustique laissée de ce sinus dans le signal acoustique. Nos premiers essais sont prometteurs et nous envisageons de continuer ce travail en se basant à la fois sur des scanners de locuteurs sains et pathologiques.

Ensuite, nous avons utilisé des mesures aérodynamiques classiques telles que les moyennes de DAN et de DAO. Nous avions réfléchi à une nouvelle mesure qui se baserait sur le croisement des flux oral et nasal. La nasalisation se cantonne très rarement au phonème nasal, il serait intéressant d'envisager une autre mesure qui serait déterminée par deux points : le moment où la courbe de DAN croise la courbe de DAO et devient supérieure jusqu'au moment où la courbe de DAO croise celle de DAN est devient supérieure. Cela reviendrait à étudier l'anticipation et la propagation du débit d'air nasal.

Nous aimerions aussi observer la gestion de la respiration chez des patients avec PNS. Un patient évoquait un besoin de faire plus de pauses, pauses qui peuvent correspondre à des reprises inspiratoires. Nous souhaiterions comparer ces pauses respiratoires avant et après chirurgie : leur durée, leur volume et leur fréquence.

Enfin, nous avons pu nous rendre compte qu'il y a un manque de questionnaire de qualité de vie ciblant les phénomènes de nasalité. Un des souhaits à l'avenir serait de concevoir en lien avec les orthophonistes et ORL, un questionnaire sur le modèle du VHI ou du SHI, afin de cibler l'impact de tout type de pathologie nasale (hypo- ou hypernasalité), touchant le voile ou non, sur la voix et la parole.

Conclusion générale

Dans ce travail de thèse, l'objectif principal était de contribuer à la compréhension de la perturbation de la nasalité dans le cadre de la polypose naso-sinusienne et sa chirurgie, qui reste mal comprise de nos jours. Nous nous posions un certain nombre de questions : est-il possible de dresser une tendance générale des perturbations avec une population plus homogène que les études précédentes ? Où situer les patients sur un continuum de parole et de voix entre normalité et pathologie ? Que répondre aux patients sur les retentissements de la chirurgie sur leur voix ? Afin de pouvoir identifier ces perturbations, nous avons adopté une approche multidimensionnelle en abordant les aspects aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptif.

Pour l'étude aérodynamique, nous avons mesuré les moyennes de DAN et DAO dans différents contextes phonétiques. Les résultats ont montré une variabilité individuelle de changements en postopératoire. Les patrons aérodynamiques des patients sont similaires à ceux des locuteurs sains. Pour l'étude acoustique, nous avons examiné la durée des voyelles et le spectre moyen total et nasal. La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient en préopératoire et postopératoire. La majorité des patients augmente leur spectre moyen total. Ce constat reste inchangé quel que soit le contexte phonétique. Pour l'étude volumétrique, les volumes naso-sinusiens ont été calculés avant et après chirurgie. Une augmentation du volume a été notée en postopératoire, volume qui se rapproche de celui du témoin.

Pour l'étude perceptive, nous nous sommes intéressés à la fois à l'auto-perception et à l'hétéro-perception de la voix et la parole des patients. Concernant l'auto-perception, la voix et la parole ne sont pas un handicap pour le patient. Concernant l'hétéro-perception, la qualité vocale des patients n'a pas été perçue comme altérée. Nous avons évalué la résonance nasale, sa perception par le patient lui-même et par un jury averti et naïf s'est avérée difficile.

Dans l'ensemble, nous avons pu montrer que les patients en préopératoire et postopératoire sont proches des locuteurs sains au niveau de leurs résultats aérodynamiques et acoustiques.

La relation entre aérodynamique, acoustique, volumétrie et perception s'avère complexe. Nous n'avons pas pu relever de liens tangibles en raison notamment de la forte variabilité individuelle.

Nous avons pu apporter un éclairage sur le rôle des sinus dans la parole : l'obstruction des sinus en préopératoire de même que l'agrandissement de la communication avec les cavités nasales en postopératoire ne semblent pas affecter la parole. Leur rôle dans la parole, à la lumière de nos mesures, semble limité.

Nos résultats sont novateurs en étant les premiers à montrer l'efficacité de l'AeroMask pour l'étude de la nasalité. La pathologie ainsi que la chirurgie ne semblent pas perturber la voix et la parole des patients.

Bibliographie

Abitbol, J. (2013). *L'odyssée de la voix*. R. Laffont.

Acar, A., Cayonu, M., Ozman, M., & Eryilmaz, A. (2014). Changes in Acoustic ParametersofVoice After Endoscopic Sinus Surgery in Patients with Nasal Polyposis. *Indian Journal of Otolaryngology and Head and Neck Surgery: Official Publication of the Association of Otolaryngologists of India*, *66*(4), 381-385.

Alobid, I., Benítez, P., Bernal-Sprekelsen, M., Roca, J., Alonso, J., Picado, C., & Mullol, J. (2005). Nasal polyposis and its impact on quality of life: comparison between the effects of medical and surgical treatments. *Allergy*, *60*(4), 452-458.

Alobid, Isam, Benitez, P., Pujols, L., Maldonado, M., Bernal-Sprekelsen, M., Morello, A., … & Mullol, J. (2006). Severe nasal polyposis and its impact on quality of life. The effect of a short course of oral steroids followed by long-term intranasal steroid treatment. *Rhinology*, *44*(1), 8-13.

Amelot, A. (2004). *Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français*. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III.

Amelot, A., Basset, P., Crevier-Buchman, L., & Roubeau, B. (2002). Nasalité en français spontané : Mesures aérodynamiques et fibroscopiques, études préliminaires. *XXIVèmes Journées d'études sur la parole (JEP)*, 361-364.

Amelot, A., Crevier-Buchman, L., & Maeda, S. (2003). Observations of velopharyngeal closure mechanism in horizontal and lateral direction from fiberscopic data. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, 3021.

Amelot, A., Honda, K., Maeda, S., Crevier-Buchman, L., & Basset, P. (2006). Evaluation of a photonasography. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *120*(5_Supplement), 3353.

Amelot, A., & Rossato, S. (2006). Velar movements for the feature [±nasal] for two French speakers. *Proceedings of the 7th International Seminar on Speech Production*, pp-459. CEFALA.

Amelot, A., Roubeau, B., Crevier-Buchman, Lise, & Maeda, Shinji. (2004). Prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques durant la production des voyelles nasales : comparaison avec des données prises séparément. *Proceedings of the Journées d'Etude de la Parole*.

Anderson, E. R., Murphy, M. P., & Weymuller, E. A. (1999). Clinimetric evaluation of the Sinonasal Outcome Test-16. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *121*(6), 702-707.

Arai, T. (2006). Cue parsing between nasality and breathiness in speech perception. *Acoustical Science and Technology*, *27*(5), 298-301.

Arslan, F., Polat, B., Durmaz, A., & Birkent, H. (2016). Effects of Nasal Obstruction due to Nasal Polyposis on Nasal Resonance and Voice Perception. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *68*(3), 141-143.

Atlas, S. J., Metson, R. B., Singer, D. E., Wu, Y. A., & Gliklich, R. E. (2005). Validity of a New Health-Related Quality of Life Instrument for Patients with Chronic Sinusitis. *The Laryngoscope*, *115*(5), 846-854.

Auzou, P., & Rolland-Monnoury, V. (2006). *BECD : batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie*. Ortho édition.

Bachert, C., Hörmann, K., Mösges, R., Rasp, G., Riechelmann, H., Müller, R., … Rudack, C. (2003). An update on the diagnosis and treatment of sinusitis and nasal polyposis. *Allergy*, *58*(3), 176-191.

Badin, P., Hertegård, S., & Karlsson, I. (1990). *Notes on the Rothenberg mask*. *STL-QPSR*, *1*, 1-7.

Baer, T., Gore, J. C., Gracco, L. C., & Nye, P. W. (1991). Analysis of vocal tract shape and dimensions using magnetic resonance imaging: Vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *90*(2), 799-828.

Baken, R. J. (1987). *Clinical measurement of speech and voice*. Boston: College-Hill Press.

Basset, P., Amelot, A., & Crevier-Buchman, L. (2007). Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopique*s*. *Parole,* 39-40, 113–135.

Basset, P., Amelot, A., Vaissière, J., & Roubeau, B. (2001). Nasal airflow in French spontaneous speech. *Journal of the International Phonetic Association*, *31*(1), 87-99.

Behrman, A., Shikowitz, M. J., & Dailey, S. (2002). The effect of upper airway surgery on voice. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery*, *127*(1), 36-42.

Benguerel, A. P. (1974). Nasal Airflow Patterns and Velar Coarticulation in French. *Speech Communication Seminar Proceedings*, *2*, 105-112.

Benguerel, A. P., Hirose, H., Sawashima, M., & Ushijima, T. (1977). Velar coarticulation in French: an electromyographic study. *Journal of Phonetics*, *5*(2), 159-167.

Benguerel, A. P., & Lafargue, A. (1981). Perception of vowel nasalization in French. *Journal of Phonetics*, *9*(3), 309-321.

Bezerra, T. F. P., Piccirillo, J. F., Fornazieri, M. A., Pilan, R. R. de M., Pinna, F. de R., Padua, F. G. de M., & Voegels, R. L. (2012). Assessment of quality of life after endoscopic sinus surgery for chronic rhinosinusitis. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, *78*(2), 96-102.

Bland, J., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, *327*(8476), 307-310.

Blaney, S. P. A. (1990). Why paranasal sinuses ?. *The Journal of Laryngology & Otology*, *104*(9), 690-693.

Blanton, P. L., & Biggs, N. L. (1969). Eighteen hundred years of controversy: the paranasal sinuses. *The American Journal of Anatomy*, *124*(2), 135-147.

Blumstein, S. E., & Stevens, K. N. (1979). Acoustic invariance in speech production: Evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *66*(4), 1001-1017.

Boersma, P., & Weenink, D. (2022). *Praat: doing phonetics by computer [Computer program]*.

Bonfils, P., Halimi, P., Gaultier, A.-L., & Lisan, Q. (2016). Polypose nasosinusienne. Rhinosinusite chronique avec polypes. *EM-Consulte*.

Borel, Stéphanie. (2005). *Analyse perceptive et acoustique des consonnes nasales dans la polypose nasosinusienne avant et après chirurgie des sinus*. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III.

Bothorel, André. (1986). *Cinéradiographie des voyelles et consonnes du français: recueil de documents synchronisés pour quatre sujets: vues latérales du conduit vocal, vues frontales de l'orifice labial, données acoustiques*. Strasbourg: Institut de phonétique de Strasbourg.

Brandt, M. G., Rotenberg, B. W., Moore, C. C., Bornbaum, C. C., Dzioba, A., Glicksman, J. T., & Doyle, P. C. (2014). Impact of Nasal Surgery on Speech Resonance. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, *123*(8), 564-570.

Brichler-Labaeye, C. (1970). *Les voyelles françaises. Mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie*, Klincksieck.

Brin, F., Courrier, C., & Lederlé, E. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie*. Ortho Edition.

Brothwell DR, Molleson T, Metreweli C. (1968). Radiological aspects of normal variation in earlier skeletons: an exploratory study. In *Brothwell DR. The Skeletal Biology of Earlier Human Populations.* Oxford: Pergamon Press;149– 172

Browne, J. P., Hopkins, C., Slack, R., Topham, J., Reeves, B., Lund, V., … & van der Meulen, J. (2006). Health-Related Quality of Life after Polypectomy with and without Additional Surgery: *The Laryngoscope*, *116*(2), 297-302.

Buckland, J. R., Thomas, S., & Harries, P. G. (2003). Can the Sino-nasal Outcome Test (SNOT-22) be used as a reliable outcome measure for successful septal surgery? *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, *28*(1), 43-47.

Buess, C., Pietsch, P., Guggenbuhl, W., & Koller, E. A. (1986). Design and Construction of a Pulsed Ultrasonic Air Flowmeter. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *BME-33*(8), 768-774.

Byrd, D., Tobin, S., Bresch, E., & Narayanan, S. (2009). Timing effects of syllable structure and stress on nasals: A real-time MRI examination. *Journal of Phonetics*, *37*(1), 97-110.

Calais-Germain, B., & Germain, F. (2013). *Anatomie pour la voix*. Editions Desiris.

Campolini, C., Hövell, V. V., & Vansteelandt, A. (2000). *Dictionnaire de logopédie : Le développement du langage écrit et sa pathologie*. Louvain: Peeters Publishers.

Castillo, L., Le Taillandier de Gabory, L., & Papon, J.-F. (2017). *Dents et sinus: Rapport SFORL 2017*. Paris: Elsevier Health Sciences.

Chen, M. Y. (1997). Acoustic correlates of English and French nasalized vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *102*(4), 2360-2370.

Chen, M. Y., & Metson, R. (1997). Effects of Sinus Surgery on Speech. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, *123*(8), 845-852.

Christensen, A. M. (2004). The impact of Daubert: implications for testimony and research in forensic anthropology (and the use of frontal sinuses in personal identification). *Journal of Forensic Sciences*, *49*(3), 427-430.

Christensen, A. M. (2005). Testing the reliability of frontal sinuses in positive identification. *Journal of Forensic Sciences*, *50*(1), 18-22.

Cleland, J., & Huxley, T. H. (1862). On the relations of the vomer, ethmoid, and intermaxillary bones. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, *152*, 289-321.

Clements, G. N., Vaissière, J., Amelot, A., & Montagu, J. (2015). The feature [nasal]. In *Features in phonology and phonetics: unpublished work from George N. Clements and his colleagues* (Annie Rialland, Rachid Ridouane, et Harry van der Hulst, p. 195-216).

Cloquet, H. (1828). *A system of human anatomy*. Maclachlan and Stewart.

Clumeck, H. (1976). Patterns of soft palate movements in six languages. *Journal of phonetics*, *4*(4), 337-351.

Coffin, L. A. (1905). The Development of the Accessory Sinuses of the Nose.1: The Frontal Sinus. the Sphenoidal Sinus the Ethmoidal Labyrinth*. Maxillary Sinus. 129*(2), 297.

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, *20*, 37-46.

Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, *70*(4), 213-220.

Cohn, A. C. (1990). Phonetic and phonological rules of nasalization. *Working Papers of the University of California, Los Angeles*, 76.

Conessa, C., Hervé, S., Goasdoué, P., Martigny, E., Baudelle, E., & Poncet, J.-L. (2005). Insuffisance vélopharyngée. *EMC - Oto-rhino-laryngologie*, *2*(2), 249-262.

Croft, C. B., Shprintzen, R. J., & Rakoff, S. J. (1981). Patterns of velopharyngeal valving in normal and cleft palate subjects: A multi-view videofluoroscopic and nasendoscopic study. *The Laryngoscope*, *91*(2), 265-271.

Culbert, W. L., & Law, F. M. (1927). Identification by comparison of roentgenograms: of nasal accessory sinuses and mastoid processes. *Journal of the American Medical Association*, *88*(21), 1634-1636.

Dalston, R. M. (1982). Photodetector assessment of velopharyngeal activity. *The Cleft Palate Journal*, *19*(1), 1-8.

Dang, J., & Honda, K. (1996). Acoustic characteristics of the human paranasal sinuses derived from transmission characteristic measurement and morphological observation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *100*, 3374-3383.

Dang, J., Honda, K., & Suzuki, H. (1994). Morphological and acoustical analysis of the nasal and the paranasal cavities. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *96*(4), 2088-2100.

Dayal, A., Rhee, J. S., & Garcia, G. J. M. (2016). Impact of Middle versus Inferior Total Turbinectomy on Nasal Aerodynamics. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, *155*(3), 518-525.

Dayme, M. B. (1995). *Dynamics of the Singing Voice*. Vienne: Springer.

de Dorlodot, C., Horoi, M., Lefebvre, P., Collet, S., Bertrand, B., Eloy, P., & Poirrier, A. L. (2015). French adaptation and validation of the sino-nasal outcome test-22: a prospective cohort study on quality of life among 422 subjects. *Clinical Otolaryngology*, *40*(1), 29-35.

Delamarche, P., Dufour, M., Multon, F., & Perlemuter, L. (2002). *Anatomie, physiologie, biomécanique en STAPS* (Elsevier Masson). Paris.

Delattre, P. (1954). Les Attributs Acoustiques De La Nasalité Vocalique Et Consonantique. *Studia Linguistica*, *8*(1-2), 103-109.

Delattre, P. (1959). Rapports entre la durée vocalique, le timbre et la structure syllabique en français. *The French Review*, *32*(6), 547-552.

Delattre, P. (1968). La Radiographie des voyelles françaises et sa correlation acoustique. *The French Review*, *42*(1), 48-65.

Delattre, P., & Monnot, M. (1968). The role of duration in the identification of French nasal vowels, *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 6.

Delvaux, V. (2003). *Contrôle et connaissance phonétique : Les voyelles nasales du français*. Université Libre de Bruxelles.

Delvaux, V., Metens, T., & Soquet, A. (2002). Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du français. *XXIVèmes Journées d'étude sur la parole, Nancy*, *1*, 348-352.

Demenÿ, G. (1888). Appareils de mesure ayant pour but de déterminer avec précision la forme extérieure du thorax, l'étendue des mouvements respiratoires, les profils et les sections du tronc, ainsi que le débit d'air inspiré et expiré (présentation par M. Marey). *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, *106*, 1363-1365.

Demolin, D., Lecuit, V., Metens, T., Nazarian, B., & Soquet, A. (1998). Magnetic resonance measurements of the velum port opening. *5th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 1998)*.

Dickson, D. R. (1962). An Acoustic Study of Nasality. *Journal of Speech and Hearing Research*, *5*(2), 103-111.

Douros, I. K., Vuissoz, P.-A., & Laprie, Y. (2019). Acoustic impacts of geometric approximation at the level of velum and epiglottis on French vowels. *ICPhS 2019 - International Congress of Phonetic Sciences, Melbourne, Australia.*

Durand, M. (1953). De la formation des voyelles nasales. *Studia linguistica*, *7*(1-2), 33-53.

Eckley, W. T. (1904). On the accessory sinuses. *Chicago Med Recorder*, *26*, 243-253.

Elmerich, A. (2019). *Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne*. Université Sorbonne Nouvelle.

Elmerich, A., Amelot, A., & Crevier-Buchman, L. (2020). Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne. In C. Benzitoun, C. Braud, L. Huber, D. Langlois, S. Ouni, S. Pogodalla, & S. Schneider (Éd.), *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). Volume 1 : Journées d'Études sur la Parole* (p. 199-207). Consulté à l'adresse https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02798537

Elmerich, A., Amelot, A., Crevier-Buchman, L., Maeda, S., & Papon, J.-F. (2023). La polypose naso-sinusienne : impacts spectraux. Étude préliminaire. *9ème Journée de Phonétique Clinique*.

Elmerich, A., Amelot, A., Maeda, S., Laprie, Y., Papon, J. F., & Crevier-Buchman, L. (2020). F1 and F2 measurements for French oral vowel with a new pneumotachograph mask. 3. Providence / Virtual, United States.

Elmerich, A., Gao, J., Amelot, A., Crevier-Buchman, L., & Maeda, S. (2023). Combining acoustic and aerodynamic data collection: A perceptual evaluation of acoustic distortions. In *Interspeech 2023*.

Fant, G. (1960). The acoustics of speech. In *The modern educational Treatment of deafness*

Fitch, W. T., & Giedd, J. (1999). Morphology and development of the human vocal tract: A study using magnetic resonance imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *106*(3), 1511-1522.

Fleisch, A. (1925). Der Pneumotachograph; ein Apparat zur Geschwindigkeitsregistrierung der Atemluft. *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, *209*(1), 713-722.

Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, *76*(5), 378-382.

Flenet, T. (2017). *Mesure non invasive de suivi des transferts de fluides liés aux activités cardiorespiratoires chez le rat : vers une «bague aortique virtuelle»*. Université Grenobles Alpes.

Flottes, L., Clere, P., Rui, R., & Devila, F. (1960). La physiologie des sinus (Societe Francaise D'Oto-Rhino-Laryngologie). *Paris: Libraire Arnette*, 359-360.

Fokkens, W. J., Lund, V. J., Hopkins, C., Hellings, P. W., Kern, R., Reitsma, S., … Alobid, I. (2020). European position paper on rhinosinusitis and nasal polyps 2020. *Rhinology: official organ of the International rhinologic society*.

Frèche, Ch., Fontanel, J. P., & Peynègre, R. (2000). La Polypose Naso-Sinusienne. *Rapport de la Société Française d'ORL et de Chirurgie de la Face et du Cou*, 311.

Freund, Y. (2016). Concordance entre deux méthodes de mesure d'une même variable : diagramme de Bland et Altman. *Annales françaises de médecine d'urgence*, *6*(2), 143-146.

Fujimura, O. (1961). Bilabial Stop and Nasal Consonants: a Motion Picture Study and its Acoustical Implications. *Journal of Speech and Hearing Research*, *4*(3), 233-247.

Fujimura, O. (1962). Analysis of Nasal Consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *34*(12), 1865-1875.

Fujimura, O. (1977). Recent findings on articulatory processes. *Articulatory modeling and phonetics*, *115*.

Fujimura, O., & Lindqvist, J. (1964). The sinewave response of the vocal tract. *Speech Transmission Laboratory-Quarterly Progress and Status Report*, *1*(1964), 5-10.

Fujimura, O., & Lindqvist, J. (1971). Sweep-Tone Measurements of Vocal-Tract Characteristics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *49*(2B), 541-558.

Fujimura, O., Miller, J. E., & Kiritani, S. (1975). X-ray observation of movements of the velum and the tongue. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *58*(S1), S40-S40.

Gevaert, P., Calus, L., Van Zele, T., Blomme, K., De Ruyck, N., Bauters, W., … & Van Cauwenberge, P. (2013). Omalizumab is effective in allergic and nonallergic patients with nasal polyps and asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *131*(1), 110-116.

Ghio, A., & Teston, B. (2002). Caractéristiques de la dynamique d'un Pneumotachographe pour l'étude de la production de la parole : aspects acoustiques et aérodynamique. *Journées d'Etude sur la Parole*, 337-340.

Gick, B., Wilson, I., & Derrick, D. (2013). Articulatory phonetics. John Wiley & Sons.

Giron, M., & Mas, B. (2016). *Evaluation de la qualité vocale avant et après chirurgie naso-sinusienne*. Université Sorbonne Nouvelle.

Gliklich, R. E., & Metson, R. (1997). Effect of sinus surgery on quality of life. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *117*(1), 12-17.

Haag, W. K. (1977). Oral air pressure and airflow in German stop consonants. *Phonetica*, *34*(1), 31-39.

Haag, W. K. (1979). An articulatory experiment on voice onset time in German stop consonants. *Phonetica*, *36*(3), 169-181.

Hattori, S., Yamamoto, K., & Fujimura, O. (1958). Nasalization of Vowels in Relation to Nasals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *30*(4), 267-274.

Havel, M., Becker, S., Schuster, M., Johnson, T., Maier, A., & Sundberg, J. (2017). Effects of functional endoscopic sinus surgery on the acoustics of the sinonasal tract. *Rhinology*, *55*(1), 81-89.

Havel, M., Ertl, L., Bauer, D., Schuster, M., Stelter, K., & Sundberg, J. (2014). Resonator properties of paranasal sinuses: preliminary results of an anatomical study. *Rhinology*, *52*(2), 178-182.

Hélix, L. (2018). La nasalisation des voyelles simples. In *Mon cours en fiches*. *L'ancien français*.

Hernández-García, E., Moro-Velázquez, L., González-Herranz, R., Godino-Llorente, J. I., & Plaza, G. (2020). Effect of functional endoscopic sinus surgery on voice and speech recognition. *Journal of Voice*, *34*(4), 650-e1.

Hertegård, S., & Gauffin, J. (1992). Acoustic properties of the Rothenberg mask. *STL-QPSR*, *33*(2-3), 9-18.

Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice*. Wien: Springer-Verlag.

Hixon, T. J. (1971). An electromagnetic method for transducing jaw movements during speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *49*(2B), 603-606.

Hixon, T. J., Weismer, G., & Hoit, J. D. (2020). *Preclinical Speech Science: Anatomy, Physiology, Acoustics, and Perception, Third Edition*. Plural Publishing.

Honda, K. (2011). *Rapport du projet Establishing Speech Analysis Platform for Vizualisation and Instrumentation (ESAPVI). Presentation at the ANR « Chairs of excellence and post doctorate return meeting »*. Consulté à l'adresse https://shs.hal.science/halshs-00687210

Honda, K., & Maeda, S. (2008). Glottal-opening and airflow pattern during production of voiceless fricatives: a new non-invasive instrumentation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *123*(5), 3738-3738.

Hong, K. H., Kwon, S. H., & 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.

Hood, C. M., Schroter, R. C., Doorly, D. J., Blenke, E. J. S. M., & Tolley, N. S. (2009). Computational modeling of flow and gas exchange in models of the human maxillary sinus. *Journal of Applied Physiology*, *107*(4), 1195-1203.

Hopkins, C., Gillett, S., Slack, R., Lund, V. J., & Browne, J. P. (2009). Psychometric validity of the 22-item Sinonasal Outcome Test. *Clinical Otolaryngology*, *34*(5), 447-454.

Horiguchi, S., & Bell-Berti, F. (1987). The Velotrace: A device for monitoring velar position. *Cleft Palate Journal*, *24*(2), 104-111.

Hosemann, W., Göde, U., Dunker, J. E., & Eysholdt, U. (1998). Influence of endoscopic sinus surgery on voice quality. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *255*(10), 499-503.

House, A. S., & Stevens, K. N. (1956). Analog Studies Of The Nasalization Of Vowels. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, *21*(2), 218-232.

Howell, H. P. (1917). Voice Production from the Standpoint of the Laryngologist. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, *26*(3), 643-655.

Huffman, M. K. (1989). Implementation of nasal: Timing and articulatory landmarks. *Working Papers of the University of California, Los Angeles*, 75.

Ingersoll, J. M. (1922). Some Points in the Comparative Anatomy of the Nose and the Accessory Sinuses Which Account for the Variations in These Structures in Man. (Lantern Slides.). *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, *31*(4), 1123-1128.

Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI). *American Journal of Speech-Language Pathology*, *6*(3), 66-70.

Jiang, R. S., & Huang, H. T. (2006). Changes in nasal resonance after functional endoscopic sinus surgery. *American journal of rhinology*, *20*(4), 432-437.

Keir, J. (2009). Why do we have paranasal sinuses? *The Journal of Laryngology & Otology*, *123*(1), 4-8.

Kim, Y. H., Lee, S. H., Park, C. W., & Cho, J. H. (2013). Nasalance change after sinonasal surgery: analysis of voice after septoturbinoplasty and endoscopic sinus surgery. *American journal of rhinology & allergy*, *27*(1), 67-70.

Kim, S. D., Park, H. J., Kim, G. H., Wang, S. G., Roh, H. J., & Cho, K. S. (2015). Changes and recovery of voice quality after sinonasal surgery. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *272*, 2853-2859.

Klossek, J.-M. (1998). La physiologie naso-sinusienne. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, *38*(7), 579-583.

Klossek, J.-M. (2003). *Qualité de vie: du nez aux bronches*. John Libbey Eurotext.

Klossek, J.-M., Neukirch, F., Pribil, C., Jankowski, R., Serrano, E., Chanal, I., & Hasnaoui, A. E. (2005). Prevalence of nasal polyposis in France: a cross-sectional, case–control study. *Allergy*, *60*(2), 233-237.

Koertvelyessy, T. (1972). Relationships between the frontal sinus and climatic conditions: a skeletal approach to cold adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, *37*(2), 161-172.

Koyama T. (1966). Experimental study on the resonance of paranasal sinus. *Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, *69*(6), 1177-1191.

Krakow, R. A. (1989). *The articulatory organization of syllables: A kinematic analysis of labial and velar gestures*. Yale University.

Krakow, R. A., & Huffman, M. K. (1993). Instruments and techniques for investigating nasalization and velopharyngeal function in the laboratory: an introduction. In Marie K. Huffman & R. A. Krakow (Éd.), *Nasals, Nasalization, and the Velum* (p. 3-59).

Kuenzel, H. J. (1977). Photoelektrische Untersuchung zur Velumhöhe bei Vokalen: erste Anwendungen des Velographen. *Phonetica*, *34*(5), 352-370.

Kurowski, K., & Blumstein, S. E. (1987). Acoustic properties for place of articulation in nasal consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *81*(6), 1917-1927.

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*, 1-26.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159-174.

Laprie, Y. (2015). An articulatory model of the velum developed from cineradiographic data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *137*(4_Supplement), 2269.

Lawson, W., Patel, Z. M., & Lin, F. Y. (2008). The Development and Pathologic Processes that Influence Maxillary Sinus Pneumatization. *The Anatomical Record*, *291*(11), 1554-1563.

Le Huche, F. (2010). *La voix. Tome 1, Anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole*. Elsevier Masson.

Legent, F., Perlemuter, L., & Vandenbrouck, C. (1975). *Cahiers d'anatomie ORL [oto-rhino-laryngologie]: Oreille*. Masson.

Lehnert, B. (2015). BlandAltmanLeh: plots (slightly extended) Bland-Altman plots. *R package version 0.3*, *1*.

Lenth, R. (2022). *emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means. R package version 1.4. 7. 2020*.

Leplège, A., Ecosse, E., Verdier, A., & Perneger, T. V. (1998). The French SF-36 Health Survey: Translation, Cultural Adaptation and Preliminary Psychometric Evaluation. *Journal of Clinical Epidemiology*, *51*(11), 1013-1023.

Lewis, K. E., Watterson, T. L., & Houghton, S. M. (2003). The influence of listener experience and academic training on ratings of nasality. *Journal of communication disorders*, *36*(1), 49-58.

Lildholdt, T., Rundcrantz, H., & Lindqvist, N. (1995). Efficacy of topical corticosteroid powder for nasal polyps: a double-blind, placebo-controlled study of budesonide. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, *20*(1), 26-30.

Littré, É. (1872). *Dictionnaire de la langue française* (Vol. 2, No. 2). Hachette.

Lilly, J. C. (1950). Flow meter for recording respiratory flow of human subjects. *Methods in medical research*, *2*, 113-121.

Lindblom, B. (1963). Spectrographic Study of Vowel Reduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *35*(11), 1773-1781.

Lindqvist-Gauffin, J., & Sundberg, J. (1976). Acoustic properties of the nasal tract. *Phonetica*, *33*(3), 161-168.

Lonchamp, F. (1988). *Etudes sur la production et la perception de la parole : Les indices acoustiques de la nasalité vocalique, la modification du timbre par la fréquence fondamentale*. Université de Nancy.

Lubker, J. F., & Moll, K. L. (1965). Simultaneous oral-nasal air flow measurements and cinefluorographic observations during speech production. *The Cleft Palate Journal*, *36*, 257-272.

Lund, V. J., & Mackay, I. S. (1993). Staging in rhinosinusitis. *Rhinology*, *31*, 183-183.

Maddieson, I. (1984). *Patterns of sounds*. Cambridge Cambridgeshire, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord.

Maddieson, I., Flavier, S., Marsico, E., & Pellegrino, F. (2014). LAPSyD: Lyon-albuquerque phonological systems databases, version 1.0. Consulté à l'adresse https://lapsyd.huma-num.fr/lapsyd/

Maeda, S. (1982). The role of the sinus cavities in the production of nasal vowels. *ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, *7*, 911-914.

Maeda, S. (1993). Acoustics of vowel nasalization and articulatory shifts in french nasal vowels. In Marie K. Huffman & R. A. Krakow (Éd.), *Nasals, Nasalization, and the Velum* (p. 147-167).

Maeda, S. (2000). Acoustique du Conduit Vocal : Voyelles Nasales et Nasalisées. In: Cours à l'ILPGA, Paris.

Main, A., Kelly, S., & Manley, G. (1999). Instrumental assessment and treatment of hypernasality, following maxillofacial surgery, using SNORS: a single case study. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *34*(2), 223-238.

Malécot, A. (1956). Acoustic Cues for Nasal Consonants: An Experimental Study Involving a Tape-Splicing Technique. *Language*, *32*(2), 274-284.

Marey, E.-J. (1878). *La méthode graphique dans les sciences expérimentales et principalement en physiologie et en médecine*, Masson, Paris.

Marey, E.-J. (1898). L'inscription des phénomènes phonétiques. Première partie : Méthodes directes. *Revue générale des sciences pures et appliquées* ,(11), 445-456.

Márquez, S. (2008). The Paranasal Sinuses: The Last Frontier in Craniofacial Biology. *The Anatomical Record*, *291*(11), 1350-1361.

Marro, M., Mondina, M., Stoll, D., & de Gabory, L. (2011). French Validation of the NOSE and RhinoQOL Questionnaires in the Management of Nasal Obstruction. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *144*(6), 988-993.

Masuda, S. (1992). Role of the maxillary sinus as a resonant cavity. *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, *95*(1), 71-80.

Mayer, J. (2017). Phonetische Analysen mit Praat. *Ein Handbuch für Ein-und Umsteiger. Handbuch-Version*, *9*.

Meister, L., Bouchet, G., Varoquaux, A., Giordano, J., Dessi, P., Perrier, P., … & Gilles, B. (2019). Computational fluid dynamics and septal deviations—Virtual surgery can predict post-surgery results: A preliminary study including two patients. *Clinical Otolaryngology*, *45*(2), 286-291.

Michel, J. (2015). *Contributions à l'étude des cavités nasosinusiennes de l'adulte par la morphométrie géométrique et la simulation numérique des écoulements.* Aix-Marseille Université.

Miwa, T., Furukawa, M., Tsukatani, T., Costanzo, R. M., DiNardo, L. J., & Reiter, E. R. (2001). Impact of olfactory impairment on quality of life and disability. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, *127*(5), 497-503.

Mohr, B., & Wang, W. S.-Y. (1968). Perceptual Distance and the Specification of Phonological Features. *Phonetica*, *18*(1), 31-45.

Moran, S., & McCloy, D. (2019). PHOIBLE 2.0. *Jena: Max Planck Institute for the Science of Human History*.

Morley, A. D., & Sharp, H. R. (2006). A review of sinonasal outcome scoring systems – which is best? *Clinical Otolaryngology*, *31*(2), 103-109.

Mortuaire, G., Vandeville, S., & Chevalier, D. (2010). Propriétés psychométriques du questionnaire de qualité de vie SinoNasal Outcome Test 16 (SNOT-16) dans la polypose nasosinusienne. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, *127*(3), 116-121.

Negus, V. (1958). *The comparative anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses.* Livingstone: London.

Nicolas, S. (2018). *Histoire de la spirométrie au XIX e siècle: du spiromètre de Hutchinson jusqu'au spiromètre de Dupont utilisé par le psychologue Alfred Binet pour mesurer la capacité respiratoire et l'intelligence des enfants d'école primaire*. Consulté à l'adresse https://hal-univ-paris.archives-ouvertes.fr/hal-01923566

Ohala, J. J. (1971). Monitoring Soft Palate Movements in Speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *50*(1A_Supplement), 140.

Ohala, J. J. (1975). Phonetic explanations for nasal sound patterns. *Nasalfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization*, 289-316.

O'Malley, J. F. (1923). Evolution of the Nasal Cavities and Sinuses in Relation to Function. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, *16*(Laryngol Sect), 83-84.

Papon, J-F. (2019). Pathologies inflammatoires, polyposes nasosinusiennes. *La Lettre d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale*, 357.

Papon, J. F., de Bonnecaze, G., Michel, J., & Rumeau, C. (2023). *Recommandation de pratique clinique. Prise en charge ORL de la Polypose Naso-Sinusienne de l'adulte*. *140*(5).

Piccirillo, J. F., Merritt, M. G., & Richards, M. L. (2002). Psychometric and Clinimetric Validity of the 20-Item Sino-Nasal Outcome Test (Snot-20). *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *126*(1), 41-47.

Poirrier, A.-L., Ahluwalia, S., Goodson, A., Ellis, M., Bentley, M., & Andrews, P. (2013). Is the Sino-Nasal Outcome Test-22 a suitable evaluation for septorhinoplasty? *The Laryngoscope*, *123*(1), 76-81.

Proctor, D. F. (1980). *Breathing, Speech, and Song*. Springer-Verlag.

Proetz, A. W. (1953). *Applied physiology of the nose* (2nd edn). Annals Publishing company: St. Louis.

Quatrehomme, G., Fronty, P., Sapanet, M., Grévin, G., Bailet, P., & Ollier, A. (1996). Identification by frontal sinus pattern in forensic anthropology. *Forensic Science International*, *83*(2), 147-153.

Quigley, J., Shiere, F. R., Webster, R. C., & Cobb, C. M. (1964). Measuring palatopharyngeal comptence with the nasal anemometer. *The Cleft palate journal*, *1*(3), 304-313.

Quigley, L. F., Cobb, C. M., & Payne, M. J. (1965). Medicoelectronic instrumentation for evaluation of palatopharyngeal competence in the normal and cleft palate patient. *Plastic and Reconstructive Surgery*, *35*, 599-612.

Quintanilla-Dieck, L., Litvack, J. R., Mace, J. C., & Smith, T. L. (2012). Comparison of disease-specific quality-of-life instruments in the assessment of chronic rhinosinusitis. *International forum of allergy & rhinology*, *2*(6), 437-443.

R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022*.

Radenne, F., Lamblin, C., Vandezande, L.-M., Tillie-Leblond, I., Darras, J., Tonnel, A.-B., & Wallaert, B. (1999). Quality of life in nasal polyposis. *Journal of allergy and clinical immunology*, *104*(1), 79-84.

Radulesco, T., Hazbri, D., Dessi, P., Adalian, P., & Michel, J. (2019). Geometric morphometric contribution to septal deviation analysis. *Surgical and Radiologic Anatomy*, *41*(7), 823-831.

Revis, J. (2004). *L'analyse perceptive des dysphonies : approche phonétique de l'évaluation vocale*. Aix Marseille Université.

Rinkel, R. N., Leeuw, I. M. V., van Reij, E. J., Aaronson, N. K., & Leemans, C. R. (2008). Speech Handicap Index in patients with oral and pharyngeal cancer: Better understanding of patients' complaints. *Head & Neck*, *30*(7), 868-874.

Rosapelly, C.-L. (1876). Inscriptions des mouvements phonétiques. *Physiologie Expérimentale; Travaux du Laboratoire de M. Marey*, *2*, 109-131.

Rosen, C. A., Lee, A. S., Osborne, J., Zullo, T., & Murry, T. (2004). Development and Validation of the Voice Handicap Index-10. *The Laryngoscope*, *114*(9), 1549-1556.

Rossato, S., Badin, P., & Bouaouni, F. (2003). Velar movements in French: an articulatory and acoustical analysis of coarticulation. *Proceedings of the 15th international congress of phonetic sciences*, 3141-3144. Barcelona, Spain.

Rothenberg, M. (1973). A new inverse-filtering technique for deriving the glottal air flow waveform during voicing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *53*(6), 1632-1645.

Rothenberg, M. (1977). Measurement of airflow in speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, *20*(1), 155-176.

Rousselot, P. J. (1891). *Les modifications phonétiques du langage : étudiées dans le patois d'une famille de Cellefrouin (Charente)*. Welter, Paris.

Rousselot, P. J. (1897). *Principes de phonétique expérimentale*, tome 1, Welter, Paris.

Rousselot, P. J. (1901). *Principes de phonétique expérimentale,* tome 2, Welter, Paris.

Rousselot, P. J., & Laclotte, F. (1903). *Précis de prononciation française*. Welter, Paris.

Rouvier, P., Vandeventer, G., El Khoury, J., & De Lanversin, H. (1991). Les résultats à long terme (sur 5 ans) de l'ethmoïdectomie dans la polypose nasale invalidante : à propos de 100 cas: 1982-88. *Journal français d'oto-rhino-laryngologie (1977)*, *40*(2), 102-105.

Rui, R., Den, L., & Gourlaouen, L. (1960). Contribution à l'étude du rôle des sinus paranasaux. *Revue de Laryngologie et Oto-Rhinologie*, *81*, 796-839.

Rysling, A., Jesse, A., & Kingston, J. (2019). Regressive spectral assimilation bias in speech perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(4), 1127-1146.

Sampson, R. (1999). *Nasal Vowel Evolution in Romance*. Oxford University Press.

Schwartz, J.-L., Abry, C., Boë, L.-J., Ménard, L., & Vallée, N. (2005). Asymmetries in vowel perception, in the context of the Dispersion–Focalisation Theory. *Speech Communication*, *45*(4), 425-434.

Serrurier, A. (2007). *Modélisation tridimensionnelle des organes de la parole à partir d'images IRM pour la production de nasales - Caractérisation articulatori-acoustique des mouvements du voile du palais.* Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG.

Simpson, A. P. (2012). The first and second harmonics should not be used to measure breathiness in male and female voices. *Journal of Phonetics*, *40*(3), 477-490.

Skolnick, M. L., McCall, G. N., & Barnes, M. (1973). The Sphincteric Mechanism of Velopharyngeal Closure. *The Cleft Palate Journal*, *10*(3), 286-305.

Soneghet, R., Santos, R. P., Behlau, M., Habermann, W., Friedrich, G., & Stammberger, H. (2002). Nasalance changes after functional endoscopic sinus surgery. *Journal of Voice*, *16*(3), 392-397.

Stammberger, H. (1989). History of rhinology: anatomy of the paranasal sinuses. *Rhinology*, *27*(3), 197-210.

Stewart, M. G., Witsell, D. L., Smith, T. L., Weaver, E. M., Yueh, B., & Hannley, M. T. (2004). Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) Scale. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *130*(2), 157-163.

Stoet, G. (2010). PsyToolkit: A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods*, *42*(4), 1096-1104.

Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A Novel Web-Based Method for Running Online Questionnaires and Reaction-Time Experiments. *Teaching of Psychology*, *44*(1), 24-31.

Story, B. H., Titze, I. R., & Hoffman, E. A. (1996). Vocal tract area functions from magnetic resonance imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *100*(1), 537-554.

Straka, G. (1965). *Album Phonetique*. Québec, Les Presses de l'Université Laval.

Takahashi, R. (1984). The formation of human paranasal sinuses. *Acta Oto-Laryngologica*, 97(sup408), 1-28.

Takeuchi, S., Kasuya, H., & Kido, K. (1977). A study on the effects of nasal and paranasal cavities on the spectra of nasal sounds. *J. Acoust. Soc. Jpn*, *33*(4), 163-172.

Teston, B. (1980). La mesure des paramètres aérodynamiques dans la production de la parole. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)*, *7*, 149-178.

Teston, B. (1984). Un système de mesure des paramètres aérodynamiques de la parole: le Polyphonomètre modèle III. *Travaux interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, *9*, 373-383.

Teston, B. (1993). A new air flowmeter design for the investigation of speech production. *3rd European Conference on Speech Communication and Technology (Eurospeech 1993)*, 405-408.

Teston, B. (2005). De Marey à EVA ou 120 ans de mesures aérodynamiques dans la production de la parole. In *Un siècle de phonétique expérimentale: Histoire et développement de Théodore Rosset à John Ohala*.

Teston, B., & Galindo, B. (1995). A Diagnostic and Rehabilitation Aid Workstation for Speech and Voice Pathologies. *EUROSPEECH-1995*, 1883-1886.

Underwood, A. S. (1910). An Inquiry into the Anatomy and Pathology of the Maxillary Sinus. *Journal of Anatomy and Physiology*, *44*(Pt 4), 354-369.

Vaissière, J. (1988). Prediction of Velum Movement from Phonological Specifications, *Phonetica*, *45*(2-4), 122-139.

Vaissière, J. (1995). Nasalité et phonétique. *Colloque Sur Le Voile Pathologique*, Lyon.,

Vaissière, J. (1998). *Corpus élaboré dans le cadre d'un contrat sur la comparaison des langues entre l'Institut de Linguistique et de Phonétique Générales et Appliquées (ILPGA) et l'Agence Francophone pour l'Enseignement Supérieur et la Recherche (AUPELF-UREF).*

Vaissière, J., Honda, K., Amelot, A., Maeda, S. M., & Crevier-Buchman, L. (2010). *Multisensor Platform for Speech Physiology Research in a Phonetics Laboratory*. *14*, 13.

Van Hattum, R. J., & Worth, J. H. (1967). Air flow rates in normal speakers. *The Cleft Palate Journal*, *4*, 137-147.

Van Oene, C. M., Van Reij, E. J. F., Sprangers, M. A. G., & Fokkens, W. J. (2007). Quality-assessment of disease-specific quality of life questionnaires for rhinitis and rhinosinusitis: a systematic review. *Allergy*, *62*(12), 1359-1371.

Vaxelaire, B. (1997). Contrôle du velum et nasalité en français. *Scolia : Sciences Cognitives, Linguistiques et Intelligence Artificielle*, *10*(1), 39-60.

Villet, H. (2017). *Modifications des flux aérodynamiques de la parole après chirurgie naso-sinusienne*.

Wang, W. S.-Y., & Fillmore, C. J. (1961). Intrinsic Cues and Consonant Perception. *Journal of Speech and Hearing Research*, *4*(2), 130-136.

Ware, J. E., & Sherbourne, C. D. (1992). The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Medical Care*, *30*(6), 473-483.

Warren, D. W. (1967). Nasal Emission of Air and Velopharyngeal Function. *The Cleft Palate Journal*, *4*(2), 148-156.

Warren, D. W., Dalston, R. M., & Mayo, R. (1993). Aerodynamics of nasalization. In Marie K. Huffman & R. A. Krakow (Éd.), *Nasals, Nasalization, and the Velum* (p. 119-146).

Warren, Donald W, Hinton, V. A., Iii, H. C. P., & Hairfield, W. M. (1987). Effects of Size of the Nasal Airway on Nasal Airflow Rate, *Archives of Otolaryngology*, 113, 405-408.

Warren, D.W., & Dubois, A. B. (1964). A pressure-flow technique for measuring velopharyngeal orifice area during continuous speech. *Cleft palate J*, *1*(1), 52-71.

Wegner, R. N. (1955). *Studien uber Nebenhohlen des Schadels.* Universitat Greifswald Jahrgung V cited from Blanton and Biggs, 1969.

Welby, W., & Barnett, S. N. (1998). Impact of endoscopic sinus surgery on global health perception: An outcomes study. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *119*(5), 486-491.

Wong, E. H. C., & Chong, A. W. (2019). Objective and subjective changes in voice after endoscopic sinus surgeries in patients with and without nasal polyps. *American Journal of Otolaryngology*, 102367.

Worth, J. H., Runyon, J. C., & Subtelny, J. D. (1968). Integrating Flowmeter for Measuring Unimpaired Oral and Nasal Airflow. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *BME-15*(3), 196-200.

Yushkevich, P. A., Piven, J., Hazlett, H. C., Smith, R. G., Ho, S., Gee, J. C., & Gerig, G. (2006). User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*, *31*(3), 1116-1128.

Zerling, J. (1984). Phénomènes de nasalité et de nasalisation vocalique: étude cinéradiographique pour deux locuteurs. *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg,* 16, 241-266.

Zuckerkandl, E. (1895). *Anatomie normale et pathologique des fosses nasales.* Masson, Paris.

Annexes

Annexe 1 : Tableaux statistiques de la validation acoustique de l'AeroMask

« H » correspond aux hommes et « F » aux femmes.

1) Résultats Anova

			df	Fvalue	P value	
y	H	F1	4, 153	5,067	0,001	***
		F2	4, 153	5,010	0,001	***
	F	F1	4, 155	5,734	0,000	***
		F2	4, 155	11,104	0,000	***
i	H	F1	4, 155	4,316	0,002	**
		F2	4, 155	15,861	0,000	***
	F	F1	4, 155	12,124	0,000	***
		F2	4, 155	12,900	0,000	***
e	H	F1	4, 155	5,175	0,001	***
		F2	4, 155	14,509	0,000	***
	F	F1	4, 126	4,367	0,002	**
		F2	4, 126	25,083	0,000	***
u	H	F1	4, 152	8,246	0,000	***
		F2	4, 152	3,715	0,006	**
	F	F1	4, 155	25,784	0,002	***
		F2	4, 155	4,144	0,003	**
a	H	F1	4, 155	0,509	0,729	
		F2	4, 155	0,761	0,552	
	F	F1	4, 155	3,492	0,009	**
		F2	4, 155	3,256	0,013	*
o	H	F1	4, 158	22,662	0,000	***
		F2	4, 158	6,700	0,000	***
	F	F1	4, 155	23,704	0,000	***
		F2	4, 155	17,026	0,000	***
ø	H	F1	4, 154	3,844	0,005	**
		F2	4, 154	14,122	0,000	***
	F	F1	4, 139	8,354	0,000	***
		F2	4, 139	2,363	0,056	.

2) Résultats post-hoc de Tukey

			Aeromask-EVA	micro-EVA	OroNasalMask-EVA	Rothenberg-EVA	micro-AeroMask	OroNasalMask-AeroMask	Rothenberg-AeroMask	OroNasalMask-micro	Rothenberg-micro	Rothenberg-oroNasalMask
y	H	F1	0,536	0,089	0,644	0,520	0,869	1,000	0,019	0,787	0,001	0,031
		F2	0,003	0,071	0,453	0,001	0,838	0,297	1,000	0,886	0,721	0,197
	F	F1	0,968	0,321	1,000	0,041	0,087	0,991	0,187	0,232	0,000	0,067
		F2	0,000	0,000	0,848	0,002	1,000	0,001	0,708	0,001	0,615	0,055
i	H	F1	0,617	0,264	0,890	0,405	0,976	0,987	0,016	0,807	0,002	0,063
		F2	0,000	0,000	0,083	0,000	0,996	0,024	0,777	0,008	0,933	0,000
	F	F1	0,000	0,000	0,001	0,000	0,852	0,765	0,997	0,192	0,962	0,558
		F2	0,000	0,000	0,005	0,973	1,000	0,838	0,000	0,780	0,000	0,001
e	H	F1	0,969	0,862	1,000	0,021	0,997	0,932	0,003	0,786	0,001	0,032
		F2	0,000	0,000	0,040	0,000	0,220	0,281	0,949	0,001	0,640	0,057
	F	F1	0,099	0,026	0,985	0,028	1,000	0,229	0,984	0,078	0,996	0,074
		F2	0,000	0,000	0,000	0,996	1,000	0,460	0,000	0,363	0,000	0,000
u	H	F1	0,353	0,465	0,129	0,175	0,006	0,983	0,001	0,001	0,979	0,000
		F2	0,029	0,972	0,041	0,934	0,136	1,000	0,194	0,174	1,000	0,242
	F	F1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,975	0,035	0,023	0,991	0,006
		F2	0,447	0,001	0,291	0,453	0,133	0,999	1,000	0,234	0,130	0,999
a	H	F1										
		F2										
	F	F1	0,961	0,999	0,591	0,181	0,992	0,210	0,542	0,441	0,282	0,003
		F2	0,137	0,218	0,302	0,997	0,999	0,994	0,061	1,000	0,106	0,157
o	H	F1	0,169	0,000	0,040	0,000	0,023	0,975	0,000	0,113	0,003	0,000
		F2	0,963	0,005	0,647	0,656	0,038	0,956	0,259	0,207	0,000	0,054
	F	F1	1,000	0,004	0,944	0,000	0,003	0,933	0,000	0,040	0,000	0,000

		F2	0,012	0,000	0,183	0,035	0,000	0,000	0,000	0,286	0,706	0,958
ø	H	F1	1,000	0,053	0,885	0,832	0,076	0,836	0,889	0,003	0,444	0,282
		F2	1,000	0,928	0,998	0,000	0,901	0,999	0,000	0,789	0,000	0,000
	F	F1	0,003	0,077	0,998	0,000	0,531	0,007	1,000	0,151	0,300	0,000
		F2	0,999	0,672	0,839	0,600	0,924	0,978	0,599	0,998	0,048	0,101

Les cases en gris indiquent que le test post-hoc n'a pas été réalisé étant donné que l'Anova n'était pas significative.

Annexe 2 : Tableaux statistiques pour F1 et F2 pour la validation acoustique de l'AeroMask

« 2 » représente la voyelle /ø/. « Fiber_mask » correspond à l'AeroMask, « Roth_NV » à l'OroNasalMask et « rothen » au masque de Rothenberg.

Locuteurs féminins

Voyelles tenues, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	4	472	502	482	485	13	10	13	6
2	Fiber_mask	4	417	464	440	440	37	30	24	12
2	Roth_NV	4	454	515	483	484	21	24	25	13
2	micro	4	416	442	436	432	12	7	12	6
2	rothen	4	416	483	474	462	27	12	31	16
a	EVA	4	696	737	730	723	17	9	19	9
a	Fiber_mask	4	722	790	777	766	18	10	30	15
a	Roth_NV	4	751	840	829	812	26	10	41	21
a	micro	4	755	798	792	784	19	8	20	10
a	rothen	4	721	918	856	838	125	83	93	46
e	EVA	4	432	463	449	448	23	18	15	7
e	Fiber_mask	4	375	434	398	401	25	22	25	13
e	Roth_NV	4	427	496	482	472	30	17	31	15
e	micro	4	443	457	451	451	8	7	6	3
e	rothen	4	433	487	470	465	20	16	23	12
i	EVA	4	265	281	267	270	7	3	8	4
i	Fiber_mask	4	249	303	263	270	15	11	23	12
i	Roth_NV	4	257	538	290	344	83	31	130	65
i	micro	4	254	276	264	264	9	9	9	5
i	rothen	4	259	375	289	303	51	33	52	26
o	EVA	4	473	547	500	505	23	22	31	15
o	Fiber_mask	4	459	493	470	473	9	8	14	7
o	Roth_NV	4	463	516	492	491	34	27	24	12
o	micro	4	396	451	439	431	17	11	24	12
o	rothen	4	426	495	451	456	33	26	30	15
u	EVA	4	308	770	384	462	200	98	214	107
u	Fiber_mask	4	273	379	310	318	79	53	53	26
u	Roth_NV	4	278	337	305	306	42	33	28	14
u	micro	4	278	290	288	286	4	2	5	3
u	rothen	4	259	324	280	285	18	17	28	14
y	EVA	4	255	280	268	268	18	15	12	6
y	Fiber_mask	4	265	299	278	280	27	19	17	9

y	Roth_NV	4	257	309	278	281	30	25	23	12
y	micro	4	261	279	265	267	5	3	8	4
Y	rothen	4	291	406	325	336	66	44	53	27

Voyelles tenues, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	4	1326	1623	1453	1464	227	170	148	74
2	Fiber_mask	4	1388	1721	1534	1544	248	189	163	82
2	Roth_NV	4	1283	1538	1426	1418	222	161	135	68
2	micro	4	1225	1746	1486	1486	444	348	273	136
2	rothen	4	925	1416	946	1058	151	29	239	120
a	EVA	4	1059	1676	1198	1283	223	137	273	136
a	Fiber_mask	4	1345	1464	1391	1398	41	40	49	25
a	Roth_NV	4	1279	1414	1403	1375	36	9	64	32
a	micro	4	1366	1430	1387	1392	34	24	29	14
a	rothen	4	959	1554	1182	1219	446	312	295	147
e	EVA	4	976	2228	1364	1483	395	328	531	266
e	Fiber_mask	4	2226	2270	2255	2252	25	18	20	10
e	Roth_NV	4	1218	2108	2040	1851	319	98	427	213
e	micro	4	2228	2342	2277	2281	89	66	57	28
e	rothen	4	1016	2161	2003	1796	371	159	527	264
i	EVA	4	1113	1260	1214	1201	52	42	63	31
i	Fiber_mask	4	2226	2392	2329	2319	104	77	77	38
i	Roth_NV	4	1793	2277	1968	2001	317	227	228	114
i	micro	4	2204	2407	2316	2311	105	94	88	44
i	rothen	4	735	1627	1242	1211	521	432	400	200
o	EVA	4	734	1393	838	951	231	110	301	151
o	Fiber_mask	4	761	898	772	801	37	9	65	33
o	Roth_NV	4	787	981	891	888	129	106	91	45
o	micro	4	713	913	825	819	101	90	86	43
o	rothen	4	921	1016	948	958	43	30	42	21
u	EVA	4	783	1058	924	922	75	103	112	56
u	Fiber_mask	4	657	716	701	694	16	12	25	13
u	Roth_NV	4	745	912	838	833	102	85	76	38
u	micro	4	741	808	782	779	46	34	32	16
u	rothen	4	727	790	772	765	39	25	30	15
y	EVA	4	1443	1719	1625	1603	207	137	138	69
y	Fiber_mask	4	2044	2101	2056	2064	28	16	26	13
y	Roth_NV	4	1492	1674	1608	1595	73	62	77	39
y	micro	4	1925	2056	2017	2004	81	53	61	31
y	rothen	4	521	1993	1008	1133	936	641	691	345

Voyelles dans le contexte des logatomes, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	32	377	523	439	439	31	25	31	6
2	Fiber_mask	32	350	459	395	398	38	30	32	8
2	Roth_NV	32	370	516	427	436	52	29	37	7
2	micro	32	342	486	418	415	41	35	33	6
2	rothen	32	305	510	407	397	61	41	46	8
a	EVA	32	537	848	722	720	51	38	59	10
a	Fiber_mask	32	587	799	705	700	63	48	52	9
a	Roth_NV	32	604	873	760	762	108	79	66	12
a	micro	32	596	798	718	713	65	50	51	9
a	rothen	32	245	918	812	656	426	77	233	41
e	EVA	32	370	477	431	432	40	31	26	5
e	Fiber_mask	32	361	451	412	406	43	29	26	6
e	Roth_NV	32	364	518	426	427	50	44	41	7
e	micro	32	348	448	406	404	33	25	26	5
e	rothen	32	324	484	411	401	85	73	52	12
i	EVA	32	190	755	305	389	266	85	164	29
i	Fiber_mask	32	234	346	285	288	34	25	27	5
i	Roth_NV	32	269	408	304	311	45	32	32	6
i	micro	32	245	313	263	268	20	13	17	3
i	rothen	32	210	426	270	281	42	33	43	8
o	EVA	32	381	524	451	452	30	25	31	6
o	Fiber_mask	32	374	591	433	452	70	45	61	11
o	Roth_NV	32	371	516	449	444	46	32	34	6
o	micro	32	351	477	413	414	53	42	36	6
o	rothen	32	272	474	356	367	55	40	42	7
u	EVA	32	181	729	427	429	97	73	107	19
u	Fiber_mask	32	197	439	337	338	51	40	45	8
u	Roth_NV	32	291	405	346	347	34	28	27	5
u	micro	32	268	345	299	302	31	21	20	3
u	rothen	32	233	550	286	295	42	32	55	10
y	EVA	32	237	408	297	299	35	28	37	7
y	Fiber_mask	32	233	378	301	305	48	33	33	6
y	Roth_NV	32	208	359	306	301	49	40	35	6
y	micro	32	242	341	278	282	21	17	26	5
y	rothen	32	250	467	323	325	57	42	48	8

Voyelles dans le contexte des logatomes, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	32	991	1560	1397	1384	91	76	124	22
2	Fiber_mask	32	1335	1464	1407	1404	47	38	38	9
2	Roth_NV	32	1324	1653	1428	1447	125	99	82	15
2	micro	32	1236	1665	1494	1465	284	221	152	27
2	rothen	32	512	2517	1080	1296	774	412	470	83
a	EVA	32	726	1653	1353	1330	205	165	169	30
a	Fiber_mask	32	1333	1520	1436	1439	62	46	48	9
a	Roth_NV	32	1280	1495	1437	1420	66	42	55	10
a	micro	32	1272	1529	1425	1428	60	45	51	9
a	rothen	32	863	1873	1428	1314	691	546	368	65
e	EVA	32	1117	2131	1570	1571	658	487	340	65
e	Fiber_mask	32	2036	2289	2159	2177	72	70	65	14
e	Roth_NV	32	1295	2292	2059	2037	133	109	187	33
e	micro	32	2059	2291	2185	2174	108	60	63	11
e	rothen	32	592	2444	1887	1605	1065	417	626	144
i	EVA	32	960	2229	1931	1698	867	360	441	78
i	Fiber_mask	32	2002	2439	2188	2187	203	149	125	22
i	Roth_NV	32	1738	2400	2007	2076	314	222	189	33
i	micro	32	2043	2448	2180	2200	139	118	111	20
i	rothen	32	617	3476	1549	1632	1022	807	817	144
o	EVA	32	860	1414	991	1013	127	103	126	22
o	Fiber_mask	32	918	1358	1054	1095	200	119	140	25
o	Roth_NV	32	833	1094	971	958	100	76	72	13
o	micro	32	721	1056	921	908	141	104	93	16
o	rothen	32	873	1058	945	940	59	38	41	7
u	EVA	32	730	1225	1051	1023	198	157	134	24
u	Fiber_mask	32	558	2564	877	932	109	83	321	57
u	Roth_NV	32	790	1098	913	918	101	77	74	13
u	micro	32	679	945	819	806	94	74	69	12
u	rothen	32	809	2648	879	933	57	47	316	56
y	EVA	32	1316	2043	1553	1599	230	148	182	32
y	Fiber_mask	32	1535	2037	1879	1860	115	83	109	19
y	Roth_NV	32	1368	2056	1614	1652	240	140	165	29
y	micro	32	1621	2038	1869	1868	140	103	104	18
y	rothen	32	639	2089	1896	1794	137	102	368	65

Voyelles dans le contexte des phrases, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	20	355	513	449	449	33	30	39	9
2	Fiber_mask	20	284	493	407	408	96	78	63	15
2	Roth_NV	20	386	513	452	446	79	59	43	10
2	micro	20	318	479	418	412	69	54	47	11
2	rothen	20	304	507	414	408	113	92	66	15
a	EVA	60	267	937	713	705	86	65	99	13
a	Fiber_mask	60	544	826	678	680	89	65	65	8
a	Roth_NV	62	419	884	746	752	102	79	82	10
a	micro	60	532	834	693	691	87	66	68	9
a	rothen	60	134	908	785	676	321	110	224	29
e	EVA	51	387	751	442	462	70	47	67	9
e	Fiber_mask	52	324	510	406	413	62	40	45	6
e	Roth_NV	52	338	734	420	456	110	50	86	12
e	micro	52	344	507	404	412	58	43	38	5
e	rothen	51	192	618	394	396	70	54	75	10
i	EVA	24	233	645	342	378	209	130	124	25
i	Fiber_mask	24	225	513	318	355	170	104	97	20
i	Roth_NV	23	235	583	367	387	183	158	114	24
i	micro	23	219	1102	327	377	168	129	182	37
i	rothen	24	201	578	265	292	75	44	86	18
o	EVA	20	394	563	435	445	37	28	41	9
o	Fiber_mask	20	376	487	433	430	63	55	38	8
o	Roth_NV	20	337	528	423	429	84	57	52	10
o	micro	20	334	482	397	404	46	33	39	9
o	rothen	19	319	493	379	382	56	48	45	10
u	EVA	21	292	1469	423	491	167	128	246	54
u	Fiber_mask	20	253	419	359	347	40	31	45	10
u	Roth_NV	19	268	435	342	343	39	29	39	9
u	micro	21	251	352	299	306	33	26	24	5
u	rothen	20	241	388	292	299	36	27	38	9
y	EVA	19	187	545	432	409	211	122	113	26
y	Fiber_mask	18	228	465	379	373	65	54	66	16
y	Roth_NV	21	252	697	502	490	110	87	112	25
y	micro	19	222	471	409	378	127	40	81	18
y	rothen	20	250	658	376	388	139	110	115	26

Voyelles dans le contexte des phrases, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	20	1275	1607	1416	1431	135	111	92	22
2	Fiber_mask	20	1311	1759	1604	1564	223	203	136	31
2	Roth_NV	20	1271	1670	1466	1471	162	145	129	29
2	micro	20	1201	1782	1581	1529	359	184	190	43
2	rothen	20	617	2065	1008	1249	647	428	445	99
a	EVA	60	765	1690	1405	1367	188	138	173	22
a	Fiber_mask	60	1288	1853	1544	1563	152	124	121	16
a	Roth_NV	62	864	1694	1466	1471	115	83	126	16
a	micro	60	1266	1850	1546	1553	188	140	134	17
a	rothen	60	778	1916	1654	1457	804	360	396	51
e	EVA	51	989	2301	1682	1623	568	364	333	46
e	Fiber_mask	52	1861	2420	2111	2113	170	128	123	17
e	Roth_NV	52	1399	2300	1986	1981	165	99	175	24
e	micro	52	1896	2573	2152	2152	107	79	116	16
e	rothen	51	504	2584	1804	1510	1057	708	606	84
i	EVA	24	564	2166	1348	1444	605	446	427	87
i	Fiber_mask	24	1885	2461	2217	2192	249	161	159	33
i	Roth_NV	23	1408	2266	1969	1930	233	159	210	44
i	micro	23	1986	2973	2180	2251	205	156	244	50
i	rothen	24	753	2460	1100	1368	1036	426	575	117
o	EVA	20	730	1304	1060	1066	196	160	150	33
o	Fiber_mask	20	955	2321	1103	1245	280	130	389	87
o	Roth_NV	20	793	1333	996	1022	216	163	156	31
o	micro	20	762	1490	965	1012	208	170	196	44
o	rothen	19	837	1021	918	920	55	45	48	11
u	EVA	21	816	1788	1149	1180	239	181	253	55
u	Fiber_mask	20	625	1860	1037	1158	390	236	384	82
u	Roth_NV	19	893	1668	1074	1118	238	181	193	43
u	micro	21	713	1946	978	1073	424	322	356	78
u	rothen	20	590	1504	925	919	69	52	170	38
y	EVA	19	983	1579	1360	1338	179	145	155	36
y	Fiber_mask	18	1207	2106	1657	1665	469	361	274	65
y	Roth_NV	21	1278	1937	1451	1496	148	126	172	38
y	micro	19	1170	2006	1522	1558	588	422	316	72
y	rothen	20	483	2035	1089	1364	983	664	538	120

Locuteurs masculins :

Voyelles tenues, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	4	354	378	370	368	14	10	11	5
2	Fiber_mask	4	305	392	372	360	41	25	39	20
2	Roth_NV	4	358	406	391	387	27	19	22	11
2	micro	4	330	356	353	348	12	6	12	6
2	rothen	4	295	529	332	372	91	44	108	54
a	EVA	4	564	661	605	609	76	56	49	24
a	Fiber_mask	4	612	708	661	661	34	39	39	20
a	Roth_NV	4	651	744	679	688	54	36	43	22
a	micro	4	614	704	662	660	78	58	47	24
a	rothen	4	618	939	763	773	161	216	161	93
e	EVA	4	373	413	399	396	12	12	17	8
e	Fiber_mask	4	390	508	414	431	45	25	53	27
e	Roth_NV	4	385	462	423	423	72	55	43	21
e	micro	4	353	365	360	359	6	5	5	3
e	rothen	4	346	553	390	420	107	60	96	48
i	EVA	4	226	297	251	256	49	34	34	17
i	Fiber_mask	4	207	238	223	223	25	20	16	8
i	Roth_NV	4	243	283	262	262	10	14	16	8
i	micro	4	175	253	218	216	51	42	36	18
i	rothen	4	277	305	281	286	8	4	13	6
o	EVA	4	381	522	386	419	37	4	69	34
o	Fiber_mask	4	317	408	357	360	24	30	37	19
o	Roth_NV	4	351	605	370	424	64	15	121	61
o	micro	4	329	342	336	336	4	5	6	3
o	rothen	4	332	408	350	360	22	14	33	17
u	EVA	4	231	340	279	282	75	59	52	26
u	Fiber_mask	4	229	368	296	297	38	51	57	28
u	Roth_NV	4	239	496	285	326	75	40	115	58
u	micro	4	205	235	218	219	18	15	13	7
u	rothen	4	228	350	256	272	60	35	56	28
y	EVA	4	251	263	258	257	4	4	5	3
y	Fiber_mask	4	233	259	241	244	17	11	12	6
y	Roth_NV	4	228	268	262	255	18	9	19	9
y	micro	4	206	253	235	232	38	26	24	12
y	rothen	4	256	346	316	309	36	29	38	19

Voyelles tenues, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	4	1289	1477	1389	1386	81	82	79	39
2	Fiber_mask	4	1225	1474	1297	1323	90	67	107	54
2	Roth_NV	4	1215	1488	1361	1356	205	162	134	67
2	micro	4	1202	1545	1373	1373	314	239	187	94
2	rothen	4	611	1126	884	876	305	266	231	116
a	EVA	4	937	1283	1142	1126	151	137	146	73
a	Fiber_mask	4	1027	1298	1128	1145	71	76	112	56
a	Roth_NV	4	1095	1290	1221	1207	83	68	83	42
a	micro	4	1143	1303	1256	1240	85	57	72	36
a	rothen	4	915	1491	1260	1222	288	341	290	167
e	EVA	4	1707	1867	1839	1813	76	38	74	37
e	Fiber_mask	4	1833	2264	1957	2003	256	166	201	100
e	Roth_NV	4	1693	1881	1733	1760	88	50	86	43
e	micro	4	1933	2066	1977	1988	70	51	59	30
e	rothen	4	830	1988	1920	1665	358	84	558	279
i	EVA	4	1065	2196	1934	1782	455	279	502	251
i	Fiber_mask	4	1964	2176	2040	2055	128	94	97	49
i	Roth_NV	4	1804	2041	1894	1908	127	100	105	52
i	micro	4	1981	2252	2120	2118	160	143	121	61
i	rothen	4	1461	2109	2065	1925	220	61	312	156
o	EVA	4	721	1018	757	813	93	36	138	69
o	Fiber_mask	4	655	767	726	718	32	33	47	23
o	Roth_NV	4	730	1860	769	1032	285	31	552	276
o	micro	4	659	775	723	720	56	52	50	25
o	rothen	4	819	907	841	852	27	19	39	19
u	EVA	4	643	1129	688	787	155	50	230	115
u	Fiber_mask	4	533	702	618	618	70	76	71	35
u	Roth_NV	4	699	1415	840	948	274	151	322	161
u	micro	4	413	668	610	575	107	64	114	57
u	rothen	4	730	1744	818	1027	304	90	481	240
y	EVA	4	1530	1771	1625	1638	65	72	100	50
y	Fiber_mask	4	1688	1896	1786	1789	89	91	87	44
y	Roth_NV	4	1632	1761	1726	1711	39	29	55	28
y	micro	4	1356	1985	1835	1753	236	150	277	139
y	rothen	4	1874	2093	1954	1969	61	62	91	46

Voyelles dans le contexte des logatomes, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	32	341	430	384	384	26	20	25	4
2	Fiber_mask	32	337	414	384	383	40	29	22	4
2	Roth_NV	32	348	443	396	394	47	39	29	5
2	micro	32	298	420	352	354	27	20	26	5
2	rothen	32	195	597	365	373	64	49	83	15
a	EVA	32	520	708	608	610	70	56	56	10
a	Fiber_mask	32	521	660	600	597	53	43	39	7
a	Roth_NV	32	525	765	621	621	46	39	58	10
a	micro	32	478	773	636	635	138	111	85	15
a	rothen	32	241	900	664	623	384	271	217	38
e	EVA	32	357	440	394	398	38	31	25	5
e	Fiber_mask	32	348	452	387	391	32	23	25	4
e	Roth_NV	32	347	450	397	399	33	24	25	4
e	micro	32	333	458	383	387	47	38	32	6
e	rothen	32	326	728	424	432	60	45	84	15
i	EVA	32	227	349	273	276	26	21	23	4
i	Fiber_mask	32	206	354	261	265	40	29	29	5
i	Roth_NV	32	202	318	270	269	33	25	25	4
i	micro	32	207	340	264	261	51	36	32	6
i	rothen	32	218	345	292	288	38	30	33	6
o	EVA	32	354	585	417	431	39	32	50	9
o	Fiber_mask	32	320	478	406	408	43	34	34	6
o	Roth_NV	32	351	463	402	402	38	28	29	5
o	micro	32	308	457	375	377	39	28	32	5
o	rothen	32	225	432	351	341	57	37	53	9
u	EVA	32	159	436	335	331	63	49	49	9
u	Fiber_mask	32	250	636	339	368	82	57	94	17
u	Roth_NV	32	237	724	324	379	153	63	137	25
u	micro	32	208	394	293	298	45	35	38	7
u	rothen	32	203	343	298	286	42	26	36	6
y	EVA	32	259	341	300	300	25	19	22	4
y	Fiber_mask	32	218	317	282	278	32	27	24	4

y	Roth_NV	32	122	811	282	280	55	31	110	20
y	micro	32	187	305	269	264	48	38	31	5
y	rothen	32	188	442	319	322	53	42	48	9

Voyelles dans le contexte des logatomes, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	32	1220	1458	1337	1344	112	85	77	14
2	Fiber_mask	32	1181	1735	1355	1349	94	67	99	18
2	Roth_NV	32	1207	1529	1334	1363	183	130	101	18
2	micro	32	519	1595	1328	1299	106	75	179	32
2	rothen	32	432	2596	920	1009	223	167	440	78
a	EVA	32	1174	1444	1276	1265	82	56	59	11
a	Fiber_mask	32	1065	1612	1279	1271	100	75	114	20
a	Roth_NV	32	1062	1409	1301	1290	65	59	81	14
a	micro	32	1199	1475	1347	1349	105	68	65	12
a	rothen	32	864	2746	1211	1315	604	429	465	81
e	EVA	32	1267	1950	1609	1612	206	173	157	28
e	Fiber_mask	32	1198	2033	1824	1820	88	65	133	24
e	Roth_NV	32	1185	1927	1759	1735	126	97	131	23
e	micro	32	1764	2018	1929	1911	93	64	71	13
e	rothen	32	609	2208	1905	1851	122	95	290	51
i	EVA	32	1025	1969	1790	1736	186	123	208	37
i	Fiber_mask	32	1832	2301	1918	1953	154	105	119	21
i	Roth_NV	32	1606	1997	1831	1835	127	87	86	15
i	micro	32	1736	2060	1970	1967	64	45	61	11
i	rothen	32	1209	2484	1967	1997	160	113	226	40
o	EVA	32	775	1106	917	916	74	58	81	14
o	Fiber_mask	32	711	1526	864	902	78	59	148	26
o	Roth_NV	32	787	1054	890	887	47	34	53	9
o	micro	32	684	921	853	842	76	57	56	9
o	rothen	32	858	1029	944	944	46	38	39	7
u	EVA	32	753	1287	860	899	121	87	128	23
u	Fiber_mask	32	588	2504	972	1170	739	372	526	94
u	Roth_NV	32	723	1977	925	1161	712	218	406	74
u	micro	32	714	1981	859	955	139	103	304	54
u	rothen	32	533	2526	912	970	72	55	348	62
y	EVA	32	1369	1783	1590	1590	101	92	92	16
y	Fiber_mask	32	1640	1937	1809	1788	102	57	68	12
y	Roth_NV	32	1535	1848	1660	1681	128	91	85	15
y	micro	32	1414	1867	1739	1731	111	98	97	17

y	rothen	32	461	2597	1925	1799	100	71	448	79

Voyelles dans le contexte des phrases, F1 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	20	326	415	361	361	28	23	23	5
2	Fiber_mask	20	298	425	357	357	57	43	36	8
2	Roth_NV	21	273	504	370	365	45	32	50	11
2	micro	20	228	376	330	322	38	29	37	8
2	rothen	20	171	601	330	343	103	91	102	23
a	EVA	60	441	803	568	570	101	78	76	10
a	Fiber_mask	60	412	727	572	568	99	73	71	9
a	Roth_NV	60	454	743	572	568	93	72	61	8
a	micro	60	454	768	580	587	109	81	80	10
a	rothen	59	59	892	469	522	323	210	197	26
e	EVA	52	304	888	418	436	63	51	96	13
e	Fiber_mask	52	307	513	385	390	47	34	43	6
e	Roth_NV	50	314	516	395	402	51	34	42	6
e	micro	52	297	599	371	381	31	22	52	7
e	rothen	53	246	625	387	411	127	99	91	12
i	EVA	23	168	1023	316	358	103	80	192	40
i	Fiber_mask	24	212	1682	281	364	131	78	292	60
i	Roth_NV	24	198	567	295	327	100	62	98	20
i	micro	22	202	508	272	290	113	83	84	18
i	rothen	24	215	438	306	310	68	51	57	12
o	EVA	20	325	460	399	395	65	54	42	9
o	Fiber_mask	20	342	455	394	397	33	26	28	6
o	Roth_NV	20	365	481	404	409	43	35	31	7
o	micro	20	313	400	353	349	32	30	25	6
o	rothen	21	242	390	327	321	53	35	36	8
u	EVA	20	261	1410	317	404	49	35	280	63
u	Fiber_mask	20	264	500	318	334	37	28	60	13
u	Roth_NV	20	141	782	330	338	100	61	160	36
u	micro	20	181	404	261	264	40	31	43	10
u	rothen	18	221	388	293	294	46	36	43	10
y	EVA	19	182	807	388	398	153	106	143	33
y	Fiber_mask	20	170	460	361	343	146	101	85	19
y	Roth_NV	20	188	1687	384	475	139	104	362	81
y	micro	20	187	431	322	323	117	90	72	16
y	rothen	21	79	826	344	359	82	68	148	32

Voyelles dans le contexte des phrases, F2 :

Phon	Masque	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
2	EVA	20	1216	1477	1366	1354	121	110	79	18
2	Fiber_mask	20	1239	1645	1440	1454	170	136	115	26
2	Roth_NV	21	1209	1569	1349	1356	134	90	102	22
2	micro	20	1145	1553	1415	1395	153	108	112	25
2	rothen	20	374	2214	1032	1225	735	500	530	119
a	EVA	60	943	1560	1285	1285	168	126	131	17
a	Fiber_mask	60	920	1788	1361	1369	123	94	167	22
a	Roth_NV	60	979	1619	1353	1368	136	109	127	16
a	micro	60	1113	1662	1420	1431	182	124	141	18
a	rothen	59	735	2763	997	1238	512	183	490	64
e	EVA	52	966	1910	1637	1601	232	182	204	28
e	Fiber_mask	52	1425	2077	1827	1826	171	128	132	18
e	Roth_NV	50	1004	1978	1698	1683	107	81	150	21
e	micro	52	1431	2091	1875	1858	157	122	134	19
e	rothen	53	604	2539	1909	1833	143	110	386	53
i	EVA	23	1136	2047	1670	1637	354	255	260	54
i	Fiber_mask	24	1631	2974	1934	1959	226	181	275	56
i	Roth_NV	24	1600	2141	1803	1807	175	129	146	30
i	micro	22	1109	2357	1876	1877	126	115	228	49
i	rothen	24	770	2211	1901	1700	350	153	457	93
o	EVA_buccal	20	746	1191	931	968	260	200	147	33
o	Fiber_mask	20	728	1630	935	984	226	173	235	52
o	Roth_NV	20	693	1295	939	981	292	167	177	40
o	micro	20	644	1161	835	885	215	94	147	33
o	rothen	21	553	2701	908	971	103	61	412	90
u	EVA	20	805	1940	1161	1202	351	292	303	68
u	Fiber_mask	20	600	2167	1389	1348	756	562	454	101
u	Roth_NV	20	603	2268	1256	1248	518	346	402	90
u	micro	20	749	2022	1126	1223	508	371	404	90
u	rothen	18	711	2561	953	1274	893	199	608	143
y	EVA	19	1259	1697	1463	1452	184	148	138	32
y	Fiber_mask	20	1074	1988	1576	1553	459	356	293	65
y	Roth_NV	20	1126	2868	1532	1566	256	196	372	83
y	micro	20	1010	1843	1366	1436	566	424	296	66
y	rothen	21	683	2557	1687	1547	936	871	568	124

Annexe 3 : Corpus pour la validation acoustique

Contexte des phrases :

Papa n'est pas parti à Paris
Pipi est pire que la pitié
Pépé a pété le pétard de Pétin
Poupou pousse ses poux dans la poussière
Pupu n'a pas purgé la purée
Popo a posé le pot sur sa peau
Peupeu le pieux peut prendre un pneu

Contexte des logatomes :

Il a dit « i » comme dans pile
Pip pip pip, tu n'as pas dit pipip mais pipipip

Il a dit « é » comme dans pré
Pép pép pép, tu n'as pas dit pépép mais pépépép

Il a dit « u » comme dans puce
Pup pup pup, tu n'as pas dit pupup mais pupupup

Il a dit « eu » comme dans peu
Peup peup peup, tu n'as pas dit peupeup mais peupeupeup

Il a dit « ou » comme dans pou
Poup poup poup, tu n'as pas dit poupoup mais poupoupoup

Il a dit « ô » comme dans peau
Pôp pôp pôp, tu n'as pas dit pôpôp mais pôpôpôp

Il a dit « a » comme dans patte
Pap pap pap, tu n'as pas dit papap mais papapap

Annexe 4 : Corpus pour les locuteurs sains et pathologiques pour l'étude aérodynamique et acoustique

Contexte des logatomes :

Non, tu n'as pas dit imi quatre fois, tu as dit ibi et ipi quatre fois

Non, tu n'as pas dit ini quatre fois, tu as dit idi et iti quatre fois

Non, tu n'as pas dit ivi quatre fois, tu as dit issi et izi quatre fois

Non, tu n'as pas dit ama quatre fois, tu as dit aba et apa quatre fois

Non, tu n'as pas dit ana quatre fois, tu as dit ada et ata quatre fois

Non, tu n'as pas dit ava quatre fois, tu as dit assa et aza quatre fois

Non, tu n'as pas dit umu quatre fois, tu as dit ubu et upu quatre fois

Non, tu n'as pas dit unu quatre fois, tu as dit udu et utu quatre fois

Non, tu n'as pas dit uvu quatre fois, tu as dit ussu et uzu quatre fois

Non, tu n'as pas dit oumou quatre fois, tu as dit oubou et oupou quatre fois

Non, tu n'as pas dit ounou quatre fois, tu as dit oudou et outou quatre fois

Non, tu n'as pas dit ouvou quatre fois, tu as dit oussou et ouzou quatre fois

Non, tu n'as pas dit émé quatre fois, tu as dit ébé et épé quatre fois

Non, tu n'as pas dit éné quatre fois, tu as dit édé et été quatre fois

Non, tu n'as pas dit évé quatre fois, tu as dit éssé et ézé quatre fois

Non, tu n'as pas dit eaumeau quatre fois, tu as dit eaubeau et eaupeau quatre fois

Non, tu n'as pas dit eauneau quatre fois, tu as dit eauteau et eaudeau quatre fois

Non, tu n'as pas dit eauveau quatre fois, tu as dit eausseau et eauzeau quatre fois

Non, tu n'as pas dit onsson quatre fois, tu as dit onton et ondon quatre fois

Non, tu n'as pas dit ompon quatre fois, tu as dit ombon et onzon quatre fois

Non, tu n'as pas dit anssan quatre fois, tu as dit antan et andan quatre fois

Non, tu n’as pas dit ampan quatre fois, tu as dit amban et anzan quatre fois

Non, tu n’as pas dit inssain quatre fois, tu as dit intain et indain quatre fois

Non, tu n’as pas dit impain quatre fois, tu as dit imbain et inzain quatre fois

Non, tu n’as pas dit imi quatre fois, tu as dit ibi et ipi quatre fois

Non, tu n’as pas dit ini quatre fois, tu as dit idi et iti quatre fois

Non, tu n’as pas dit mame quatre fois, tu as dit mime et moume quatre fois

Non, tu n’as pas dit nane quatre fois, tu as dit nine et noune quatre fois

Contexte des phrases :

Il cumule les petits emplois. Lulu mute cet employé en Alsace.

Il émet des réserves quant à l’avenir du fils aîné d’Anna.

Pépé met ses chaussures.

Pépé n’est pas prêt à partir. Ada n’a pas pris son cartable.

Les recettes à base de houmous sont ses préférés !

Loulou moud son café le matin.

Loulou nous a appris à pêcher.

La lunule est une tâche à la base de l’ongle. Lulu n’eut pas le temps de manger.

Il imite fort bien la nana de Nicolas. Il y mit tout son cœur.

L’alpiniste continuait à grimper le long d’une roche. Au supermarché, papi n’y va plus !

L’inventeur a été honoré grâce à sa nouvelle voiture homologuée.

Léo note toujours ses devoirs.

Léo modifie le planning.

Tintin a entendu son tonton klaxonner devant la maison.

Augustin teint les cheveux de sa fille.

Tristan t’en prend toujours deux.

Gaston tond le gazon samedi.

Un bain parfumé d’encens attend Mama.

Imbain et Indain sont des villages de Birmanie !

Tristan sent très bon !

Sans banc pour s’asseoir, les amateurs de balade sont rentrés bredouille.

L’amban est un outil de cuisine coréenne.
Zaza m’a surprise !

Ils ont bon goût, ils ont acheté vingt pains aux raisins pour le petit-déjeuner.

Pimpain et Pompon, les lapins de Mathilde ont mangé tous les bonbons.

Nous avons perdu Dondon, le nounours de Lucas !

Donne-moi l’édredon dont la couture est cassée. En Zambie, il y a de nombreuses tortues rampant sans danger.

L’anzan est une technique de calcul.

L’ampan est une viennoiserie japonaise.

L’Andan est une rivière de l’Allier et l’Onzon de la Loire.
La chanson Zombie des Cranberries est sa préférée !

Un daim, un singe et cent paons, se sont échappés du zoo de Serre-Ponçon.

Il y a un zinc flambant neuf dans ce bar ! L’institut Inzain se situe en Allemagne et l’institut Inssain à Lima.

Les ponts sont à entretenir dans cette ville !

Ici, les poules ont pondu en grande quantité.

Annexe 5 : Moyennes et écarts types des résultats de la validation aérodynamique

masque	sexe	son	débit	Moyenne (l/s)	Ecart-type
EVA	femme	ɑ̃	DAN	0,02534373	0,00195139
EVA	femme	ɑ̃	DAO	0,09871869	0,02169907
EVA	femme	m	DAN	0,03751519	0,00956138
EVA	femme	m	DAO	-0,0129299	0,00017736
EVA	femme	n	DAN	0,04409669	0,01840968
EVA	femme	n	DAO	0,00188168	0,00180638
EVA	femme	ɔ̃	DAN	0,03728436	0,00335651
EVA	femme	ɔ̃	DAO	0,0550723	0,01406951
EVA	femme	ɛ̃	DAN	0,01806636	0,00405011
EVA	femme	ɛ̃	DAO	0,11934573	0,0347416
AeroMask	femme	ɑ̃	DAN	0,04767868	0,02163672
AeroMask	femme	ɑ̃	DAO	0,10719502	0,00249959
AeroMask	femme	m	DAN	0,08663877	0,04407857
AeroMask	femme	m	DAO	-0,005981	0,00498816
AeroMask	femme	n	DAN	0,0949625	0,04075778
AeroMask	femme	n	DAO	0,00544873	0,01003698
AeroMask	femme	ɔ̃	DAN	0,05899813	0,02089345
AeroMask	femme	ɔ̃	DAO	0,05881801	0,00176969
AeroMask	femme	ɛ̃	DAO	0,05019721	0,02514626
AeroMask	femme	ɛ̃	DAO	0,12140334	0,01722598
Rothenberg	femme	ɑ̃	DAO	0,15013969	0,00860195
Rothenberg	femme	m	DAO	0,11455104	0,00047548
Rothenberg	femme	n	DAO	0,11169103	0,0280427
Rothenberg	femme	ɔ̃	DAO	0,13994068	0,00469333
Rothenberg	femme	ɛ̃	DAO	0,15113088	0,00904299
OroNasalMask	femme	ɑ̃	DAN	0,00147033	0,0002681
OroNasalMask	femme	ɑ̃	DAO	0,00495603	0,00153162
OroNasalMask	femme	m	DAN	0,00194376	0,00051984
OroNasalMask	femme	m	DAO	0,0036255	3,41951E-05
OroNasalMask	femme	n	DAN	0,00214882	0,00044549
OroNasalMask	femme	n	DAO	0,00359847	0,00010289
OroNasalMask	femme	ɔ̃	DAN	0,0016224	0,00039376
OroNasalMask	femme	ɔ̃	DAO	0,00497825	0,0016745
OroNasalMask	femme	ɛ̃	DAN	0,00139883	0,00013704
OroNasalMask	femme	ɛ̃	DAO	0,00431971	0,00068683
EVA	homme	ɑ̃	DAN	0,02729775	0,00722273
EVA	homme	ɑ̃	DAO	0,06390396	0,0064194
EVA	homme	m	DAN	0,0599786	0,00483146
EVA	homme	m	DAO	-0,0052119	0,00081741

EVA	homme	n	DAN	0,05073934	0,00242854
EVA	homme	n	DAO	-0,002362	0,00039617
EVA	homme	ɔ̃	DAN	0,0428328	0,00933261
EVA	homme	ɔ̃	DAO	0,04424863	0,00878978
EVA	homme	ɛ̃	DAN	0,01746766	0,00626855
EVA	homme	ɛ̃	DAO	0,07921211	0,01250306
AeroMask	homme	ɑ̃	DAN	0,06214825	0,00405609
AeroMask	homme	ɑ̃	DAO	0,06461911	0,02024619
AeroMask	homme	m	DAN	0,10392785	0,00286681
AeroMask	homme	m	DAO	0,00375041	0,00026342
AeroMask	homme	n	DAN	0,11191635	0,00669169
AeroMask	homme	n	DAO	0,00874047	0,00590368
AeroMask	homme	ɔ̃	DAN	0,06998429	0,01534148
AeroMask	homme	ɔ̃	DAO	0,03337156	0,01898457
AeroMask	homme	ɛ̃	DAN	0,05425591	0,01384078
AeroMask	homme	ɛ̃	DAO	0,08183061	0,01069956
Rothenberg	homme	ɑ̃	DAO	0,19072639	0,02709053
Rothenberg	homme	m	DAO	0,16035846	0,02961862
Rothenberg	homme	n	DAO	0,14812575	0,02290697
Rothenberg	homme	ɔ̃	DAO	0,18649138	0,02676349
Rothenberg	homme	ɛ̃	DAO	0,19428938	0,02374686
OroNasalMask	homme	ɑ̃	DAN	0,00237171	0,00056491
OroNasalMask	homme	ɑ̃	DAO	0,00821693	0,00285843
OroNasalMask	homme	m	DAN	0,00328562	0,00039231
OroNasalMask	homme	m	DAO	0,0050679	0,00051435
OroNasalMask	homme	n	DAN	0,00333002	0,00036752
OroNasalMask	homme	n	DAO	0,00492191	0,00036784
OroNasalMask	homme	ɔ̃	DAN	0,0027526	0,00065493
OroNasalMask	homme	ɔ̃	DAO	0,00899719	0,00469414
OroNasalMask	homme	ɛ̃	DAN	0,00231501	0,00035213
OroNasalMask	homme	ɛ̃	DAO	0,00751501	0,00143941

IDRCB 2021-A00220-41

Titre complet de recherche :
"Évolution de la nasalité dans un contexte de polypose naso-sinusienne : évaluation multiparamétrique articulatoire (imagerie), aérodynamique, acoustique et perceptive"

Acronyme : MultiNas

Cette recherche est promue par l'Assistance Publique - Hôpitaux de Paris
Représentée par la Directrice de la
Délégation à la Recherche Clinique et à l'Innovation (DRCI)
1 avenue Claude Vellefaux
75010 Paris

NOTE D'INFORMATION version 1.0 du 17/03/2021

Madame, Monsieur,

Le Professeur/ Le Docteur…… exerçant à l'hôpital Bicêtre, vous propose de participer à une recherche concernant votre état de santé.
Il est important de lire attentivement cette note avant de prendre votre décision ; n'hésitez pas à lui demander des explications.

1) Quel est le but de cette recherche ?

La polypose naso-sinusienne (PNS) est une inflammation chronique bilatérale de la muqueuse naso-sinusienne caractérisée par le développement de polypes dans les cavités sinusiennes et nasales. Quand le traitement médicamenteux n'est pas efficace, et que la qualité de vie du patient est altérée, la chirurgie est proposée. Elle permet d'élargir la cavité nasale avec des conséquences sur la parole.

Il existe à notre connaissance que peu d'études qui se sont intéressées à l'impact de la PNS et de son traitement sur la parole. Il y a pourtant une réelle demande de la part des patients d'obtenir des réponses relatives aux retentissements de cette chirurgie sur leur voix.

Cette recherche porte sur l'impact de la polypose naso-sinusienne sur la parole chez des patients adultes avant et après chirurgie. Elle est effectuée en collaboration entre l'Assistance Publique des Hôpitaux de Paris (APHP) et l'Université de la Sorbonne Nouvelle.

Pour répondre à la question posée dans la recherche, il est prévu d'inclure 30 personnes présentant une polypose naso-sinusienne primitive, dans l'établissement de soins, service d'ORL de l'hôpital Bicêtre.

2) En quoi consiste la recherche ?

Cette recherche consiste à évaluer l'impact de la maladie PNS sur la parole avant et après la chirurgie. Pour cela nous allons évaluer la voix grâce à des enregistrements vocaux réalisés au moyen d'un masque que vous mettrez sur votre visage. Ces dispositifs sont non invasifs et indolores.

Le masque comprend des tubes à la surface, les deux sont à usage unique conformément aux mesures de protection sanitaire, les tubes sont reliés à un dispositif d'enregistrement de votre voix (capteurs de pression et carte d'acquisition) qui sera

Ce document est la propriété du DRCI / APHP. Toute reproduction est formellement interdite

désinfecté après chaque usage. Il vous sera demandé de lire un texte grâce à un microphone dont la partie métallique sera désinfectée et la mousse changée à chaque utilisation.

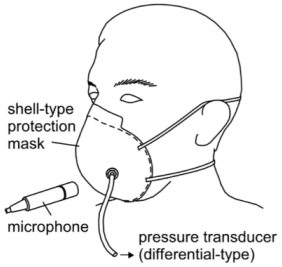


Fig 1 : Représentation schématique du masque en fibre de papier Vaissière *et al.*, 2010, p.6

Dans cette recherche nous nous intéressons aussi à votre qualité de vie dans le contexte de la maladie avant et après la chirurgie pour cela en plus du questionnaire du soin (qualité de vie sinusien SNOT-22) ,3 questionnaires d'auto évaluation de qualité de vie vocale vous seront présentés, (VHI, SHI et relation nasalité-parole).

3) Quel est le calendrier de la recherche ?

La durée prévisionnelle de la recherche est de 2 année(s) et votre participation sera de 5 mois.

Si vous acceptez de participer à cette recherche, le déroulement de la recherche sera le suivant :

Une visite d'inclusion qui aura lieu lors d'une consultation préopératoire prévue dans le cadre du soin, durant laquelle l'étude vous sera proposée et votre non-opposition sera recueillie et une autre visite à M3 (3 mois) post-opératoire prévue également dans le cadre du soin.

Lors de chaque visite, un recueil de vos données clinique et paraclinique (scanner et endoscopie nasale, antécédents médicaux, le questionnaire de qualité de vie sinusien (SNOT-22) réalisés dans le cadre du soin seront recueillies ainsi qu'un enregistrement vocal et des questionnaires de qualité de vie vocales et spécifiques à la nasalité (VHI, SHI et relation nasalité-parole) seront réalisés pour les besoins de la recherche.

L'enregistrement vocal et les questionnaires se dérouleront de manière identique en préopératoire et postopératoire et dureront environ 20 minutes.

En préopératoire, l'enregistrement aura lieu soit en consultation avec l'ORL, soit lors de la consultation d'anesthésie en fonction de votre temps d'attente prévisionnel lors de ces RDV.

4) Quels sont les bénéfices liés à votre participation ?

En participant à cette recherche, vous contribuerez à une meilleure connaissance des conséquences avant et après chirurgie de la polypose naso-sinusienne pour la parole.
Il nous permettra aussi d'en apprendre plus sur les mécanismes de fonctionnement des cavités nasales et sinusiennes ainsi que leur implication dans la parole.
Hormis le développement des connaissances, ils permettront aux praticiens hospitaliers d'éclairer le patient sur des changements possibles de leur voix.

Ce document est la propriété du DRCI / APHP. Toute reproduction est formellement interdite

5) Si vous participez, comment vont être traitées les données recueillies pour la recherche ?

Dans le cadre de la recherche à laquelle il vous est proposé de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre par l'AP-HP, promoteur de la recherche, et responsable de traitement, pour permettre d'en analyser les résultats.

Ce traitement est nécessaire à la réalisation de la recherche qui répond à la mission d'intérêt public dont est investie l'AP-HP en tant qu'établissement public de santé hospitalo-universitaire.

A cette fin, les données médicales vous concernant et les données relatives à vos habitudes de vie, seront transmises au Promoteur ou aux personnes ou sociétés agissant pour son compte, en France. Ces données seront identifiées par un numéro d'enregistrement. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises.

Les données médicales vous concernant pouvant documenter un dossier auprès des autorités compétentes, pourront être transmises à un industriel afin qu'un plus grand nombre de patients puissent bénéficier des résultats de la recherche. Cette transmission sera faite dans les conditions assurant leur confidentialité.

Vos données pourront être utilisées pour des recherches ultérieures ou des analyses complémentaires à la présente recherche en collaboration avec des partenaires privés ou publics, en France ou à l'étranger, dans des conditions assurant leur confidentialité et le même niveau de protection que la législation européenne.
Vous pouvez vous opposer à tout moment à l'utilisation ultérieure de vos données auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de cette recherche.
Vos données ne seront conservées que pour une durée strictement nécessaire et proportionnée à la finalité de la recherche. Elles seront conservées dans les systèmes d'information du responsable de traitement jusqu'à deux ans après la dernière publication des résultats de la recherche.

Vos données seront ensuite archivées selon la réglementation en vigueur.

Le fichier informatique utilisé pour cette recherche est mis en œuvre conformément à la règlementation française (loi « Informatique et Libertés » modifiée) et européenne (Règlement Général sur la Protection des Données -RGPD). Vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, de limitation et d'opposition au traitement des données couvertes par le secret professionnel utilisées dans le cadre de cette recherche. Ces droits s'exercent auprès du médecin en charge de la recherche qui seul connaît votre identité (identifié en première page du présent document).

Si vous décidez d'arrêter de participer à la recherche, les données recueillies précédemment à cet arrêt seront utilisées conformément à la réglementation, et exclusivement pour les objectifs de cette recherche. En effet, leur effacement serait susceptible de compromettre la validité des résultats de la recherche. Dans ce cas, vos données ne seront absolument pas utilisées ultérieurement ou pour une autre recherche.

En cas de difficultés dans l'exercice de vos droits, vous pouvez saisir le Délégué à la Protection des données de l'AP-HP à l'adresse suivante : protection.donnees.dsi@aphp.fr, qui pourra notamment vous expliquer les voies de recours dont vous disposez auprès de la CNIL. Vous pouvez également exercer votre droit à réclamation directement auprès de la CNIL (pour plus d'informations à ce sujet, rendez-vous sur le site www.cnil.fr).

6) Comment cette recherche est-elle encadrée ?

L'AP-HP a pris toutes les mesures pour mener cette recherche conformément aux dispositions du Code de la santé applicables aux recherches impliquant la personne humaine.

L'AP-HP a obtenu pour cette recherche l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest II le 30/06/2021.

7) Quels sont vos droits ?

Votre participation à cette recherche est entièrement libre et volontaire.
Votre décision n'entraînera aucun préjudice sur la qualité des soins et des traitements que vous êtes en droit d'attendre.
Si vous ne souhaitez pas participer à la recherche, il vous suffit de le dire à votre médecin.

Ce document est la propriété du DRCI / APHP. Toute reproduction est formellement interdite

Vous pourrez, tout au long de la recherche et à l'issue, demander des informations concernant votre santé ainsi que des explications sur le déroulement de la recherche au médecin qui vous suit.

Vous pouvez vous retirer à tout moment de la recherche sans justification, sans conséquence sur la suite de votre traitement ni la qualité des soins qui vous seront fournis et sans conséquence sur la relation avec votre médecin. A l'issue de ce retrait, vous pourrez être suivi par la même équipe médicale. Dans ce cas, les données collectées jusqu'à votre retrait seront utilisées pour l'analyse des résultats de la recherche.

A l'issue de la recherche et après analyse des données relatives à cette recherche, vous pourrez être informé(e) des résultats globaux par l'intermédiaire du médecin qui vous suit dans le cadre de cette recherche.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L 1111-7 du Code de la Santé Publique.

Cadre réservé au service

Nom/Prénom/Identifiant du patient :

Opposition exprimée : ☐ **Oui** ☐ **Non**

Date de délivrance de l'information :

Signature du responsable de la consultation / du service :

Document réalisé en 2 exemplaires. Un exemplaire doit être conservé 15 ans par l'investigateur, le deuxième doit être remis à la personne participant à la recherche.

Ce document est la propriété du DRCI / APHP. Toute reproduction est formellement interdite

Annexe 7 : Lettre d'information à destination des locuteurs sains

Lettre d'information aux participants

Madame, Monsieur,

Vous êtes invité à participer à une étude qui rentre dans le cadre de ma thèse intitulée *"Approche Multidimensionnelle de la Nasalité : étude aérodynamique, acoustique et perceptive"*.

Nous voulons explorer la nasalité dans la parole : c'est le fait que certains sons sont produits grâce à un passage de l'air dans les cavités nasales.

Et ainsi, mettre en lumière les liens entre l'aérodynamique (mesure du débit de l'air nasal ou buccal), l'acoustique et la perception de la nasalité dans la parole.

A cet effet, nous sommes à la recherche de participants acceptant de prendre part à notre étude qui est non-rémunérée et sur la base du volontariat.

A partir de vos enregistrements qui constitueront une base de données de référence ou population témoin, nous voulons comparer ces valeurs à celles d'une population de patients présentant une pathologie rhino-sinusienne qui peut altérer ce processus de nasalité.

Les enregistrements que nous vous proposons sont non-invasifs et indolores et se dérouleront au Laboratoire de Phonétique et Phonologie (Paris). Les conditions d'accès aux laboratoires et les enregistrements respecteront les recommandations de protection sanitaires Covid-19.

1) Les enregistrements comprennent :

i) une prise de données aérodynamiques (soit la mesure du débit d'air provenant de votre nez et bouche) qui sera réalisée grâce à un masque d'hygiène souple *à usage unique*, en fibre de papier comparable à un masque de protection. Il couvrira le nez et la bouche. A la surface de ce masque sont placés des tubes en silicone souple, reliés à un capteur de pression permettant d'enregistrer les débits d'air oral et nasal.

ii) un enregistrement acoustique de votre voix avec un microphone (AKG 520) proche de la bouche et recouvert d'une *mousse à usage unique* afin de recueillir les mesures acoustiques du son de la parole.. Ce dispositif est non-invasif et sans douleur.

iii) des questionnaires à remplir : le SNOT-22 spécifique aux pathologies rhino-sinusiennes ainsi que les deux questionnaires Voice Handicap Index (VHI) et Speech Handicap Index (SHI) spécifiques aux pathologies de la voix et de la parole et un questionnaire de 4 questions spécifique à la relation nasalité-parole.

Conformément aux normes sanitaires actuelles, une désinfection du matériel d'enregistrement sera effectuée : la structure métallique du microphone, les capteurs de pression et la carte d'acquisition. Le corpus (c'est-à-dire le texte à lire) sera présenté dans une chemise plastifiée et nettoyée après chaque enregistrement. La personne en charge de l'enregistrement portera un masque et des gants et sera à plus d'un mètre du locuteur durant l'enregistrement. Une aération du lieu d'enregistrement sera effectuée 15 minutes avant et après la passation.

2) Le déroulement de la séance d'enregistrement commencera par la signature du formulaire de consentement et la complétion d'un questionnaire d'information.

- Une présentation du matériel d'enregistrement par l'équipe de recherche.
- Vous mettrez en place le masque sur votre visage
- Nous débuterons l'enregistrement, il vous sera demandé de lire un corpus constitué de divers éléments : mots isolés, phrases et texte (environ 15 minutes)
- Nous vous demanderons de remplir les questionnaires de qualité de voix et de parole (environ 15 minutes)

3) Bénéfices, contraintes et risques

Les bénéfices de cette étude, bien qu'indirects, sont très importants pour le développement des connaissances sur les conséquences acoustiques, aérodynamiques et perceptives de la nasalité. Il nous permettra aussi d'en apprendre plus sur les mécanismes de fonctionnement des cavités nasales ainsi que leur implication dans la parole.

Cette recherche ne présente pas de risque particulier.

4) Participation à d'autres recherches

Votre participation à cette recherche ne vous empêche pas de participer à des essais cliniques ou à d'autres recherches biomédicales.

5) Protection des données

Les chercheurs porteurs du présent projet s'engagent à respecter et protéger les informations et données relatives aux participants. Conformément à la loi 78-17 du 06 janvier 1978 relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés et par la loi n°94-548 du 1er juillet 1994 les données recueillies feront l'objet d'un traitement informatisé et anonyme après l'obtention du consentement éclairé des participants. La pseudonymisation des données se fera par l'attribution d'un code dont seuls les expérimentateurs auront connaissance. Les participants pourront jouir de leur droit d'accès, de modification, ou de suppression de leurs données à tout moment.

Votre participation à cette étude est volontaire, et pourra être interrompue à tout moment sur simple demande de votre part et sans avoir à apporter de justification. Pendant la durée de l'expérience et après celle-ci, vous pourrez contacter les expérimentateurs pour toute information supplémentaire et pour avoir un retour sur les résultats globaux de la recherche.

Toutes les informations vous concernant seront conservées de façon anonyme et confidentielle.

Les informations demandées dans le questionnaire d'information (âge, tabagisme, sexe, langues parlées etc.) nous permettront de comprendre certains résultats, elles peuvent les influencer. Mais aussi d'observer à travers certains paramètres qui seraient communs (sexe, âge, profession etc.) entre participants s'il y a des similitudes dans leurs résultats aérodynamiques ou acoustiques.

Les résultats pourront faire l'objet de communications dans des congrès et de publications scientifiques ou de supports pédagogiques (cours et séminaires de formation d'étudiants ou de professionnels soumis au secret professionnel) mais ne seront pas utilisés dans un autre cadre que celui décrit, et aucune information permettant de vous identifier ne sera révélée.

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 (Loi n° 78-17), modifiée en juin 2018 pour le cadre juridique européen (RGPD- n°2016/679), nous bénéficions d'un droit d'accès, de transparence, de rectification, de limitation et d'effacement des informations qui nous concernent, que nous pouvons exercer en nous adressant à : amelie.elmerich@sorbonne-nouvelle.fr

Ce projet a reçu un avis favorable du Comité d'Éthique de l'Université de Paris en date du 12/01/2021 (n° 00012020-94).

6) Contact

Pour toute information complémentaire, n'hésitez pas à contacter

Dr Lise Crevier-Buchman l.crevier-buchman@hopital-foch.com ✆ 06 62 03 03 50

Amelie Elmerich amelie.elmerich@sorbonne-nouvelle.fr ✆ 06 04 17 72 65

Annexe 8 : Formulaire de consentement à destination des locuteurs sains

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT
POUR LA PARTICIPATION A UNE RECHERCHE CLINIQUE

Je, ... né(e) le ...../...../..... accepte librement de participer au programme de recherche intitulé :

« MultiNas : Approche Multidimensionnelle de la Nasalité (étude aérodynamique, acoustique et perceptive) **»** qui m'est proposée par Mme (nom, prénom)

.....

Tel:
Mail :

consistant en l'enregistrement de ma voix avec un microphone et de ses débits d'air à l'aide d'un masque posé autour de la bouche et du nez, ainsi que la passation de questionnaires d'auto- évaluation.

J'ai pris connaissance de la note d'information de 3 pages m'expliquant l'objectif de cette recherche, ses bénéfices, risques et contraintes ainsi que la façon dont elle sera réalisée et ce que ma participation à cette étude impliquera.

J'ai eu la possibilité de poser toutes les questions que je souhaitais et j'ai reçu des réponses adaptées.

J'ai disposé d'un temps suffisant pour prendre ma décision.

Je suis libre d'accepter ou refuser ainsi qu'arrêter à tout moment ma participation sans avoir à me justifier.

J'ai été informé(e) que je ne recevrai pas d'indemnisation pour la participation à cette étude et que celle-ci est sans bénéfice individuel direct. Je certifie ne pas être privé(e) de liberté par une décision judiciaire ou administrative, ne pas être sous tutelle.

J'ai été informé(e) que les données personnelles qui me concernent seront strictement conservées dans l'enceinte du laboratoire.

J'autorise les organisateurs de la recherche à effectuer un enregistrement de ma voix ; les sons recueillis seront exclusivement utilisés pour les analyses scientifiques de l'étude.

Mon consentement ne décharge pas de leur responsabilité les organisateurs de la recherche. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Et j'autorise :

• l'utilisation des données à des fins scientifiques et la publication des résultats de la recherche dans des revues ou livres scientifiques dans lesquelles les données et mon identité resteront anonymes ..... □ **oui** □ **non**

• l'utilisation des données anonymisées à des fins pédagogiques (cours et séminaires de formation d'étudiants ou de professionnels soumis au secret professionnel)...□ **oui** □ **non**

J'ai reçu une copie du présent document et été informé(e) qu'une copie serait également conservée par le responsable de l'étude dans les conditions garantissant la confidentialité et j'y consens.

Signature de l'intéressé :
Nom, Prénom :

À

Le

Signature de l'investigateur
Nom, Prénom :

À

Le

Signature :

Signature

Annexe 9 : Questionnaire d'information pour tous les participants

Date : |__|__|__|__|__|__|__|__| **Code du locuteur :** |__|__|__|__|__|__|__|__|__|__|

QUESTIONNAIRE D'INFORMATION PARTICIPANT

Age : |__|__| Sexe : M□ F□

Taille (en cm) : .....

Poids (en kg) : (entourez la réponse)

40 - 45 ; 45 - 50 ; 50 - 55 ; 55-60 ; 60-65 ; 65-70 ;
70-75 ; 75 — 80 ; 80 — 85 ; 85 — 90 ; 90-95 ; 95-100 ;
+100

Tabagisme
☐ Actif, consommation (en PA) |__|__|__|

☐ Sevré (années de sevrage) |__|__|__|

☐Passif Oui☐ Non☐ ND☐

Situation professionnelle Travail☐ Sans activité professionnelle ☐

Profession _____

Pratique d'une activité qui demande une utilisation importante de la voix (chant, théâtre,

instruments à vent, enseignement...) ? Oui☐ Non☐ ND ☐

Si oui, quelle fréquence et quel type ?

_____

Langues parlées au quotidien :

Avez-vous déjà consulté un professionnel pour des problèmes de voix, langage, parole ? Oui☐ Non☐

Séance d'orthophonie ? Oui☐ Non☐
Si oui à quelle fréquence ? Date de début :

Annexe 10 : Questionnaire nasalité-parole

Questionnaire Nasalité-Parole

En préopératoire et postopératoire :

1.

	0	1	2	3
Le corpus a-t-il été difficile à lire ?				

0 : pas difficile 1 : un peu difficile 2 : moyennement difficile 3 : très difficile

2. Quelles adaptations pensez-vous mettre en place pour parler ?

_____
_____
_____

3. Quand je parle cela sonne comme si j'avais le nez bouché.

Cochez

- Vrai
- Faux

4. Quand je parle il me semble que les sons viennent de mon nez à la place de ma bouche.

Cochez

- Vrai
- Faux

En postopératoire uniquement :

5. Comparer votre voix actuelle à votre voix avant la chirurgie :

Dans l'ensemble, maintenant votre voix est :

Cochez

- Pire
- Inchangée
- Meilleure

Annexe 11 : Voice Handicap Index

		(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
		J	PJ	P	PT	T
F1	On m'entend difficilement à cause de ma voix					
P2	Je suis à court de souffle quand je parle					
F3	On me comprend difficilement dans un milieu bruyant					
P4	Le son de ma voix varie au cours de la journée					
F5	Les membres de la famille ont du mal à m'entendre quand je les appelle dans la maison					
F6	Je téléphone moins souvent que je le voudrais					
E7	Je suis tendu(e) quand je parle avec d'autres à cause de ma voix					
F8	J'ai tendance à éviter les groupes à cause de ma voix					
E9	Les gens semblent irrités par ma voix					
P10	On me demande : « Qu'est-ce qui ne va pas avec ta voix ? »					
F11	Je parle moins souvent avec mes voisins, mes amis, ma famille à cause de ma voix					
F12	On me comprend difficilement quand je parle dans un endroit calme					
P13	Ma voix semble grinçante et sèche					
P14	J'ai l'impression que je dois forcer pour produire la voix					
E15	Je trouve que les autres ne comprennent pas mon problème de voix					
F16	Mes difficultés de voix limitent ma vie personnelle et sociale					
P17	La clarté est imprévisible					
P18	J'essaie de changer ma voix pour qu'elle sonne différemment					
F19	Je me sens écarté(e) des conversations à cause de ma voix					
P20	Je fais beaucoup d'effort pour parler					
P21	Ma voix est plus mauvaise le soir					
F22	Mes problèmes de voix entraînent des pertes de revenus					
E23	Mes problèmes de voix me contrarient					
E24	Je suis moins sociable à cause de mon problème de voix					
E25	Je me sens handicapé(e) à cause de ma voix					
P26	Ma voix m'abandonne en cours de conversation					
E27	Je suis agacé(e) quand les gens me demandent de répéter					
E28	Je suis embarrassé(e) quand les gens me demandent de répéter					
E29	A cause de ma voix je me sens incompétent(e)					
E30	Je suis honteux (se) de mon problème de voix					

	SCORE TOTAL : |__|__|__|					

J=jamais, PJ=presque jamais, P=parfois, PT=presque toujours, T=toujours

Annexe 12 : Speech Handicap Index

		(0)	(1)	(2)	(3)	(4)
		J	PJ	P	PT	T
S1	On me comprend difficilement à cause de ma parole.					
S2	Je suis à bout de souffle quand je parle.					
S3	L'intelligibilité de ma parole varie au cours de la journée.					
Ps4	Je me sens incompétent à cause de ma parole.					
S5	On me demande pourquoi je suis difficile à comprendre.					
S6	Je suis ennuyé (e) quand les gens me demandent de répéter.					
Ps7	J'évite de téléphoner.					
Ps8	Je suis tendu (e) quand je parle avec d'autres personnes à cause de ma parole.					
S9	Mon articulation n'est pas nette.					
S10	On me comprend difficilement quand je parle dans une pièce bruyante.					
Ps11	J'ai tendance à éviter les groupes de gens à cause de ma parole.					
Ps12	Les gens semblent irrités par ma parole.					
S13	Les gens me demandent de me répéter quand on parle face-à-face.					
Ps14	Je parle moins souvent avec mes amis, mes voisins, ma famille à cause de ma parole.					
S15	J'ai l'impression que je dois forcer pour parler.					
Ps16	Je trouve que les gens ne comprennent pas mes problèmes pour parler.					
Ps17	Mes difficultés à parler limitent ma vie personnelle et sociale.					
S18	L'intelligibilité de ma parole est imprévisible.					
Ps19	Je me sens écarté(e) des conversations à cause de ma parole.					
S20	Je fais beaucoup d'effort pour parler.					
S21	Ma parole est plus mauvaise le soir.					
22	Mes difficultés à parler entraînent des pertes de revenus.					
23	J'essaie de modifier ma parole afin qu'elle sonne différemment.					
Ps24	Mes problèmes de parole me dérangent.					
Ps25	Je suis moins extraverti (e) à cause de ma parole.					
S26	Ma famille a du mal à me comprendre quand je les appelle dans la maison.					
Ps27	Je me sens handicapé (e) à cause de ma parole.					

S28	J’ai des difficultés à poursuivre une conversation à cause de ma parole.					
Ps29	Je suis embarrassé (e) quand les gens me demandent de répéter.					
Ps30	J’ai honte de mon problème de parole.					
	SCORE TOTAL : |__|__|__|					

Comment trouvez-vous votre parole aujourd’hui ?

- Excellente
- Bonne
- Moyenne
- Mauvaise

Annexe 13 : SNOT-22

Sino-Nasal Outcome Test-22
(Test d'impact des symptômes sino-nasaux-22)

Vous trouverez ci-dessous une liste de symptômes et de conséquences sociales et/ou émotionnelles liées à votre pathologie nasale. Nous aimerions en apprendre davantage sur ces problèmes et apprécierions que vous répondiez aux questions suivantes au meilleur de vos capacités. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses et vous seul(e) pouvez nous donner ces informations. Veuillez évaluer vos problèmes, tels qu'ils se sont présentés durant les deux dernières semaines. Nous vous remercions pour votre participation

En considérant la sévérité du problème quand il survient et la fréquence avec laquelle il survient, veuillez coter chaque item ci-dessous en **entourant** le chiffre qui correspond à votre ressenti, en utilisant l'échelle suivante →	**Aucun problème**	**Problème très léger**	**Problème léger**	**Problème modéré**	**Problème sévère**	**Problème très sévère**
1. Besoin de se moucher	0	1	2	3	4	5
2. Eternuements	0	1	2	3	4	5
3. Nez qui coule	0	1	2	3	4	5
4. Toux	0	1	2	3	4	5
5. Ecoulement nasal postérieur (dans la gorge)	0	1	2	3	4	5
6. Ecoulement nasal épais	0	1	2	3	4	5
7. Oreilles bouchées	0	1	2	3	4	5
8. Vertiges	0	1	2	3	4	5
9. Douleur/pression dans l'oreille	0	1	2	3	4	5
10. Douleur/pression faciale	0	1	2	3	4	5
11. Difficulté pour s'endormir	0	1	2	3	4	5
12. Se réveiller la nuit	0	1	2	3	4	5
13. Manque d'une bonne nuit de sommeil (mauvaise qualité de sommeil)	0	1	2	3	4	5
14. Se réveiller fatigué	0	1	2	3	4	5
15. Fatigue (durant la journée)	0	1	2	3	4	5
16. Baisse de productivité (rendement, efficacité)	0	1	2	3	4	5
17. Baisse de concentration	0	1	2	3	4	5
18. Frustration/agitation/irritabilité	0	1	2	3	4	5
19. Baisse de moral (tristesse)	0	1	2	3	4	5
20. Gêne/inconfort	0	1	2	3	4	5
21. Perturbation du goût, de l'odorat	0	1	2	3	4	5
22. Obstruction/congestion nasale	0	1	2	3	4	5
TOTAL:	____	____	____	____	____	____

TOTAL GÉNÉRAL : _____

Annexe 14 : Résultats du test-t de Student sur les données aérodynamiques et acoustiques

1) Résultats sur du test-t de Student sur la moyenne de DAN

.y.	group 1	group 2	n1	n2	statistic	df	p	p.adj	p.adj.signif
NAF	MT01	MT02	255	233	11.0	344.	2.75e-24	7.70e-23	****
NAF	MT01	MT03	255	218	8.03	465.	7.82e-15	2.11e-13	****
NAF	MT01	MT04	255	216	7.56	464.	2.15e-13	5.59e-12	****
NAF	MT01	MT05	255	217	3.84	417.	1.42e-		**
NAF	MT01	MT06	255	213	4.87	434.	1.53e-		****
NAF	MT01	MT07	255	219	0.131	367.	8.96e-		ns
NAF	MT01	MT08	255	206	7.16	456.	3.31e-12		****
NAF	MT02	MT03	233	218	-1.68	330.	9.3		ns
NAF	MT02	MT04	233	216	-1.02	290.	3.07e-		ns
NAF	MT02	MT05	233	217	-4.02	262.	7.71e-		***
NAF	MT02	MT06	233	213	-3.43	267.	6.99e-		*
NAF	MT02	MT07	233	219	-6.91	248.	4.04e-11		****
NAF	MT02	MT08	233	206	-1.83	283.	6.9		ns
NAF	MT03	MT04	218	216	0.324	412.	7.46e-		ns
NAF	MT03	MT05	218	217	-2.58	361.	1		ns
NAF	MT03	MT06	218	213	-1.93	377.	5.5		ns
NAF	MT03	MT07	218	219	-5.53	321.	6.5		****
NAF	MT03	MT08	218	206	-0.305	406.	7.6		ns
NAF	MT04	MT05	216	217	-2.66	406.	8		ns
NAF	MT04	MT06	216	213	-2.05	416.	4.1		ns
NAF	MT04	MT07	216	219	-5.47	365.	8.36e-		****
NAF	MT04	MT08	216	206	-0.576	420.	5.65e-		ns
NAF	MT05	MT06	217	213	0.689	424.	4.91e-		ns
NAF	MT05	MT07	217	219	-2.90	416.	4		ns
NAF	MT05	MT08	217	206	2.21	393.	2.8		ns
NAF	MT06	MT07	213	219	-3.62	397.	3.31e-		**
NAF	MT06	MT08	213	206	1.56	404.	1.2		ns
NAF	MT07	MT08	219	206	5.11	353.	5.22e-		****

2) Résultats sur du test-t de Student sur la moyenne de DAO

.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	df	p
DAO	MT01	MT02	255	233	-2.36		ns
DAO	MT01	MT03	255	218	-2.77		ns
DAO	MT01	MT04	255	216	0.361		ns
DAO	MT01	MT05	255	217	-0.485		ns
DAO	MT01	MT06	255	213	5.40		****
DAO	MT01	MT07	255	219	-0.355		ns
DAO	MT01	MT08	255	206	-0.00530		ns
DAO	MT02	MT03	233	218	-0.650		ns
DAO	MT02	MT04	233	216	4.28		***
DAO	MT02	MT05	233	217	2.82		ns
DAO	MT02	MT06	233	213	14.8	309.	****
DAO	MT02	MT07	233	219	3.32	446.	*
DAO	MT02	MT08	233	206	3.85	436.	**
DAO	MT03	MT04	218	216	4.91	431.	****
DAO	MT03	MT05	218	217	3.43	432.	**
DAO	MT03	MT06	218	213	15.4	288.	****
DAO	MT03	MT07	218	219	3.98	427.	***
DAO	MT03	MT08	218	206	4.51	418.	***
DAO	MT04	MT05	216	217	-1.30	428.	ns
DAO	MT04	MT06	216	213	9.47	291.	****
DAO	MT04	MT07	216	219	-1.18	428.	ns
DAO	MT04	MT08	216	206	-0.605	419.	ns
DAO	MT05	MT06	217	213	10.5	281.	****
DAO	MT05	MT07	217	219	0.230	420.	ns
DAO	MT05	MT08	217	206	0.771	413.	ns
DAO	MT06	MT07	213	219	-11.9	310.	****
DAO	MT06	MT08	213	206	-10.9	290.	****
DAO	MT07	MT08	219	206	0.597	422.	ns

3) Résultats sur du test-t de Student sur le spectre moyen total

.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	df
WAV.spectre.moyen	MT01	MT02	36	34	-2.89	52.2 6 e- 3 3.4 e- 2 *
2 WAV.spectre.moyen	MT01	MT03	36	36	2.13	70.0 3.7 e- 2 1.48e- 1 ns
3 WAV.spectre.moyen	MT01	MT04	36	36	9.13	68.1 1.93e-13 3.86e-12 ****
4 WAV.spectre.moyen	MT01	MT05	36	36	18.4	70.0 1.56e-28 4.37e-27 ****
5 WAV.spectre.moyen	MT01	MT06	36	34	8.15	62.5 2.04e-11 3.47e-10 ****
6 WAV.spectre.moyen	MT01	MT07	36	36	13.7	69.9 1.81e-21 4.53e-20 ****
7 WAV.spectre.moyen	MT01	MT08	36	28	10.2	57.9 1.51e-14 3.32e-13 ****
8 WAV.spectre.moyen	MT02	MT03	34	36	4.36	52.4 6.16e- 5 5.54e- 4 ***
9 WAV.spectre.moyen	MT02	MT04	34	36	9.38	58.0 3.18e-13 6.04e-12 ****
10 WAV.spectre.moyen	MT02	MT05	34	36	15.7	52.7 1.69e-21 4.39e-20 ****
11 WAV.spectre.moyen	MT02	MT06	34	34	8.75	60.7 2.41e-12 4.34e-11 ****
12 WAV.spectre.moyen	MT02	MT07	34	36	12.4	53.4 2.11e-17 4.85e-16 ****
13 WAV.spectre.moyen	MT02	MT08	34	28	10.1	54.6 4.08e-14 8.57e-13 ****
14 WAV.spectre.moyen	MT03	MT04	36	36	7.17	68.2 7.04e-10 9.15e- 9 ****
15 WAV.spectre.moyen	MT03	MT05	36	36	16.2	70.0 1.97e-25 5.32e-24 ****
16 WAV.spectre.moyen	MT03	MT06	36	34	6.31	62.8 3.22e- 8 3.54e- 7 ****
17 WAV.spectre.moyen	MT03	MT07	36	36	11.6	69.9 6.93e-18 1.66e-16 ****
18 WAV.spectre.moyen	MT03	MT08	36	28	8.19	58.1 2.89e-11 4.62e-10 ****
19 WAV.spectre.moyen	MT04	MT05	36	36	7.74	68.4 6.29e-11 9.43e-10 ****
20 WAV.spectre.moyen	MT04	MT06	36	34	-0.402	66.8 6.89e- 1 8.28e- 1 ns
21 WAV.spectre.moyen	MT04	MT07	36	36	3.54	68.8 7.3 e- 4 5 e- 3 **
22 WAV.spectre.moyen	MT04	MT08	36	28	0.823	61.4 4.14e- 1 8.28e- 1 ns
23 WAV.spectre.moyen	MT05	MT06	36	34	-7.71	63.0 1.16e-10 1.62e- 9 ****
24 WAV.spectre.moyen	MT05	MT07	36	36	-4.48	70.0 2.8 e- 5 2.8 e- 4 ***
25 WAV.spectre.moyen	MT05	MT08	36	28	-7.00	58.3 2.82e- 9 3.38e- 8 ****
26 WAV.spectre.moyen	MT06	MT07	34	36	3.75	63.7 3.79e- 4 3 e- 3 **
27 WAV.spectre.moyen	MT06	MT08	34	28	1.19	59.9 2.4 e- 1 7.2 e- 1 ns
28 WAV.spectre.moyen	MT07	MT08	36	28	-2.73	58.9 8 e- 3 4.2 e- 2 *

Annexe 15 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte oral

Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	2,10E-02	0,051	0,032	0,033	0,013	0,010	0,011	0,004
MT01	O/	7	2,20E-02	0,065	0,047	0,045	0,029	0,023	0,018	0,007
MT01	a	7	2,88E-02	0,043	0,035	0,036	0,008	0,008	0,006	0,002
MT01	i	7	5,84E-03	0,031	0,021	0,020	0,006	0,005	0,006	0,002
MT01	u	7	5,66E-03	0,051	0,035	0,029	0,027	0,018	0,018	0,007
MT01	y	7	1,78E-02	0,043	0,027	0,029	0,009	0,010	0,008	0,003
MT02	E/	7	1,60E-02	0,036	0,025	0,025	0,008	0,006	0,007	0,003
MT02	O/	7	4,75E-03	0,016	0,011	0,011	0,002	0,002	0,003	0,001
MT02	a	7	1,63E-02	0,023	0,018	0,019	0,003	0,003	0,002	0,001
MT02	i	7	1,01E-02	0,020	0,013	0,015	0,007	0,004	0,004	0,001
MT02	u	7	-1,65E-03	0,020	0,005	0,006	0,007	0,009	0,007	0,003
MT02	y	7	-1,62E-03	0,035	0,007	0,011	0,008	0,005	0,012	0,004
MT03	E/	7	4,83E-03	0,021	0,013	0,013	0,006	0,006	0,006	0,002
MT03	O/	7	3,65E-03	0,020	0,013	0,012	0,012	0,010	0,007	0,003
MT03	a	7	1,09E-03	0,017	0,012	0,011	0,007	0,005	0,006	0,002
MT03	i	7	6,99E-05	0,010	0,004	0,005	0,007	0,006	0,004	0,002
MT03	u	7	-6,50E-03	0,017	0,007	0,005	0,008	0,006	0,008	0,003
MT03	y	7	3,36E-03	0,012	0,005	0,006	0,002	0,001	0,003	0,001
MT04	E/	7	1,07E-03	0,017	0,005	0,005	0,004	0,005	0,006	0,002
MT04	O/	7	-5,25E-03	0,003	-0,002	-0,002	0,002	0,001	0,003	0,001
MT04	a	7	-1,82E-03	0,008	0,004	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001
MT04	i	7	-2,92E-03	0,004	0,000	0,000	0,005	0,003	0,003	0,001
MT04	u	7	-4,95E-03	0,001	-0,002	-0,002	0,003	0,003	0,002	0,001
MT04	y	7	-4,14E-03	0,002	-0,003	-0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
MT05	E/	7	-8,44E-03	0,008	0,003	0,001	0,008	0,006	0,006	0,002
MT05	O/	7	2,24E-03	0,008	0,006	0,006	0,001	0,000	0,002	0,001
MT05	a	7	-1,03E-02	0,007	-0,001	-0,001	0,008	0,005	0,006	0,002
MT05	i	7	-5,93E-03	0,007	0,006	0,003	0,005	0,001	0,005	0,002
MT05	u	7	3,37E-03	0,010	0,007	0,006	0,002	0,002	0,002	0,001
MT05	y	7	4,52E-03	0,010	0,006	0,007	0,001	0,001	0,002	0,001
MT06	E/	7	3,85E-03	0,012	0,009	0,009	0,003	0,002	0,003	0,001
MT06	O/	7	2,04E-03	0,011	0,005	0,006	0,003	0,003	0,003	0,001
MT06	a	7	4,76E-03	0,014	0,011	0,010	0,002	0,003	0,003	0,001
MT06	i	7	-6,41E-04	0,008	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,001
MT06	u	7	6,35E-04	0,006	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001
MT06	y	7	6,45E-04	0,005	0,004	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001
MT07	E/	7	5,51E-03	0,015	0,009	0,010	0,002	0,002	0,003	0,001
MT07	O/	7	1,02E-04	0,014	0,010	0,008	0,006	0,006	0,005	0,002
MT07	a	7	-1,20E-03	0,019	0,010	0,009	0,006	0,006	0,006	0,002
MT07	i	7	5,22E-03	0,013	0,009	0,009	0,005	0,005	0,003	0,001
MT07	u	7	8,11E-03	0,013	0,009	0,010	0,002	0,001	0,002	0,001
MT07	y	7	6,73E-03	0,015	0,010	0,010	0,003	0,002	0,003	0,001
MT08	E/	7	2,63E-03	0,006	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000
MT08	O/	7	1,41E-03	0,007	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001
MT08	a	7	-6,76E-03	0,010	0,006	0,004	0,007	0,005	0,006	0,002
MT08	i	7	-4,12E-04	0,015	0,004	0,007	0,010	0,007	0,006	0,002
MT08	u	7	2,65E-03	0,006	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,000
MT08	y	7	2,55E-03	0,007	0,005	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	3,44E-02	0,084	0,055	0,055	0,024	0,023	0,018	0,007
MT01	O/	7	3,83E-02	0,083	0,063	0,062	0,013	0,010	0,014	0,005
MT01	a	7	2,96E-02	0,071	0,050	0,050	0,023	0,020	0,015	0,006
MT01	i	7	2,50E-02	0,053	0,033	0,036	0,017	0,009	0,010	0,003
MT01	u	7	3,70E-02	0,066	0,045	0,049	0,011	0,006	0,010	0,004
MT01	y	7	2,68E-02	0,053	0,047	0,044	0,013	0,009	0,010	0,004
MT02	E/	7	2,10E-02	0,051	0,024	0,029	0,009	0,004	0,011	0,004
MT02	O/	7	7,50E-03	0,028	0,012	0,015	0,010	0,005	0,008	0,003
MT02	a	7	1,08E-02	0,023	0,020	0,018	0,004	0,001	0,004	0,002
MT02	i	7	1,35E-02	0,040	0,028	0,026	0,019	0,015	0,010	0,003
MT02	u	7	6,44E-03	0,028	0,013	0,013	0,008	0,007	0,008	0,003
MT02	y	7	8,37E-03	0,031	0,020	0,019	0,013	0,010	0,009	0,003
MT03	E/	7	6,41E-03	0,031	0,021	0,020	0,010	0,008	0,008	0,003
MT03	O/	7	5,53E-03	0,022	0,017	0,015	0,011	0,007	0,007	0,003
MT03	a	7	1,94E-03	0,023	0,012	0,013	0,008	0,004	0,007	0,003
MT03	i	7	3,48E-03	0,025	0,017	0,016	0,009	0,007	0,008	0,003
MT03	u	7	2,02E-03	0,016	0,011	0,009	0,006	0,005	0,005	0,002
MT03	y	7	1,88E-03	0,016	0,014	0,012	0,003	0,003	0,005	0,002
MT04	E/	7	-4,97E-04	0,011	0,004	0,005	0,003	0,001	0,004	0,001
MT04	O/	7	-1,53E-04	0,008	0,004	0,004	0,005	0,005	0,003	0,001
MT04	a	7	1,42E-03	0,016	0,007	0,007	0,010	0,007	0,006	0,002
MT04	i	7	1,90E-03	0,009	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,001
MT04	u	7	-3,46E-04	0,008	0,003	0,003	0,005	0,004	0,003	0,001
MT04	y	7	-2,53E-03	0,003	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001
MT05	E/	7	1,39E-02	0,035	0,021	0,022	0,009	0,008	0,007	0,003
MT05	O/	7	1,01E-02	0,028	0,020	0,019	0,005	0,005	0,006	0,002
MT05	a	7	9,54E-03	0,024	0,016	0,015	0,007	0,006	0,005	0,002
MT05	i	7	9,35E-03	0,021	0,019	0,017	0,007	0,004	0,005	0,002
MT05	u	7	1,39E-02	0,030	0,018	0,020	0,009	0,005	0,006	0,002
MT05	y	7	1,32E-02	0,031	0,020	0,020	0,006	0,007	0,006	0,002
MT06	E/	7	-2,06E-03	0,012	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,002
MT06	O/	7	-6,35E-05	0,009	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,001
MT06	a	7	4,55E-03	0,011	0,008	0,008	0,003	0,003	0,002	0,001
MT06	i	7	2,16E-03	0,008	0,005	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
MT06	u	7	1,23E-03	0,006	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001
MT06	y	7	2,74E-04	0,011	0,002	0,004	0,003	0,001	0,004	0,001
MT07	E/	7	9,04E-03	0,088	0,030	0,033	0,017	0,013	0,026	0,010
MT07	O/	7	2,07E-02	0,097	0,070	0,060	0,056	0,039	0,032	0,012
MT07	a	7	9,05E-03	0,043	0,024	0,024	0,016	0,013	0,012	0,005
MT07	i	7	1,52E-02	0,186	0,068	0,068	0,062	0,062	0,060	0,023
MT07	u	7	1,76E-02	0,136	0,126	0,105	0,043	0,016	0,043	0,016
MT07	y	7	5,19E-03	0,141	0,045	0,048	0,051	0,046	0,048	0,018
MT08	E/	7	3,53E-03	0,017	0,010	0,010	0,010	0,008	0,006	0,002
MT08	O/	7	3,74E-03	0,012	0,008	0,008	0,003	0,003	0,003	0,001
MT08	a	7	2,91E-03	0,020	0,012	0,012	0,007	0,006	0,006	0,002
MT08	i	7	4,12E-03	0,030	0,012	0,014	0,007	0,005	0,008	0,003
MT08	u	7	1,28E-03	0,011	0,005	0,006	0,005	0,003	0,004	0,001
MT08	y	7	3,56E-03	0,011	0,010	0,009	0,004	0,002	0,003	0,001

Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	0,019	0,104	0,045	0,055	0,035	0,025	0,030	0,011
MT01	O/	7	0,062	0,203	0,118	0,139	0,078	0,083	0,053	0,020
MT01	a	7	0,027	0,078	0,049	0,049	0,018	0,011	0,017	0,006
MT01	i	7	0,008	0,028	0,022	0,020	0,017	0,010	0,009	0,003
MT01	u	7	0,015	0,347	0,121	0,141	0,112	0,127	0,115	0,043
MT01	y	7	0,030	0,264	0,087	0,117	0,098	0,066	0,087	0,033
MT02	E/	7	0,115	0,196	0,140	0,145	0,029	0,024	0,027	0,010
MT02	O/	7	0,062	0,180	0,111	0,122	0,054	0,032	0,043	0,016
MT02	a	7	0,117	0,249	0,150	0,165	0,033	0,013	0,044	0,017
MT02	i	7	0,015	0,117	0,060	0,067	0,037	0,025	0,034	0,010
MT02	u	7	0,018	0,126	0,060	0,065	0,043	0,047	0,038	0,014
MT02	y	7	-0,034	0,120	0,081	0,058	0,058	0,029	0,055	0,021
MT03	E/	7	0,098	0,193	0,132	0,140	0,027	0,023	0,030	0,011
MT03	O/	7	0,063	0,190	0,134	0,122	0,095	0,084	0,055	0,021
MT03	a	7	0,120	0,271	0,170	0,177	0,086	0,071	0,058	0,022
MT03	i	7	0,034	0,087	0,041	0,049	0,020	0,010	0,020	0,007
MT03	u	7	-0,001	0,378	0,055	0,107	0,085	0,042	0,131	0,050
MT03	y	7	0,039	0,166	0,064	0,071	0,020	0,024	0,043	0,016
MT04	E/	7	0,055	0,127	0,088	0,089	0,025	0,022	0,023	0,009
MT04	O/	7	0,040	0,144	0,096	0,091	0,032	0,021	0,033	0,013
MT04	a	7	0,048	0,140	0,085	0,091	0,052	0,042	0,034	0,013
MT04	i	7	0,008	0,083	0,046	0,047	0,039	0,032	0,028	0,011
MT04	u	7	-0,003	0,154	0,036	0,050	0,033	0,036	0,052	0,020
MT04	y	7	0,001	0,043	0,021	0,020	0,019	0,019	0,015	0,006
MT05	E/	7	0,074	0,171	0,104	0,113	0,031	0,018	0,032	0,012
MT05	O/	7	0,010	0,130	0,058	0,065	0,053	0,052	0,042	0,016
MT05	a	7	0,042	0,246	0,091	0,111	0,084	0,052	0,075	0,028
MT05	i	7	0,024	0,087	0,035	0,046	0,032	0,017	0,024	0,009
MT05	u	7	-0,007	0,071	0,029	0,033	0,019	0,018	0,024	0,009
MT05	y	7	-0,005	0,129	0,037	0,043	0,025	0,023	0,042	0,016
MT06	E/	7	0,026	0,121	0,070	0,074	0,060	0,053	0,038	0,014
MT06	O/	7	0,003	0,055	0,029	0,032	0,032	0,027	0,020	0,008
MT06	a	7	0,017	0,103	0,087	0,075	0,034	0,024	0,031	0,012
MT06	i	7	0,001	0,045	0,031	0,026	0,016	0,007	0,015	0,006
MT06	u	7	-0,006	0,047	0,009	0,015	0,025	0,022	0,019	0,007
MT06	y	7	0,012	0,044	0,020	0,023	0,008	0,007	0,011	0,004
MT07	E/	7	0,039	0,134	0,110	0,096	0,050	0,036	0,036	0,013
MT07	O/	7	-0,006	0,123	0,071	0,064	0,059	0,054	0,045	0,017
MT07	a	7	0,073	0,190	0,104	0,117	0,043	0,031	0,042	0,016
MT07	i	7	0,021	0,065	0,043	0,045	0,015	0,013	0,014	0,005
MT07	u	7	0,006	0,068	0,042	0,035	0,037	0,033	0,024	0,009
MT07	y	7	0,023	0,058	0,037	0,038	0,022	0,018	0,014	0,005
MT08	E/	7	0,044	0,114	0,065	0,074	0,035	0,030	0,026	0,010
MT08	O/	7	0,017	0,108	0,054	0,054	0,040	0,029	0,032	0,012
MT08	a	7	0,083	0,234	0,138	0,156	0,071	0,064	0,054	0,020
MT08	i	7	0,048	0,143	0,087	0,090	0,068	0,051	0,039	0,015
MT08	u	7	0,018	0,071	0,039	0,040	0,019	0,020	0,018	0,007
MT08	y	7	0,012	0,052	0,040	0,035	0,028	0,017	0,017	0,006

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	0,010	0,148	0,055	0,070	0,065	0,028	0,052	0,020
MT01	O/	7	0,056	0,237	0,158	0,144	0,112	0,109	0,072	0,027
MT01	a	7	0,012	0,202	0,029	0,078	0,105	0,025	0,085	0,032
MT01	i	7	0,002	0,066	0,012	0,020	0,015	0,014	0,020	0,006
MT01	u	7	0,075	0,366	0,185	0,189	0,133	0,115	0,103	0,039
MT01	y	7	0,089	0,775	0,185	0,285	0,225	0,141	0,242	0,091
MT02	E/	7	0,085	0,318	0,196	0,192	0,043	0,027	0,070	0,027
MT02	O/	7	0,091	0,274	0,157	0,178	0,066	0,082	0,060	0,023
MT02	a	7	0,120	0,281	0,188	0,182	0,063	0,045	0,056	0,021
MT02	i	7	0,045	0,178	0,102	0,103	0,046	0,041	0,044	0,013
MT02	u	7	0,090	0,234	0,126	0,138	0,045	0,046	0,050	0,019
MT02	y	7	0,121	0,232	0,128	0,151	0,034	0,011	0,041	0,016
MT03	E/	7	0,061	0,193	0,141	0,141	0,042	0,040	0,043	0,016
MT03	O/	7	0,065	0,301	0,159	0,164	0,060	0,068	0,075	0,029
MT03	a	7	0,066	0,202	0,141	0,143	0,049	0,034	0,045	0,017
MT03	i	7	0,055	0,125	0,103	0,094	0,034	0,032	0,025	0,010
MT03	u	7	0,060	0,264	0,149	0,159	0,109	0,111	0,081	0,030
MT03	y	7	0,081	0,321	0,167	0,177	0,118	0,107	0,087	0,033
MT04	E/	7	0,064	0,227	0,117	0,127	0,032	0,019	0,051	0,019
MT04	O/	7	0,042	0,276	0,165	0,155	0,137	0,142	0,092	0,035
MT04	a	7	0,069	0,249	0,127	0,142	0,044	0,033	0,057	0,021
MT04	i	7	0,057	0,083	0,068	0,071	0,013	0,013	0,010	0,004
MT04	u	7	0,037	0,223	0,146	0,154	0,054	0,051	0,061	0,023
MT04	y	7	0,034	0,137	0,063	0,082	0,087	0,043	0,047	0,018
MT05	E/	7	0,078	0,297	0,163	0,168	0,026	0,024	0,066	0,025
MT05	O/	7	0,075	0,232	0,104	0,134	0,099	0,043	0,064	0,024
MT05	a	7	0,075	0,228	0,104	0,126	0,048	0,036	0,053	0,020
MT05	i	7	0,062	0,188	0,119	0,126	0,053	0,039	0,043	0,016
MT05	u	7	0,057	0,156	0,096	0,103	0,056	0,051	0,039	0,015
MT05	y	7	0,051	0,216	0,096	0,107	0,022	0,021	0,052	0,020
MT06	E/	7	0,003	0,070	0,053	0,046	0,016	0,008	0,022	0,008
MT06	O/	7	-0,007	0,042	0,028	0,024	0,024	0,017	0,019	0,007
MT06	a	7	0,044	0,105	0,073	0,072	0,022	0,021	0,020	0,008
MT06	i	7	0,019	0,043	0,027	0,029	0,007	0,008	0,008	0,003
MT06	u	7	-0,021	0,006	-0,006	-0,008	0,018	0,017	0,011	0,004
MT06	y	7	-0,030	0,037	-0,001	0,006	0,025	0,020	0,023	0,009
MT07	E/	7	0,098	0,272	0,188	0,185	0,053	0,063	0,057	0,021
MT07	O/	7	0,136	0,220	0,164	0,165	0,030	0,024	0,029	0,011
MT07	a	7	0,152	0,269	0,212	0,203	0,060	0,063	0,043	0,016
MT07	i	7	0,111	0,153	0,124	0,128	0,013	0,006	0,014	0,005
MT07	u	7	0,075	0,123	0,091	0,094	0,010	0,009	0,015	0,006
MT07	y	7	0,088	0,130	0,093	0,100	0,012	0,007	0,014	0,005
MT08	E/	7	0,083	0,295	0,179	0,170	0,098	0,072	0,076	0,029
MT08	O/	7	0,069	0,125	0,115	0,104	0,039	0,015	0,024	0,009
MT08	a	7	0,130	0,311	0,197	0,204	0,097	0,093	0,068	0,026
MT08	i	7	0,108	0,360	0,118	0,152	0,017	0,012	0,092	0,035
MT08	u	7	0,046	0,094	0,055	0,059	0,009	0,009	0,016	0,006
MT08	y	7	0,050	0,143	0,088	0,091	0,046	0,038	0,034	0,013

Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	-0,006	0,037	0,015	0,014	0,016	0,017	0,015	0,005
PM02	E/	postop	7	0,027	0,049	0,033	0,035	0,010	0,008	0,008	0,003
PM02	O/	preop	7	-0,026	-0,003	-0,006	-0,010	0,011	0,005	0,009	0,003
PM02	O/	postop	7	0,024	0,037	0,030	0,031	0,008	0,009	0,005	0,002
PM02	a	preop	7	0,016	0,057	0,025	0,032	0,016	0,002	0,016	0,006
PM02	a	postop	7	0,010	0,022	0,015	0,016	0,007	0,006	0,004	0,001
PM02	i	preop	7	-0,003	0,017	0,006	0,007	0,008	0,005	0,007	0,003
PM02	i	postop	7	-0,001	0,019	0,007	0,008	0,006	0,004	0,007	0,002
PM02	u	preop	7	-0,024	0,006	-0,014	-0,013	0,008	0,006	0,010	0,004
PM02	u	postop	7	0,005	0,031	0,020	0,018	0,019	0,013	0,011	0,004
PM02	y	preop	7	-0,023	-0,002	-0,013	-0,012	0,009	0,006	0,008	0,003
PM02	y	postop	7	0,005	0,011	0,008	0,008	0,001	0,001	0,002	0,001
PM03	E/	preop	7	0,013	0,035	0,017	0,020	0,008	0,005	0,008	0,003
PM03	E/	postop	7	0,018	0,046	0,023	0,027	0,007	0,002	0,010	0,004
PM03	O/	preop	7	-0,003	0,014	0,007	0,006	0,009	0,006	0,006	0,002
PM03	O/	postop	7	-0,001	0,007	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001
PM03	a	preop	7	0,012	0,038	0,029	0,027	0,011	0,008	0,010	0,004
PM03	a	postop	7	0,007	0,022	0,010	0,012	0,004	0,002	0,005	0,002
PM03	i	preop	7	-0,004	0,024	0,012	0,013	0,007	0,003	0,009	0,003
PM03	i	postop	7	0,002	0,007	0,005	0,005	0,001	0,001	0,002	0,001
PM03	u	preop	7	0,002	0,011	0,002	0,004	0,002	0,000	0,003	0,001
PM03	u	postop	7	-0,005	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001
PM03	y	preop	7	0,001	0,007	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001
PM03	y	postop	7	-0,002	0,005	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001
PM04	E/	preop	7	-0,001	0,005	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001
PM04	E/	postop	7	-0,007	-0,001	-0,003	-0,004	0,002	0,002	0,002	0,001
PM04	O/	preop	7	-0,003	0,004	-0,002	-0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
PM04	O/	postop	7	-0,007	0,001	-0,005	-0,004	0,003	0,002	0,003	0,001
PM04	a	preop	7	-0,005	0,011	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,002
PM04	a	postop	7	-0,006	0,002	-0,001	-0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
PM04	i	preop	7	-0,004	0,005	-0,002	-0,001	0,003	0,002	0,003	0,001
PM04	i	postop	7	-0,006	-0,003	-0,004	-0,004	0,002	0,001	0,001	0,000
PM04	u	preop	7	-0,003	0,002	-0,001	-0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
PM04	u	postop	7	-0,008	-0,003	-0,007	-0,006	0,002	0,002	0,002	0,001
PM04	y	preop	7	-0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
PM04	y	postop	7	-0,008	-0,004	-0,005	-0,005	0,001	0,002	0,001	0,001
PM05	E/	preop	7	0,000	0,004	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
PM05	E/	postop	7	-0,003	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
PM05	O/	preop	7	-0,003	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
PM05	O/	postop	7	0,000	0,006	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
PM05	a	preop	7	0,004	0,013	0,009	0,009	0,005	0,004	0,003	0,001
PM05	a	postop	7	-0,002	0,011	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,001
PM05	i	preop	7	-0,002	0,011	0,001	0,002	0,007	0,005	0,005	0,002
PM05	i	postop	7	-0,002	0,014	0,001	0,005	0,011	0,004	0,007	0,002
PM05	u	preop	7	0,001	0,009	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001
PM05	u	postop	7	0,000	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000
PM05	y	preop	7	0,002	0,006	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001
PM05	y	postop	7	-0,003	0,004	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	0,002	0,039	0,016	0,017	0,020	0,018	0,014	0,005
PM02	E/	postop	7	0,022	0,041	0,026	0,026	0,004	0,004	0,007	0,002
PM02	O/	preop	7	-0,030	-0,011	-0,013	-0,017	0,009	0,003	0,007	0,003
PM02	O/	postop	7	0,016	0,042	0,033	0,030	0,012	0,004	0,010	0,004
PM02	a	preop	7	0,013	0,056	0,028	0,031	0,019	0,011	0,016	0,006
PM02	a	postop	7	0,000	0,039	0,014	0,016	0,016	0,013	0,013	0,004
PM02	i	preop	7	-0,007	0,025	0,007	0,006	0,010	0,010	0,010	0,004
PM02	i	postop	7	-0,004	0,017	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,003
PM02	u	preop	7	-0,037	-0,020	-0,029	-0,028	0,008	0,007	0,006	0,002
PM02	u	postop	7	0,002	0,017	0,010	0,011	0,003	0,004	0,005	0,002
PM02	y	preop	7	-0,025	-0,011	-0,019	-0,018	0,011	0,009	0,006	0,002
PM02	y	postop	7	-0,016	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	0,009	0,003
PM03	E/	preop	7	0,013	0,054	0,022	0,028	0,021	0,011	0,016	0,006
PM03	E/	postop	7	0,010	0,060	0,027	0,033	0,026	0,016	0,020	0,007
PM03	O/	preop	7	-0,005	0,016	0,002	0,003	0,006	0,005	0,007	0,003
PM03	O/	postop	7	0,000	0,007	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,001
PM03	a	preop	7	0,011	0,045	0,032	0,028	0,012	0,015	0,011	0,004
PM03	a	postop	7	0,001	0,018	0,010	0,009	0,006	0,006	0,006	0,002
PM03	i	preop	7	0,017	0,065	0,032	0,035	0,014	0,013	0,016	0,006
PM03	i	postop	7	0,000	0,032	0,008	0,011	0,001	0,001	0,010	0,004
PM03	u	preop	7	-0,008	0,018	0,002	0,004	0,005	0,006	0,008	0,003
PM03	u	postop	7	-0,002	0,013	0,006	0,005	0,009	0,008	0,006	0,002
PM03	y	preop	7	0,002	0,063	0,007	0,016	0,012	0,006	0,022	0,008
PM03	y	postop	7	-0,002	0,023	0,004	0,006	0,008	0,006	0,008	0,003
PM04	E/	preop	7	0,002	0,011	0,003	0,004	0,002	0,001	0,003	0,001
PM04	E/	postop	7	-0,006	0,005	-0,003	-0,002	0,002	0,002	0,004	0,001
PM04	O/	preop	7	-0,003	0,053	0,001	0,007	0,004	0,003	0,019	0,007
PM04	O/	postop	7	-0,005	-0,002	-0,003	-0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
PM04	a	preop	7	-0,001	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002	0,001
PM04	a	postop	7	-0,004	0,006	0,001	0,001	0,006	0,006	0,004	0,001
PM04	i	preop	7	-0,003	0,052	0,001	0,007	0,002	0,002	0,017	0,005
PM04	i	postop	7	-0,004	0,003	-0,003	-0,001	0,004	0,002	0,003	0,001
PM04	u	preop	7	-0,003	0,004	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001
PM04	u	postop	7	-0,008	-0,004	-0,007	-0,007	0,002	0,000	0,001	0,000
PM04	y	preop	7	-0,002	0,005	0,001	0,001	0,005	0,003	0,003	0,001
PM04	y	postop	7	-0,007	0,001	-0,006	-0,005	0,001	0,001	0,003	0,001
PM05	E/	preop	7	-0,002	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001
PM05	E/	postop	7	-0,001	0,006	0,000	0,001	0,004	0,002	0,003	0,001
PM05	O/	preop	7	-0,003	0,001	-0,002	-0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
PM05	O/	postop	7	-0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001
PM05	a	preop	7	0,003	0,009	0,006	0,006	0,002	0,002	0,002	0,001
PM05	a	postop	7	-0,003	0,008	-0,001	0,001	0,004	0,003	0,004	0,001
PM05	i	preop	7	-0,002	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001
PM05	i	postop	7	-0,003	0,013	0,000	0,003	0,010	0,002	0,006	0,002
PM05	u	preop	7	0,000	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000
PM05	u	postop	7	-0,003	0,005	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003	0,001
PM05	y	preop	7	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000
PM05	y	postop	7	-0,005	0,002	0,000	-0,001	0,003	0,002	0,003	0,001

Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte oral, en position initiale (V1) et finale (V2)

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	0,088	0,261	0,154	0,152	0,052	0,030	0,058	0,022
PM02	E/	postop	7	0,079	0,129	0,110	0,106	0,032	0,023	0,020	0,008
PM02	O/	preop	7	0,061	0,194	0,120	0,129	0,086	0,067	0,053	0,020
PM02	O/	postop	7	0,073	0,361	0,222	0,225	0,166	0,132	0,108	0,041
PM02	a	preop	7	0,179	0,320	0,249	0,238	0,040	0,045	0,045	0,017
PM02	a	postop	7	0,050	0,144	0,078	0,083	0,036	0,029	0,029	0,009
PM02	i	preop	7	0,024	0,082	0,070	0,059	0,033	0,017	0,023	0,009
PM02	i	postop	7	0,004	0,071	0,043	0,039	0,012	0,008	0,021	0,007
PM02	u	preop	7	-0,018	0,108	0,048	0,041	0,041	0,019	0,042	0,016
PM02	u	postop	7	0,004	0,151	0,082	0,075	0,055	0,038	0,049	0,019
PM02	y	preop	7	0,035	0,133	0,097	0,090	0,059	0,052	0,038	0,014
PM02	y	postop	7	0,029	0,110	0,078	0,077	0,031	0,032	0,028	0,011
PM03	E/	preop	7	0,024	0,121	0,036	0,056	0,052	0,019	0,038	0,014
PM03	E/	postop	7	0,036	0,083	0,056	0,059	0,012	0,006	0,015	0,006
PM03	O/	preop	7	0,011	0,069	0,026	0,030	0,018	0,015	0,020	0,007
PM03	O/	postop	7	0,001	0,075	0,015	0,024	0,025	0,015	0,026	0,010
PM03	a	preop	7	0,055	0,154	0,099	0,099	0,030	0,021	0,032	0,012
PM03	a	postop	7	0,067	0,288	0,144	0,151	0,071	0,050	0,072	0,027
PM03	i	preop	7	0,003	0,048	0,010	0,018	0,023	0,010	0,019	0,007
PM03	i	postop	7	0,002	0,058	0,020	0,026	0,039	0,025	0,023	0,009
PM03	u	preop	7	-0,002	0,071	0,035	0,032	0,030	0,031	0,026	0,010
PM03	u	postop	7	0,010	0,107	0,038	0,050	0,052	0,038	0,040	0,015
PM03	y	preop	7	-0,009	0,050	0,019	0,019	0,021	0,019	0,019	0,007
PM03	y	postop	7	-0,002	0,094	0,032	0,041	0,054	0,050	0,037	0,014
PM04	E/	preop	7	0,034	0,187	0,070	0,085	0,037	0,030	0,050	0,019
PM04	E/	postop	7	0,007	0,020	0,011	0,012	0,004	0,002	0,005	0,002
PM04	O/	preop	7	0,026	0,139	0,065	0,078	0,050	0,021	0,043	0,016
PM04	O/	postop	7	0,019	0,117	0,045	0,055	0,036	0,027	0,035	0,013
PM04	a	preop	7	-0,004	0,128	0,071	0,077	0,057	0,025	0,041	0,014
PM04	a	postop	7	-0,002	0,028	0,023	0,020	0,006	0,006	0,009	0,003
PM04	i	preop	7	0,019	0,059	0,041	0,039	0,015	0,014	0,013	0,004
PM04	i	postop	7	0,001	0,009	0,005	0,005	0,003	0,002	0,003	0,001
PM04	u	preop	7	0,029	0,088	0,058	0,057	0,043	0,034	0,025	0,009
PM04	u	postop	7	0,028	0,105	0,043	0,051	0,029	0,022	0,027	0,009
PM04	y	preop	7	0,023	0,090	0,044	0,047	0,033	0,030	0,025	0,010
PM04	y	postop	7	0,002	0,016	0,010	0,009	0,009	0,007	0,006	0,002
PM05	E/	preop	7	0,012	0,034	0,019	0,019	0,004	0,002	0,007	0,003
PM05	E/	postop	7	0,023	0,092	0,041	0,048	0,023	0,015	0,024	0,009
PM05	O/	preop	7	0,010	0,039	0,014	0,019	0,010	0,007	0,010	0,004
PM05	O/	postop	7	0,013	0,352	0,121	0,142	0,114	0,097	0,117	0,044
PM05	a	preop	7	0,006	0,047	0,016	0,021	0,012	0,006	0,015	0,005
PM05	a	postop	7	0,021	0,119	0,050	0,058	0,041	0,033	0,034	0,013
PM05	i	preop	7	0,004	0,016	0,010	0,009	0,008	0,007	0,005	0,002
PM05	i	postop	7	0,000	0,038	0,016	0,016	0,011	0,010	0,011	0,003
PM05	u	preop	7	-0,004	0,047	0,011	0,014	0,008	0,007	0,016	0,006
PM05	u	postop	7	0,000	0,165	0,113	0,090	0,087	0,040	0,065	0,025
PM05	y	preop	7	0,012	0,019	0,015	0,015	0,003	0,003	0,003	0,001
PM05	y	postop	7	0,009	0,243	0,083	0,083	0,055	0,038	0,078	0,030

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	0,036	0,215	0,182	0,146	0,110	0,050	0,073	0,027
PM02	E/	postop	7	0,045	0,149	0,079	0,092	0,046	0,046	0,036	0,014
PM02	O/	preop	7	0,038	0,265	0,150	0,146	0,123	0,124	0,087	0,033
PM02	O/	postop	7	0,065	0,304	0,193	0,188	0,161	0,131	0,096	0,036
PM02	a	preop	7	0,045	0,276	0,190	0,173	0,094	0,056	0,082	0,031
PM02	a	postop	7	0,027	0,125	0,077	0,074	0,068	0,056	0,036	0,011
PM02	i	preop	7	0,013	0,066	0,044	0,040	0,032	0,031	0,021	0,008
PM02	i	postop	7	0,015	0,077	0,035	0,040	0,007	0,007	0,018	0,006
PM02	u	preop	7	-0,001	0,208	0,071	0,081	0,069	0,061	0,069	0,026
PM02	u	postop	7	0,054	0,565	0,096	0,166	0,085	0,062	0,181	0,069
PM02	y	preop	7	0,053	0,343	0,086	0,121	0,038	0,034	0,100	0,038
PM02	y	postop	7	0,023	0,221	0,115	0,112	0,061	0,057	0,064	0,024
PM03	E/	preop	7	0,019	0,134	0,066	0,067	0,034	0,033	0,038	0,015
PM03	E/	postop	7	0,025	0,226	0,090	0,115	0,107	0,096	0,074	0,028
PM03	O/	preop	7	0,002	0,035	0,022	0,024	0,017	0,019	0,012	0,005
PM03	O/	postop	7	-0,005	0,144	0,014	0,034	0,021	0,013	0,051	0,019
PM03	a	preop	7	0,059	0,184	0,116	0,114	0,050	0,045	0,042	0,016
PM03	a	postop	7	0,090	0,236	0,135	0,139	0,036	0,028	0,048	0,018
PM03	i	preop	7	0,010	0,078	0,030	0,033	0,035	0,029	0,026	0,010
PM03	i	postop	7	0,003	0,052	0,029	0,027	0,030	0,028	0,020	0,007
PM03	u	preop	7	0,017	0,075	0,032	0,036	0,026	0,020	0,022	0,008
PM03	u	postop	7	0,040	0,351	0,189	0,184	0,037	0,021	0,092	0,035
PM03	y	preop	7	0,005	0,049	0,022	0,021	0,011	0,005	0,015	0,006
PM03	y	postop	7	0,061	0,335	0,111	0,129	0,032	0,039	0,093	0,035
PM04	E/	preop	7	0,069	0,249	0,130	0,135	0,050	0,048	0,059	0,022
PM04	E/	postop	7	0,002	0,065	0,011	0,029	0,045	0,013	0,028	0,010
PM04	O/	preop	7	0,025	0,281	0,067	0,101	0,073	0,039	0,088	0,031
PM04	O/	postop	7	0,034	0,151	0,072	0,075	0,036	0,022	0,039	0,015
PM04	a	preop	7	0,047	0,138	0,089	0,093	0,028	0,029	0,028	0,010
PM04	a	postop	7	0,012	0,074	0,020	0,035	0,036	0,012	0,025	0,010
PM04	i	preop	7	0,024	0,084	0,070	0,068	0,014	0,015	0,017	0,005
PM04	i	postop	7	0,007	0,020	0,016	0,014	0,006	0,004	0,005	0,002
PM04	u	preop	7	0,033	0,102	0,087	0,080	0,029	0,018	0,026	0,010
PM04	u	postop	7	0,079	0,220	0,122	0,130	0,030	0,042	0,054	0,018
PM04	y	preop	7	0,050	0,136	0,080	0,084	0,037	0,029	0,031	0,012
PM04	y	postop	7	0,002	0,062	0,038	0,037	0,012	0,008	0,018	0,007
PM05	E/	preop	7	-0,012	0,028	0,008	0,009	0,006	0,005	0,012	0,005
PM05	E/	postop	7	0,019	0,082	0,034	0,037	0,007	0,006	0,021	0,008
PM05	O/	preop	7	-0,002	0,066	0,004	0,015	0,016	0,010	0,024	0,009
PM05	O/	postop	7	0,044	0,244	0,158	0,140	0,076	0,034	0,070	0,027
PM05	a	preop	7	-0,005	0,024	0,007	0,009	0,009	0,006	0,009	0,003
PM05	a	postop	7	0,011	0,119	0,050	0,054	0,032	0,029	0,035	0,013
PM05	i	preop	7	-0,001	0,018	0,004	0,005	0,004	0,004	0,006	0,002
PM05	i	postop	7	-0,003	0,044	0,013	0,016	0,003	0,002	0,013	0,004
PM05	u	preop	7	-0,011	0,261	0,018	0,074	0,121	0,037	0,111	0,042
PM05	u	postop	7	0,060	0,285	0,138	0,153	0,031	0,033	0,068	0,026
PM05	y	preop	7	-0,005	0,127	0,005	0,042	0,089	0,015	0,060	0,023
PM05	y	postop	7	0,029	0,214	0,146	0,137	0,061	0,065	0,061	0,023

Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	84	0,006	0,131	0,038	0,042	0,025	0,018	0,021	0,002
MT02	témoin	84	-0,002	0,051	0,017	0,018	0,012	0,009	0,010	0,001
MT03	témoin	84	-0,007	0,031	0,011	0,011	0,011	0,008	0,007	0,001
MT04	témoin	84	-0,005	0,017	0,002	0,002	0,006	0,004	0,005	0,001
MT05	témoin	84	-0,010	0,035	0,010	0,011	0,012	0,008	0,009	0,001
MT06	témoin	84	-0,002	0,014	0,005	0,006	0,005	0,004	0,004	0,000
MT07	témoin	84	-0,001	0,186	0,014	0,033	0,025	0,009	0,040	0,004
MT08	témoin	84	-0,007	0,045	0,006	0,008	0,007	0,004	0,007	0,001
PM02	preop	84	-0,037	0,057	-0,003	0,001	0,029	0,023	0,022	0,002
PM02	postop	84	-0,016	0,049	0,015	0,017	0,019	0,013	0,013	0,001
PM03	preop	84	-0,008	0,065	0,012	0,016	0,020	0,015	0,015	0,002
PM03	postop	84	-0,005	0,060	0,006	0,010	0,009	0,007	0,012	0,001
PM04	preop	84	-0,005	0,053	0,000	0,002	0,004	0,003	0,009	0,001
PM04	postop	84	-0,008	0,006	-0,004	-0,004	0,003	0,003	0,003	0,000
PM05	preop	84	-0,003	0,013	0,002	0,003	0,004	0,003	0,004	0,000
PM05	postop	84	-0,005	0,014	0,001	0,002	0,004	0,003	0,004	0,000

Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	84	0,002	0,775	0,057	0,097	0,100	0,057	0,110	0,011
MT02	témoin	84	-0,034	0,318	0,122	0,127	0,073	0,055	0,064	0,007
MT03	témoin	84	-0,001	0,378	0,125	0,128	0,102	0,077	0,072	0,008
MT04	témoin	84	-0,003	0,276	0,082	0,093	0,082	0,059	0,061	0,007
MT05	témoin	84	-0,007	0,297	0,090	0,098	0,076	0,057	0,061	0,007
MT06	témoin	84	-0,030	0,121	0,030	0,034	0,041	0,032	0,033	0,004
MT07	témoin	84	-0,006	0,272	0,099	0,107	0,083	0,063	0,063	0,007
MT08	témoin	84	0,012	0,360	0,087	0,102	0,073	0,054	0,069	0,008
PM02	preop	84	-0,018	0,343	0,095	0,119	0,126	0,081	0,081	0,009
PM02	postop	84	0,004	0,565	0,079	0,101	0,068	0,052	0,085	0,009
PM03	preop	84	-0,009	0,184	0,035	0,047	0,048	0,032	0,041	0,004
PM03	postop	84	-0,005	0,351	0,058	0,082	0,089	0,066	0,076	0,008
PM04	preop	84	-0,004	0,281	0,070	0,077	0,042	0,031	0,045	0,005
PM04	postop	84	-0,002	0,220	0,025	0,041	0,048	0,026	0,044	0,005
PM05	preop	84	-0,012	0,261	0,012	0,021	0,014	0,010	0,039	0,004
PM05	postop	84	-0,003	0,352	0,050	0,077	0,103	0,055	0,073	0,008

Annexe 16 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les consonnes nasales

Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les consonnes nasales

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	m	6	0,058	0,144	0,099	0,102	0,040	0,032	0,027	0,008
MT01	n	6	0,029	0,160	0,106	0,101	0,037	0,028	0,033	0,009
MT02	m	6	0,016	0,037	0,031	0,029	0,014	0,009	0,009	0,003
MT02	n	6	0,022	0,052	0,039	0,038	0,021	0,016	0,012	0,005
MT03	m	6	0,008	0,099	0,072	0,065	0,019	0,018	0,031	0,013
MT03	n	6	0,056	0,105	0,068	0,075	0,015	0,009	0,018	0,007
MT04	m	6	0,068	0,140	0,108	0,107	0,030	0,025	0,026	0,011
MT04	n	6	0,099	0,155	0,113	0,119	0,024	0,020	0,021	0,009
MT05	m	6	0,181	0,242	0,207	0,205	0,017	0,017	0,022	0,009
MT05	n	6	0,162	0,204	0,186	0,184	0,018	0,016	0,015	0,006
MT06	m	6	0,085	0,177	0,103	0,118	0,050	0,025	0,038	0,015
MT06	n	6	0,086	0,212	0,127	0,135	0,028	0,026	0,043	0,017
MT07	m	6	0,119	0,212	0,136	0,153	0,041	0,019	0,036	0,014
MT07	n	6	0,145	0,233	0,180	0,183	0,038	0,034	0,032	0,013
MT08	m	6	0,061	0,167	0,089	0,098	0,030	0,025	0,038	0,015
MT08	n	6	0,090	0,225	0,100	0,119	0,010	0,008	0,052	0,021

Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les consonnes nasales

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	m	6	-0,007	0,021	0,006	0,007	0,011	0,010	0,009	0,003
MT01	n	6	-0,026	0,023	-0,006	-0,004	0,020	0,019	0,014	0,004
MT02	m	6	0,006	0,025	0,017	0,016	0,013	0,011	0,008	0,003
MT02	n	6	0,005	0,040	0,022	0,022	0,022	0,022	0,014	0,005
MT03	m	6	0,010	0,041	0,029	0,027	0,009	0,008	0,011	0,004
MT03	n	6	0,005	0,041	0,011	0,015	0,008	0,008	0,013	0,005
MT04	m	6	-0,003	0,010	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,002
MT04	n	6	-0,001	0,006	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001
MT05	m	6	-0,020	-0,002	-0,009	-0,009	0,007	0,007	0,007	0,003
MT05	n	6	-0,008	0,006	0,000	-0,001	0,004	0,003	0,005	0,002
MT06	m	6	-0,012	0,010	0,000	-0,002	0,009	0,009	0,008	0,003
MT06	n	6	-0,005	0,008	0,001	0,001	0,008	0,007	0,005	0,002
MT07	m	6	0,012	0,026	0,013	0,016	0,006	0,001	0,005	0,002
MT07	n	6	0,006	0,023	0,010	0,012	0,007	0,005	0,006	0,003
MT08	m	6	0,006	0,042	0,018	0,020	0,009	0,008	0,012	0,005
MT08	n	6	0,015	0,030	0,021	0,022	0,010	0,009	0,006	0,003

Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	m	preop	6	0,030	0,097	0,063	0,065	0,014	0,014	0,022	0,009
PM02	m	postop	6	0,069	0,108	0,072	0,078	0,013	0,004	0,014	0,005
PM02	n	preop	6	0,070	0,110	0,090	0,089	0,026	0,021	0,017	0,007
PM02	n	postop	6	0,064	0,184	0,096	0,108	0,024	0,014	0,039	0,015
PM03	m	preop	6	0,073	0,119	0,091	0,094	0,028	0,022	0,019	0,008
PM03	m	postop	6	0,016	0,088	0,045	0,046	0,012	0,011	0,024	0,010
PM03	n	preop	6	0,062	0,150	0,097	0,101	0,047	0,045	0,033	0,013
PM03	n	postop	6	0,041	0,080	0,067	0,064	0,018	0,017	0,015	0,006
PM04	m	preop	6	0,030	0,048	0,039	0,039	0,005	0,004	0,006	0,002
PM04	m	postop	6	0,011	0,029	0,025	0,021	0,009	0,005	0,007	0,003
PM04	n	preop	6	0,027	0,065	0,049	0,048	0,010	0,006	0,011	0,004
PM04	n	postop	6	0,016	0,057	0,034	0,035	0,026	0,023	0,017	0,007
PM05	m	preop	6	0,023	0,056	0,043	0,041	0,018	0,013	0,012	0,004
PM05	m	postop	6	0,031	0,068	0,053	0,053	0,017	0,016	0,014	0,005
PM05	n	preop	6	0,020	0,055	0,027	0,032	0,018	0,010	0,016	0,008
PM05	n	postop	6	0,036	0,084	0,060	0,063	0,025	0,023	0,018	0,008

Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les consonnes nasales

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	m	preop	6	-0,032	0,029	-0,009	-0,005	0,016	0,015	0,021	0,008
PM02	m	postop	6	-0,018	0,014	-0,013	-0,006	0,019	0,007	0,013	0,005
PM02	n	preop	6	-0,021	0,031	0,007	0,005	0,039	0,031	0,023	0,009
PM02	n	postop	6	-0,008	0,025	-0,001	0,006	0,024	0,010	0,015	0,006
PM03	m	preop	6	-0,017	0,008	-0,011	-0,007	0,015	0,006	0,010	0,004
PM03	m	postop	6	-0,013	0,010	-0,005	-0,003	0,015	0,011	0,009	0,004
PM03	n	preop	6	-0,019	0,000	-0,007	-0,009	0,009	0,006	0,007	0,003
PM03	n	postop	6	-0,003	0,012	0,000	0,003	0,010	0,004	0,007	0,003
PM04	m	preop	6	0,003	0,020	0,008	0,009	0,005	0,005	0,005	0,002
PM04	m	postop	6	-0,012	0,002	0,001	-0,002	0,005	0,003	0,005	0,002
PM04	n	preop	6	-0,008	0,034	0,010	0,012	0,005	0,003	0,011	0,004
PM04	n	postop	6	-0,005	0,001	-0,002	-0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
PM05	m	preop	6	-0,004	0,012	0,001	0,003	0,008	0,007	0,006	0,002
PM05	m	postop	6	-0,011	0,010	-0,003	-0,002	0,010	0,011	0,008	0,003
PM05	n	preop	6	0,004	0,007	0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	n	postop	6	-0,002	0,028	0,005	0,008	0,010	0,008	0,011	0,005

Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	12	0,029	0,124	0,097	0,091	0,032	0,028	0,028	0,007
MT02	témoin	12	0,016	0,052	0,033	0,034	0,011	0,009	0,012	0,003
MT03	témoin	12	0,008	0,105	0,069	0,070	0,019	0,017	0,025	0,007
MT04	témoin	12	0,068	0,155	0,113	0,113	0,028	0,020	0,023	0,007
MT05	témoin	12	0,162	0,242	0,191	0,195	0,024	0,020	0,021	0,006
MT06	témoin	12	0,085	0,212	0,119	0,127	0,053	0,045	0,039	0,011
MT07	témoin	12	0,119	0,233	0,164	0,169	0,054	0,044	0,037	0,011
MT08	témoin	12	0,061	0,225	0,097	0,109	0,020	0,015	0,045	0,013
PM02	preop	12	0,030	0,110	0,076	0,077	0,035	0,021	0,022	0,006
PM02	postop	12	0,064	0,184	0,083	0,092	0,027	0,020	0,031	0,008
PM03	preop	12	0,062	0,150	0,097	0,098	0,038	0,030	0,027	0,007
PM03	postop	12	0,016	0,088	0,052	0,055	0,028	0,022	0,021	0,006
PM04	preop	12	0,027	0,065	0,042	0,042	0,011	0,009	0,010	0,003
PM04	postop	12	0,011	0,057	0,026	0,028	0,011	0,012	0,014	0,004
PM05	preop	12	0,020	0,056	0,037	0,038	0,022	0,020	0,013	0,004
PM05	postop	12	0,031	0,084	0,058	0,058	0,013	0,010	0,016	0,004

Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur les consonnes nasales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	12	-0,026	0,021	-0,004	-0,002	0,013	0,013	0,013	0,003
MT02	témoin	12	0,005	0,040	0,019	0,019	0,016	0,011	0,011	0,003
MT03	témoin	12	0,005	0,041	0,019	0,021	0,020	0,014	0,013	0,004
MT04	témoin	12	-0,003	0,010	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,001
MT05	témoin	12	-0,020	0,006	-0,003	-0,005	0,008	0,007	0,007	0,002
MT06	témoin	12	-0,012	0,010	0,000	0,000	0,007	0,006	0,007	0,002
MT07	témoin	12	0,006	0,026	0,013	0,014	0,007	0,005	0,006	0,002
MT08	témoin	12	0,006	0,042	0,020	0,021	0,010	0,008	0,009	0,003
PM02	preop	12	-0,032	0,031	-0,009	0,000	0,038	0,019	0,022	0,006
PM02	postop	12	-0,018	0,025	-0,004	-0,001	0,025	0,017	0,015	0,004
PM03	preop	12	-0,019	0,008	-0,011	-0,008	0,011	0,009	0,008	0,002
PM03	postop	12	-0,013	0,012	-0,002	0,000	0,012	0,010	0,008	0,002
PM04	preop	12	-0,008	0,020	0,008	0,009	0,004	0,003	0,006	0,002
PM04	postop	12	-0,012	0,002	-0,002	-0,002	0,005	0,004	0,004	0,001
PM05	preop	12	-0,004	0,012	0,004	0,004	0,007	0,005	0,005	0,001
PM05	postop	12	-0,011	0,028	0,001	0,003	0,009	0,007	0,010	0,003

Annexe 17 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles nasales

Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, n=276

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	12	0,046	0,119	0,093	0,090	0,018	0,015	0,019	0,006
MT01	a~	12	0,087	0,139	0,116	0,115	0,027	0,024	0,018	0,005
MT01	o~	12	0,117	0,207	0,145	0,149	0,039	0,030	0,029	0,008
MT02	U~/	12	0,027	0,071	0,046	0,049	0,019	0,015	0,013	0,004
MT02	a~	12	0,024	0,068	0,041	0,043	0,022	0,017	0,014	0,004
MT02	o~	10	0,026	0,079	0,047	0,052	0,021	0,015	0,015	0,005
MT03	U~/	12	0,015	0,117	0,044	0,058	0,040	0,030	0,031	0,009
MT03	a~	12	0,011	0,130	0,063	0,066	0,056	0,045	0,039	0,011
MT03	o~	12	0,046	0,127	0,091	0,085	0,034	0,021	0,025	0,007
MT04	U~/	12	0,016	0,093	0,079	0,066	0,023	0,011	0,025	0,007
MT04	a~	12	0,025	0,099	0,073	0,066	0,029	0,020	0,025	0,007
MT04	o~	12	0,047	0,111	0,081	0,085	0,029	0,019	0,019	0,005
MT05	U~/	12	0,019	0,131	0,066	0,067	0,041	0,034	0,033	0,010
MT05	a~	12	0,044	0,149	0,087	0,091	0,031	0,024	0,030	0,009
MT05	o~	12	0,061	0,139	0,102	0,099	0,043	0,037	0,026	0,008
MT06	U~/	12	0,053	0,140	0,086	0,090	0,056	0,042	0,031	0,009
MT06	a~	10	0,026	0,145	0,077	0,079	0,080	0,063	0,044	0,014
MT06	o~	12	0,050	0,154	0,104	0,099	0,042	0,028	0,032	0,009
MT07	U~/	12	0,053	0,164	0,098	0,100	0,044	0,043	0,036	0,010
MT07	a~	12	0,050	0,167	0,079	0,094	0,063	0,036	0,041	0,012
MT07	o~	12	0,071	0,237	0,181	0,161	0,130	0,082	0,066	0,019
MT08	U~/	6	0,043	0,103	0,068	0,071	0,050	0,036	0,029	0,012
MT08	a~	10	0,034	0,161	0,079	0,082	0,024	0,020	0,036	0,011
MT08	o~	12	0,041	0,086	0,062	0,063	0,018	0,015	0,015	0,004

Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	0,073	0,111	0,088	0,089	0,013	0,011	0,013	0,005
MT01	a~	6	0,092	0,139	0,120	0,119	0,022	0,021	0,017	0,007
MT01	o~	6	0,117	0,171	0,125	0,131	0,008	0,008	0,020	0,008
MT02	U~/	6	0,035	0,062	0,046	0,047	0,017	0,014	0,011	0,004
MT02	a~	6	0,033	0,068	0,046	0,049	0,026	0,018	0,015	0,006
MT02	o~	5	0,041	0,065	0,062	0,055	0,022	0,005	0,012	0,005
MT03	U~/	6	0,040	0,117	0,071	0,072	0,035	0,032	0,029	0,012
MT03	a~	6	0,069	0,130	0,093	0,098	0,030	0,026	0,023	0,009
MT03	o~	6	0,087	0,127	0,096	0,101	0,018	0,014	0,016	0,006
MT04	U~/	6	0,037	0,088	0,081	0,075	0,006	0,006	0,019	0,008
MT04	a~	6	0,037	0,099	0,076	0,075	0,025	0,023	0,023	0,009
MT04	o~	6	0,078	0,105	0,089	0,090	0,021	0,014	0,012	0,005
MT05	U~/	6	0,045	0,131	0,087	0,087	0,024	0,021	0,029	0,012
MT05	a~	6	0,074	0,149	0,101	0,106	0,035	0,028	0,028	0,012
MT05	o~	6	0,075	0,139	0,107	0,109	0,024	0,020	0,023	0,009
MT06	U~/	6	0,055	0,140	0,081	0,086	0,034	0,032	0,032	0,013
MT06	a~	5	0,036	0,145	0,124	0,102	0,056	0,031	0,045	0,020
MT06	o~	6	0,061	0,133	0,115	0,105	0,031	0,019	0,027	0,011
MT07	U~/	6	0,059	0,110	0,089	0,088	0,028	0,025	0,020	0,008
MT07	a~	6	0,050	0,092	0,068	0,068	0,022	0,020	0,016	0,007
MT07	o~	6	0,071	0,181	0,094	0,106	0,034	0,031	0,040	0,017
MT08	U~/	3	0,043	0,103	0,088	0,078	0,030	0,022	0,031	0,018
MT08	a~	5	0,034	0,161	0,077	0,079	0,040	0,054	0,051	0,023
MT08	o~	6	0,041	0,077	0,060	0,060	0,007	0,007	0,012	0,005

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	0,046	0,119	0,099	0,092	0,015	0,014	0,025	0,010
MT01	a~	6	0,087	0,139	0,111	0,112	0,026	0,025	0,019	0,008
MT01	o~	6	0,139	0,207	0,158	0,167	0,032	0,019	0,026	0,011
MT02	U~/	6	0,027	0,071	0,050	0,050	0,019	0,016	0,016	0,007
MT02	a~	6	0,024	0,054	0,037	0,038	0,017	0,014	0,012	0,005
MT02	o~	5	0,026	0,079	0,045	0,049	0,005	0,007	0,019	0,008
MT03	U~/	6	0,015	0,100	0,041	0,044	0,015	0,014	0,030	0,012
MT03	a~	6	0,011	0,057	0,033	0,034	0,022	0,020	0,017	0,007
MT03	o~	6	0,046	0,101	0,062	0,070	0,039	0,019	0,024	0,010
MT04	U~/	6	0,016	0,093	0,070	0,061	0,035	0,025	0,029	0,012
MT04	a~	6	0,025	0,084	0,066	0,058	0,043	0,024	0,026	0,011
MT04	o~	6	0,047	0,111	0,074	0,080	0,027	0,023	0,024	0,010
MT05	U~/	6	0,019	0,083	0,048	0,046	0,032	0,027	0,024	0,010
MT05	a~	6	0,044	0,106	0,081	0,076	0,040	0,031	0,026	0,011
MT05	o~	6	0,061	0,128	0,089	0,089	0,040	0,032	0,027	0,011
MT06	U~/	6	0,053	0,132	0,101	0,093	0,053	0,033	0,034	0,014
MT06	a~	5	0,026	0,098	0,042	0,055	0,046	0,025	0,031	0,014
MT06	o~	6	0,050	0,154	0,095	0,093	0,038	0,033	0,037	0,015
MT07	U~/	6	0,053	0,164	0,118	0,111	0,076	0,060	0,047	0,019
MT07	a~	6	0,058	0,167	0,131	0,119	0,060	0,042	0,043	0,018
MT07	o~	6	0,181	0,237	0,226	0,216	0,034	0,015	0,024	0,010
MT08	U~/	3	0,044	0,098	0,047	0,063	0,027	0,004	0,030	0,017
MT08	a~	5	0,067	0,106	0,089	0,086	0,022	0,024	0,016	0,007
MT08	o~	6	0,043	0,086	0,067	0,067	0,026	0,023	0,017	0,007

Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	12	-0,001	0,144	0,035	0,042	0,028	0,022	0,036	0,010
MT01	a~	11	0,030	0,096	0,061	0,062	0,026	0,017	0,021	0,006
MT01	o~	12	0,007	0,138	0,071	0,066	0,070	0,054	0,043	0,012
MT02	U~/	12	0,078	0,260	0,115	0,135	0,028	0,023	0,050	0,014
MT02	a~	12	0,056	0,155	0,089	0,099	0,066	0,043	0,037	0,011
MT02	o~	10	0,012	0,144	0,076	0,071	0,085	0,071	0,050	0,016
MT03	U~/	12	0,067	0,200	0,124	0,128	0,048	0,037	0,035	0,010
MT03	a~	12	0,046	0,270	0,131	0,132	0,087	0,085	0,069	0,020
MT03	o~	12	0,014	0,293	0,096	0,111	0,060	0,053	0,081	0,023
MT04	U~/	12	0,048	0,159	0,095	0,093	0,035	0,031	0,032	0,009
MT04	a~	12	0,010	0,174	0,078	0,085	0,054	0,042	0,047	0,014
MT04	o~	12	-0,001	0,130	0,055	0,052	0,039	0,036	0,040	0,011
MT05	U~/	12	0,018	0,200	0,100	0,105	0,076	0,060	0,057	0,016
MT05	a~	12	0,013	0,203	0,094	0,102	0,066	0,046	0,059	0,017
MT05	o~	12	-0,006	0,130	0,046	0,054	0,044	0,034	0,043	0,012
MT06	U~/	12	0,012	0,066	0,031	0,034	0,024	0,017	0,017	0,005
MT06	a~	10	0,001	0,060	0,023	0,025	0,019	0,017	0,019	0,006
MT06	o~	12	-0,016	0,024	0,003	0,003	0,014	0,011	0,012	0,003
MT07	U~/	12	0,045	0,154	0,102	0,099	0,065	0,051	0,037	0,011
MT07	a~	12	-0,005	0,166	0,104	0,098	0,063	0,058	0,052	0,015
MT07	o~	12	-0,018	0,074	0,033	0,032	0,026	0,023	0,026	0,008
MT08	U~/	6	0,049	0,158	0,098	0,100	0,048	0,047	0,040	0,016
MT08	a~	10	0,017	0,099	0,074	0,068	0,027	0,023	0,029	0,009
MT08	o~	12	0,010	0,059	0,026	0,032	0,021	0,014	0,015	0,004

Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	0,016	0,054	0,039	0,039	0,014	0,012	0,014	0,006
MT01	a~	6	0,034	0,089	0,062	0,062	0,014	0,013	0,018	0,007
MT01	o~	6	0,007	0,118	0,079	0,065	0,066	0,041	0,045	0,019
MT02	U~/	6	0,097	0,197	0,115	0,133	0,039	0,017	0,038	0,016
MT02	a~	6	0,058	0,155	0,112	0,109	0,078	0,061	0,044	0,018
MT02	o~	5	0,012	0,144	0,116	0,097	0,051	0,042	0,053	0,024
MT03	U~/	6	0,097	0,200	0,130	0,135	0,046	0,041	0,039	0,016
MT03	a~	6	0,046	0,270	0,147	0,143	0,117	0,113	0,087	0,036
MT03	o~	6	0,014	0,293	0,130	0,135	0,162	0,153	0,111	0,045
MT04	U~/	6	0,048	0,109	0,079	0,078	0,036	0,028	0,025	0,010
MT04	a~	6	0,010	0,129	0,074	0,069	0,048	0,042	0,042	0,017
MT04	o~	6	-0,001	0,060	0,025	0,024	0,024	0,022	0,022	0,009
MT05	U~/	6	0,018	0,116	0,078	0,069	0,056	0,043	0,039	0,016
MT05	a~	6	0,013	0,174	0,071	0,072	0,050	0,047	0,058	0,024
MT05	o~	6	-0,006	0,094	0,040	0,039	0,060	0,054	0,040	0,016
MT06	U~/	6	0,013	0,066	0,036	0,038	0,026	0,021	0,020	0,008
MT06	a~	5	0,001	0,060	0,038	0,034	0,030	0,025	0,023	0,010
MT06	o~	6	-0,001	0,024	0,007	0,008	0,010	0,009	0,009	0,004
MT07	U~/	6	0,045	0,118	0,080	0,083	0,042	0,036	0,029	0,012
MT07	a~	6	-0,005	0,166	0,092	0,085	0,067	0,055	0,061	0,025
MT07	o~	6	-0,018	0,054	0,033	0,024	0,038	0,023	0,029	0,012
MT08	U~/	3	0,049	0,098	0,067	0,071	0,024	0,025	0,025	0,014
MT08	a~	5	0,017	0,087	0,057	0,050	0,045	0,045	0,030	0,013
MT08	o~	6	0,020	0,051	0,026	0,030	0,009	0,007	0,011	0,005

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	-0,001	0,144	0,025	0,045	0,025	0,022	0,052	0,021
MT01	a~	5	0,030	0,096	0,055	0,063	0,034	0,036	0,027	0,012
MT01	o~	6	0,020	0,138	0,060	0,068	0,060	0,054	0,045	0,018
MT02	U~/	6	0,078	0,260	0,122	0,137	0,020	0,016	0,063	0,026
MT02	a~	6	0,056	0,131	0,084	0,089	0,040	0,033	0,029	0,012
MT02	o~	5	0,013	0,077	0,039	0,044	0,059	0,037	0,031	0,014
MT03	U~/	6	0,067	0,154	0,123	0,120	0,037	0,034	0,032	0,013
MT03	a~	6	0,060	0,206	0,119	0,121	0,044	0,041	0,051	0,021
MT03	o~	6	0,046	0,120	0,092	0,087	0,020	0,018	0,025	0,010
MT04	U~/	6	0,071	0,159	0,098	0,107	0,047	0,036	0,035	0,014
MT04	a~	6	0,049	0,174	0,088	0,101	0,067	0,046	0,049	0,020
MT04	o~	6	0,054	0,130	0,068	0,081	0,042	0,019	0,032	0,013
MT05	U~/	6	0,063	0,200	0,147	0,140	0,063	0,061	0,051	0,021
MT05	a~	6	0,081	0,203	0,121	0,133	0,049	0,041	0,044	0,018
MT05	o~	6	0,032	0,130	0,056	0,070	0,067	0,035	0,043	0,017
MT06	U~/	6	0,012	0,054	0,031	0,031	0,009	0,008	0,014	0,006
MT06	a~	5	0,002	0,025	0,015	0,016	0,009	0,013	0,009	0,004
MT06	o~	6	-0,016	0,014	-0,006	-0,003	0,019	0,014	0,012	0,005
MT07	U~/	6	0,059	0,154	0,134	0,115	0,054	0,019	0,040	0,016
MT07	a~	6	0,060	0,159	0,108	0,110	0,072	0,063	0,043	0,017
MT07	o~	6	0,012	0,074	0,032	0,039	0,029	0,021	0,024	0,010
MT08	U~/	3	0,097	0,158	0,130	0,128	0,030	0,041	0,031	0,018
MT08	a~	5	0,073	0,099	0,084	0,086	0,022	0,016	0,012	0,005
MT08	o~	6	0,010	0,059	0,033	0,033	0,030	0,026	0,020	0,008

Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	12	0,033	0,114	0,063	0,070	0,026	0,015	0,022	0,006
PM02	U~/	postop	12	0,018	0,115	0,075	0,070	0,041	0,027	0,032	0,009
PM02	a~	preop	12	0,003	0,116	0,066	0,062	0,027	0,017	0,030	0,009
PM02	a~	postop	12	0,012	0,132	0,061	0,064	0,028	0,025	0,032	0,009
PM02	o~	preop	12	0,059	0,165	0,092	0,101	0,038	0,034	0,033	0,009
PM02	o~	postop	12	0,046	0,144	0,093	0,090	0,056	0,046	0,034	0,010
PM03	U~/	preop	12	0,016	0,097	0,052	0,054	0,024	0,019	0,022	0,006
PM03	U~/	postop	12	0,014	0,065	0,042	0,041	0,029	0,022	0,018	0,005
PM03	a~	preop	12	0,020	0,104	0,074	0,071	0,023	0,019	0,026	0,007
PM03	a~	postop	12	0,014	0,087	0,041	0,044	0,021	0,017	0,020	0,006
PM03	o~	preop	12	0,057	0,125	0,086	0,091	0,018	0,012	0,020	0,006
PM03	o~	postop	12	0,029	0,083	0,055	0,055	0,022	0,020	0,018	0,005
PM04	U~/	preop	5	0,000	0,043	0,019	0,021	0,023	0,019	0,017	0,008
PM04	U~/	postop	12	0,019	0,058	0,036	0,037	0,024	0,018	0,014	0,004
PM04	a~	preop	10	0,014	0,072	0,025	0,030	0,017	0,015	0,017	0,005
PM04	a~	postop	12	0,011	0,050	0,029	0,030	0,019	0,014	0,013	0,004
PM04	o~	preop	12	0,013	0,070	0,025	0,030	0,010	0,008	0,015	0,004
PM04	o~	postop	12	-0,009	0,047	0,026	0,027	0,025	0,017	0,017	0,005
PM05	U~/	preop	12	0,000	0,019	0,009	0,010	0,009	0,005	0,006	0,002
PM05	U~/	postop	12	0,021	0,112	0,039	0,048	0,029	0,022	0,026	0,007
PM05	a~	preop	11	0,007	0,043	0,020	0,019	0,012	0,012	0,011	0,003
PM05	a~	postop	12	0,016	0,076	0,034	0,041	0,028	0,018	0,019	0,006
PM05	o~	preop	12	0,015	0,067	0,027	0,031	0,009	0,008	0,014	0,004
PM05	o~	postop	12	0,026	0,111	0,049	0,054	0,021	0,020	0,023	0,007

Moyennes de DAN des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	0,057	0,114	0,070	0,077	0,031	0,020	0,023	0,009
PM02	U~/	postop	6	0,057	0,106	0,084	0,083	0,018	0,015	0,017	0,007
PM02	a~	preop	6	0,063	0,116	0,078	0,082	0,013	0,012	0,018	0,007
PM02	a~	postop	6	0,051	0,132	0,079	0,083	0,041	0,037	0,031	0,013
PM02	o~	preop	6	0,059	0,120	0,104	0,098	0,032	0,021	0,024	0,010
PM02	o~	postop	6	0,063	0,144	0,100	0,105	0,034	0,032	0,030	0,012
PM03	U~/	preop	6	0,035	0,060	0,052	0,050	0,009	0,009	0,009	0,004
PM03	U~/	postop	6	0,018	0,049	0,036	0,036	0,013	0,012	0,011	0,005
PM03	a~	preop	6	0,062	0,096	0,070	0,074	0,009	0,008	0,012	0,005
PM03	a~	postop	6	0,036	0,087	0,047	0,050	0,010	0,010	0,019	0,008
PM03	o~	preop	6	0,057	0,094	0,082	0,082	0,011	0,011	0,014	0,006
PM03	o~	postop	6	0,029	0,081	0,056	0,056	0,028	0,027	0,020	0,008
PM04	U~/	preop	3	0,019	0,043	0,032	0,031	0,012	0,017	0,012	0,007
PM04	U~/	postop	6	0,023	0,058	0,045	0,042	0,019	0,015	0,014	0,006
PM04	a~	preop	5	0,024	0,072	0,037	0,041	0,002	0,003	0,018	0,008
PM04	a~	postop	6	0,011	0,047	0,029	0,029	0,015	0,014	0,013	0,005
PM04	o~	preop	6	0,023	0,070	0,035	0,039	0,015	0,014	0,017	0,007
PM04	o~	postop	6	0,023	0,047	0,031	0,034	0,018	0,010	0,011	0,004
PM05	U~/	preop	6	0,009	0,019	0,017	0,015	0,006	0,002	0,004	0,002
PM05	U~/	postop	6	0,021	0,058	0,039	0,039	0,018	0,018	0,014	0,006
PM05	a~	preop	5	0,020	0,043	0,023	0,028	0,010	0,005	0,010	0,004
PM05	a~	postop	6	0,037	0,076	0,057	0,056	0,017	0,015	0,014	0,006
PM05	o~	preop	6	0,025	0,067	0,031	0,038	0,015	0,007	0,016	0,007
PM05	o~	postop	6	0,048	0,111	0,064	0,069	0,007	0,006	0,022	0,009

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	0,033	0,094	0,062	0,063	0,018	0,015	0,021	0,008
PM02	U~/	postop	6	0,018	0,115	0,050	0,057	0,063	0,046	0,040	0,016
PM02	a~	preop	6	0,003	0,069	0,044	0,042	0,033	0,025	0,026	0,010
PM02	a~	postop	6	0,012	0,070	0,049	0,046	0,030	0,024	0,022	0,009
PM02	o~	preop	6	0,067	0,165	0,085	0,105	0,057	0,019	0,042	0,017
PM02	o~	postop	6	0,046	0,122	0,060	0,076	0,047	0,016	0,033	0,014
PM03	U~/	preop	6	0,016	0,097	0,054	0,057	0,039	0,031	0,031	0,012
PM03	U~/	postop	6	0,014	0,065	0,057	0,045	0,030	0,007	0,022	0,009
PM03	a~	preop	6	0,020	0,104	0,086	0,069	0,047	0,016	0,036	0,015
PM03	a~	postop	6	0,014	0,065	0,030	0,037	0,023	0,014	0,020	0,008
PM03	o~	preop	6	0,078	0,125	0,101	0,101	0,036	0,030	0,021	0,008
PM03	o~	postop	6	0,030	0,083	0,052	0,055	0,015	0,013	0,018	0,007
PM04	U~/	preop	2	0,000	0,009	0,004	0,004	0,004	0,007	0,006	0,004
PM04	U~/	postop	6	0,019	0,052	0,028	0,032	0,015	0,011	0,013	0,005
PM04	a~	preop	4	0,014	0,025	0,021	0,020	0,007	0,005	0,005	0,003
PM04	a~	postop	6	0,013	0,050	0,030	0,030	0,017	0,015	0,014	0,006
PM04	o~	preop	6	0,013	0,026	0,025	0,022	0,008	0,001	0,006	0,002
PM04	o~	postop	6	-0,009	0,043	0,017	0,020	0,022	0,022	0,020	0,008
PM05	U~/	preop	6	0,000	0,009	0,008	0,006	0,004	0,002	0,004	0,001
PM05	U~/	postop	6	0,021	0,112	0,053	0,057	0,034	0,027	0,033	0,013
PM05	a~	preop	6	0,007	0,022	0,011	0,012	0,006	0,005	0,005	0,002
PM05	a~	postop	6	0,016	0,031	0,026	0,025	0,006	0,005	0,005	0,002
PM05	o~	preop	6	0,015	0,034	0,023	0,023	0,007	0,006	0,007	0,003
PM05	o~	postop	6	0,026	0,050	0,040	0,038	0,017	0,013	0,010	0,004

Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles nasales

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	12	0,085	0,259	0,115	0,131	0,056	0,034	0,049	0,014
PM02	U~/	postop	12	0,015	0,106	0,063	0,059	0,020	0,016	0,023	0,007
PM02	a~	preop	12	0,016	0,245	0,123	0,125	0,071	0,049	0,069	0,020
PM02	a~	postop	12	0,023	0,244	0,086	0,102	0,047	0,034	0,059	0,017
PM02	o~	preop	12	-0,052	0,081	0,014	0,020	0,071	0,044	0,043	0,012
PM02	o~	postop	12	-0,041	0,083	0,037	0,035	0,039	0,033	0,034	0,010
PM03	U~/	preop	12	0,025	0,088	0,045	0,048	0,016	0,014	0,018	0,005
PM03	U~/	postop	12	0,029	0,187	0,067	0,084	0,069	0,037	0,050	0,014
PM03	a~	preop	12	0,000	0,062	0,031	0,028	0,015	0,011	0,017	0,005
PM03	a~	postop	12	-0,001	0,135	0,036	0,043	0,039	0,035	0,038	0,011
PM03	o~	preop	12	-0,011	0,017	-0,003	0,000	0,009	0,007	0,009	0,003
PM03	o~	postop	12	-0,018	0,023	-0,001	0,000	0,020	0,017	0,014	0,004
PM04	U~/	preop	5	0,033	0,148	0,077	0,080	0,045	0,041	0,045	0,020
PM04	U~/	postop	12	0,006	0,050	0,011	0,015	0,007	0,005	0,012	0,004
PM04	a~	preop	10	0,034	0,104	0,059	0,064	0,014	0,014	0,020	0,006
PM04	a~	postop	12	-0,002	0,044	0,022	0,021	0,021	0,016	0,014	0,004
PM04	o~	preop	12	0,008	0,140	0,033	0,045	0,036	0,028	0,038	0,011
PM04	o~	postop	12	-0,005	0,096	0,019	0,026	0,030	0,025	0,034	0,010
PM05	U~/	preop	12	0,001	0,025	0,010	0,011	0,005	0,003	0,007	0,002
PM05	U~/	postop	12	0,017	0,057	0,032	0,035	0,021	0,016	0,013	0,004
PM05	a~	preop	11	0,008	0,058	0,032	0,030	0,021	0,021	0,016	0,005
PM05	a~	postop	12	0,022	0,138	0,089	0,081	0,067	0,049	0,040	0,011
PM05	o~	preop	12	-0,004	0,027	0,005	0,008	0,010	0,007	0,010	0,003
PM05	o~	postop	12	0,009	0,205	0,110	0,096	0,093	0,046	0,061	0,017

Moyennes de DAO des patients pour les voyelles nasales, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	0,092	0,165	0,129	0,130	0,057	0,045	0,033	0,014
PM02	U~/	postop	6	0,043	0,106	0,066	0,068	0,017	0,016	0,022	0,009
PM02	a~	preop	6	0,016	0,158	0,093	0,096	0,068	0,066	0,054	0,022
PM02	a~	postop	6	0,053	0,146	0,086	0,090	0,036	0,034	0,034	0,014
PM02	o~	preop	6	-0,018	0,081	0,046	0,037	0,065	0,046	0,041	0,017
PM02	o~	postop	6	0,008	0,083	0,047	0,046	0,037	0,034	0,028	0,011
PM03	U~/	preop	6	0,039	0,068	0,045	0,049	0,013	0,007	0,011	0,005
PM03	U~/	postop	6	0,036	0,111	0,067	0,069	0,007	0,007	0,024	0,010
PM03	a~	preop	6	0,000	0,062	0,031	0,030	0,016	0,016	0,021	0,009
PM03	a~	postop	6	-0,001	0,072	0,036	0,033	0,036	0,034	0,028	0,011
PM03	o~	preop	6	-0,011	0,017	-0,003	0,000	0,015	0,009	0,011	0,005
PM03	o~	postop	6	-0,018	0,018	0,001	0,001	0,025	0,023	0,015	0,006
PM04	U~/	preop	3	0,033	0,077	0,049	0,053	0,022	0,024	0,022	0,013
PM04	U~/	postop	6	0,007	0,023	0,013	0,014	0,007	0,006	0,006	0,002
PM04	a~	preop	5	0,034	0,104	0,058	0,064	0,013	0,018	0,026	0,011
PM04	a~	postop	6	-0,002	0,033	0,018	0,016	0,019	0,017	0,013	0,005
PM04	o~	preop	6	0,008	0,081	0,042	0,043	0,056	0,049	0,032	0,013
PM04	o~	postop	6	-0,005	0,034	0,019	0,014	0,020	0,015	0,016	0,006
PM05	U~/	preop	6	0,010	0,025	0,014	0,015	0,008	0,006	0,006	0,002
PM05	U~/	postop	6	0,022	0,045	0,030	0,032	0,017	0,011	0,010	0,004
PM05	a~	preop	5	0,008	0,049	0,015	0,024	0,023	0,011	0,017	0,008
PM05	a~	postop	6	0,022	0,138	0,053	0,066	0,058	0,037	0,045	0,018
PM05	o~	preop	6	0,003	0,027	0,008	0,011	0,008	0,005	0,009	0,004
PM05	o~	postop	6	0,009	0,205	0,111	0,101	0,110	0,101	0,077	0,031

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	0,085	0,259	0,115	0,131	0,025	0,023	0,064	0,026
PM02	U~/	postop	6	0,015	0,075	0,057	0,051	0,029	0,020	0,023	0,009
PM02	a~	preop	6	0,047	0,245	0,148	0,154	0,096	0,091	0,075	0,031
PM02	a~	postop	6	0,023	0,244	0,086	0,113	0,069	0,056	0,079	0,032
PM02	o~	preop	6	-0,052	0,061	-0,007	0,003	0,041	0,038	0,041	0,017
PM02	o~	postop	6	-0,041	0,061	0,030	0,024	0,042	0,040	0,038	0,016
PM03	U~/	preop	6	0,025	0,088	0,042	0,046	0,023	0,018	0,024	0,010
PM03	U~/	postop	6	0,029	0,187	0,091	0,100	0,099	0,077	0,066	0,027
PM03	a~	preop	6	0,002	0,041	0,030	0,027	0,012	0,010	0,014	0,006
PM03	a~	postop	6	0,009	0,135	0,042	0,053	0,041	0,033	0,046	0,019
PM03	o~	preop	6	-0,010	0,014	-0,003	-0,001	0,004	0,004	0,008	0,003
PM03	o~	postop	6	-0,016	0,023	-0,004	-0,001	0,013	0,012	0,014	0,006
PM04	U~/	preop	2	0,095	0,148	0,122	0,122	0,027	0,040	0,038	0,027
PM04	U~/	postop	6	0,006	0,050	0,010	0,016	0,005	0,004	0,017	0,007
PM04	a~	preop	4	0,055	0,089	0,063	0,068	0,014	0,009	0,015	0,007
PM04	a~	postop	6	0,010	0,044	0,027	0,025	0,020	0,017	0,014	0,006
PM04	o~	preop	6	0,017	0,140	0,033	0,048	0,008	0,008	0,046	0,019
PM04	o~	postop	6	-0,002	0,096	0,024	0,038	0,069	0,036	0,044	0,018
PM05	U~/	preop	6	0,001	0,010	0,008	0,007	0,006	0,003	0,004	0,002
PM05	U~/	postop	6	0,017	0,057	0,037	0,037	0,024	0,019	0,016	0,006
PM05	a~	preop	6	0,018	0,058	0,032	0,035	0,007	0,007	0,013	0,005
PM05	a~	postop	6	0,043	0,124	0,101	0,095	0,031	0,029	0,030	0,012
PM05	o~	preop	6	-0,004	0,022	0,000	0,004	0,006	0,005	0,010	0,004
PM05	o~	postop	6	0,030	0,129	0,110	0,090	0,070	0,026	0,045	0,019

Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	36	0,046	0,207	0,118	0,118	0,040	0,031	0,033	0,005
MT02	témoin	34	0,024	0,079	0,044	0,048	0,023	0,016	0,014	0,002
MT03	témoin	36	0,011	0,130	0,069	0,070	0,054	0,041	0,033	0,006
MT04	témoin	36	0,016	0,111	0,079	0,073	0,020	0,016	0,024	0,004
MT05	témoin	36	0,019	0,149	0,084	0,086	0,044	0,033	0,032	0,005
MT06	témoin	34	0,026	0,154	0,088	0,090	0,061	0,046	0,036	0,006
MT07	témoin	36	0,050	0,237	0,099	0,118	0,081	0,053	0,057	0,009
MT08	témoin	28	0,034	0,161	0,069	0,072	0,036	0,027	0,027	0,005
PM02	preop	36	0,003	0,165	0,076	0,078	0,033	0,025	0,033	0,005
PM02	postop	36	0,012	0,144	0,071	0,075	0,044	0,032	0,034	0,006
PM03	preop	36	0,016	0,125	0,078	0,072	0,034	0,025	0,027	0,004
PM03	postop	36	0,014	0,087	0,047	0,046	0,027	0,018	0,019	0,003
PM04	preop	27	0,000	0,072	0,025	0,028	0,017	0,015	0,016	0,003
PM04	postop	36	-0,009	0,058	0,029	0,031	0,021	0,017	0,015	0,002
PM05	preop	35	0,000	0,067	0,019	0,020	0,017	0,013	0,014	0,002
PM05	postop	36	0,016	0,112	0,045	0,048	0,033	0,025	0,023	0,004

Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	35	-0,001	0,144	0,052	0,057	0,048	0,035	0,036	0,006
MT02	témoin	34	0,012	0,260	0,110	0,103	0,055	0,048	0,052	0,009
MT03	témoin	36	0,014	0,293	0,119	0,124	0,063	0,049	0,063	0,011
MT04	témoin	36	-0,001	0,174	0,070	0,077	0,051	0,039	0,043	0,007
MT05	témoin	36	-0,006	0,203	0,082	0,087	0,080	0,065	0,057	0,009
MT06	témoin	34	-0,016	0,066	0,018	0,020	0,024	0,019	0,021	0,004
MT07	témoin	36	-0,018	0,166	0,069	0,076	0,076	0,056	0,050	0,008
MT08	témoin	28	0,010	0,158	0,054	0,059	0,059	0,043	0,037	0,007
PM02	preop	36	-0,052	0,259	0,092	0,092	0,098	0,075	0,074	0,012
PM02	postop	36	-0,041	0,244	0,062	0,065	0,044	0,033	0,049	0,008
PM03	preop	36	-0,011	0,088	0,026	0,025	0,041	0,028	0,025	0,004
PM03	postop	36	-0,018	0,187	0,031	0,042	0,063	0,046	0,050	0,008
PM04	preop	27	0,008	0,148	0,055	0,059	0,043	0,032	0,035	0,007
PM04	postop	36	-0,005	0,096	0,016	0,021	0,019	0,014	0,022	0,004
PM05	preop	35	-0,004	0,058	0,010	0,016	0,017	0,011	0,015	0,002
PM05	postop	36	0,009	0,205	0,048	0,070	0,079	0,042	0,049	0,008

Annexe 18 : Résultats statistiques aérodynamiques pour les voyelles orales en contexte nasal

Moyennes de DAN des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	0,011	0,022	0,016	0,016	0,005	0,008	0,007	0,005
MT01	O/	2	0,035	0,042	0,038	0,038	0,004	0,005	0,005	0,004
MT01	a	2	0,035	0,045	0,040	0,040	0,005	0,007	0,007	0,005
MT01	i	2	0,024	0,053	0,028	0,033	0,013	0,006	0,013	0,007
MT01	u	2	0,013	0,026	0,019	0,019	0,007	0,010	0,010	0,007
MT01	y	2	0,022	0,024	0,023	0,023	0,001	0,001	0,001	0,001
MT02	E/	2	0,027	0,028	0,027	0,027	0,000	0,001	0,000	0,000
MT02	O/	2	0,010	0,017	0,013	0,013	0,003	0,005	0,005	0,003
MT02	a	2	0,017	0,022	0,020	0,020	0,002	0,004	0,003	0,002
MT02	i	2	0,032	0,034	0,033	0,033	0,002	0,001	0,001	0,000
MT02	u	2	0,008	0,015	0,012	0,012	0,004	0,005	0,005	0,004
MT02	y	2	0,011	0,020	0,015	0,015	0,005	0,007	0,007	0,005
MT03	E/	2	0,003	0,006	0,005	0,005	0,002	0,003	0,003	0,002
MT03	O/	2	-0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002
MT03	a	2	0,004	0,005	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001
MT03	i	2	-0,011	-0,007	-0,009	-0,009	0,002	0,003	0,003	0,002
MT03	u	2	-0,006	-0,001	-0,004	-0,004	0,003	0,004	0,004	0,003
MT03	y	2	-0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,001	0,002	0,002	0,001
MT04	E/	2	-0,006	-0,004	-0,005	-0,005	0,001	0,001	0,001	0,001
MT04	O/	2	-0,009	-0,008	-0,008	-0,008	0,001	0,001	0,001	0,001
MT04	a	2	-0,001	0,008	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006	0,004
MT04	i	2	0,005	0,006	0,005	0,005	0,000	0,001	0,001	0,000
MT04	u	2	-0,011	-0,007	-0,009	-0,009	0,002	0,003	0,003	0,002
MT04	y	2	-0,009	-0,008	-0,008	-0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
MT05	E/	2	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
MT05	O/	2	-0,004	0,003	0,000	0,000	0,003	0,005	0,004	0,003
MT05	a	2	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
MT05	i	2	0,018	0,021	0,020	0,020	0,002	0,002	0,002	0,002
MT05	u	2	0,003	0,018	0,011	0,011	0,008	0,012	0,011	0,008
MT05	y	2	0,005	0,028	0,016	0,016	0,012	0,018	0,017	0,012
MT06	E/	2	0,016	0,027	0,022	0,022	0,006	0,008	0,008	0,006
MT06	O/	2	0,015	0,021	0,018	0,018	0,003	0,005	0,005	0,003
MT06	a	2	0,021	0,034	0,028	0,028	0,006	0,009	0,009	0,006
MT06	i	2	0,007	0,013	0,010	0,010	0,003	0,004	0,004	0,003
MT06	u	2	0,001	0,017	0,009	0,009	0,008	0,011	0,011	0,008
MT06	y	2	0,011	0,026	0,019	0,019	0,008	0,012	0,011	0,008
MT07	E/	2	0,020	0,024	0,022	0,022	0,002	0,003	0,003	0,002
MT07	O/	2	0,000	0,014	0,007	0,007	0,007	0,011	0,010	0,007
MT07	a	2	0,003	0,015	0,009	0,009	0,006	0,009	0,008	0,006
MT07	i	2	0,031	0,055	0,043	0,043	0,012	0,018	0,018	0,012
MT07	u	2	-0,002	0,015	0,006	0,006	0,008	0,013	0,012	0,008
MT07	y	2	0,037	0,049	0,043	0,043	0,006	0,009	0,008	0,006
MT08	E/	2	0,005	0,013	0,009	0,009	0,004	0,005	0,005	0,004
MT08	O/	2	-0,002	0,009	0,004	0,004	0,005	0,008	0,008	0,005
MT08	a	2	0,012	0,032	0,022	0,022	0,010	0,015	0,014	0,010
MT08	i	2	0,031	0,042	0,036	0,036	0,006	0,008	0,008	0,006
MT08	u	2	0,009	0,019	0,014	0,014	0,005	0,007	0,007	0,005
MT08	y	2	0,018	0,032	0,025	0,025	0,007	0,011	0,010	0,007

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	0,042	0,050	0,046	0,046	0,004	0,006	0,005	0,004
MT01	O/	2	0,071	0,099	0,085	0,085	0,014	0,021	0,020	0,014
MT01	a	2	0,021	0,060	0,040	0,040	0,019	0,029	0,027	0,019
MT01	i	2	0,045	0,116	0,083	0,082	0,059	0,045	0,037	0,018
MT01	u	2	0,071	0,085	0,078	0,078	0,007	0,010	0,010	0,007
MT01	y	2	0,100	0,106	0,103	0,103	0,003	0,004	0,004	0,003
MT02	E/	2	0,034	0,038	0,036	0,036	0,002	0,003	0,003	0,002
MT02	O/	2	0,040	0,047	0,043	0,043	0,004	0,005	0,005	0,004
MT02	a	2	0,040	0,044	0,042	0,042	0,002	0,003	0,003	0,002
MT02	i	2	0,043	0,046	0,044	0,044	0,001	0,000	0,001	0,001
MT02	u	2	0,024	0,026	0,025	0,025	0,001	0,002	0,002	0,001
MT02	y	2	0,040	0,064	0,052	0,052	0,012	0,018	0,017	0,012
MT03	E/	2	0,052	0,053	0,053	0,053	0,000	0,001	0,001	0,000
MT03	O/	2	0,052	0,054	0,053	0,053	0,001	0,002	0,002	0,001
MT03	a	2	0,047	0,058	0,053	0,053	0,006	0,008	0,008	0,006
MT03	i	2	0,097	0,112	0,104	0,104	0,007	0,011	0,011	0,007
MT03	u	2	0,068	0,103	0,086	0,086	0,018	0,026	0,025	0,018
MT03	y	2	0,103	0,126	0,115	0,115	0,011	0,017	0,016	0,011
MT04	E/	2	0,066	0,068	0,067	0,067	0,001	0,002	0,002	0,001
MT04	O/	2	0,032	0,052	0,042	0,042	0,010	0,015	0,014	0,010
MT04	a	2	0,049	0,050	0,050	0,050	0,001	0,001	0,001	0,001
MT04	i	2	0,141	0,152	0,146	0,146	0,006	0,008	0,008	0,006
MT04	u	2	0,064	0,071	0,068	0,068	0,004	0,005	0,005	0,004
MT04	y	2	0,059	0,066	0,063	0,063	0,003	0,005	0,005	0,003
MT05	E/	2	0,077	0,084	0,080	0,080	0,004	0,005	0,005	0,004
MT05	O/	2	0,057	0,069	0,063	0,063	0,006	0,009	0,008	0,006
MT05	a	2	0,053	0,062	0,057	0,057	0,004	0,006	0,006	0,004
MT05	i	2	0,088	0,131	0,110	0,110	0,022	0,032	0,030	0,022
MT05	u	2	0,096	0,097	0,097	0,097	0,001	0,001	0,001	0,001
MT05	y	2	0,118	0,125	0,122	0,122	0,004	0,005	0,005	0,004
MT06	E/	2	0,039	0,081	0,060	0,060	0,021	0,031	0,029	0,021
MT06	O/	2	0,056	0,094	0,075	0,075	0,019	0,028	0,027	0,019
MT06	a	2	0,064	0,070	0,067	0,067	0,003	0,004	0,004	0,003
MT06	i	2	0,089	0,140	0,114	0,114	0,025	0,037	0,036	0,025
MT06	u	2	0,087	0,115	0,101	0,101	0,014	0,020	0,019	0,014
MT06	y	2	0,088	0,128	0,108	0,108	0,020	0,030	0,028	0,020
MT07	E/	2	0,078	0,119	0,099	0,099	0,020	0,030	0,028	0,020
MT07	O/	2	0,043	0,072	0,058	0,058	0,015	0,022	0,021	0,015
MT07	a	2	0,068	0,096	0,082	0,082	0,014	0,021	0,020	0,014
MT07	i	2	0,232	0,277	0,255	0,255	0,023	0,034	0,032	0,023
MT07	u	2	0,084	0,138	0,111	0,111	0,027	0,040	0,039	0,027
MT07	y	2	0,131	0,175	0,153	0,153	0,022	0,033	0,031	0,022
MT08	E/	2	0,058	0,107	0,082	0,082	0,024	0,036	0,034	0,024
MT08	O/	2	0,054	0,091	0,073	0,073	0,018	0,027	0,026	0,018
MT08	a	2	0,065	0,081	0,073	0,073	0,008	0,013	0,012	0,008
MT08	i	2	0,083	0,115	0,099	0,099	0,016	0,024	0,023	0,016
MT08	u	2	0,043	0,074	0,059	0,059	0,015	0,023	0,022	0,015
MT08	y	2	0,072	0,092	0,082	0,082	0,010	0,015	0,014	0,010

Moyennes de DAO des locuteurs sains pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	0,031	0,044	0,038	0,038	0,007	0,010	0,009	0,007
MT01	O/	2	0,061	0,126	0,093	0,093	0,032	0,048	0,046	0,032
MT01	a	2	0,037	0,078	0,057	0,057	0,020	0,030	0,029	0,020
MT01	i	2	0,007	0,023	0,016	0,016	0,010	0,008	0,007	0,004
MT01	u	2	0,049	0,062	0,055	0,055	0,006	0,009	0,009	0,006
MT01	y	2	0,070	0,150	0,110	0,110	0,040	0,060	0,057	0,040
MT02	E/	2	0,102	0,124	0,113	0,113	0,011	0,016	0,016	0,011
MT02	O/	2	0,075	0,117	0,096	0,096	0,021	0,031	0,029	0,021
MT02	a	2	0,115	0,138	0,126	0,126	0,011	0,017	0,016	0,011
MT02	i	2	0,048	0,050	0,049	0,049	0,002	0,001	0,001	0,001
MT02	u	2	0,041	0,045	0,043	0,043	0,002	0,003	0,003	0,002
MT02	y	2	0,012	0,037	0,025	0,025	0,013	0,019	0,018	0,013
MT03	E/	2	0,103	0,110	0,106	0,106	0,004	0,005	0,005	0,004
MT03	O/	2	0,040	0,129	0,084	0,084	0,044	0,066	0,063	0,044
MT03	a	2	0,107	0,158	0,132	0,132	0,026	0,038	0,037	0,026
MT03	i	2	0,032	0,042	0,037	0,037	0,005	0,008	0,007	0,005
MT03	u	2	0,050	0,053	0,052	0,052	0,002	0,002	0,002	0,002
MT03	y	2	0,037	0,042	0,039	0,039	0,003	0,004	0,004	0,003
MT04	E/	2	0,032	0,069	0,051	0,051	0,019	0,028	0,027	0,019
MT04	O/	2	0,033	0,043	0,038	0,038	0,005	0,008	0,007	0,005
MT04	a	2	0,034	0,056	0,045	0,045	0,011	0,016	0,015	0,011
MT04	i	2	0,006	0,016	0,011	0,011	0,005	0,007	0,007	0,005
MT04	u	2	-0,006	-0,002	-0,004	-0,004	0,002	0,003	0,003	0,002
MT04	y	2	-0,004	-0,002	-0,003	-0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
MT05	E/	2	0,103	0,127	0,115	0,115	0,012	0,018	0,017	0,012
MT05	O/	2	0,014	0,069	0,041	0,041	0,027	0,040	0,039	0,027
MT05	a	2	0,065	0,079	0,072	0,072	0,007	0,010	0,010	0,007
MT05	i	2	0,032	0,034	0,033	0,033	0,001	0,001	0,001	0,001
MT05	u	2	0,031	0,034	0,032	0,032	0,002	0,002	0,002	0,002
MT05	y	2	0,020	0,029	0,024	0,024	0,004	0,006	0,006	0,004
MT06	E/	2	0,036	0,045	0,040	0,040	0,005	0,007	0,006	0,005
MT06	O/	2	0,017	0,044	0,030	0,030	0,013	0,020	0,019	0,013
MT06	a	2	0,054	0,065	0,059	0,059	0,006	0,008	0,008	0,006
MT06	i	2	0,002	0,017	0,009	0,009	0,008	0,011	0,011	0,008
MT06	u	2	0,001	0,019	0,010	0,010	0,009	0,014	0,013	0,009
MT06	y	2	0,014	0,026	0,020	0,020	0,006	0,009	0,008	0,006
MT07	E/	2	0,089	0,134	0,111	0,111	0,022	0,033	0,032	0,022
MT07	O/	2	0,010	0,047	0,028	0,028	0,019	0,028	0,027	0,019
MT07	a	2	0,068	0,136	0,102	0,102	0,034	0,051	0,048	0,034
MT07	i	2	0,024	0,046	0,035	0,035	0,011	0,016	0,016	0,011
MT07	u	2	0,014	0,017	0,016	0,016	0,001	0,002	0,002	0,001
MT07	y	2	0,008	0,018	0,013	0,013	0,005	0,007	0,007	0,005
MT08	E/	2	0,060	0,070	0,065	0,065	0,005	0,007	0,006	0,005
MT08	O/	2	0,002	0,036	0,019	0,019	0,017	0,025	0,024	0,017
MT08	a	2	0,081	0,185	0,133	0,133	0,052	0,077	0,073	0,052
MT08	i	2	0,022	0,034	0,028	0,028	0,006	0,009	0,008	0,006
MT08	u	2	0,007	0,011	0,009	0,009	0,002	0,003	0,003	0,002
MT08	y	2	0,014	0,027	0,021	0,021	0,007	0,010	0,010	0,007

V2

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	0,036	0,058	0,047	0,047	0,011	0,017	0,016	0,011
MT01	O/	2	0,139	0,185	0,162	0,162	0,023	0,035	0,033	0,023
MT01	a	2	0,027	0,048	0,037	0,037	0,010	0,015	0,015	0,010
MT01	i	2	0,002	0,011	0,008	0,007	0,005	0,004	0,004	0,002
MT01	u	2	0,082	0,106	0,094	0,094	0,012	0,018	0,018	0,012
MT01	y	2	0,027	0,061	0,044	0,044	0,017	0,025	0,023	0,017
MT02	E/	2	0,169	0,210	0,190	0,190	0,021	0,030	0,029	0,021
MT02	O/	2	0,194	0,224	0,209	0,209	0,015	0,023	0,022	0,015
MT02	a	2	0,219	0,222	0,220	0,220	0,002	0,003	0,003	0,002
MT02	i	2	0,055	0,090	0,074	0,073	0,032	0,023	0,019	0,010
MT02	u	2	0,079	0,100	0,090	0,090	0,011	0,016	0,015	0,011
MT02	y	2	0,084	0,110	0,097	0,097	0,013	0,019	0,018	0,013
MT03	E/	2	0,135	0,193	0,164	0,164	0,029	0,043	0,041	0,029
MT03	O/	2	0,159	0,212	0,186	0,186	0,027	0,040	0,038	0,027
MT03	a	2	0,146	0,162	0,154	0,154	0,008	0,012	0,011	0,008
MT03	i	2	0,069	0,080	0,074	0,074	0,005	0,008	0,008	0,005
MT03	u	2	0,083	0,142	0,112	0,112	0,030	0,044	0,042	0,030
MT03	y	2	0,116	0,141	0,128	0,128	0,012	0,018	0,017	0,012
MT04	E/	2	0,113	0,114	0,114	0,114	0,001	0,001	0,001	0,001
MT04	O/	2	0,176	0,183	0,179	0,179	0,003	0,005	0,004	0,003
MT04	a	2	0,146	0,177	0,162	0,162	0,015	0,023	0,022	0,015
MT04	i	2	0,030	0,030	0,030	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
MT04	u	2	0,061	0,132	0,096	0,096	0,036	0,053	0,050	0,036
MT04	y	2	0,056	0,106	0,081	0,081	0,025	0,037	0,036	0,025
MT05	E/	2	0,108	0,115	0,111	0,111	0,003	0,005	0,005	0,003
MT05	O/	2	0,119	0,190	0,155	0,155	0,035	0,052	0,050	0,035
MT05	a	2	0,135	0,163	0,149	0,149	0,014	0,021	0,020	0,014
MT05	i	2	0,037	0,040	0,039	0,039	0,002	0,003	0,002	0,002
MT05	u	2	0,057	0,088	0,073	0,073	0,016	0,023	0,022	0,016
MT05	y	2	0,046	0,072	0,059	0,059	0,013	0,020	0,019	0,013
MT06	E/	2	0,024	0,051	0,038	0,038	0,014	0,020	0,019	0,014
MT06	O/	2	0,053	0,064	0,059	0,059	0,006	0,008	0,008	0,006
MT06	a	2	0,091	0,091	0,091	0,091	0,000	0,000	0,000	0,000
MT06	i	2	0,006	0,007	0,007	0,007	0,000	0,001	0,001	0,000
MT06	u	2	0,026	0,033	0,029	0,029	0,004	0,006	0,005	0,004
MT06	y	2	0,021	0,022	0,021	0,021	0,001	0,001	0,001	0,001
MT07	E/	2	0,158	0,164	0,161	0,161	0,003	0,005	0,005	0,003
MT07	O/	2	0,122	0,166	0,144	0,144	0,022	0,033	0,031	0,022
MT07	a	2	0,178	0,233	0,205	0,205	0,028	0,041	0,039	0,028
MT07	i	2	0,038	0,039	0,039	0,039	0,000	0,001	0,001	0,000
MT07	u	2	0,033	0,050	0,041	0,041	0,009	0,013	0,012	0,009
MT07	y	2	0,054	0,088	0,071	0,071	0,017	0,025	0,024	0,017
MT08	E/	2	0,131	0,137	0,134	0,134	0,003	0,005	0,004	0,003
MT08	O/	2	0,072	0,092	0,082	0,082	0,010	0,015	0,014	0,010
MT08	a	2	0,179	0,198	0,189	0,189	0,010	0,014	0,014	0,010
MT08	i	2	0,031	0,135	0,083	0,083	0,052	0,077	0,074	0,052
MT08	u	2	0,052	0,085	0,068	0,068	0,017	0,025	0,023	0,017
MT08	y	2	0,080	0,083	0,082	0,082	0,002	0,002	0,002	0,002

Moyennes de DAN des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	0,015	0,021	0,018	0,018	0,003	0,005	0,004	0,003
PM02	E/	postop	2	0,002	0,028	0,015	0,015	0,013	0,019	0,018	0,013
PM02	O/	preop	2	-0,026	-0,022	-0,024	-0,024	0,002	0,003	0,003	0,002
PM02	O/	postop	2	0,005	0,020	0,012	0,012	0,008	0,011	0,011	0,008
PM02	a	preop	2	0,015	0,022	0,018	0,018	0,004	0,005	0,005	0,004
PM02	a	postop	2	0,010	0,013	0,012	0,012	0,002	0,003	0,002	0,002
PM02	i	preop	2	0,007	0,020	0,014	0,014	0,006	0,009	0,009	0,006
PM02	i	postop	2	-0,002	0,026	0,026	0,016	0,014	0,000	0,016	0,009
PM02	u	preop	2	-0,028	-0,028	-0,028	-0,028	0,000	0,001	0,001	0,000
PM02	u	postop	2	-0,018	-0,005	-0,012	-0,012	0,006	0,009	0,009	0,006
PM02	y	preop	2	-0,030	-0,022	-0,026	-0,026	0,004	0,006	0,006	0,004
PM02	y	postop	2	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
PM03	E/	preop	2	0,020	0,034	0,027	0,027	0,007	0,010	0,010	0,007
PM03	E/	postop	2	0,020	0,025	0,023	0,023	0,002	0,004	0,003	0,002
PM03	O/	preop	2	0,014	0,015	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
PM03	O/	postop	2	-0,007	-0,002	-0,005	-0,005	0,002	0,004	0,003	0,002
PM03	a	preop	2	0,015	0,041	0,028	0,028	0,013	0,019	0,018	0,013
PM03	a	postop	2	0,005	0,006	0,006	0,006	0,000	0,001	0,000	0,000
PM03	i	preop	2	0,032	0,055	0,052	0,046	0,011	0,004	0,013	0,007
PM03	i	postop	2	0,000	0,018	0,009	0,009	0,009	0,014	0,013	0,009
PM03	u	preop	2	0,006	0,015	0,010	0,010	0,004	0,007	0,006	0,004
PM03	u	postop	2	-0,003	0,007	0,002	0,002	0,005	0,008	0,007	0,005
PM03	y	preop	2	0,024	0,029	0,027	0,027	0,003	0,004	0,004	0,003
PM03	y	postop	2	0,003	0,010	0,006	0,006	0,003	0,005	0,004	0,003
PM04	E/	preop	2	0,005	0,008	0,007	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002
PM04	E/	postop	2	0,004	0,005	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001
PM04	O/	preop	2	0,019	0,019	0,019	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000
PM04	O/	postop	2	-0,003	0,001	-0,001	-0,001	0,002	0,003	0,003	0,002
PM04	a	preop	2	-0,005	0,010	0,003	0,003	0,008	0,010	0,008	0,004
PM04	a	postop	2	-0,005	0,003	0,002	0,000	0,004	0,002	0,004	0,002
PM04	i	preop	2	-0,002	0,015	-0,002	0,004	0,008	0,000	0,010	0,006
PM04	i	postop	2	0,004	0,008	0,006	0,006	0,002	0,003	0,003	0,002
PM04	u	preop	2	0,004	0,008	0,006	0,006	0,002	0,003	0,003	0,002
PM04	u	postop	2	-0,007	0,008	-0,007	-0,002	0,007	0,000	0,008	0,005
PM04	y	preop	2	-0,001	0,024	0,012	0,012	0,012	0,018	0,018	0,012
PM04	y	postop	2	-0,002	0,001	-0,001	-0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
PM05	E/	preop	2	0,002	0,007	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,003
PM05	E/	postop	2	0,000	0,007	0,003	0,003	0,004	0,006	0,005	0,004
PM05	O/	preop	2	-0,006	-0,005	-0,006	-0,006	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	O/	postop	2	-0,004	0,009	0,002	0,002	0,006	0,009	0,009	0,006
PM05	a	preop	2	0,001	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	a	postop	2	-0,009	-0,007	-0,008	-0,008	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	i	preop	2	-0,004	-0,003	-0,004	-0,004	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	i	postop	2	-0,010	-0,002	-0,007	-0,006	0,004	0,004	0,004	0,002
PM05	u	preop	2	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	u	postop	2	-0,006	-0,003	-0,004	-0,004	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	y	preop	2	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	y	postop	2	-0,008	-0,001	-0,005	-0,005	0,003	0,005	0,005	0,003

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	0,043	0,055	0,049	0,049	0,006	0,009	0,009	0,006
PM02	E/	postop	2	0,072	0,074	0,073	0,073	0,001	0,002	0,002	0,001
PM02	O/	preop	2	0,016	0,035	0,025	0,025	0,010	0,014	0,014	0,010
PM02	O/	postop	2	0,047	0,067	0,057	0,057	0,010	0,015	0,014	0,010
PM02	a	preop	2	0,039	0,053	0,046	0,046	0,007	0,010	0,010	0,007
PM02	a	postop	2	0,033	0,039	0,036	0,036	0,003	0,004	0,004	0,003
PM02	i	preop	2	0,058	0,080	0,069	0,069	0,011	0,017	0,016	0,011
PM02	i	postop	2	0,133	0,158	0,152	0,148	0,012	0,009	0,013	0,007
PM02	u	preop	2	0,051	0,057	0,054	0,054	0,003	0,004	0,004	0,003
PM02	u	postop	2	0,079	0,146	0,112	0,112	0,033	0,049	0,047	0,033
PM02	y	preop	2	0,046	0,088	0,067	0,067	0,021	0,032	0,030	0,021
PM02	y	postop	2	0,062	0,092	0,077	0,077	0,015	0,022	0,021	0,015
PM03	E/	preop	2	0,037	0,078	0,058	0,058	0,020	0,030	0,029	0,020
PM03	E/	postop	2	0,026	0,054	0,040	0,040	0,014	0,021	0,020	0,014
PM03	O/	preop	2	0,006	0,018	0,012	0,012	0,006	0,009	0,008	0,006
PM03	O/	postop	2	0,007	0,012	0,009	0,009	0,003	0,004	0,004	0,003
PM03	a	preop	2	0,051	0,052	0,051	0,051	0,000	0,001	0,001	0,000
PM03	a	postop	2	0,011	0,025	0,017	0,018	0,005	0,005	0,006	0,003
PM03	i	preop	2	0,068	0,123	0,104	0,098	0,028	0,029	0,028	0,016
PM03	i	postop	2	0,039	0,045	0,042	0,042	0,003	0,004	0,004	0,003
PM03	u	preop	2	0,053	0,059	0,056	0,056	0,003	0,005	0,005	0,003
PM03	u	postop	2	0,022	0,038	0,030	0,030	0,008	0,012	0,011	0,008
PM03	y	preop	2	0,089	0,097	0,093	0,093	0,004	0,006	0,006	0,004
PM03	y	postop	2	0,064	0,089	0,077	0,077	0,012	0,018	0,018	0,012
PM04	E/	preop	2	0,054	0,055	0,055	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000
PM04	E/	postop	2	0,042	0,044	0,043	0,043	0,001	0,001	0,001	0,001
PM04	O/	preop	2	0,012	0,026	0,019	0,019	0,007	0,011	0,010	0,007
PM04	O/	postop	2	0,026	0,029	0,028	0,028	0,002	0,003	0,002	0,002
PM04	a	preop	2	0,021	0,037	0,021	0,026	0,008	0,000	0,010	0,006
PM04	a	postop	2	0,016	0,020	0,018	0,018	0,002	0,003	0,003	0,002
PM04	i	preop	2	0,036	0,052	0,036	0,041	0,008	0,000	0,010	0,006
PM04	i	postop	2	0,060	0,079	0,069	0,069	0,009	0,014	0,013	0,009
PM04	u	preop	2	0,025	0,034	0,030	0,030	0,004	0,006	0,006	0,004
PM04	u	postop	2	0,038	0,042	0,038	0,040	0,002	0,000	0,002	0,001
PM04	y	preop	2	0,032	0,100	0,066	0,066	0,034	0,050	0,048	0,034
PM04	y	postop	2	0,027	0,061	0,044	0,044	0,017	0,026	0,024	0,017
PM05	E/	preop	2	0,006	0,008	0,007	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	E/	postop	2	0,020	0,021	0,020	0,020	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	O/	preop	2	0,007	0,009	0,008	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	O/	postop	2	0,010	0,016	0,013	0,013	0,003	0,005	0,004	0,003
PM05	a	preop	2	0,016	0,018	0,017	0,017	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	a	postop	2	0,025	0,028	0,026	0,026	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	i	preop	2	0,011	0,013	0,012	0,012	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	i	postop	2	0,041	0,053	0,046	0,046	0,006	0,008	0,006	0,003
PM05	u	preop	2	0,028	0,042	0,035	0,035	0,007	0,010	0,010	0,007
PM05	u	postop	2	0,030	0,049	0,039	0,039	0,009	0,014	0,013	0,009
PM05	y	preop	2	0,030	0,034	0,032	0,032	0,002	0,003	0,003	0,002
PM05	y	postop	2	0,037	0,060	0,049	0,049	0,012	0,017	0,016	0,012

Moyennes de DAO des patients en préopératoire et postopératoire pour les voyelles orales en contexte nasal, en position initiale (V1) et finale (V2)

V1

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	0,099	0,124	0,111	0,111	0,012	0,018	0,017	0,012
PM02	E/	postop	2	0,047	0,099	0,073	0,073	0,026	0,039	0,037	0,026
PM02	O/	preop	2	0,065	0,110	0,088	0,088	0,023	0,034	0,032	0,023
PM02	O/	postop	2	0,130	0,185	0,157	0,157	0,028	0,041	0,039	0,028
PM02	a	preop	2	0,145	0,189	0,167	0,167	0,022	0,033	0,031	0,022
PM02	a	postop	2	0,060	0,076	0,068	0,068	0,008	0,011	0,011	0,008
PM02	i	preop	2	0,011	0,049	0,030	0,030	0,019	0,028	0,027	0,019
PM02	i	postop	2	0,008	0,045	0,045	0,033	0,019	0,000	0,022	0,013
PM02	u	preop	2	0,036	0,048	0,042	0,042	0,006	0,009	0,008	0,006
PM02	u	postop	2	0,010	0,039	0,025	0,025	0,015	0,022	0,021	0,015
PM02	y	preop	2	0,065	0,077	0,071	0,071	0,006	0,008	0,008	0,006
PM02	y	postop	2	0,036	0,067	0,052	0,052	0,015	0,023	0,021	0,015
PM03	E/	preop	2	0,013	0,068	0,041	0,041	0,028	0,041	0,039	0,028
PM03	E/	postop	2	0,039	0,064	0,052	0,052	0,012	0,019	0,018	0,012
PM03	O/	preop	2	0,008	0,054	0,031	0,031	0,023	0,035	0,033	0,023
PM03	O/	postop	2	0,012	0,087	0,049	0,049	0,037	0,055	0,053	0,037
PM03	a	preop	2	0,052	0,075	0,063	0,063	0,011	0,017	0,016	0,011
PM03	a	postop	2	0,132	0,145	0,139	0,139	0,006	0,009	0,009	0,006
PM03	i	preop	2	0,000	0,014	0,008	0,007	0,007	0,009	0,007	0,004
PM03	i	postop	2	-0,001	0,015	0,007	0,007	0,008	0,012	0,012	0,008
PM03	u	preop	2	0,009	0,032	0,020	0,020	0,012	0,017	0,017	0,012
PM03	u	postop	2	0,005	0,031	0,018	0,018	0,013	0,019	0,018	0,013
PM03	y	preop	2	0,018	0,019	0,019	0,019	0,001	0,001	0,001	0,001
PM03	y	postop	2	0,021	0,030	0,026	0,026	0,004	0,006	0,006	0,004
PM04	E/	preop	2	0,050	0,056	0,053	0,053	0,003	0,005	0,005	0,003
PM04	E/	postop	2	0,009	0,013	0,011	0,011	0,002	0,003	0,002	0,002
PM04	O/	preop	2	0,038	0,054	0,046	0,046	0,008	0,012	0,011	0,008
PM04	O/	postop	2	0,025	0,064	0,045	0,045	0,019	0,029	0,027	0,019
PM04	a	preop	2	0,005	0,131	0,110	0,082	0,063	0,030	0,067	0,039
PM04	a	postop	2	0,001	0,021	0,018	0,013	0,010	0,005	0,011	0,006
PM04	i	preop	2	0,039	0,045	0,045	0,043	0,003	0,001	0,004	0,002
PM04	i	postop	2	0,000	0,005	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,003
PM04	u	preop	2	0,031	0,053	0,042	0,042	0,011	0,017	0,016	0,011
PM04	u	postop	2	0,003	0,017	0,012	0,011	0,007	0,007	0,007	0,004
PM04	y	preop	2	0,018	0,034	0,026	0,026	0,008	0,012	0,011	0,008
PM04	y	postop	2	0,003	0,006	0,004	0,004	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	E/	preop	2	0,014	0,022	0,018	0,018	0,004	0,006	0,006	0,004
PM05	E/	postop	2	0,024	0,051	0,037	0,037	0,014	0,020	0,019	0,014
PM05	O/	preop	2	0,009	0,009	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
PM05	O/	postop	2	0,021	0,081	0,051	0,051	0,030	0,044	0,042	0,030
PM05	a	preop	2	0,008	0,011	0,010	0,010	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	a	postop	2	0,002	0,070	0,032	0,035	0,034	0,045	0,034	0,020
PM05	i	preop	2	0,004	0,008	0,006	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002
PM05	i	postop	2	0,006	0,026	0,019	0,017	0,010	0,010	0,010	0,006
PM05	u	preop	2	-0,005	0,006	0,000	0,000	0,006	0,008	0,008	0,006
PM05	u	postop	2	-0,024	0,077	0,027	0,027	0,050	0,075	0,071	0,050
PM05	y	preop	2	0,006	0,008	0,007	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	y	postop	2	0,004	0,056	0,030	0,030	0,026	0,039	0,037	0,026

V2

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	0,152	0,158	0,155	0,155	0,003	0,005	0,005	0,003
PM02	E/	postop	2	0,073	0,079	0,076	0,076	0,003	0,005	0,004	0,003
PM02	O/	preop	2	0,117	0,175	0,146	0,146	0,029	0,044	0,042	0,029
PM02	O/	postop	2	0,180	0,322	0,251	0,251	0,071	0,106	0,101	0,071
PM02	a	preop	2	0,250	0,267	0,259	0,259	0,009	0,013	0,012	0,009
PM02	a	postop	2	0,115	0,125	0,120	0,120	0,005	0,008	0,008	0,005
PM02	i	preop	2	0,035	0,043	0,039	0,039	0,004	0,006	0,006	0,004
PM02	i	postop	2	-0,007	-0,002	-0,007	-0,005	0,003	0,001	0,003	0,002
PM02	u	preop	2	0,030	0,110	0,070	0,070	0,040	0,060	0,057	0,040
PM02	u	postop	2	0,061	0,083	0,072	0,072	0,011	0,016	0,015	0,011
PM02	y	preop	2	0,034	0,089	0,061	0,061	0,027	0,041	0,039	0,027
PM02	y	postop	2	0,024	0,029	0,026	0,026	0,003	0,004	0,004	0,003
PM03	E/	preop	2	0,029	0,114	0,072	0,072	0,043	0,063	0,060	0,043
PM03	E/	postop	2	0,069	0,084	0,077	0,077	0,007	0,011	0,011	0,007
PM03	O/	preop	2	0,029	0,045	0,037	0,037	0,008	0,012	0,011	0,008
PM03	O/	postop	2	0,018	0,141	0,079	0,079	0,062	0,091	0,087	0,062
PM03	a	preop	2	0,094	0,116	0,105	0,105	0,011	0,016	0,016	0,011
PM03	a	postop	2	0,086	0,308	0,159	0,178	0,110	0,081	0,098	0,049
PM03	i	preop	2	0,002	0,017	0,012	0,010	0,008	0,009	0,008	0,005
PM03	i	postop	2	0,007	0,010	0,009	0,009	0,001	0,002	0,002	0,001
PM03	u	preop	2	0,022	0,026	0,024	0,024	0,002	0,003	0,003	0,002
PM03	u	postop	2	0,030	0,061	0,045	0,045	0,015	0,023	0,022	0,015
PM03	y	preop	2	0,007	0,010	0,009	0,009	0,001	0,002	0,002	0,001
PM03	y	postop	2	0,023	0,026	0,024	0,024	0,002	0,002	0,002	0,002
PM04	E/	preop	2	0,040	0,077	0,059	0,059	0,018	0,027	0,026	0,018
PM04	E/	postop	2	0,016	0,036	0,026	0,026	0,010	0,014	0,014	0,010
PM04	O/	preop	2	0,060	0,134	0,097	0,097	0,037	0,055	0,053	0,037
PM04	O/	postop	2	0,042	0,113	0,078	0,078	0,036	0,053	0,050	0,036
PM04	a	preop	2	0,073	0,123	0,123	0,107	0,025	0,001	0,029	0,017
PM04	a	postop	2	0,031	0,033	0,032	0,032	0,001	0,002	0,002	0,001
PM04	i	preop	2	0,008	0,024	0,008	0,014	0,008	0,000	0,009	0,005
PM04	i	postop	2	0,009	0,012	0,010	0,010	0,002	0,002	0,002	0,002
PM04	u	preop	2	0,044	0,053	0,049	0,049	0,004	0,006	0,006	0,004
PM04	u	postop	2	0,019	0,077	0,077	0,058	0,029	0,000	0,034	0,019
PM04	y	preop	2	0,050	0,055	0,053	0,053	0,003	0,004	0,004	0,003
PM04	y	postop	2	0,005	0,006	0,006	0,006	0,000	0,001	0,001	0,000
PM05	E/	preop	2	0,009	0,013	0,011	0,011	0,002	0,002	0,002	0,002
PM05	E/	postop	2	0,032	0,033	0,032	0,032	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	O/	preop	2	0,021	0,055	0,038	0,038	0,017	0,025	0,024	0,017
PM05	O/	postop	2	0,124	0,159	0,141	0,141	0,017	0,026	0,025	0,017
PM05	a	preop	2	0,027	0,029	0,028	0,028	0,001	0,002	0,001	0,001
PM05	a	postop	2	0,044	0,065	0,054	0,054	0,011	0,016	0,015	0,011
PM05	i	preop	2	0,006	0,008	0,007	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	i	postop	2	0,007	0,010	0,009	0,009	0,001	0,001	0,001	0,001
PM05	u	preop	2	0,002	0,006	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003	0,002
PM05	u	postop	2	0,107	0,110	0,108	0,108	0,001	0,002	0,002	0,001
PM05	y	preop	2	-0,005	0,022	0,009	0,009	0,013	0,020	0,019	0,013
PM05	y	postop	2	0,018	0,052	0,035	0,035	0,017	0,025	0,024	0,017

Moyennes globales de DAN pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	24	0,011	0,116	0,044	0,051	0,047	0,030	0,032	0,006
MT02	témoin	24	0,008	0,064	0,033	0,031	0,019	0,016	0,013	0,003
MT03	témoin	24	-0,011	0,126	0,027	0,038	0,061	0,041	0,045	0,009
MT04	témoin	24	-0,011	0,152	0,020	0,035	0,071	0,043	0,047	0,010
MT05	témoin	24	-0,004	0,131	0,041	0,048	0,082	0,056	0,045	0,009
MT06	témoin	24	0,001	0,140	0,036	0,053	0,071	0,039	0,042	0,008
MT07	témoin	24	-0,002	0,277	0,052	0,074	0,083	0,056	0,073	0,015
MT08	témoin	24	-0,002	0,115	0,043	0,048	0,059	0,045	0,035	0,007
PM02	preop	24	-0,030	0,088	0,021	**0,024**	0,052	0,046	0,035	0,007
PM02	postop	24	-0,018	0,158	0,031	0,048	0,068	0,048	0,052	0,010
PM03	preop	24	0,006	0,123	0,039	0,046	0,039	0,030	0,032	0,006
PM03	postop	24	-0,007	0,089	0,017	**0,021**	0,020	0,016	0,023	0,004
PM04	preop	24	-0,005	0,100	0,020	**0,023**	0,027	0,021	0,023	0,004
PM04	postop	24	-0,007	0,079	0,008	**0,020**	0,037	0,019	0,024	0,005
PM05	preop	24	-0,006	0,042	0,007	**0,009**	0,016	0,013	0,013	0,003
PM05	postop	24	-0,010	0,060	0,009	**0,014**	0,034	0,023	0,022	0,004

Moyennes globales de DAO pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	24	0,002	0,185	0,046	0,056	0,050	0,036	0,047	0,009
MT02	témoin	24	0,012	0,224	0,090	0,104	0,078	0,059	0,063	0,012
MT03	témoin	24	0,032	0,212	0,108	0,106	0,091	0,066	0,053	0,011
MT04	témoin	24	-0,006	0,183	0,049	0,067	0,087	0,070	0,062	0,013
MT05	témoin	24	0,014	0,190	0,067	0,075	0,076	0,052	0,048	0,010
MT06	témoin	24	0,001	0,091	0,026	0,035	0,035	0,027	0,026	0,005
MT07	témoin	24	0,008	0,233	0,052	0,081	0,104	0,053	0,065	0,013
MT08	témoin	24	0,002	0,198	0,071	0,076	0,072	0,062	0,058	0,012
PM02	preop	24	0,011	0,267	0,094	0,103	0,100	0,076	0,069	0,014
PM02	postop	24	-0,007	0,322	0,061	0,074	0,064	0,051	0,072	0,014
PM03	preop	24	0,000	0,116	0,021	0,034	0,040	0,018	0,034	0,007
PM03	postop	24	-0,001	0,308	0,035	0,068	0,068	0,042	0,072	0,014
PM04	preop	24	0,005	0,134	0,050	0,057	0,026	0,020	0,037	0,007
PM04	postop	24	0,000	0,113	0,016	0,025	0,026	0,016	0,028	0,005
PM05	preop	24	-0,005	0,055	0,009	0,012	0,010	0,005	0,012	0,003
PM05	postop	24	-0,024	0,159	0,032	0,045	0,053	0,035	0,043	0,008

Annexe 19 : Résultats statistiques pour la durée des voyelles orales et nasales

Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les patients en préopératoire et en postopératoire

A

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	preop	36	0,103	0,203	0,129	0,134	0,024	0,017	0,021	0,004
PM02	postop	36	0,083	0,174	0,119	0,122	0,028	0,021	0,021	0,003
PM03	preop	36	0,081	0,203	0,127	0,132	0,034	0,025	0,025	0,004
PM03	postop	36	0,098	0,194	0,130	0,133	0,031	0,024	0,022	0,004
PM04	preop	27	0,071	0,264	0,160	0,158	0,045	0,036	0,046	0,009
PM04	postop	36	0,060	0,204	0,127	0,131	0,056	0,041	0,036	0,006
PM05	preop	35	0,129	0,279	0,195	0,193	0,036	0,025	0,032	0,005
PM05	postop	36	0,101	0,241	0,162	0,163	0,030	0,026	0,028	0,005

B

locuteur	preop,ou,pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	preop	84	0,052	0,168	0,103	0,105	0,019	0,013	0,019	0,002
PM02	postop	84	0,052	0,145	0,095	0,098	0,023	0,019	0,018	0,002
PM03	preop	84	0,056	0,227	0,112	0,122	0,050	0,034	0,037	0,004
PM03	postop	84	0,070	0,209	0,114	0,117	0,044	0,033	0,029	0,003
PM04	preop	84	0,040	0,246	0,129	0,121	0,068	0,040	0,044	0,004
PM04	postop	84	0,041	0,232	0,110	0,113	0,063	0,049	0,040	0,004
PM05	preop	84	0,070	0,280	0,176	0,172	0,048	0,035	0,042	0,005
PM05	postop	84	0,067	0,257	0,147	0,149	0,050	0,040	0,038	0,004

Moyennes de durée des voyelles nasales en A et des voyelles orales en B pour les locuteurs sains

A

locuteur	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se	ci
MT01	36	0,100	0,165	0,130	0,133	0,023	0,015	0,017	0,003	0,006
MT02	36	0,140	0,270	0,199	0,197	0,051	0,043	0,035	0,006	0,012
MT03	36	0,090	0,183	0,130	0,129	0,030	0,030	0,022	0,004	0,007
MT04	36	0,106	0,199	0,138	0,143	0,022	0,017	0,023	0,004	0,008
MT05	36	0,090	0,198	0,129	0,130	0,035	0,025	0,023	0,004	0,008
MT06	36	0,087	0,178	0,119	0,122	0,031	0,021	0,024	0,004	0,008
MT07	36	0,108	0,261	0,171	0,173	0,029	0,025	0,030	0,005	0,010
MT08	36	0,078	0,193	0,134	0,136	0,053	0,045	0,034	0,007	0,013

B

locuteur	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se	ci
MT01	84	0,040	0,210	0,110	0,119	0,037	0,030	0,036	0,004	0,007
MT02	84	0,070	0,230	0,152	0,153	0,060	0,044	0,038	0,004	0,008
MT03	84	0,040	0,180	0,100	0,105	0,032	0,030	0,028	0,003	0,006
MT04	84	0,077	0,216	0,121	0,128	0,035	0,027	0,032	0,004	0,007
MT05	84	0,049	0,186	0,100	0,107	0,044	0,030	0,031	0,003	0,007
MT06	84	0,038	0,160	0,090	0,096	0,042	0,030	0,029	0,003	0,006
MT07	84	0,092	0,212	0,143	0,147	0,043	0,030	0,028	0,003	0,006
MT08	84	0,030	0,222	0,111	0,117	0,049	0,034	0,038	0,004	0,008

Annexe 20 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles orales en contexte oral

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles orales chez les locuteurs sains en position initiale V1 et en position finale V2

V1 oral-Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	35,332	41,513	37,703	38,213	3,424	2,519	2,392	0,904
MT01	O/	7	32,780	37,882	35,379	35,297	3,296	2,928	2,050	0,775
MT01	a	7	48,205	55,724	52,242	51,499	3,154	3,808	2,582	0,976
MT01	i	7	25,241	35,379	29,977	30,274	3,999	2,829	3,117	0,940
MT01	u	7	24,331	32,191	31,308	29,947	2,502	1,309	2,804	1,060
MT01	y	7	30,066	36,743	33,020	33,238	3,464	2,292	2,419	0,914
MT02	E/	7	46,962	54,667	51,270	50,767	5,217	4,547	3,134	1,185
MT02	O/	7	41,304	54,900	50,522	49,842	5,961	4,739	4,836	1,828
MT02	a	7	56,530	59,595	58,117	58,080	1,230	0,989	1,058	0,400
MT02	i	7	29,897	39,335	32,916	33,864	3,563	1,008	3,206	0,967
MT02	u	7	37,467	43,879	40,444	40,167	2,646	1,556	2,267	0,857
MT02	y	7	32,796	47,693	41,349	41,215	2,611	2,426	4,497	1,700
MT03	E/	7	27,428	38,411	32,332	32,612	2,807	2,501	3,391	1,282
MT03	O/	7	31,060	36,905	32,956	33,813	3,477	2,811	2,286	0,864
MT03	a	7	37,338	45,858	39,116	40,007	1,527	0,738	2,792	1,055
MT03	i	7	21,372	28,958	24,603	25,176	3,223	1,763	2,781	1,051
MT03	u	7	23,048	30,628	26,845	26,777	2,070	1,505	2,359	0,892
MT03	y	7	26,617	34,578	29,661	30,420	3,948	2,993	2,892	1,093
MT04	E/	7	28,953	32,038	29,557	30,052	1,094	0,897	1,065	0,402
MT04	O/	7	26,320	29,677	28,269	28,103	2,358	1,727	1,386	0,524
MT04	a	7	36,421	42,726	39,394	39,656	2,267	1,876	2,206	0,834
MT04	i	7	14,781	21,274	18,891	17,929	4,946	3,533	2,814	1,064
MT04	u	7	17,809	21,236	19,501	19,371	1,490	1,248	1,207	0,456
MT04	y	7	19,890	24,644	23,011	22,604	2,168	1,280	1,693	0,640
MT05	E/	7	12,703	21,920	18,805	18,217	3,178	2,026	3,136	1,185
MT05	O/	7	9,129	17,633	14,002	13,885	3,626	3,756	3,001	1,134
MT05	a	7	15,706	24,896	22,822	21,686	2,667	2,955	3,035	1,147
MT05	i	7	2,300	11,171	9,124	7,922	4,274	2,838	3,362	1,271
MT05	u	7	9,199	12,542	10,869	10,618	1,855	1,908	1,250	0,473
MT05	y	7	9,594	14,181	12,584	11,953	2,905	2,367	1,825	0,690
MT06	E/	7	29,290	39,061	33,730	33,189	3,500	2,437	3,352	1,267
MT06	O/	7	21,960	28,507	26,015	25,792	3,115	2,428	2,373	0,897
MT06	a	7	34,500	43,022	40,093	39,282	6,296	4,343	3,603	1,362
MT06	i	7	18,440	23,614	21,501	21,219	3,339	3,049	2,066	0,781
MT06	u	7	23,269	28,386	26,430	25,961	2,829	2,655	1,962	0,741
MT06	y	7	25,252	29,164	26,153	26,580	1,395	1,129	1,342	0,507
MT07	E/	7	24,435	30,271	26,570	26,656	2,113	1,391	1,998	0,755
MT07	O/	7	17,804	25,304	22,380	22,520	2,421	1,867	2,510	0,949
MT07	a	7	31,431	41,396	39,845	38,636	1,910	1,509	3,434	1,298
MT07	i	7	10,708	18,088	15,591	14,675	3,081	2,331	2,571	0,972
MT07	u	7	15,347	19,982	18,329	18,094	1,621	1,905	1,616	0,611
MT07	y	7	15,714	22,772	21,947	21,187	1,470	1,086	2,505	0,947
MT08	E/	7	24,536	36,569	30,030	29,520	3,074	2,166	3,850	1,455
MT08	O/	7	26,175	33,469	28,847	29,180	1,843	1,783	2,298	0,869
MT08	a	7	33,322	42,748	40,407	39,511	1,250	0,890	2,961	1,119
MT08	i	7	19,254	24,838	21,762	21,855	2,107	1,986	1,885	0,713
MT08	u	7	18,605	28,973	25,288	24,237	3,151	2,105	3,374	1,275
MT08	y	7	23,443	27,446	25,929	25,613	2,492	1,792	1,601	0,605

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	24,098	27,270	24,702	25,021	0,551	0,436	1,064	0,402
MT01	O/	7	23,763	26,374	25,351	25,152	0,756	0,402	0,842	0,318
MT01	a	7	27,130	33,164	30,361	30,214	1,809	1,593	1,904	0,719
MT01	i	7	22,169	25,276	23,305	23,563	1,896	1,541	1,117	0,337
MT01	u	7	23,582	26,275	24,099	24,378	0,283	0,301	0,872	0,330
MT01	y	7	23,296	25,286	24,009	24,119	0,784	0,528	0,698	0,264
MT02	E/	7	27,466	30,804	28,906	29,087	0,906	0,470	1,101	0,416
MT02	O/	7	26,071	28,952	27,557	27,642	1,304	0,984	1,045	0,395
MT02	a	7	31,383	35,312	33,263	33,402	1,703	1,295	1,371	0,518
MT02	i	7	22,788	26,094	23,961	24,233	0,440	0,171	0,956	0,288
MT02	u	7	25,000	27,815	25,229	25,764	1,113	0,339	1,047	0,396
MT02	y	7	24,355	32,020	26,621	26,744	1,884	1,392	2,580	0,975
MT03	E/	7	24,862	26,736	26,034	25,873	1,385	0,894	0,800	0,302
MT03	O/	7	25,020	27,065	25,515	25,832	1,048	0,734	0,761	0,288
MT03	a	7	26,154	31,232	27,614	27,868	0,255	0,305	1,575	0,595
MT03	i	7	23,533	25,578	24,786	24,714	1,355	1,050	0,837	0,317
MT03	u	7	22,813	25,784	24,486	24,446	0,827	0,725	0,934	0,353
MT03	y	7	24,354	27,004	25,325	25,379	0,595	0,493	0,854	0,323
MT04	E/	7	24,849	26,727	26,005	25,916	0,977	0,846	0,695	0,263
MT04	O/	7	24,655	27,646	25,268	25,572	0,577	0,393	0,981	0,371
MT04	a	7	26,396	30,866	29,773	29,593	1,164	1,192	1,527	0,577
MT04	i	7	23,896	25,209	24,057	24,365	0,735	0,239	0,554	0,209
MT04	u	7	23,437	25,132	24,151	24,245	0,525	0,301	0,561	0,212
MT04	y	7	23,418	25,074	24,039	24,186	0,965	0,765	0,632	0,239
MT05	E/	7	23,863	25,435	24,683	24,686	0,454	0,396	0,493	0,186
MT05	O/	7	23,123	26,033	24,247	24,409	0,476	0,300	0,885	0,334
MT05	a	7	22,901	26,564	25,723	25,120	2,174	0,879	1,558	0,589
MT05	i	7	23,502	25,000	23,983	23,993	0,308	0,335	0,486	0,184
MT05	u	7	23,219	26,188	24,628	24,605	1,534	1,219	1,065	0,403
MT05	y	7	23,334	25,416	23,756	24,127	1,095	0,625	0,789	0,298
MT06	E/	7	23,908	26,972	24,761	25,296	1,502	1,265	1,119	0,423
MT06	O/	7	22,528	25,973	24,778	24,741	1,024	0,799	1,161	0,439
MT06	a	7	24,236	27,627	26,834	26,412	1,571	1,096	1,241	0,469
MT06	i	7	23,181	24,480	23,996	23,935	0,676	0,580	0,492	0,186
MT06	u	7	23,542	24,730	24,087	24,041	0,505	0,310	0,416	0,157
MT06	y	7	22,600	24,733	24,035	23,870	1,218	0,921	0,830	0,314
MT07	E/	7	23,920	25,802	25,154	25,032	1,080	0,901	0,743	0,281
MT07	O/	7	24,479	26,349	25,235	25,488	0,959	0,825	0,700	0,265
MT07	a	7	26,704	33,145	31,027	30,659	3,341	2,634	2,501	0,945
MT07	i	7	21,872	23,920	23,014	23,027	1,023	0,975	0,754	0,285
MT07	u	7	21,983	24,151	23,556	23,371	1,280	0,875	0,850	0,321
MT07	y	7	22,095	25,188	22,972	23,294	0,784	0,286	1,028	0,389
MT08	E/	7	22,923	26,945	24,602	24,629	0,618	0,350	1,212	0,458
MT08	O/	7	23,812	26,004	25,022	25,133	0,935	0,835	0,770	0,291
MT08	a	7	24,961	27,630	25,872	26,077	1,302	0,775	1,047	0,396
MT08	i	7	24,017	28,113	24,704	25,305	0,943	0,590	1,379	0,521
MT08	u	7	22,708	25,517	24,440	24,276	0,653	0,448	0,867	0,328
MT08	y	7	22,290	24,341	23,730	23,670	0,411	0,176	0,682	0,258

V2-Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	34,658	44,035	42,490	40,846	4,514	2,056	3,689	1,394
MT01	O/	7	28,335	39,348	34,238	33,545	3,369	2,496	3,552	1,343
MT01	a	7	48,684	52,949	51,098	51,061	1,913	2,105	1,536	0,581
MT01	i	7	22,823	33,325	28,511	28,697	3,162	2,469	2,980	0,899
MT01	u	7	28,908	35,993	31,176	31,541	2,452	2,320	2,444	0,924
MT01	y	7	28,312	38,927	32,925	33,646	2,446	0,572	3,410	1,289
MT02	E/	7	44,332	48,554	45,572	46,096	1,775	0,679	1,610	0,609
MT02	O/	7	40,316	52,148	44,527	45,478	5,951	3,583	4,478	1,693
MT02	a	7	52,560	57,315	55,004	54,969	1,511	1,178	1,548	0,585
MT02	i	7	26,147	37,157	31,372	32,284	4,148	3,336	3,620	1,091
MT02	u	7	34,400	42,122	39,319	38,598	2,745	1,640	2,591	0,979
MT02	y	7	36,594	44,557	38,656	39,150	1,399	1,292	2,571	0,972
MT03	E/	7	30,208	36,938	33,597	33,850	1,743	1,569	2,096	0,792
MT03	O/	7	30,916	40,694	37,655	36,983	3,722	2,926	3,361	1,270
MT03	a	7	36,662	42,914	40,180	39,975	3,087	3,834	2,382	0,900
MT03	i	7	20,312	29,261	23,085	23,682	3,607	2,839	3,219	1,217
MT03	u	7	25,963	30,825	30,285	28,956	3,093	0,800	2,003	0,757
MT03	y	7	25,675	37,987	31,121	31,380	4,052	3,709	3,967	1,499
MT04	E/	7	28,595	36,433	31,752	32,015	2,007	1,718	2,493	0,942
MT04	O/	7	26,006	29,966	28,477	28,392	1,174	1,171	1,336	0,505
MT04	a	7	35,879	43,238	40,727	39,719	3,415	2,729	2,650	1,001
MT04	i	7	14,146	19,515	16,375	16,989	2,322	2,105	1,883	0,712
MT04	u	7	17,724	22,412	18,307	19,245	2,291	0,864	1,791	0,677
MT04	y	7	20,451	26,380	23,705	23,458	2,917	2,553	2,206	0,834
MT05	E/	7	14,878	18,489	16,544	16,594	2,231	1,707	1,452	0,549
MT05	O/	7	10,859	15,889	14,744	13,791	4,179	1,698	2,311	0,874
MT05	a	7	17,386	24,817	22,679	21,740	2,482	0,706	2,708	1,024
MT05	i	7	4,541	10,521	5,721	7,152	4,616	1,750	2,649	1,001
MT05	u	7	4,564	10,898	10,038	9,128	1,465	1,275	2,162	0,817
MT05	y	7	7,855	14,523	10,635	10,982	1,406	0,793	2,051	0,775
MT06	E/	7	30,387	41,544	36,747	35,633	5,971	6,319	4,089	1,545
MT06	O/	7	25,725	34,209	27,530	28,453	0,881	1,169	2,687	1,016
MT06	a	7	35,519	46,326	39,573	39,785	3,483	2,529	3,524	1,332
MT06	i	7	18,970	24,997	23,046	22,000	3,512	2,893	2,354	0,890
MT06	u	7	22,517	30,653	27,109	26,309	2,967	3,483	2,686	1,015
MT06	y	7	26,248	30,898	28,902	28,954	1,206	0,839	1,466	0,554
MT07	E/	7	26,435	30,775	29,078	28,842	1,986	1,569	1,530	0,578
MT07	O/	7	18,116	25,898	22,863	22,384	1,535	0,840	2,378	0,899
MT07	a	7	27,839	42,301	38,021	36,744	6,684	5,357	5,302	2,004
MT07	i	7	12,295	21,646	13,499	16,014	5,953	1,784	3,853	1,456
MT07	u	7	15,799	19,095	17,973	17,469	1,948	1,663	1,262	0,477
MT07	y	7	17,741	25,272	20,832	21,208	3,400	2,778	2,593	0,980
MT08	E/	7	21,920	35,964	31,935	30,776	4,015	3,705	4,714	1,782
MT08	O/	7	23,756	30,454	28,534	27,704	2,384	2,163	2,236	0,845
MT08	a	7	32,710	41,221	39,286	37,592	4,809	2,869	3,339	1,262
MT08	i	7	19,619	24,433	20,465	21,157	1,655	1,255	1,682	0,636
MT08	u	7	15,158	26,076	23,010	22,068	2,747	1,672	3,516	1,329
MT08	y	7	22,777	32,618	27,731	27,359	1,907	2,351	2,964	1,120

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	7	24,057	28,031	24,753	25,203	0,635	0,522	1,320	0,499
MT01	O/	7	23,611	25,636	24,759	24,622	0,720	0,496	0,676	0,255
MT01	a	7	28,034	31,893	30,522	30,310	0,639	0,502	1,183	0,447
MT01	i	7	21,471	24,380	23,540	23,405	1,052	0,766	0,873	0,263
MT01	u	7	23,653	25,356	24,413	24,455	0,993	1,016	0,674	0,255
MT01	y	7	22,863	24,609	23,813	23,901	0,531	0,265	0,588	0,222
MT02	E/	7	26,787	28,884	27,984	27,865	1,095	0,897	0,767	0,290
MT02	O/	7	25,546	28,385	27,340	27,184	1,159	1,101	1,007	0,381
MT02	a	7	30,780	33,093	31,118	31,660	1,507	0,501	0,948	0,358
MT02	i	7	21,815	24,946	24,186	23,808	1,123	1,084	1,029	0,310
MT02	u	7	24,476	25,860	25,260	25,215	0,282	0,195	0,424	0,160
MT02	y	7	24,146	28,249	25,167	25,461	1,435	1,324	1,451	0,548
MT03	E/	7	24,280	26,527	25,641	25,533	1,512	1,296	0,932	0,352
MT03	O/	7	25,533	27,968	26,239	26,509	1,382	1,047	0,927	0,350
MT03	a	7	26,446	28,824	27,411	27,435	1,429	1,390	0,952	0,360
MT03	i	7	23,084	24,825	23,908	24,021	0,783	0,718	0,603	0,228
MT03	u	7	23,335	25,547	23,975	24,434	1,897	0,949	1,025	0,388
MT03	y	7	22,120	26,365	24,585	24,493	0,905	0,691	1,312	0,496
MT04	E/	7	24,774	27,579	25,952	26,115	0,837	0,558	0,905	0,342
MT04	O/	7	23,571	26,527	25,660	25,486	0,922	0,691	0,981	0,371
MT04	a	7	28,400	31,898	29,657	29,959	1,344	0,937	1,260	0,476
MT04	i	7	22,583	24,818	24,080	23,846	0,880	0,389	0,801	0,303
MT04	u	7	22,437	24,463	23,012	23,311	0,972	0,815	0,740	0,280
MT04	y	7	22,010	24,534	23,703	23,781	0,808	1,006	0,882	0,334
MT05	E/	7	22,588	26,152	24,742	24,393	1,450	1,654	1,204	0,455
MT05	O/	7	23,275	24,302	24,010	23,884	0,590	0,433	0,394	0,149
MT05	a	7	24,378	28,139	26,026	25,874	1,238	0,960	1,252	0,473
MT05	i	7	22,530	24,056	23,395	23,287	0,872	0,873	0,593	0,224
MT05	u	7	22,799	24,622	24,023	23,773	1,344	0,888	0,771	0,291
MT05	y	7	22,482	24,383	23,538	23,472	0,608	0,551	0,615	0,232
MT06	E/	7	24,587	27,872	25,772	25,894	0,807	1,079	1,065	0,402
MT06	O/	7	24,004	28,250	25,342	25,587	1,674	1,476	1,460	0,552
MT06	a	7	25,339	30,270	26,197	26,882	1,692	1,273	1,724	0,652
MT06	i	7	23,453	24,915	23,805	23,893	0,553	0,435	0,519	0,196
MT06	u	7	22,418	24,789	24,060	23,728	1,502	1,081	0,956	0,361
MT06	y	7	23,116	24,920	24,513	24,207	0,884	0,604	0,676	0,255
MT07	E/	7	24,886	29,547	25,660	26,064	0,466	0,271	1,575	0,595
MT07	O/	7	23,875	26,896	24,737	24,818	0,514	0,596	0,979	0,370
MT07	a	7	26,762	34,701	30,753	30,627	3,002	2,063	2,703	1,022
MT07	i	7	22,475	26,245	23,966	24,357	2,426	1,821	1,519	0,574
MT07	u	7	22,644	28,523	25,578	25,198	2,028	1,103	2,005	0,758
MT07	y	7	22,151	26,423	23,462	23,885	1,421	0,665	1,505	0,569
MT08	E/	7	22,514	25,706	23,973	24,279	2,129	2,026	1,303	0,492
MT08	O/	7	23,107	26,151	24,745	24,810	2,319	1,885	1,300	0,491
MT08	a	7	24,369	28,120	25,664	25,923	1,766	1,841	1,396	0,528
MT08	i	7	22,284	24,834	24,254	24,103	0,342	0,192	0,845	0,319
MT08	u	7	23,134	24,494	23,935	23,939	0,442	0,380	0,460	0,174
MT08	y	7	22,223	24,107	23,733	23,559	0,499	0,532	0,647	0,245

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles orales chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 et en position finale V2

V1-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	15,704	24,236	20,170	20,090	4,193	3,888	3,083	1,511
PM02	E/	postop	7	17,898	33,834	29,035	28,168	4,458	3,783	5,258	1,776
PM02	O/	preop	7	16,311	23,939	21,202	20,839	2,384	2,300	2,489	0,967
PM02	O/	postop	7	23,955	31,662	28,121	27,759	2,802	2,169	2,524	2,028
PM02	a	preop	7	31,091	37,151	33,165	33,566	2,172	1,549	2,036	0,371
PM02	a	postop	7	36,862	41,820	40,155	39,584	1,577	2,305	1,759	0,197
PM02	i	preop	7	6,683	15,196	12,124	10,929	4,990	4,555	3,249	1,713
PM02	i	postop	7	8,961	20,536	15,286	15,430	5,735	5,463	4,555	1,315
PM02	u	preop	7	13,267	18,070	16,020	16,066	2,449	1,987	1,750	0,044
PM02	u	postop	7	17,968	26,613	21,598	21,553	1,842	0,805	2,706	0,958
PM02	y	preop	7	13,433	16,873	15,666	15,235	1,673	1,412	1,249	2,330
PM02	y	postop	7	13,754	23,437	18,812	18,745	5,945	4,849	3,733	0,339
PM03	E/	preop	7	17,289	24,569	20,897	21,190	3,596	2,391	2,608	0,819
PM03	E/	postop	7	24,916	32,165	27,650	28,028	1,944	1,811	2,283	1,164
PM03	O/	preop	7	15,787	21,343	17,492	18,180	2,790	1,727	2,197	0,619
PM03	O/	postop	7	14,262	27,193	22,336	22,052	5,028	4,592	4,411	0,710
PM03	a	preop	7	26,411	34,615	31,875	31,397	3,579	3,732	3,021	1,838
PM03	a	postop	7	31,567	37,042	34,682	34,270	2,470	1,602	1,956	0,199
PM03	i	preop	7	7,749	13,481	11,718	10,979	3,301	2,257	2,248	0,487
PM03	i	postop	7	11,112	18,483	13,397	14,322	4,251	3,164	2,879	0,846
PM03	u	preop	7	11,591	16,663	14,910	14,318	3,566	2,599	2,088	0,940
PM03	u	postop	7	14,748	19,415	18,582	17,975	1,503	1,214	1,613	0,122
PM03	y	preop	7	12,124	16,881	13,704	13,916	1,761	1,421	1,606	1,201
PM03	y	postop	7	12,683	21,686	16,954	17,785	5,318	5,227	3,478	0,827
PM04	E/	preop	7	22,368	27,298	24,616	24,544	3,162	2,832	2,013	0,433
PM04	E/	postop	7	24,373	33,323	31,026	30,357	2,180	1,554	2,959	0,342
PM04	O/	preop	7	17,810	24,493	19,662	20,718	2,937	2,746	2,344	1,208
PM04	O/	postop	7	24,349	31,173	26,813	26,973	3,013	2,797	2,412	0,870
PM04	a	preop	7	17,838	36,885	30,694	30,089	2,358	2,722	5,528	3,743
PM04	a	postop	7	26,872	41,183	38,131	37,142	1,908	1,911	4,448	1,476
PM04	i	preop	7	10,952	18,260	15,562	14,570	3,208	1,442	2,405	0,269
PM04	i	postop	7	20,137	28,250	23,039	24,029	2,597	0,360	2,903	1,681
PM04	u	preop	7	16,355	20,303	17,410	17,663	1,594	1,519	1,418	0,991
PM04	u	postop	7	18,784	25,179	22,330	21,529	3,516	2,364	2,193	1,805
PM04	y	preop	7	18,139	21,880	19,755	19,882	1,233	1,345	1,543	0,386
PM04	y	postop	7	22,742	26,295	25,332	25,152	0,927	0,673	1,178	0,578
PM05	E/	preop	7	23,105	29,310	24,674	25,143	1,599	1,800	2,094	2,770
PM05	E/	postop	7	23,063	28,401	24,476	25,220	2,711	1,856	2,077	1,358
PM05	O/	preop	7	19,661	23,329	22,245	21,745	1,888	1,607	1,352	1,415
PM05	O/	postop	7	19,501	26,543	22,094	22,870	3,617	3,316	2,603	1,416
PM05	a	preop	7	17,471	35,264	30,830	29,769	4,584	3,880	5,640	0,343
PM05	a	postop	7	30,564	37,393	33,820	34,030	4,112	3,636	2,644	2,581
PM05	i	preop	7	13,332	21,199	14,679	15,955	2,913	1,878	2,823	0,897
PM05	i	postop	7	13,489	20,453	18,569	17,497	2,898	1,528	2,553	1,433
PM05	u	preop	7	16,307	34,474	17,308	20,090	2,973	0,977	6,605	0,932
PM05	u	postop	7	11,786	22,286	16,665	17,175	5,233	4,890	3,814	3,245
PM05	y	preop	7	16,132	22,980	19,186	19,291	3,227	2,806	2,372	NA
PM05	y	postop	7	16,123	26,971	20,313	20,409	4,114	3,165	3,665	2,149

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	23,970	26,791	25,002	25,178	1,545	1,071	1,070	0,339
PM02	E/	postop	7	22,251	26,324	24,619	24,463	0,846	0,777	1,252	0,722
PM02	O/	preop	7	24,543	26,743	25,070	25,370	1,014	0,733	0,892	0,116
PM02	O/	postop	7	23,234	25,527	24,269	24,461	0,709	0,934	0,732	0,594
PM02	a	preop	7	28,015	32,241	29,972	29,868	1,379	0,838	1,377	0,292
PM02	a	postop	7	25,330	26,736	26,634	26,287	0,897	0,151	0,537	0,297
PM02	i	preop	7	22,120	23,933	23,288	23,160	0,884	0,667	0,654	1,334
PM02	i	postop	7	21,346	22,921	22,185	22,168	0,488	0,451	0,540	0,832
PM02	u	preop	7	22,733	25,139	23,715	23,813	0,544	0,492	0,744	0,008
PM02	u	postop	7	21,515	23,406	22,607	22,502	0,774	0,566	0,676	0,375
PM02	y	preop	7	23,319	24,803	24,248	24,144	0,623	0,342	0,521	0,167
PM02	y	postop	7	21,026	23,667	22,905	22,763	1,219	1,024	0,970	0,513
PM03	E/	preop	7	26,848	28,573	27,512	27,614	1,002	0,788	0,657	0,537
PM03	E/	postop	7	26,810	30,794	27,971	28,318	1,537	0,961	1,461	1,081
PM03	O/	preop	7	26,351	28,592	27,501	27,583	0,891	0,830	0,798	0,378
PM03	O/	postop	7	24,179	27,513	26,478	26,148	0,875	1,000	1,052	1,056
PM03	a	preop	7	26,556	32,984	30,964	31,015	1,857	2,381	2,192	0,968
PM03	a	postop	7	25,805	29,016	27,321	27,588	1,408	1,403	1,117	0,327
PM03	i	preop	7	24,849	27,285	25,945	25,830	0,772	0,673	0,802	0,258
PM03	i	postop	7	23,257	25,282	23,554	23,843	0,646	0,299	0,736	0,844
PM03	u	preop	7	24,999	26,316	25,746	25,705	0,313	0,190	0,409	1,068
PM03	u	postop	7	23,775	25,601	24,422	24,551	0,636	0,639	0,624	0,895
PM03	y	preop	7	24,364	26,274	25,488	25,531	0,657	0,681	0,633	0,285
PM03	y	postop	7	23,379	25,090	23,946	24,118	1,280	0,755	0,745	0,348
PM04	E/	preop	7	24,350	27,358	26,137	25,989	1,874	1,381	1,169	0,594
PM04	E/	postop	7	25,163	27,089	25,507	25,679	0,199	0,252	0,642	0,701
PM04	O/	preop	7	25,899	28,037	26,949	26,895	0,975	0,842	0,745	1,321
PM04	O/	postop	7	23,648	27,203	25,412	25,494	1,062	0,734	1,163	1,268
PM04	a	preop	7	22,588	29,681	27,345	27,218	2,046	2,080	2,137	1,708
PM04	a	postop	7	20,204	27,709	26,079	25,556	0,642	0,611	2,265	1,017
PM04	i	preop	7	23,695	27,759	26,383	25,654	1,921	0,729	1,331	0,230
PM04	i	postop	7	23,275	27,171	26,180	25,472	2,020	1,470	1,460	2,244
PM04	u	preop	7	24,929	26,865	26,342	25,922	1,362	0,775	0,817	1,090
PM04	u	postop	7	23,805	25,542	24,379	24,547	0,297	0,104	0,528	1,663
PM04	y	preop	7	26,127	27,651	26,159	26,524	0,392	0,029	0,752	0,875
PM04	y	postop	7	23,949	27,329	25,088	25,461	1,701	1,363	1,316	0,134
PM05	E/	preop	7	25,804	26,876	26,549	26,437	0,460	0,285	0,393	2,425
PM05	E/	postop	7	23,756	25,897	24,071	24,457	0,730	0,466	0,743	1,413
PM05	O/	preop	7	24,828	27,558	25,984	26,069	0,537	0,396	0,823	0,046
PM05	O/	postop	7	23,663	25,608	25,047	24,851	0,984	0,768	0,711	0,595
PM05	a	preop	7	23,545	33,019	29,310	29,635	2,222	1,430	2,966	0,067
PM05	a	postop	7	26,191	28,455	27,509	27,673	0,837	1,138	0,788	1,734
PM05	i	preop	7	23,142	26,816	24,939	25,166	1,551	1,198	1,272	0,220
PM05	i	postop	7	21,463	24,420	24,018	23,321	1,699	0,596	1,294	0,481
PM05	u	preop	7	24,496	26,383	25,485	25,469	0,290	0,229	0,560	0,670
PM05	u	postop	7	21,413	23,728	23,556	23,097	0,826	0,256	0,844	0,408
PM05	y	preop	7	23,992	27,085	25,464	25,581	0,579	0,435	0,867	NA
PM05	y	postop	7	22,466	24,012	22,966	23,072	0,653	0,724	0,567	0,753

V2-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	16,492	29,134	22,694	21,584	4,375	3,335	4,359	0,360
PM02	E/	postop	7	21,065	34,796	31,478	28,628	7,571	4,919	5,236	2,075
PM02	O/	preop	7	20,538	25,431	21,075	21,866	1,360	0,553	1,759	0,788
PM02	O/	postop	7	25,665	32,913	28,432	28,817	2,115	2,274	2,415	0,784
PM02	a	preop	7	27,733	36,634	33,822	32,149	6,130	4,169	3,677	0,228
PM02	a	postop	7	30,064	41,054	38,347	35,890	6,347	4,014	3,983	0,522
PM02	i	preop	7	6,341	10,498	6,708	7,636	2,127	0,545	1,732	3,815
PM02	i	postop	7	11,632	18,020	15,526	15,224	1,481	1,463	1,819	2,197
PM02	u	preop	7	11,752	18,253	13,206	14,360	3,596	2,085	2,616	0,418
PM02	u	postop	7	19,326	26,839	21,816	22,593	2,641	2,618	2,465	0,236
PM02	y	preop	7	13,037	20,027	15,418	16,017	3,831	2,554	2,793	0,699
PM02	y	postop	7	19,065	28,080	21,553	22,198	3,577	3,035	3,314	2,876
PM03	E/	preop	7	8,546	21,547	18,959	17,004	5,734	3,097	5,102	1,740
PM03	E/	postop	7	16,062	26,784	23,781	22,695	4,714	3,721	4,053	4,022
PM03	O/	preop	7	8,910	16,333	13,986	13,683	2,907	2,487	2,578	1,215
PM03	O/	postop	7	15,885	23,422	19,565	19,449	3,510	2,961	2,653	0,245
PM03	a	preop	7	23,641	32,470	26,404	27,004	3,306	2,905	3,150	0,886
PM03	a	postop	7	26,767	33,516	28,585	29,432	3,599	2,695	2,515	7,536
PM03	i	preop	7	6,210	10,992	9,456	9,303	1,417	1,316	1,586	0,583
PM03	i	postop	7	10,914	15,683	12,216	12,868	2,644	1,931	1,807	1,319
PM03	u	preop	7	6,939	17,875	11,804	11,752	3,557	3,169	3,512	0,182
PM03	u	postop	7	12,270	21,329	16,659	16,288	3,513	3,546	3,022	1,442
PM03	y	preop	7	8,052	13,358	10,762	10,746	2,205	1,867	1,863	0,657
PM03	y	postop	7	11,503	20,179	17,839	16,497	4,027	2,706	3,214	1,698
PM04	E/	preop	7	19,374	25,984	21,609	22,396	3,245	2,273	2,494	0,553
PM04	E/	postop	7	26,466	29,705	27,809	27,726	1,200	1,111	1,099	0,830
PM04	O/	preop	7	15,082	21,759	19,441	18,536	2,886	2,128	2,051	1,451
PM04	O/	postop	7	22,769	26,999	25,744	25,606	1,540	1,083	1,467	1,677
PM04	a	preop	7	27,974	32,238	30,239	30,179	1,994	1,535	1,459	2,400
PM04	a	postop	7	27,306	40,003	35,715	35,157	5,407	5,157	4,449	2,116
PM04	i	preop	7	13,347	21,672	16,552	16,625	2,897	2,713	2,599	0,283
PM04	i	postop	7	19,437	24,448	22,424	22,283	1,041	0,779	1,527	2,822
PM04	u	preop	7	15,144	20,796	17,554	17,657	2,664	2,023	1,980	4,251
PM04	u	postop	7	17,792	23,711	22,564	21,820	0,341	0,312	2,136	0,166
PM04	y	preop	7	15,076	20,610	19,563	18,703	2,522	1,339	2,544	0,482
PM04	y	postop	7	21,969	27,783	23,155	23,962	2,126	1,609	2,032	1,068
PM05	E/	preop	7	21,514	27,540	24,715	25,196	2,208	2,800	2,043	0,706
PM05	E/	postop	7	16,651	28,268	23,235	23,668	4,606	4,276	4,019	2,745
PM05	O/	preop	7	20,134	23,765	22,126	22,265	0,890	0,724	1,150	0,109
PM05	O/	postop	7	16,662	24,674	18,843	20,054	3,839	2,217	3,012	0,904
PM05	a	preop	7	17,449	33,131	29,781	28,754	2,231	1,775	4,849	0,578
PM05	a	postop	7	30,157	37,914	32,391	32,992	2,018	1,887	2,508	0,260
PM05	i	preop	7	13,818	35,836	16,432	19,740	6,292	3,875	7,715	0,069
PM05	i	postop	7	13,059	22,187	16,117	17,403	6,256	3,277	3,967	1,425
PM05	u	preop	7	15,271	19,802	17,043	17,312	1,937	1,571	1,563	0,434
PM05	u	postop	7	14,618	25,186	20,696	20,164	5,044	3,915	4,044	1,834
PM05	y	preop	7	17,387	25,535	18,916	19,931	1,948	1,303	2,561	NA
PM05	y	postop	7	18,257	24,756	22,173	21,580	2,124	2,550	2,091	4,481

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	7	23,471	26,174	24,793	25,106	1,308	1,489	0,990	0,203
PM02	E/	postop	7	22,435	25,814	24,699	24,408	1,557	1,013	1,221	0,637
PM02	O/	preop	7	23,557	26,852	25,638	25,468	1,723	1,395	1,251	0,339
PM02	O/	postop	7	22,930	26,621	25,413	25,025	1,050	0,536	1,207	1,445
PM02	a	preop	7	26,337	31,962	29,925	29,404	3,714	2,393	2,281	0,221
PM02	a	postop	7	22,699	28,248	25,716	25,588	3,022	2,206	1,774	0,132
PM02	i	preop	7	22,456	25,353	23,874	23,860	1,311	1,649	1,077	2,596
PM02	i	postop	7	19,741	23,645	22,645	22,521	1,166	0,611	1,161	0,296
PM02	u	preop	7	22,314	25,768	23,824	23,900	1,227	1,101	1,153	1,051
PM02	u	postop	7	21,764	23,962	22,803	22,919	0,562	0,650	0,680	0,883
PM02	y	preop	7	22,933	25,049	24,285	24,143	1,126	1,081	0,814	1,067
PM02	y	postop	7	21,644	24,483	22,708	22,629	1,077	1,012	0,991	1,975
PM03	E/	preop	7	25,067	27,587	26,129	26,061	1,360	1,366	0,977	0,095
PM03	E/	postop	7	23,980	29,683	26,843	26,704	2,082	2,005	1,912	1,126
PM03	O/	preop	7	23,696	26,235	25,556	25,324	0,591	0,408	0,816	0,050
PM03	O/	postop	7	23,891	26,702	25,790	25,584	1,126	0,679	0,968	0,966
PM03	a	preop	7	26,843	30,290	28,810	28,651	2,022	2,040	1,350	0,946
PM03	a	postop	7	23,897	27,839	26,093	26,087	0,469	0,202	1,174	7,179
PM03	i	preop	7	24,382	27,534	26,448	26,071	1,273	0,839	1,100	0,252
PM03	i	postop	7	22,643	26,129	23,437	23,686	0,222	0,159	1,119	0,368
PM03	u	preop	7	24,203	26,677	24,789	25,222	1,216	0,569	0,975	0,576
PM03	u	postop	7	22,423	24,265	23,002	23,162	0,621	0,401	0,640	0,630
PM03	y	preop	7	23,396	26,997	24,582	24,904	0,739	0,468	1,119	0,398
PM03	y	postop	7	22,299	23,949	23,437	23,328	0,476	0,397	0,539	0,238
PM04	E/	preop	7	24,704	27,585	25,469	25,774	0,664	0,429	0,924	0,739
PM04	E/	postop	7	23,271	24,670	23,919	24,001	0,494	0,379	0,465	0,341
PM04	O/	preop	7	25,062	28,659	26,296	26,291	1,540	0,905	1,147	0,239
PM04	O/	postop	7	23,392	25,211	24,290	24,264	1,155	0,802	0,709	1,010
PM04	a	preop	7	25,412	28,233	27,475	27,057	1,265	0,844	1,030	0,994
PM04	a	postop	7	23,989	26,844	25,903	25,639	1,796	1,394	1,117	0,924
PM04	i	preop	7	23,447	30,209	24,198	24,750	0,606	0,376	1,800	0,094
PM04	i	postop	7	22,456	25,181	23,597	23,749	0,990	0,815	0,893	0,513
PM04	u	preop	7	24,508	25,733	25,502	25,254	0,716	0,343	0,497	0,218
PM04	u	postop	7	22,474	24,175	23,586	23,433	0,762	0,874	0,631	0,096
PM04	y	preop	7	23,911	25,657	24,652	24,718	0,897	0,777	0,760	1,088
PM04	y	postop	7	23,166	25,691	24,016	24,250	0,794	0,369	0,835	0,371
PM05	E/	preop	7	25,163	26,955	26,631	26,275	1,068	0,480	0,751	0,234
PM05	E/	postop	7	23,268	25,716	24,502	24,558	1,153	1,066	0,884	0,492
PM05	O/	preop	7	25,386	27,354	26,700	26,596	0,391	0,350	0,617	0,162
PM05	O/	postop	7	22,976	25,207	24,215	24,204	0,643	0,420	0,702	0,843
PM05	a	preop	7	24,249	31,545	30,188	29,408	1,927	1,598	2,381	1,099
PM05	a	postop	7	25,639	29,833	26,506	26,921	1,090	1,284	1,436	0,229
PM05	i	preop	7	24,279	26,368	25,403	25,332	1,109	1,279	0,827	1,186
PM05	i	postop	7	23,221	23,842	23,478	23,527	0,404	0,320	0,263	0,640
PM05	u	preop	7	23,675	25,924	25,165	24,998	1,272	1,055	0,851	0,519
PM05	u	postop	7	22,778	23,686	23,237	23,254	0,173	0,123	0,279	0,985
PM05	y	preop	7	23,959	27,656	24,846	25,140	0,720	0,666	1,116	NA
PM05	y	postop	7	21,844	24,000	23,035	22,952	0,716	0,509	0,700	0,716

Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	84	22,823	55,724	33,385	35,874	8,689	5,509	8,135	0,822
MT02	témoin	84	26,147	59,595	41,802	43,241	13,210	8,904	8,626	0,899
MT03	témoin	84	20,312	45,858	31,602	31,969	9,019	6,840	5,797	0,633
MT04	témoin	84	14,146	43,238	26,163	26,461	10,964	8,488	7,841	0,855
MT05	témoin	84	2,300	24,896	12,563	13,639	6,965	4,746	5,343	0,583
MT06	témoin	84	18,440	46,326	27,936	29,430	9,045	5,915	6,506	0,710
MT07	témoin	84	10,708	42,301	22,338	23,702	9,291	6,387	7,888	0,861
MT08	témoin	84	15,158	42,748	27,106	28,048	7,743	5,355	6,291	0,686
PM02	preop	84	6,341	37,151	17,660	19,195	8,991	6,390	7,831	0,854
PM02	postop	84	8,961	41,820	24,728	25,482	12,263	8,930	8,381	0,874
PM03	preop	84	6,210	34,615	14,839	16,623	9,256	6,186	7,082	0,773
PM03	postop	84	10,914	37,042	19,109	20,972	10,678	7,182	6,902	0,753
PM04	preop	84	10,952	36,885	19,512	20,805	6,590	4,732	5,760	0,601
PM04	postop	84	17,792	41,183	25,301	26,697	5,578	3,864	5,571	0,591
PM05	preop	84	13,332	35,836	21,409	22,206	7,738	5,787	5,646	0,602
PM05	postop	84	11,786	37,914	22,173	22,820	7,313	5,736	6,157	0,676

Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	84	21,471	33,164	24,564	25,370	1,705	1,217	2,567	0,259
MT02	témoin	84	21,815	35,312	26,395	27,050	3,904	2,800	3,045	0,318
MT03	témoin	84	22,120	31,232	25,448	25,545	2,030	1,522	1,502	0,164
MT04	témoin	84	22,010	31,898	24,934	25,531	2,225	1,528	2,267	0,247
MT05	témoin	84	22,482	28,139	24,083	24,302	1,332	1,013	1,095	0,120
MT06	témoin	84	22,418	30,270	24,645	24,874	1,778	1,158	1,443	0,157
MT07	témoin	84	21,872	34,701	24,896	25,485	2,707	2,007	2,879	0,314
MT08	témoin	84	22,223	28,120	24,434	24,642	1,578	1,020	1,255	0,137
PM02	preop	84	22,120	32,241	24,571	25,285	2,463	1,467	2,341	0,255
PM02	postop	84	19,741	28,248	23,451	23,840	2,553	1,793	1,705	0,178
PM03	preop	84	23,396	32,984	26,130	26,626	2,194	1,565	1,994	0,218
PM03	postop	84	22,299	30,794	25,054	25,260	3,144	2,306	1,943	0,212
PM04	preop	84	22,588	30,209	25,895	25,990	1,896	1,421	1,461	0,152
PM04	postop	84	20,204	27,709	24,670	24,768	1,709	1,271	1,323	0,140
PM05	preop	84	23,142	33,019	25,915	26,392	1,544	1,191	2,033	0,217
PM05	postop	84	21,413	29,833	23,942	24,333	1,881	1,083	1,682	0,185

Annexe 21 : Résultats statistiques acoustiques pour les consonnes nasales

Spectre moyen total (en A) et nasal (en B) pour les consonnes nasales chez les locuteurs sains

A

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	m	6	23,355	35,623	28,753	29,844	7,933	5,918	4,336	1,202
MT01	n	6	22,615	37,662	29,773	29,952	4,492	3,780	3,866	1,072
MT02	m	6	23,365	32,224	29,986	28,516	3,428	3,317	3,042	1,150
MT02	n	6	25,803	30,274	29,654	28,998	0,974	0,920	1,507	0,570
MT03	m	6	24,061	33,837	29,894	29,131	5,902	4,466	3,945	1,611
MT03	n	6	24,022	33,528	27,190	28,522	5,089	3,072	3,850	1,572
MT04	m	6	18,936	24,425	21,191	21,433	2,265	1,944	1,973	0,805
MT04	n	6	15,736	25,667	23,271	22,385	3,502	3,335	3,690	1,506
MT05	m	6	6,609	14,150	9,228	10,054	5,548	3,430	3,321	1,356
MT05	n	6	4,546	13,389	11,183	10,257	4,174	2,992	3,423	1,398
MT06	m	6	17,385	26,089	23,618	22,822	3,699	3,055	3,246	1,325
MT06	n	6	19,830	28,994	26,778	26,091	3,090	2,595	3,418	1,395
MT07	m	6	16,354	20,290	18,846	18,506	1,965	1,031	1,474	0,557
MT07	n	6	14,136	18,818	17,747	16,872	2,468	0,997	1,928	0,787
MT08	m	6	21,078	23,798	22,012	22,205	1,972	1,369	1,206	0,493
MT08	n	6	17,859	27,321	20,698	21,993	5,559	3,298	3,898	1,591

B

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	m	6	25,179	28,931	26,394	26,484	1,510	1,169	1,057	0,293
MT01	n	6	25,153	28,714	26,721	26,671	1,319	0,781	1,101	0,305
MT02	m	6	24,008	30,343	27,393	27,787	2,437	2,991	2,144	0,810
MT02	n	6	26,116	30,848	28,913	28,753	2,553	1,903	1,894	0,716
MT03	m	6	24,840	30,502	29,308	28,476	2,925	1,655	2,279	0,930
MT03	n	6	27,351	29,954	28,796	28,759	2,117	1,645	1,227	0,501
MT04	m	6	25,875	33,377	28,497	29,504	3,827	2,427	2,991	1,221
MT04	n	6	28,586	33,369	31,700	31,417	2,638	2,329	1,876	0,766
MT05	m	6	28,057	36,734	30,517	31,188	1,637	1,546	2,975	1,215
MT05	n	6	27,677	31,253	30,628	30,089	1,252	0,723	1,348	0,550
MT06	m	6	28,777	33,073	30,535	30,609	1,791	1,607	1,557	0,636
MT06	n	6	30,626	34,289	32,941	32,611	2,051	1,625	1,462	0,597
MT07	m	6	26,927	28,983	28,434	28,066	0,838	0,814	0,705	0,267
MT07	n	6	27,007	30,552	28,092	28,245	0,980	0,911	1,263	0,516
MT08	m	6	27,632	36,690	29,344	30,282	2,673	2,102	3,407	1,391
MT08	n	6	27,220	30,667	29,306	29,269	1,435	1,301	1,263	0,516

Spectre moyen total (en A) et nasal (en B) pour les consonnes nasales chez les locuteurs sains

A

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	m	preop	6	17,628	23,496	21,911	21,020	2,978	1,597	2,320	0,947
PM02	m	postop	6	20,547	32,372	25,783	27,208	6,222	4,661	4,246	1,501
PM02	n	preop	6	16,988	22,337	20,410	20,191	2,731	2,135	2,093	0,855
PM02	n	postop	6	20,574	30,999	27,469	27,208	3,781	4,467	3,699	1,398
PM03	m	preop	6	9,352	14,341	12,346	12,309	1,838	1,618	1,786	0,729
PM03	m	postop	6	11,347	18,543	17,912	16,925	1,025	0,874	2,775	1,133
PM03	n	preop	6	7,430	14,528	9,749	10,061	2,403	2,498	2,469	0,823
PM03	n	postop	6	11,678	19,767	14,644	15,315	5,805	4,184	3,504	1,430
PM04	m	preop	6	17,396	24,496	20,714	20,651	3,395	2,447	2,232	0,706
PM04	m	postop	6	16,217	23,248	21,542	21,032	0,045	0,043	2,216	0,837
PM04	n	preop	6	16,387	22,204	18,835	18,828	1,131	1,298	1,545	0,489
PM04	n	postop	6	14,642	24,859	21,745	20,265	6,513	3,692	4,386	1,791
PM05	m	preop	6	27,101	33,618	29,160	29,766	1,594	0,894	2,071	0,732
PM05	m	postop	6	16,099	25,766	17,358	18,415	1,094	1,361	3,337	1,261
PM05	n	preop	6	29,579	39,048	30,830	32,572	3,377	1,427	4,392	2,196
PM05	n	postop	6	12,877	24,482	16,999	18,445	7,033	4,384	4,800	1,960

B

locuteur	son	preop.ou.postop	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	m	preop	6	27,668	30,384	29,693	29,283	1,678	0,899	1,147	0,468
PM02	m	postop	6	25,031	28,400	26,714	26,868	2,563	2,298	1,397	0,494
PM02	n	preop	6	28,094	31,852	29,797	29,698	1,499	1,417	1,369	0,559
PM02	n	postop	6	25,431	30,270	27,987	27,863	1,018	0,859	1,513	0,572
PM03	m	preop	6	27,619	29,368	28,839	28,717	0,663	0,635	0,641	0,261
PM03	m	postop	6	23,833	28,412	26,910	26,789	0,873	0,849	1,591	0,649
PM03	n	preop	6	25,826	30,489	27,187	27,486	1,031	0,942	1,542	0,514
PM03	n	postop	6	26,514	27,908	27,185	27,186	0,881	0,792	0,565	0,231
PM04	m	preop	6	28,782	32,548	30,376	30,204	1,942	1,138	1,235	0,391
PM04	m	postop	6	27,425	30,151	28,845	28,849	1,031	1,001	0,938	0,355
PM04	n	preop	6	27,792	30,470	29,011	29,050	1,985	1,699	1,070	0,338
PM04	n	postop	6	26,761	32,010	29,817	29,515	2,842	2,534	2,025	0,827
PM05	m	preop	6	27,943	31,031	29,107	29,403	0,927	0,720	0,959	0,339
PM05	m	postop	6	25,494	29,602	26,588	27,069	1,495	1,146	1,453	0,549
PM05	n	preop	6	28,356	30,521	29,422	29,430	2,057	1,539	1,209	0,604
PM05	n	postop	6	25,980	30,512	28,525	28,362	3,961	2,918	2,184	0,891

Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	12	22,615	37,662	29,627	29,898	6,567	5,139	4,025	0,789
MT02	témoin	12	23,365	32,224	29,727	28,757	2,269	1,018	2,320	0,620
MT03	témoin	12	24,022	33,837	27,790	28,827	6,287	5,453	3,730	1,077
MT04	témoin	12	15,736	25,667	22,264	21,909	3,276	2,829	2,864	0,827
MT05	témoin	12	4,546	14,150	10,163	10,156	5,196	4,295	3,217	0,929
MT06	témoin	12	17,385	28,994	25,302	24,456	4,232	3,712	3,608	1,041
MT07	témoin	12	14,136	20,290	18,021	17,752	2,107	1,901	1,832	0,508
MT08	témoin	12	17,859	27,321	21,181	22,099	2,522	2,691	2,753	0,795
PM02	preop	12	16,988	23,496	21,592	20,606	3,257	2,070	2,151	0,621
PM02	postop	12	20,547	32,372	27,469	27,208	6,034	4,467	3,857	0,996
PM03	preop	12	7,430	14,528	10,467	10,960	3,690	3,380	2,434	0,628
PM03	postop	12	11,347	19,767	17,479	16,120	5,119	2,801	3,128	0,903
PM04	preop	12	16,387	24,496	19,054	19,740	3,353	1,641	2,089	0,467
PM04	postop	12	14,642	24,859	21,571	20,678	0,306	0,385	3,260	0,904
PM05	preop	12	27,101	39,048	29,674	30,002	2,662	1,484	3,146	0,908
PM05	postop	12	12,877	25,766	17,358	18,428	2,294	1,805	3,894	1,080

Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les consonnes nasales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	12	25,153	28,931	26,411	26,577	1,360	1,030	1,062	0,208
MT02	témoin	12	24,008	30,848	28,913	28,270	2,956	2,187	2,007	0,536
MT03	témoin	12	24,840	30,502	29,308	28,617	2,315	1,655	1,751	0,506
MT04	témoin	12	25,875	33,377	30,598	30,461	4,489	3,304	2,582	0,745
MT05	témoin	12	27,677	36,734	30,598	30,639	1,498	1,219	2,276	0,657
MT06	témoin	12	28,777	34,289	31,268	31,610	2,492	2,481	1,780	0,514
MT07	témoin	12	26,927	30,552	28,209	28,149	0,886	0,821	0,960	0,266
MT08	témoin	12	27,220	36,690	29,306	29,775	2,324	1,846	2,506	0,723
PM02	preop	12	27,668	31,852	29,731	29,491	1,931	0,892	1,224	0,353
PM02	postop	12	25,031	30,270	27,987	27,332	2,054	1,889	1,490	0,385
PM03	preop	12	25,826	30,489	27,823	27,978	2,013	1,529	1,377	0,355
PM03	postop	12	23,833	28,412	26,981	26,988	1,020	0,615	1,157	0,334
PM04	preop	12	27,792	32,548	29,409	29,627	1,730	1,445	1,271	0,284
PM04	postop	12	26,761	32,010	29,261	29,156	2,267	1,650	1,506	0,418
PM05	preop	12	27,943	31,031	29,107	29,412	1,636	1,072	0,992	0,286
PM05	postop	12	25,494	30,512	27,004	27,666	3,448	1,763	1,869	0,518

Annexe 22 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles nasales

Spectre moyen total (en A) et nasal (en B) pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains, n=276

A

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	12	37,795	47,553	43,686	43,430	2,848	2,427	2,761	0,797
MT01	a~	12	35,905	43,483	39,885	40,101	2,606	2,036	2,187	0,631
MT01	o~	12	29,382	37,750	33,813	34,139	2,481	2,092	2,457	0,709
MT02	U~/	12	48,183	55,503	52,755	52,123	3,283	2,696	2,299	0,664
MT02	a~	12	36,846	49,341	43,782	43,538	3,920	3,081	3,505	1,012
MT02	o~	10	28,957	36,750	34,784	33,870	3,652	2,831	2,628	0,831
MT03	U~/	12	36,564	48,282	41,056	41,267	2,307	1,818	3,241	0,936
MT03	a~	12	31,523	40,059	37,697	37,411	2,428	1,718	2,533	0,731
MT03	o~	12	27,269	34,736	32,315	32,079	1,050	1,226	2,090	0,603
MT04	U~/	12	27,107	38,552	34,832	34,383	4,089	3,091	3,403	0,982
MT04	a~	12	25,715	31,350	27,592	28,004	2,828	2,522	1,847	0,533
MT04	o~	12	18,387	25,642	23,570	22,842	3,522	2,845	2,433	0,702
MT05	U~/	12	16,017	28,034	22,709	23,043	3,782	3,144	3,175	0,917
MT05	a~	12	16,836	25,968	20,574	20,384	2,714	1,690	2,711	0,783
MT05	o~	12	8,648	16,621	15,178	14,122	2,757	1,908	2,401	0,693
MT06	U~/	12	29,510	39,931	34,263	34,884	2,476	1,352	3,323	0,959
MT06	a~	10	23,355	33,050	28,208	28,291	6,019	4,888	3,527	1,115
MT06	o~	12	17,611	28,111	23,494	23,572	4,639	4,351	3,304	0,954
MT07	U~/	12	22,745	32,686	27,787	28,276	6,473	3,668	3,446	0,995
MT07	a~	12	21,019	28,098	25,233	25,340	2,557	1,698	1,994	0,576
MT07	o~	12	15,311	23,554	18,665	18,849	1,924	1,972	2,302	0,664
MT08	U~/	6	28,507	38,093	33,916	33,788	5,639	4,952	3,800	1,551
MT08	a~	10	20,405	31,351	28,202	26,911	4,897	3,888	3,589	1,135
MT08	o~	12	22,087	28,069	24,215	24,553	3,333	2,307	2,058	0,594

B

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	12	27,638	31,508	29,282	29,405	1,538	1,048	1,163	0,336
MT01	a~	12	27,357	30,135	28,413	28,627	1,148	0,768	0,805	0,232
MT01	o~	12	27,454	30,443	28,565	28,622	0,985	0,803	0,836	0,241
MT02	U~/	12	31,383	36,179	33,546	33,552	1,663	1,256	1,288	0,372
MT02	a~	12	28,876	33,520	30,379	30,686	1,449	1,230	1,243	0,359
MT02	o~	10	26,614	30,983	29,248	29,083	2,382	2,078	1,582	0,500
MT03	U~/	12	28,175	35,165	31,471	31,448	1,355	0,996	1,754	0,506
MT03	a~	12	28,505	31,188	30,354	30,143	0,883	0,686	0,907	0,262
MT03	o~	12	27,830	30,766	29,032	29,088	0,992	0,853	0,836	0,241
MT04	U~/	12	28,515	34,600	32,472	32,065	2,603	1,672	2,113	0,610
MT04	a~	12	27,677	30,913	29,165	29,136	1,895	1,509	1,110	0,320
MT04	o~	12	25,939	29,579	28,282	28,123	1,389	1,245	1,107	0,320
MT05	U~/	12	24,687	33,544	29,964	30,262	2,105	1,254	2,310	0,667
MT05	a~	12	27,637	32,422	30,801	30,651	1,088	1,116	1,335	0,385
MT05	o~	12	26,425	32,693	30,809	30,480	1,118	0,880	1,607	0,464
MT06	U~/	12	29,547	36,035	32,365	32,494	1,737	1,539	1,985	0,573
MT06	a~	10	28,360	33,835	30,612	30,805	2,104	1,824	1,749	0,553
MT06	o~	12	28,102	34,243	32,039	31,727	3,283	2,466	2,255	0,651
MT07	U~/	12	28,257	33,482	31,005	31,007	2,118	1,521	1,568	0,453
MT07	a~	12	27,454	31,036	30,295	29,620	1,636	0,887	1,260	0,364
MT07	o~	12	25,868	29,595	27,762	27,930	1,742	1,201	1,183	0,341
MT08	U~/	6	28,296	33,312	30,216	30,568	2,137	2,079	1,839	0,751
MT08	a~	10	27,833	31,758	28,824	29,080	1,148	0,961	1,288	0,407
MT08	o~	12	27,605	32,683	30,141	29,941	2,548	1,534	1,558	0,450

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les locuteurs sains en position initiale V1 et en position finale V2

V1-Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	40,492	45,923	44,467	43,962	1,681	1,452	1,939	0,792
MT01	a~	6	38,928	41,675	39,658	39,824	0,688	0,575	0,987	0,403
MT01	o~	6	33,318	37,750	35,990	35,668	2,750	2,187	1,802	0,736
MT02	U~/	6	52,700	55,503	53,129	53,759	1,984	0,555	1,289	0,526
MT02	a~	6	43,648	49,341	45,670	46,098	3,457	2,799	2,316	0,946
MT02	o~	5	34,425	36,638	35,344	35,505	0,829	0,933	0,840	0,376
MT03	U~/	6	36,826	44,173	41,056	40,738	1,310	1,203	2,396	0,978
MT03	a~	6	31,523	39,807	37,308	36,794	0,978	0,947	2,792	1,140
MT03	o~	6	27,269	32,330	31,534	30,737	2,476	1,158	2,042	0,834
MT04	U~/	6	33,327	38,552	34,832	35,305	1,698	1,561	1,859	0,759
MT04	a~	6	25,800	31,350	28,151	28,282	3,568	3,170	2,274	0,928
MT04	o~	6	18,387	24,757	20,956	21,352	2,864	2,489	2,339	0,955
MT05	U~/	6	21,494	28,034	24,231	24,404	3,446	2,861	2,516	1,027
MT05	a~	6	16,836	21,773	20,191	19,486	3,353	1,745	2,135	0,872
MT05	o~	6	12,530	16,388	15,470	14,814	2,139	0,960	1,577	0,644
MT06	U~/	6	29,510	35,327	34,232	33,074	3,595	1,303	2,525	1,031
MT06	a~	5	25,387	31,635	27,346	27,887	3,076	2,558	2,528	1,131
MT06	o~	6	17,611	28,111	22,413	22,962	5,195	5,080	4,002	1,634
MT07	U~/	6	25,203	32,556	30,587	30,008	3,108	2,331	2,839	1,159
MT07	a~	6	23,966	28,098	27,061	26,395	2,689	1,280	1,772	0,723
MT07	o~	6	15,311	23,554	18,927	19,590	2,928	2,855	2,956	1,207
MT08	U~/	3	32,659	38,093	37,489	36,080	2,717	0,895	2,979	1,720
MT08	a~	5	28,610	31,351	29,794	29,759	1,554	1,557	1,138	0,509
MT08	o~	6	23,042	28,069	26,531	25,963	2,386	1,647	1,909	0,779

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	28,546	31,508	29,282	29,460	0,805	0,681	1,089	0,444
MT01	a~	6	27,357	29,546	28,632	28,583	0,955	0,850	0,797	0,326
MT01	o~	6	27,537	30,443	28,737	28,810	0,546	0,433	0,958	0,391
MT02	U~/	6	32,791	36,179	34,073	34,181	1,074	0,877	1,184	0,483
MT02	a~	6	30,248	33,520	31,332	31,428	0,952	0,825	1,164	0,475
MT02	o~	5	26,614	30,956	29,768	29,461	1,271	1,262	1,717	0,768
MT03	U~/	6	30,012	33,534	31,692	31,682	0,416	0,373	1,130	0,461
MT03	a~	6	28,817	31,188	30,258	30,019	1,355	1,008	0,960	0,392
MT03	o~	6	28,288	30,766	29,607	29,576	0,689	0,612	0,831	0,339
MT04	U~/	6	31,379	34,600	32,798	32,925	0,960	0,798	1,096	0,447
MT04	a~	6	27,677	30,913	28,871	29,141	1,798	1,377	1,270	0,518
MT04	o~	6	26,777	29,132	27,913	27,969	1,245	1,003	0,909	0,371
MT05	U~/	6	29,205	33,544	31,758	31,490	2,907	2,347	1,814	0,741
MT05	a~	6	29,355	31,930	30,718	30,533	1,093	1,062	0,960	0,392
MT05	o~	6	29,526	32,693	31,048	31,120	1,746	1,594	1,224	0,500
MT06	U~/	6	29,547	33,486	31,811	31,613	2,281	2,048	1,552	0,634
MT06	a~	5	28,360	32,552	30,049	30,120	2,534	2,221	1,761	0,788
MT06	o~	6	30,146	34,025	30,689	31,592	2,392	0,609	1,734	0,708
MT07	U~/	6	30,058	33,075	31,503	31,534	1,075	0,833	1,060	0,433
MT07	a~	6	29,163	31,036	30,443	30,359	0,373	0,322	0,644	0,263
MT07	o~	6	26,938	29,560	27,251	27,796	1,417	0,443	1,111	0,453
MT08	U~/	3	30,282	33,312	32,086	31,893	1,515	1,818	1,524	0,880
MT08	a~	5	28,443	31,758	29,324	29,892	1,646	1,307	1,348	0,603
MT08	o~	6	29,764	32,683	31,081	31,037	0,638	0,602	0,977	0,399

V2-Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	37,795	47,553	43,187	42,898	4,005	3,889	3,512	1,434
MT01	a~	6	35,905	43,483	41,017	40,377	4,505	3,446	3,060	1,249
MT01	o~	6	29,382	34,857	33,442	32,611	2,446	1,350	2,103	0,859
MT02	U~/	6	48,183	53,614	49,984	50,486	1,616	1,423	1,881	0,768
MT02	a~	6	36,846	43,999	41,431	40,977	1,946	1,746	2,436	0,994
MT02	o~	5	28,957	36,750	32,112	32,235	1,287	1,598	2,855	1,277
MT03	U~/	6	36,564	48,282	40,810	41,797	3,841	3,477	4,086	1,668
MT03	a~	6	33,887	40,059	38,806	38,029	2,330	1,641	2,326	0,950
MT03	o~	6	32,253	34,736	33,142	33,422	1,663	1,013	1,056	0,431
MT04	U~/	6	27,107	38,132	33,974	33,461	6,261	4,783	4,470	1,825
MT04	a~	6	25,715	29,404	27,538	27,727	2,081	1,921	1,465	0,598
MT04	o~	6	21,569	25,642	24,680	24,332	1,219	1,151	1,490	0,608
MT05	U~/	6	16,017	25,522	21,954	21,682	3,341	3,144	3,377	1,379
MT05	a~	6	16,868	25,968	20,884	21,282	2,841	2,500	3,110	1,270
MT05	o~	6	8,648	16,621	14,492	13,430	3,497	2,153	3,008	1,228
MT06	U~/	6	33,503	39,931	36,556	36,694	5,650	4,255	3,171	1,295
MT06	a~	5	23,355	33,050	31,399	28,695	7,551	2,447	4,604	2,059
MT06	o~	6	19,754	26,464	25,079	24,181	3,365	2,002	2,666	1,089
MT07	U~/	6	22,745	32,686	25,911	26,544	0,985	0,865	3,296	1,346
MT07	a~	6	21,019	25,687	24,609	24,286	1,166	1,016	1,714	0,700
MT07	o~	6	16,736	20,162	17,768	18,109	1,452	1,141	1,267	0,517
MT08	U~/	3	28,507	35,173	30,809	31,496	3,333	3,412	3,386	1,955
MT08	a~	5	20,405	27,793	24,614	24,062	1,890	2,684	2,720	1,216
MT08	o~	6	22,087	24,518	22,914	23,143	1,253	1,004	0,947	0,387

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	U~/	6	27,638	30,893	29,284	29,349	2,058	1,700	1,335	0,545
MT01	a~	6	27,785	30,135	28,321	28,671	0,943	0,541	0,886	0,362
MT01	o~	6	27,454	29,297	28,354	28,435	1,069	0,931	0,732	0,299
MT02	U~/	6	31,383	34,441	33,048	32,923	1,491	1,325	1,141	0,466
MT02	a~	6	28,876	31,374	29,848	29,944	0,660	0,529	0,848	0,346
MT02	o~	5	26,937	30,983	28,646	28,706	1,331	1,230	1,525	0,682
MT03	U~/	6	28,175	35,165	30,896	31,214	1,464	1,307	2,315	0,945
MT03	a~	6	28,505	31,053	30,453	30,267	0,592	0,562	0,923	0,377
MT03	o~	6	27,830	29,308	28,692	28,599	0,550	0,513	0,522	0,213
MT04	U~/	6	28,515	34,455	31,014	31,204	4,456	3,649	2,616	1,068
MT04	a~	6	27,844	30,528	29,165	29,131	1,507	1,415	1,048	0,428
MT04	o~	6	25,939	29,579	28,439	28,278	1,412	1,273	1,347	0,550
MT05	U~/	6	24,687	30,768	29,843	29,034	0,732	0,675	2,197	0,897
MT05	a~	6	27,637	32,422	30,959	30,768	1,396	1,324	1,722	0,703
MT05	o~	6	26,425	31,021	30,731	29,840	1,230	0,304	1,789	0,730
MT06	U~/	6	31,007	36,035	32,459	33,374	2,731	1,160	2,097	0,856
MT06	a~	5	29,965	33,835	30,927	31,490	2,129	1,427	1,616	0,723
MT06	o~	6	28,102	34,243	33,393	31,861	4,087	0,886	2,853	1,165
MT07	U~/	6	28,257	33,482	30,035	30,481	2,121	1,760	1,903	0,777
MT07	a~	6	27,454	30,460	28,641	28,882	2,219	1,488	1,331	0,543
MT07	o~	6	25,868	29,595	28,323	28,064	1,427	1,352	1,342	0,548
MT08	U~/	3	28,296	30,149	29,281	29,242	0,927	1,288	0,927	0,535
MT08	a~	5	27,833	28,916	28,028	28,269	0,899	0,290	0,518	0,231
MT08	o~	6	27,605	30,776	28,444	28,846	1,527	1,006	1,228	0,501

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 et en position finale V2

V1-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	12	24,507	39,984	31,066	31,373	5,823	4,702	4,715	1,361
PM02	U~/	postop	12	30,888	42,858	36,688	36,899	3,038	2,864	3,237	0,809
PM02	a~	preop	12	20,366	33,718	23,003	25,021	6,197	2,348	4,512	1,302
PM02	a~	postop	12	26,637	38,139	33,034	32,233	4,732	2,663	3,203	0,925
PM02	o~	preop	12	12,733	33,560	22,144	22,362	5,672	5,694	5,603	1,617
PM02	o~	postop	12	20,691	35,433	30,815	29,903	2,977	1,970	3,823	1,103
PM03	U~/	preop	12	13,169	27,059	24,209	23,520	3,785	2,983	3,786	1,093
PM03	U~/	postop	12	27,807	37,078	32,294	32,582	2,856	2,580	2,468	0,712
PM03	a~	preop	12	11,604	22,678	18,836	18,307	2,020	1,476	3,166	0,914
PM03	a~	postop	12	15,540	25,312	18,819	19,769	3,677	2,260	3,147	0,909
PM03	o~	preop	12	10,108	17,684	13,898	13,669	3,948	2,870	2,489	0,718
PM03	o~	postop	12	12,819	21,094	14,732	15,526	2,829	1,814	2,400	0,693
PM04	U~/	preop	5	20,262	30,253	26,046	25,499	2,236	2,516	3,634	1,625
PM04	U~/	postop	12	25,427	32,794	28,510	28,649	2,411	2,223	2,189	0,632
PM04	a~	preop	10	19,712	27,223	23,355	23,423	3,741	3,156	2,529	0,800
PM04	a~	postop	12	21,980	28,632	25,204	25,539	2,433	2,160	1,977	0,571
PM04	o~	preop	12	16,306	24,948	20,461	20,432	1,253	1,108	2,518	0,630
PM04	o~	postop	12	18,533	24,292	21,134	21,216	2,019	1,926	1,791	0,517
PM05	U~/	preop	12	28,006	39,433	33,931	33,977	5,370	4,365	3,737	1,079
PM05	U~/	postop	12	23,809	38,787	28,200	29,331	5,675	4,527	4,411	1,273
PM05	a~	preop	11	29,066	38,999	32,124	33,178	3,582	1,825	3,256	0,982
PM05	a~	postop	12	23,776	28,218	24,738	25,509	2,480	1,034	1,572	0,454
PM05	o~	preop	12	28,319	37,983	34,005	33,694	2,143	1,775	2,338	0,675
PM05	o~	postop	12	15,930	24,261	21,085	20,426	2,839	1,933	2,393	0,691

V1- Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	12	28,849	39,028	31,554	32,414	3,860	2,835	3,269	0,944
PM02	U~/	postop	12	25,867	35,301	29,585	29,790	2,999	2,188	2,398	0,599
PM02	a~	preop	12	28,295	36,694	29,935	30,825	3,557	2,242	2,786	0,804
PM02	a~	postop	12	26,036	34,560	29,002	28,917	2,417	2,227	2,298	0,663
PM02	o~	preop	12	27,482	39,594	30,319	31,301	3,082	2,711	3,548	1,024
PM02	o~	postop	12	25,493	33,360	29,203	29,168	2,884	2,153	2,291	0,661
PM03	U~/	preop	12	25,195	32,651	30,921	30,475	2,058	1,626	2,125	0,613
PM03	U~/	postop	12	28,879	32,360	30,524	30,601	1,981	1,463	1,238	0,357
PM03	a~	preop	12	27,829	32,322	29,698	30,002	1,605	1,647	1,444	0,417
PM03	a~	postop	12	26,696	30,735	28,712	28,630	1,136	0,886	1,167	0,337
PM03	o~	preop	12	27,014	31,058	29,952	29,845	1,190	0,939	1,175	0,339
PM03	o~	postop	12	27,034	30,259	28,367	28,534	1,133	0,786	1,016	0,293
PM04	U~/	preop	5	25,714	33,472	30,344	29,839	3,184	3,116	2,981	1,333
PM04	U~/	postop	12	27,324	30,421	28,850	28,844	1,502	1,167	0,930	0,268
PM04	a~	preop	10	28,532	31,432	29,859	29,837	0,762	0,719	0,805	0,255
PM04	a~	postop	12	26,276	29,872	28,061	28,097	1,166	0,993	1,051	0,303
PM04	o~	preop	12	27,327	31,451	29,549	29,511	1,642	1,179	1,225	0,306
PM04	o~	postop	12	24,407	31,686	28,231	28,243	3,541	2,760	2,406	0,694
PM05	U~/	preop	12	28,373	34,317	31,880	31,721	2,044	2,025	1,898	0,548
PM05	U~/	postop	12	27,098	33,844	29,726	29,611	1,362	0,856	1,908	0,551
PM05	a~	preop	11	28,944	34,858	31,490	31,465	1,705	1,691	1,731	0,522
PM05	a~	postop	12	28,117	29,771	28,777	28,928	0,851	0,859	0,564	0,163
PM05	o~	preop	12	28,850	34,216	31,016	31,204	1,553	1,116	1,546	0,446
PM05	o~	postop	12	27,065	31,897	29,346	29,541	2,433	2,035	1,607	0,464

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles nasales [ɑ̃], [ɔ̃], [ɛ̃] chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 et en position finale V2

V1-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	28,982	34,077	31,066	31,218	2,413	1,907	1,921	0,784
PM02	U~/	postop	6	36,184	40,509	36,757	37,524	2,231	0,834	1,671	0,591
PM02	a~	preop	6	20,366	23,750	22,233	22,023	0,725	0,708	1,131	0,462
PM02	a~	postop	6	28,929	34,870	32,414	31,992	4,099	3,008	2,526	1,031
PM02	o~	preop	6	18,621	23,363	22,144	21,770	1,254	1,169	1,694	0,692
PM02	o~	postop	6	27,340	31,569	30,338	29,927	1,583	1,345	1,533	0,626
PM03	U~/	preop	6	23,559	27,059	25,728	25,499	2,220	1,745	1,434	0,585
PM03	U~/	postop	6	30,407	37,078	32,504	33,136	1,745	1,661	2,295	0,937
PM03	a~	preop	6	18,336	21,882	19,335	19,591	1,112	0,914	1,276	0,521
PM03	a~	postop	6	16,290	24,244	18,819	19,942	4,460	2,634	3,256	1,329
PM03	o~	preop	6	14,052	17,684	15,418	15,661	1,979	1,765	1,426	0,582
PM03	o~	postop	6	13,756	21,094	15,353	16,132	3,081	2,333	2,815	1,149
PM04	U~/	preop	3	26,046	30,253	26,585	27,628	2,104	0,800	2,289	1,322
PM04	U~/	postop	6	28,165	32,151	28,936	29,402	1,368	1,074	1,497	0,611
PM04	a~	preop	5	21,058	26,572	24,421	24,338	0,993	1,327	2,044	0,914
PM04	a~	postop	6	23,721	28,358	25,845	25,938	2,417	1,990	1,772	0,723
PM04	o~	preop	6	19,543	24,948	20,461	21,197	1,895	1,108	2,058	0,728
PM04	o~	postop	6	20,221	24,292	21,397	21,792	1,830	1,443	1,531	0,625
PM05	U~/	preop	6	33,802	39,433	36,599	36,529	4,215	3,427	2,493	1,018
PM05	U~/	postop	6	27,040	38,787	32,045	32,494	2,737	2,610	3,899	1,592
PM05	a~	preop	5	31,914	38,999	36,864	35,563	5,786	3,166	3,322	1,486
PM05	a~	postop	6	24,138	27,630	24,517	25,248	1,845	0,542	1,471	0,601
PM05	o~	preop	6	32,720	37,983	34,546	34,741	1,418	1,337	1,826	0,746
PM05	o~	postop	6	19,491	24,261	21,774	21,590	2,063	1,933	1,763	0,720

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	30,353	33,929	31,554	31,644	1,211	1,153	1,301	0,531
PM02	U~/	postop	6	28,438	32,031	29,378	29,769	1,096	0,907	1,340	0,474
PM02	a~	preop	6	28,536	31,235	28,931	29,519	1,660	0,479	1,182	0,483
PM02	a~	postop	6	26,783	29,474	28,432	28,276	1,995	1,499	1,179	0,481
PM02	o~	preop	6	28,166	31,824	30,319	30,228	0,924	0,762	1,230	0,502
PM02	o~	postop	6	26,603	30,814	28,636	28,819	1,592	1,567	1,508	0,615
PM03	U~/	preop	6	30,017	32,148	31,509	31,233	1,689	0,927	0,978	0,399
PM03	U~/	postop	6	29,502	32,360	30,910	30,859	1,878	1,657	1,179	0,481
PM03	a~	preop	6	29,437	32,322	30,906	30,928	2,061	1,935	1,239	0,506
PM03	a~	postop	6	26,743	29,786	28,948	28,649	1,058	0,933	1,097	0,448
PM03	o~	preop	6	29,619	31,058	30,800	30,552	0,658	0,298	0,569	0,232
PM03	o~	postop	6	27,460	30,216	28,367	28,473	0,586	0,540	0,948	0,387
PM04	U~/	preop	3	30,344	33,472	31,426	31,747	1,564	1,604	1,589	0,917
PM04	U~/	postop	6	28,163	30,421	29,307	29,265	1,125	0,884	0,860	0,351
PM04	a~	preop	5	29,422	30,575	30,085	30,007	0,291	0,376	0,423	0,189
PM04	a~	postop	6	27,278	29,872	28,593	28,660	1,453	1,203	1,019	0,416
PM04	o~	preop	8	28,445	31,451	30,590	30,277	1,391	1,082	1,021	0,361
PM04	o~	postop	6	28,957	31,686	30,084	30,310	1,234	1,049	1,014	0,414
PM05	U~/	preop	6	30,885	34,317	33,055	32,780	2,748	1,862	1,561	0,637
PM05	U~/	postop	6	27,336	33,844	29,913	30,328	2,053	1,858	2,240	0,915
PM05	a~	preop	5	31,124	34,858	32,991	32,709	1,594	2,225	1,486	0,665
PM05	a~	postop	6	28,477	29,771	29,118	29,116	0,729	0,585	0,510	0,208
PM05	o~	preop	6	30,205	34,216	31,949	32,052	1,955	1,642	1,501	0,613
PM05	o~	postop	6	27,293	31,897	30,406	30,126	2,262	1,921	1,767	0,722

V2- Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	24,507	39,984	30,394	31,527	10,875	7,602	6,720	2,743
PM02	U~/	postop	6	30,888	42,858	36,619	36,275	6,612	4,836	4,332	1,532
PM02	a~	preop	6	21,537	33,718	28,583	28,019	6,485	6,074	4,683	1,912
PM02	a~	postop	6	26,637	38,139	33,034	32,475	3,862	3,779	4,006	1,635
PM02	o~	preop	6	12,733	33,560	22,217	22,953	11,136	8,916	8,084	3,300
PM02	o~	postop	6	20,691	35,433	31,378	29,879	5,860	4,945	5,459	2,228
PM03	U~/	preop	6	13,169	26,170	22,326	21,541	2,524	2,406	4,482	1,830
PM03	U~/	postop	6	27,807	35,521	31,936	32,029	2,817	2,648	2,720	1,110
PM03	a~	preop	6	11,604	22,678	17,272	17,023	5,077	4,540	4,058	1,657
PM03	a~	postop	6	15,540	25,312	19,093	19,597	2,631	2,179	3,335	1,361
PM03	o~	preop	6	10,108	13,743	11,251	11,677	1,994	1,294	1,438	0,587
PM03	o~	postop	6	12,819	18,076	14,328	14,919	2,294	1,646	1,964	0,802
PM04	U~/	preop	2	20,262	24,349	22,306	22,306	2,043	3,029	2,890	2,043
PM04	U~/	postop	6	25,427	32,794	26,860	27,896	1,685	1,232	2,634	1,075
PM04	a~	preop	4	19,712	22,386	21,607	21,328	1,599	1,038	1,246	0,623
PM04	a~	postop	6	21,980	28,632	25,146	25,141	1,961	1,827	2,253	0,920
PM04	o~	preop	6	16,306	20,924	19,741	18,930	3,752	1,755	2,069	0,782
PM04	o~	postop	6	18,533	23,976	20,313	20,639	1,925	1,444	1,979	0,808
PM05	U~/	preop	6	28,006	36,276	31,036	31,425	3,287	2,928	2,979	1,216
PM05	U~/	postop	6	23,809	29,041	26,068	26,167	2,232	2,003	1,891	0,772
PM05	a~	preop	6	29,066	32,694	31,197	31,191	1,861	1,689	1,396	0,570
PM05	a~	postop	6	23,776	28,218	25,154	25,769	2,374	1,359	1,764	0,720
PM05	o~	preop	6	28,319	35,178	33,037	32,647	2,321	2,019	2,461	1,005
PM05	o~	postop	6	15,930	22,042	19,403	19,261	3,838	3,188	2,496	1,019

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	U~/	preop	6	28,849	39,028	32,460	33,185	7,618	5,343	4,516	1,844
PM02	U~/	postop	6	25,867	35,301	30,198	29,810	4,351	3,248	3,244	1,147
PM02	a~	preop	6	28,295	36,694	32,298	32,132	5,040	4,885	3,404	1,390
PM02	a~	postop	6	26,036	34,560	29,337	29,559	3,147	2,955	3,040	1,241
PM02	o~	preop	6	27,482	39,594	31,818	32,373	6,926	5,776	4,840	1,976
PM02	o~	postop	6	25,493	33,360	30,126	29,516	3,919	3,404	2,997	1,224
PM03	U~/	preop	6	25,195	32,651	30,229	29,718	3,194	2,941	2,756	1,125
PM03	U~/	postop	6	28,879	32,278	30,184	30,343	1,989	1,790	1,350	0,551
PM03	a~	preop	6	27,829	30,518	28,985	29,076	1,204	0,939	0,997	0,407
PM03	a~	postop	6	26,696	30,735	28,443	28,612	0,938	0,809	1,338	0,546
PM03	o~	preop	6	27,014	30,409	29,595	29,137	1,107	0,766	1,230	0,502
PM03	o~	postop	6	27,034	30,259	28,483	28,595	1,406	1,230	1,168	0,477
PM04	U~/	preop	2	25,714	28,242	26,978	26,978	1,264	1,874	1,788	1,264
PM04	U~/	postop	6	27,324	29,576	28,428	28,423	1,151	0,927	0,859	0,351
PM04	a~	preop	4	28,532	29,887	29,241	29,225	0,468	0,543	0,558	0,279
PM04	a~	postop	6	26,276	28,463	27,588	27,533	0,900	0,848	0,793	0,324
PM04	o~	preop	6	27,327	29,935	28,842	28,604	0,754	0,196	0,887	0,335
PM04	o~	postop	6	24,407	27,506	26,370	26,176	1,632	1,508	1,204	0,492
PM05	U~/	preop	6	28,373	32,428	30,772	30,663	2,628	2,287	1,672	0,683
PM05	U~/	postop	6	27,098	29,959	29,496	28,894	2,122	0,675	1,327	0,542
PM05	a~	preop	6	28,944	31,654	30,617	30,428	1,972	1,494	1,177	0,481
PM05	a~	postop	6	28,117	29,570	28,622	28,741	0,881	0,703	0,597	0,244
PM05	o~	preop	6	28,850	31,710	30,641	30,357	1,602	1,164	1,133	0,463
PM05	o~	postop	6	27,065	31,015	28,975	28,956	1,017	0,868	1,317	0,538

Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	36	29,382	47,553	39,658	39,223	7,380	5,368	4,581	0,764
MT02	témoin	34	28,957	55,503	43,958	43,724	13,494	10,769	7,926	1,359
MT03	témoin	36	27,269	48,282	37,058	36,919	7,202	4,933	4,614	0,769
MT04	témoin	36	18,387	38,552	27,374	28,410	7,063	4,915	5,430	0,905
MT05	témoin	36	8,648	28,034	20,029	19,183	6,456	5,226	4,656	0,776
MT06	témoin	34	17,611	39,931	28,591	28,952	9,081	7,000	5,845	1,002
MT07	témoin	36	15,311	32,686	24,660	24,155	6,986	4,840	4,754	0,792
MT08	témoin	28	20,405	38,093	27,141	27,374	6,131	4,640	4,631	0,875
PM02	preop	36	12,733	39,984	25,267	26,252	8,399	5,902	6,160	1,027
PM02	postop	36	20,691	42,858	33,438	33,401	5,776	4,410	4,500	0,711
PM03	preop	36	10,108	27,059	18,524	18,499	8,574	6,394	5,124	0,854
PM03	postop	36	12,819	37,078	19,426	22,626	14,707	7,717	7,804	1,301
PM04	preop	27	16,306	30,253	20,987	22,214	4,622	2,141	3,291	0,591
PM04	postop	36	18,533	32,794	25,204	25,135	6,262	4,603	3,647	0,608
PM05	preop	35	28,006	39,433	33,423	33,629	3,463	2,602	3,084	0,521
PM05	postop	36	15,930	38,787	24,662	25,088	5,394	3,982	4,730	0,788

Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles nasales confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	36	27,357	31,508	28,610	28,885	1,159	0,906	0,993	0,166
MT02	témoin	34	26,614	36,179	31,040	31,226	3,569	2,520	2,284	0,392
MT03	témoin	36	27,830	35,165	30,202	30,226	2,182	1,488	1,550	0,258
MT04	témoin	36	25,939	34,600	29,224	29,775	2,825	1,810	2,247	0,374
MT05	témoin	36	24,687	33,544	30,762	30,464	1,793	1,621	1,754	0,292
MT06	témoin	34	28,102	36,035	31,811	31,726	3,218	2,420	2,077	0,356
MT07	témoin	36	25,868	33,482	29,480	29,519	2,601	1,888	1,828	0,305
MT08	témoin	28	27,605	33,312	29,544	29,768	2,436	1,838	1,581	0,299
PM02	preop	36	27,482	39,594	30,714	31,513	3,993	2,754	3,196	0,533
PM02	postop	36	25,493	35,301	29,330	29,341	2,756	2,174	2,308	0,365
PM03	preop	36	25,195	32,651	30,092	30,107	1,569	1,184	1,607	0,268
PM03	postop	36	26,696	32,360	29,108	29,255	2,034	1,427	1,472	0,245
PM04	preop	27	25,714	33,472	29,728	29,669	1,617	1,314	1,469	0,264
PM04	postop	36	24,407	31,686	28,339	28,395	2,200	1,581	1,595	0,266
PM05	preop	35	28,373	34,858	31,362	31,464	2,099	1,581	1,693	0,286
PM05	postop	36	27,065	33,844	29,295	29,360	1,333	0,974	1,467	0,245

Annexe 23 : Résultats statistiques acoustiques pour les voyelles orales en contexte nasal

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles orales en contexte nasal chez les locuteurs sains en position initiale V1 et en position finale V2

V1- Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	41,479	44,430	42,955	42,955	1,476	2,188	2,087	1,476
MT01	O/	2	36,808	41,755	39,282	39,282	2,474	3,668	3,498	2,474
MT01	a	2	55,530	55,808	55,669	55,669	0,139	0,206	0,197	0,139
MT01	i	2	28,907	35,184	32,290	32,168	3,377	3,039	2,749	1,374
MT01	u	2	30,867	32,447	31,657	31,657	0,790	1,171	1,117	0,790
MT01	y	2	32,081	34,988	33,535	33,535	1,454	2,155	2,056	1,454
MT02	E/	2	44,934	48,675	46,805	46,805	1,870	2,773	2,645	1,870
MT02	O/	2	48,897	50,427	49,662	49,662	0,765	1,134	1,082	0,765
MT02	a	2	53,868	60,651	57,259	57,259	3,392	5,029	4,797	3,392
MT02	i	2	30,246	32,294	31,270	31,270	2,048	1,518	1,183	0,591
MT02	u	2	38,845	40,767	39,806	39,806	0,961	1,425	1,359	0,961
MT02	y	2	40,134	42,386	41,260	41,260	1,126	1,670	1,593	1,126
MT03	E/	2	36,420	39,924	38,172	38,172	1,752	2,598	2,478	1,752
MT03	O/	2	38,481	40,610	39,546	39,546	1,065	1,578	1,505	1,065
MT03	a	2	39,601	41,540	40,571	40,571	0,969	1,437	1,371	0,969
MT03	i	2	22,962	28,167	25,565	25,565	2,602	3,858	3,680	2,602
MT03	u	2	31,905	32,003	31,954	31,954	0,049	0,072	0,069	0,049
MT03	y	2	33,995	34,184	34,089	34,089	0,095	0,140	0,134	0,095
MT04	E/	2	30,585	31,228	30,906	30,906	0,322	0,477	0,455	0,322
MT04	O/	2	30,830	30,899	30,865	30,865	0,034	0,051	0,049	0,034
MT04	a	2	40,233	40,913	40,573	40,573	0,340	0,504	0,481	0,340
MT04	i	2	18,760	22,887	20,823	20,823	2,063	3,059	2,918	2,063
MT04	u	2	19,257	23,531	21,394	21,394	2,137	3,168	3,022	2,137
MT04	y	2	21,960	24,221	23,091	23,091	1,130	1,676	1,598	1,130
MT05	E/	2	19,704	22,747	21,226	21,226	1,522	2,256	2,152	1,522
MT05	O/	2	11,636	16,727	14,181	14,181	2,546	3,774	3,600	2,546
MT05	a	2	21,347	24,379	22,863	22,863	1,516	2,247	2,143	1,516
MT05	i	2	10,919	11,648	11,283	11,283	0,365	0,541	0,516	0,365
MT05	u	2	7,562	9,173	8,367	8,367	0,806	1,195	1,139	0,806
MT05	y	2	10,188	16,082	13,135	13,135	2,947	4,369	4,168	2,947
MT06	E/	2	33,087	35,321	34,204	34,204	1,117	1,656	1,580	1,117
MT06	O/	2	29,548	32,326	30,937	30,937	1,389	2,059	1,964	1,389
MT06	a	2	40,317	43,181	41,749	41,749	1,432	2,123	2,026	1,432
MT06	i	2	22,389	26,915	24,652	24,652	2,263	3,355	3,200	2,263
MT06	u	2	24,152	24,883	24,517	24,517	0,366	0,542	0,517	0,366
MT06	y	2	25,938	27,832	26,885	26,885	0,947	1,405	1,340	0,947
MT07	E/	2	28,605	30,758	29,681	29,681	1,076	1,596	1,522	1,076
MT07	O/	2	23,051	23,073	23,062	23,062	0,011	0,016	0,015	0,011
MT07	a	2	38,633	40,651	39,642	39,642	1,009	1,496	1,427	1,009
MT07	i	2	13,052	16,322	14,687	14,687	1,635	2,425	2,313	1,635
MT07	u	2	15,122	17,232	16,177	16,177	1,055	1,564	1,492	1,055
MT07	y	2	20,073	21,549	20,811	20,811	0,738	1,094	1,044	0,738
MT08	E/	2	27,865	27,889	27,877	27,877	0,012	0,018	0,017	0,012
MT08	O/	2	28,432	30,072	29,252	29,252	0,820	1,216	1,159	0,820
MT08	a	2	41,266	41,355	41,311	41,311	0,044	0,066	0,063	0,044
MT08	i	2	21,065	23,768	22,417	22,417	1,352	2,004	1,911	1,352
MT08	u	2	23,133	24,253	23,693	23,693	0,560	0,830	0,791	0,560
MT08	y	2	20,922	28,571	24,747	24,747	3,825	5,670	5,409	3,825

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	25,807	26,898	26,352	26,352	0,546	0,809	0,772	0,546
MT01	O/	2	26,035	26,039	26,037	26,037	0,002	0,003	0,003	0,002
MT01	a	2	33,666	33,703	33,684	33,684	0,018	0,027	0,026	0,018
MT01	i	2	23,468	25,721	24,690	24,642	1,470	1,213	1,045	0,523
MT01	u	2	23,783	25,020	24,402	24,402	0,619	0,917	0,875	0,619
MT01	y	2	24,847	24,900	24,874	24,874	0,027	0,039	0,038	0,027
MT02	E/	2	30,432	30,591	30,512	30,512	0,079	0,117	0,112	0,079
MT02	O/	2	27,029	27,809	27,419	27,419	0,390	0,579	0,552	0,390
MT02	a	2	31,784	35,578	33,681	33,681	1,897	2,813	2,683	1,897
MT02	i	2	26,959	28,498	27,728	27,728	1,540	1,141	0,889	0,444
MT02	u	2	25,536	27,644	26,590	26,590	1,054	1,562	1,490	1,054
MT02	y	2	28,370	28,563	28,466	28,466	0,096	0,143	0,136	0,096
MT03	E/	2	25,413	27,091	26,252	26,252	0,839	1,244	1,186	0,839
MT03	O/	2	26,190	28,864	27,527	27,527	1,337	1,982	1,891	1,337
MT03	a	2	29,278	30,950	30,114	30,114	0,836	1,240	1,183	0,836
MT03	i	2	24,688	24,741	24,715	24,715	0,027	0,039	0,037	0,027
MT03	u	2	24,153	25,410	24,781	24,781	0,629	0,932	0,889	0,629
MT03	y	2	24,909	25,550	25,230	25,230	0,320	0,475	0,453	0,320
MT04	E/	2	24,866	25,111	24,988	24,988	0,122	0,181	0,173	0,122
MT04	O/	2	26,260	26,471	26,365	26,365	0,106	0,157	0,149	0,106
MT04	a	2	30,639	31,810	31,224	31,224	0,585	0,868	0,828	0,585
MT04	i	2	24,680	27,182	25,931	25,931	1,251	1,855	1,769	1,251
MT04	u	2	22,813	26,130	24,471	24,471	1,658	2,459	2,345	1,658
MT04	y	2	22,978	24,008	23,493	23,493	0,515	0,763	0,728	0,515
MT05	E/	2	25,856	27,698	26,777	26,777	0,921	1,365	1,303	0,921
MT05	O/	2	24,503	25,461	24,982	24,982	0,479	0,710	0,677	0,479
MT05	a	2	26,860	28,926	27,893	27,893	1,033	1,531	1,461	1,033
MT05	i	2	23,670	25,140	24,405	24,405	0,735	1,090	1,040	0,735
MT05	u	2	24,175	25,345	24,760	24,760	0,585	0,867	0,827	0,585
MT05	y	2	23,444	26,538	24,991	24,991	1,547	2,294	2,188	1,547
MT06	E/	2	28,351	28,788	28,569	28,569	0,219	0,324	0,309	0,219
MT06	O/	2	28,640	29,351	28,996	28,996	0,355	0,527	0,503	0,355
MT06	a	2	31,200	33,301	32,250	32,250	1,051	1,558	1,486	1,051
MT06	i	2	26,767	30,232	28,499	28,499	1,733	2,569	2,450	1,733
MT06	u	2	25,290	25,817	25,554	25,554	0,263	0,391	0,373	0,263
MT06	y	2	24,399	29,404	26,902	26,902	2,502	3,710	3,539	2,502
MT07	E/	2	26,960	29,345	28,153	28,153	1,193	1,768	1,687	1,193
MT07	O/	2	24,052	26,017	25,034	25,034	0,983	1,457	1,390	0,983
MT07	a	2	29,819	33,084	31,451	31,451	1,633	2,421	2,309	1,633
MT07	i	2	23,693	26,886	25,289	25,289	1,596	2,366	2,257	1,596
MT07	u	2	24,073	24,130	24,102	24,102	0,029	0,042	0,040	0,029
MT07	y	2	26,396	27,361	26,878	26,878	0,483	0,716	0,683	0,483
MT08	E/	2	27,039	27,043	27,041	27,041	0,002	0,003	0,003	0,002
MT08	O/	2	25,233	26,991	26,112	26,112	0,879	1,303	1,243	0,879
MT08	a	2	28,943	29,416	29,180	29,180	0,237	0,351	0,335	0,237
MT08	i	2	27,355	30,512	28,933	28,933	1,578	2,340	2,232	1,578
MT08	u	2	27,076	27,161	27,118	27,118	0,043	0,063	0,060	0,043
MT08	y	2	25,315	27,983	26,649	26,649	1,334	1,978	1,887	1,334

V2-Spectre moyen total

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	39,665	40,293	39,979	39,979	0,314	0,465	0,444	0,314
MT01	O/	2	38,255	41,787	40,021	40,021	1,766	2,619	2,498	1,766
MT01	a	2	48,503	53,105	50,804	50,804	2,301	3,412	3,255	2,301
MT01	i	2	29,497	34,021	31,389	31,574	2,016	1,839	1,920	0,960
MT01	u	2	33,289	34,581	33,935	33,935	0,646	0,958	0,914	0,646
MT01	y	2	33,887	34,337	34,112	34,112	0,225	0,333	0,318	0,225
MT02	E/	2	45,757	46,842	46,299	46,299	0,543	0,805	0,768	0,543
MT02	O/	2	40,082	42,783	41,433	41,433	1,350	2,002	1,910	1,350
MT02	a	2	53,622	56,371	54,997	54,997	1,375	2,038	1,944	1,375
MT02	i	2	29,885	32,373	31,251	31,190	0,622	0,832	1,018	0,509
MT02	u	2	32,731	38,828	35,780	35,780	3,048	4,519	4,311	3,048
MT02	y	2	39,877	39,919	39,898	39,898	0,021	0,031	0,030	0,021
MT03	E/	2	31,179	32,112	31,645	31,645	0,467	0,692	0,660	0,467
MT03	O/	2	31,079	32,415	31,747	31,747	0,668	0,990	0,944	0,668
MT03	a	2	41,508	43,135	42,322	42,322	0,814	1,207	1,151	0,814
MT03	i	2	22,941	25,264	24,103	24,103	1,161	1,721	1,642	1,161
MT03	u	2	23,501	28,937	26,219	26,219	2,718	4,030	3,844	2,718
MT03	y	2	30,962	31,571	31,267	31,267	0,305	0,452	0,431	0,305
MT04	E/	2	29,527	33,921	31,724	31,724	2,197	3,257	3,107	2,197
MT04	O/	2	27,486	28,259	27,873	27,873	0,386	0,573	0,546	0,386
MT04	a	2	36,769	38,237	37,503	37,503	0,734	1,089	1,038	0,734
MT04	i	2	21,341	22,785	22,063	22,063	0,722	1,071	1,021	0,722
MT04	u	2	22,654	22,983	22,819	22,819	0,165	0,244	0,233	0,165
MT04	y	2	23,840	24,046	23,943	23,943	0,103	0,153	0,146	0,103
MT05	E/	2	18,488	19,430	18,959	18,959	0,471	0,699	0,666	0,471
MT05	O/	2	13,910	16,797	15,354	15,354	1,443	2,140	2,041	1,443
MT05	a	2	19,239	20,468	19,854	19,854	0,614	0,911	0,869	0,614
MT05	i	2	9,585	12,278	10,931	10,931	1,347	1,997	1,905	1,347
MT05	u	2	10,360	14,505	12,433	12,433	2,073	3,073	2,931	2,073
MT05	y	2	11,740	13,892	12,816	12,816	1,076	1,595	1,521	1,076
MT06	E/	2	34,202	36,623	35,412	35,412	1,211	1,795	1,712	1,211
MT06	O/	2	27,655	31,825	29,740	29,740	2,085	3,091	2,948	2,085
MT06	a	2	34,341	42,694	38,517	38,517	4,176	6,191	5,906	4,176
MT06	i	2	23,911	25,942	24,926	24,926	1,015	1,505	1,436	1,015
MT06	u	2	24,470	24,756	24,613	24,613	0,143	0,212	0,202	0,143
MT06	y	2	29,409	32,610	31,009	31,009	1,600	2,373	2,263	1,600
MT07	E/	2	25,345	27,773	26,559	26,559	1,214	1,800	1,717	1,214
MT07	O/	2	23,172	23,817	23,495	23,495	0,322	0,478	0,456	0,322
MT07	a	2	35,340	35,812	35,576	35,576	0,236	0,350	0,333	0,236
MT07	i	2	14,308	18,907	16,607	16,607	2,299	3,409	3,252	2,299
MT07	u	2	17,018	18,125	17,572	17,572	0,553	0,821	0,783	0,553
MT07	y	2	21,830	22,123	21,977	21,977	0,146	0,217	0,207	0,146
MT08	E/	2	30,702	35,209	32,955	32,955	2,254	3,341	3,187	2,254
MT08	O/	2	29,945	30,221	30,083	30,083	0,138	0,205	0,196	0,138
MT08	a	2	34,968	36,757	35,863	35,863	0,894	1,326	1,265	0,894
MT08	i	2	22,710	25,750	24,230	24,230	1,520	2,253	2,149	1,520
MT08	u	2	26,669	29,921	28,295	28,295	1,626	2,411	2,300	1,626
MT08	y	2	23,330	26,463	24,896	24,896	1,567	2,323	2,215	1,567

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	E/	2	26,458	27,677	27,068	27,068	0,610	0,904	0,862	0,610
MT01	O/	2	27,365	28,450	27,908	27,908	0,543	0,805	0,768	0,543
MT01	a	2	30,965	32,486	31,726	31,726	0,761	1,128	1,076	0,761
MT01	i	2	26,526	27,481	27,149	27,076	0,329	0,290	0,402	0,201
MT01	u	2	25,391	26,920	26,155	26,155	0,765	1,134	1,081	0,765
MT01	y	2	26,491	28,852	27,672	27,672	1,181	1,751	1,670	1,181
MT02	E/	2	28,566	28,765	28,666	28,666	0,100	0,148	0,141	0,100
MT02	O/	2	27,334	28,299	27,816	27,816	0,482	0,715	0,682	0,482
MT02	a	2	31,461	34,103	32,782	32,782	1,321	1,958	1,868	1,321
MT02	i	2	27,205	28,546	27,421	27,648	0,658	0,319	0,632	0,316
MT02	u	2	25,536	26,733	26,134	26,134	0,599	0,888	0,847	0,599
MT02	y	2	27,236	29,760	28,498	28,498	1,262	1,871	1,785	1,262
MT03	E/	2	26,605	28,455	27,530	27,530	0,925	1,371	1,308	0,925
MT03	O/	2	27,267	28,042	27,654	27,654	0,388	0,575	0,548	0,388
MT03	a	2	29,312	30,503	29,907	29,907	0,596	0,883	0,843	0,596
MT03	i	2	25,898	27,236	26,567	26,567	0,669	0,992	0,946	0,669
MT03	u	2	24,282	27,684	25,983	25,983	1,701	2,522	2,406	1,701
MT03	y	2	28,005	28,168	28,087	28,087	0,081	0,121	0,115	0,081
MT04	E/	2	27,636	30,648	29,142	29,142	1,506	2,233	2,130	1,506
MT04	O/	2	27,141	27,755	27,448	27,448	0,307	0,456	0,435	0,307
MT04	a	2	29,881	30,886	30,384	30,384	0,502	0,745	0,710	0,502
MT04	i	2	28,515	29,714	29,115	29,115	0,600	0,889	0,848	0,600
MT04	u	2	25,551	25,648	25,599	25,599	0,049	0,072	0,069	0,049
MT04	y	2	25,831	26,047	25,939	25,939	0,108	0,160	0,153	0,108
MT05	E/	2	28,781	31,753	30,267	30,267	1,486	2,203	2,101	1,486
MT05	O/	2	26,405	26,628	26,517	26,517	0,112	0,165	0,158	0,112
MT05	a	2	25,241	27,574	26,408	26,408	1,167	1,730	1,650	1,167
MT05	i	2	27,387	27,820	27,603	27,603	0,217	0,321	0,307	0,217
MT05	u	2	27,084	28,914	27,999	27,999	0,915	1,357	1,294	0,915
MT05	y	2	27,759	28,772	28,266	28,266	0,507	0,751	0,716	0,507
MT06	E/	2	30,864	33,582	32,223	32,223	1,359	2,015	1,922	1,359
MT06	O/	2	30,510	31,553	31,032	31,032	0,521	0,773	0,737	0,521
MT06	a	2	30,087	32,651	31,369	31,369	1,282	1,901	1,813	1,282
MT06	i	2	29,089	29,296	29,192	29,192	0,103	0,153	0,146	0,103
MT06	u	2	30,410	30,541	30,475	30,475	0,065	0,097	0,093	0,065
MT06	y	2	30,382	32,942	31,662	31,662	1,280	1,897	1,810	1,280
MT07	E/	2	26,504	28,745	27,625	27,625	1,120	1,661	1,584	1,120
MT07	O/	2	25,963	26,596	26,280	26,280	0,317	0,469	0,448	0,317
MT07	a	2	30,478	31,795	31,137	31,137	0,658	0,976	0,931	0,658
MT07	i	2	26,960	27,894	27,427	27,427	0,467	0,693	0,661	0,467
MT07	u	2	25,718	25,739	25,728	25,728	0,011	0,016	0,015	0,011
MT07	y	2	27,031	28,787	27,909	27,909	0,878	1,302	1,242	0,878
MT08	E/	2	29,230	29,601	29,416	29,416	0,185	0,275	0,262	0,185
MT08	O/	2	27,885	28,631	28,258	28,258	0,373	0,553	0,528	0,373
MT08	a	2	27,427	28,762	28,094	28,094	0,668	0,990	0,944	0,668
MT08	i	2	26,543	28,197	27,370	27,370	0,827	1,226	1,169	0,827
MT08	u	2	28,498	29,988	29,243	29,243	0,745	1,105	1,054	0,745
MT08	y	2	28,024	28,562	28,293	28,293	0,269	0,399	0,380	0,269

Spectre moyen total et nasal pour les voyelles orales en contexte nasal chez les patients en préopératoire et en postopératoire en position initiale V1 et en position finale V2

V1-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	22,833	25,855	24,344	24,344	1,511	2,240	2,137	1,511
PM02	E/	postop	2	27,043	30,595	28,819	28,819	1,776	2,633	2,512	1,776
PM02	O/	preop	2	23,190	25,125	24,158	24,158	0,967	1,434	1,368	0,967
PM02	O/	postop	2	25,546	29,602	27,574	27,574	2,028	3,007	2,868	2,028
PM02	a	preop	2	33,561	34,302	33,931	33,931	0,371	0,549	0,524	0,371
PM02	a	postop	2	39,120	39,802	39,461	39,461	0,682	0,506	0,394	0,197
PM02	i	preop	2	12,474	15,900	14,187	14,187	1,713	2,540	2,423	1,713
PM02	i	postop	2	14,433	18,377	18,377	17,062	1,972	0,000	2,277	1,315
PM02	u	preop	2	19,472	19,560	19,516	19,516	0,044	0,066	0,063	0,044
PM02	u	postop	2	20,434	22,350	21,392	21,392	0,958	1,421	1,355	0,958
PM02	y	preop	2	15,139	19,799	17,469	17,469	2,330	3,455	3,295	2,330
PM02	y	postop	2	15,983	16,661	16,322	16,322	0,339	0,502	0,479	0,339
PM03	E/	preop	2	20,634	22,273	21,453	21,453	0,819	1,214	1,158	0,819
PM03	E/	postop	2	28,041	30,368	29,205	29,205	1,164	1,725	1,646	1,164
PM03	O/	preop	2	21,834	23,071	22,453	22,453	0,619	0,917	0,875	0,619
PM03	O/	postop	2	24,547	25,966	25,257	25,257	0,710	1,052	1,004	0,710
PM03	a	preop	2	32,540	36,216	34,378	34,378	1,838	2,725	2,600	1,838
PM03	a	postop	2	34,797	35,194	34,995	34,995	0,199	0,295	0,281	0,199
PM03	i	preop	2	9,866	12,529	10,882	10,805	1,015	1,505	1,089	0,487
PM03	i	postop	2	13,430	15,121	14,275	14,275	0,846	1,254	1,196	0,846
PM03	u	preop	2	12,342	14,221	13,282	13,282	0,940	1,393	1,329	0,940
PM03	u	postop	2	19,258	19,502	19,380	19,380	0,122	0,181	0,173	0,122
PM03	y	preop	2	15,208	17,609	16,408	16,408	1,201	1,780	1,698	1,201
PM03	y	postop	2	19,021	20,675	19,848	19,848	0,827	1,226	1,170	0,827
PM04	E/	preop	2	22,704	23,569	23,137	23,137	0,433	0,642	0,612	0,433
PM04	E/	postop	2	29,894	30,578	30,236	30,236	0,342	0,507	0,484	0,342
PM04	O/	preop	2	21,226	23,642	22,434	22,434	1,208	1,791	1,709	1,208
PM04	O/	postop	2	25,432	27,172	26,302	26,302	0,870	1,290	1,231	0,870
PM04	a	preop	2	20,136	33,090	27,087	26,771	6,477	8,901	6,483	3,743
PM04	a	postop	2	32,415	37,490	34,428	34,778	2,538	2,985	2,556	1,476
PM04	i	preop	2	18,853	20,014	19,104	19,269	0,597	0,338	0,537	0,269
PM04	i	postop	2	21,848	25,210	23,529	23,529	1,681	2,493	2,378	1,681
PM04	u	preop	2	17,751	19,733	18,742	18,742	0,991	1,469	1,402	0,991
PM04	u	postop	2	17,711	23,560	22,552	21,274	2,925	1,494	3,127	1,805
PM04	y	preop	2	19,042	19,815	19,429	19,429	0,386	0,573	0,547	0,386
PM04	y	postop	2	24,148	25,305	24,727	24,727	0,578	0,858	0,818	0,578
PM05	E/	preop	2	29,452	34,991	32,221	32,221	2,770	4,106	3,917	2,770
PM05	E/	postop	2	28,051	30,767	29,409	29,409	1,358	2,013	1,920	1,358
PM05	O/	preop	2	21,185	24,016	22,601	22,601	1,415	2,098	2,001	1,415
PM05	O/	postop	2	24,665	27,497	26,081	26,081	1,416	2,100	2,003	1,416
PM05	a	preop	2	29,971	30,657	30,314	30,314	0,343	0,508	0,485	0,343
PM05	a	postop	2	32,421	40,605	33,392	35,473	4,092	1,439	4,471	2,581
PM05	i	preop	2	13,975	15,770	14,873	14,873	0,897	1,331	1,269	0,897
PM05	i	postop	2	15,579	20,396	19,023	18,333	2,408	2,036	2,481	1,433
PM05	u	preop	2	18,457	20,322	19,390	19,390	0,932	1,382	1,319	0,932
PM05	u	postop	2	18,419	24,910	21,665	21,665	3,245	4,812	4,590	3,245
PM05	y	preop	2	19,621	19,621	19,621	19,621	0,000	0,000	NA	NA
PM05	y	postop	2	18,482	22,780	20,631	20,631	2,149	3,186	3,039	2,149

V1-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	25,929	26,607	26,268	26,268	0,339	0,503	0,479	0,339
PM02	E/	postop	2	23,411	24,855	24,133	24,133	0,722	1,070	1,021	0,722
PM02	O/	preop	2	25,107	25,338	25,222	25,222	0,116	0,172	0,164	0,116
PM02	O/	postop	2	24,123	25,312	24,717	24,717	0,594	0,881	0,841	0,594
PM02	a	preop	2	30,361	30,945	30,653	30,653	0,292	0,432	0,412	0,292
PM02	a	postop	2	25,789	26,818	26,304	26,304	1,029	0,763	0,594	0,297
PM02	i	preop	2	23,644	26,312	24,978	24,978	1,334	1,978	1,886	1,334
PM02	i	postop	2	22,681	25,176	25,176	24,344	1,247	0,000	1,440	0,832
PM02	u	preop	2	24,269	24,285	24,277	24,277	0,008	0,012	0,011	0,008
PM02	u	postop	2	22,347	23,096	22,721	22,721	0,375	0,555	0,530	0,375
PM02	y	preop	2	23,690	24,024	23,857	23,857	0,167	0,248	0,237	0,167
PM02	y	postop	2	22,191	23,218	22,705	22,705	0,513	0,761	0,726	0,513
PM03	E/	preop	2	26,707	27,780	27,244	27,244	0,537	0,796	0,759	0,537
PM03	E/	postop	2	26,873	29,036	27,954	27,954	1,081	1,603	1,529	1,081
PM03	O/	preop	2	26,907	27,662	27,284	27,284	0,378	0,560	0,534	0,378
PM03	O/	postop	2	26,365	28,477	27,421	27,421	1,056	1,566	1,494	1,056
PM03	a	preop	2	32,823	34,759	33,791	33,791	0,968	1,435	1,369	0,968
PM03	a	postop	2	27,897	28,551	28,224	28,224	0,327	0,485	0,462	0,327
PM03	i	preop	2	25,862	26,962	26,026	26,335	1,100	0,243	0,576	0,258
PM03	i	postop	2	23,166	24,854	24,010	24,010	0,844	1,252	1,194	0,844
PM03	u	preop	2	25,076	27,212	26,144	26,144	1,068	1,584	1,511	1,068
PM03	u	postop	2	23,633	25,423	24,528	24,528	0,895	1,327	1,266	0,895
PM03	y	preop	2	26,020	26,591	26,306	26,306	0,285	0,423	0,404	0,285
PM03	y	postop	2	24,147	24,844	24,496	24,496	0,348	0,517	0,493	0,348
PM04	E/	preop	2	27,277	28,466	27,871	27,871	0,594	0,881	0,841	0,594
PM04	E/	postop	2	28,026	29,428	28,727	28,727	0,701	1,040	0,992	0,701
PM04	O/	preop	2	27,225	29,866	28,545	28,545	1,321	1,958	1,868	1,321
PM04	O/	postop	2	24,313	26,850	25,582	25,582	1,268	1,881	1,794	1,268
PM04	a	preop	2	23,325	28,556	28,337	26,739	2,615	0,325	2,959	1,708
PM04	a	postop	2	24,989	28,511	26,628	26,710	1,761	2,430	1,762	1,017
PM04	i	preop	2	26,683	27,761	27,456	27,339	0,311	0,247	0,461	0,230
PM04	i	postop	2	24,446	28,934	26,690	26,690	2,244	3,327	3,174	2,244
PM04	u	preop	2	25,088	27,269	26,178	26,178	1,090	1,616	1,542	1,090
PM04	u	postop	2	22,452	28,176	24,762	25,130	2,862	3,423	2,880	1,663
PM04	y	preop	2	26,819	28,569	27,694	27,694	0,875	1,297	1,237	0,875
PM04	y	postop	2	25,611	25,879	25,745	25,745	0,134	0,199	0,190	0,134
PM05	E/	preop	2	26,675	31,525	29,100	29,100	2,425	3,595	3,429	2,425
PM05	E/	postop	2	25,482	28,307	26,894	26,894	1,413	2,095	1,998	1,413
PM05	O/	preop	2	27,040	27,132	27,086	27,086	0,046	0,068	0,065	0,046
PM05	O/	postop	2	24,902	26,092	25,497	25,497	0,595	0,882	0,842	0,595
PM05	a	preop	2	30,044	30,178	30,111	30,111	0,067	0,099	0,095	0,067
PM05	a	postop	2	26,208	31,491	26,374	28,024	2,641	0,247	3,003	1,734
PM05	i	preop	2	25,180	25,620	25,400	25,400	0,220	0,326	0,311	0,220
PM05	i	postop	2	22,675	24,327	23,685	23,562	0,826	0,952	0,833	0,481
PM05	u	preop	2	24,743	26,084	25,413	25,413	0,670	0,994	0,948	0,670
PM05	u	postop	2	23,586	24,402	23,994	23,994	0,408	0,605	0,577	0,408
PM05	y	preop	2	26,336	26,336	26,336	26,336	0,000	0,000	NA	NA
PM05	y	postop	2	24,110	25,616	24,863	24,863	0,753	1,116	1,064	0,753

V2-Spectre moyen total

locuteur	son	preop.ou.post	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	23,588	24,308	23,948	23,948	0,360	0,534	0,509	0,360
PM02	E/	postop	2	31,715	35,864	33,790	33,790	2,075	3,076	2,934	2,075
PM02	O/	preop	2	23,832	25,408	24,620	24,620	0,788	1,168	1,114	0,788
PM02	O/	postop	2	33,277	34,844	34,060	34,060	0,784	1,162	1,108	0,784
PM02	a	preop	2	38,489	38,945	38,717	38,717	0,228	0,338	0,322	0,228
PM02	a	postop	2	41,097	42,904	42,001	42,001	1,807	1,339	1,043	0,522
PM02	i	preop	2	12,646	20,275	16,460	16,460	3,815	5,656	5,395	3,815
PM02	i	postop	2	20,917	28,457	25,587	24,987	3,770	4,255	3,806	2,197
PM02	u	preop	2	17,310	18,147	17,728	17,728	0,418	0,620	0,592	0,418
PM02	u	postop	2	29,553	30,024	29,789	29,789	0,236	0,350	0,334	0,236
PM02	y	preop	2	20,514	21,912	21,213	21,213	0,699	1,036	0,988	0,699
PM02	y	postop	2	21,242	26,994	24,118	24,118	2,876	4,264	4,068	2,876
PM03	E/	preop	2	17,935	21,414	19,674	19,674	1,740	2,579	2,460	1,740
PM03	E/	postop	2	17,651	25,694	21,672	21,672	4,022	5,962	5,687	4,022
PM03	O/	preop	2	15,335	17,765	16,550	16,550	1,215	1,801	1,718	1,215
PM03	O/	postop	2	23,881	24,371	24,126	24,126	0,245	0,363	0,347	0,245
PM03	a	preop	2	30,316	32,088	31,202	31,202	0,886	1,314	1,253	0,886
PM03	a	postop	2	-3,989	30,181	19,744	16,420	16,300	11,571	15,072	7,536
PM03	i	preop	2	9,770	12,608	11,809	11,153	2,039	1,184	1,304	0,583
PM03	i	postop	2	16,937	19,575	18,256	18,256	1,319	1,956	1,865	1,319
PM03	u	preop	2	11,659	12,024	11,841	11,841	0,182	0,270	0,258	0,182
PM03	u	postop	2	16,479	19,363	17,921	17,921	1,442	2,138	2,039	1,442
PM03	y	preop	2	12,952	14,266	13,609	13,609	0,657	0,975	0,930	0,657
PM03	y	postop	2	17,710	21,106	19,408	19,408	1,698	2,518	2,402	1,698
PM04	E/	preop	2	21,877	22,982	22,429	22,429	0,553	0,819	0,782	0,553
PM04	E/	postop	2	25,600	27,261	26,430	26,430	0,830	1,231	1,174	0,830
PM04	O/	preop	2	16,486	19,387	17,937	17,937	1,451	2,151	2,051	1,451
PM04	O/	postop	2	21,290	24,645	22,968	22,968	1,677	2,487	2,372	1,677
PM04	a	preop	2	18,847	27,155	23,273	23,092	4,154	5,754	4,157	2,400
PM04	a	postop	2	30,414	34,646	32,530	32,530	2,116	3,137	2,992	2,116
PM04	i	preop	2	16,551	17,531	17,041	17,041	0,980	0,727	0,566	0,283
PM04	i	postop	2	17,464	23,109	20,286	20,286	2,822	4,184	3,991	2,822
PM04	u	preop	2	14,783	23,285	19,034	19,034	4,251	6,303	6,012	4,251
PM04	u	postop	2	19,156	19,655	19,156	19,323	0,249	0,000	0,288	0,166
PM04	y	preop	2	16,740	17,705	17,222	17,222	0,482	0,715	0,682	0,482
PM04	y	postop	2	22,273	24,409	23,341	23,341	1,068	1,583	1,510	1,068
PM05	E/	preop	2	27,679	29,091	28,385	28,385	0,706	1,047	0,998	0,706
PM05	E/	postop	2	25,419	30,908	28,164	28,164	2,745	4,069	3,881	2,745
PM05	O/	preop	2	26,523	26,741	26,632	26,632	0,109	0,162	0,155	0,109
PM05	O/	postop	2	16,772	18,580	17,676	17,676	0,904	1,340	1,279	0,904
PM05	a	preop	2	31,196	32,351	31,773	31,773	0,578	0,856	0,817	0,578
PM05	a	postop	2	36,220	36,740	36,480	36,480	0,260	0,385	0,368	0,260
PM05	i	preop	2	23,993	24,130	24,061	24,061	0,069	0,102	0,097	0,069
PM05	i	postop	2	13,485	18,128	14,354	15,322	2,321	1,288	2,468	1,425
PM05	u	preop	2	25,294	26,163	25,729	25,729	0,434	0,644	0,614	0,434
PM05	u	postop	2	23,724	27,392	25,558	25,558	1,834	2,718	2,593	1,834
PM05	y	preop	2	27,783	27,783	27,783	27,783	0,000	0,000	NA	NA
PM05	y	postop	2	15,068	24,031	19,550	19,550	4,481	6,644	6,338	4,481

V2-Spectre moyen nasal

locuteur	son	preop.ou.post	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
PM02	E/	preop	2	28,479	28,884	28,682	28,682	0,203	0,300	0,287	0,203
PM02	E/	postop	2	27,404	28,679	28,042	28,042	0,637	0,945	0,901	0,637
PM02	O/	preop	2	29,033	29,710	29,371	29,371	0,339	0,502	0,479	0,339
PM02	O/	postop	2	26,331	29,222	27,776	27,776	1,445	2,143	2,044	1,445
PM02	a	preop	2	33,202	33,644	33,423	33,423	0,221	0,328	0,313	0,221
PM02	a	postop	2	29,313	29,769	29,541	29,541	0,456	0,338	0,263	0,132
PM02	i	preop	2	27,544	32,737	30,140	30,140	2,596	3,849	3,672	2,596
PM02	i	postop	2	28,457	29,375	28,519	28,784	0,459	0,093	0,513	0,296
PM02	u	preop	2	27,374	29,475	28,424	28,424	1,051	1,558	1,486	1,051
PM02	u	postop	2	26,859	28,625	27,742	27,742	0,883	1,309	1,248	0,883
PM02	y	preop	2	28,589	30,722	29,655	29,655	1,067	1,582	1,509	1,067
PM02	y	postop	2	23,807	27,757	25,782	25,782	1,975	2,928	2,793	1,975
PM03	E/	preop	2	28,146	28,336	28,241	28,241	0,095	0,141	0,135	0,095
PM03	E/	postop	2	25,864	28,117	26,990	26,990	1,126	1,670	1,593	1,126
PM03	O/	preop	2	26,846	26,946	26,896	26,896	0,050	0,074	0,071	0,050
PM03	O/	postop	2	25,351	27,284	26,318	26,318	0,966	1,433	1,367	0,966
PM03	a	preop	2	31,980	33,873	32,926	32,926	0,946	1,403	1,338	0,946
PM03	a	postop	2	-3,179	27,673	24,082	18,165	9,367	3,479	14,358	7,179
PM03	i	preop	2	27,653	29,034	28,147	28,127	0,494	0,732	0,564	0,252
PM03	i	postop	2	26,885	27,621	27,253	27,253	0,368	0,546	0,521	0,368
PM03	u	preop	2	26,606	27,758	27,182	27,182	0,576	0,854	0,815	0,576
PM03	u	postop	2	25,925	27,186	26,555	26,555	0,630	0,935	0,892	0,630
PM03	y	preop	2	26,735	27,530	27,133	27,133	0,398	0,590	0,562	0,398
PM03	y	postop	2	26,647	27,122	26,885	26,885	0,238	0,353	0,336	0,238
PM04	E/	preop	2	28,351	29,829	29,090	29,090	0,739	1,096	1,045	0,739
PM04	E/	postop	2	27,090	27,771	27,431	27,431	0,341	0,505	0,482	0,341
PM04	O/	preop	2	27,224	27,702	27,463	27,463	0,239	0,354	0,338	0,239
PM04	O/	postop	2	25,953	27,973	26,963	26,963	1,010	1,498	1,428	1,010
PM04	a	preop	2	26,872	30,315	28,699	28,629	1,721	2,394	1,722	0,994
PM04	a	postop	2	26,640	28,487	27,563	27,563	0,924	1,369	1,306	0,924
PM04	i	preop	2	28,288	28,615	28,451	28,451	0,327	0,242	0,189	0,094
PM04	i	postop	2	26,872	27,898	27,385	27,385	0,513	0,761	0,725	0,513
PM04	u	preop	2	27,589	28,025	27,807	27,807	0,218	0,323	0,308	0,218
PM04	u	postop	2	25,987	26,275	25,987	26,083	0,144	0,000	0,166	0,096
PM04	y	preop	2	27,009	29,185	28,097	28,097	1,088	1,613	1,539	1,088
PM04	y	postop	2	27,268	28,009	27,639	27,639	0,371	0,549	0,524	0,371
PM05	E/	preop	2	28,266	28,735	28,501	28,501	0,234	0,348	0,332	0,234
PM05	E/	postop	2	28,151	29,135	28,643	28,643	0,492	0,729	0,696	0,492
PM05	O/	preop	2	28,688	29,011	28,850	28,850	0,162	0,240	0,229	0,162
PM05	O/	postop	2	24,516	26,203	25,360	25,360	0,843	1,250	1,193	0,843
PM05	a	preop	2	29,993	32,190	31,091	31,091	1,099	1,629	1,554	1,099
PM05	a	postop	2	28,753	29,211	28,982	28,982	0,229	0,340	0,324	0,229
PM05	i	preop	2	25,694	28,066	26,880	26,880	1,186	1,758	1,677	1,186
PM05	i	postop	2	26,351	28,478	26,871	27,234	1,063	0,771	1,109	0,640
PM05	u	preop	2	27,712	28,750	28,231	28,231	0,519	0,770	0,734	0,519
PM05	u	postop	2	26,100	28,070	27,085	27,085	0,985	1,460	1,393	0,985
PM05	y	preop	2	29,152	29,152	29,152	29,152	0,000	0,000	NA	NA
PM05	y	postop	2	25,280	26,712	25,996	25,996	0,716	1,061	1,012	0,716

Spectre moyen total global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	24	28,907	55,808	34,784	37,817	9,193	5,646	7,646	1,445
MT02	témoin	24	29,885	60,651	40,108	41,294	14,947	11,526	8,788	1,661
MT03	témoin	24	22,941	43,135	32,057	33,100	8,306	6,118	6,078	1,241
MT04	témoin	24	18,760	40,913	25,854	27,798	8,120	6,231	6,545	1,336
MT05	témoin	24	7,562	24,379	14,208	15,117	7,831	5,832	4,756	0,971
MT06	témoin	24	22,389	43,181	29,478	30,597	8,563	6,907	6,019	1,229
MT07	témoin	24	13,052	40,651	22,587	23,820	10,079	7,814	7,747	1,581
MT08	témoin	24	20,922	41,355	28,161	28,801	6,210	4,781	5,724	1,168
PM02	preop	24	12,474	38,945	22,372	23,024	6,055	4,400	7,193	1,468
PM02	postop	24	14,433	42,904	29,577	29,457	16,787	12,599	8,822	1,611
PM03	preop	24	9,770	36,216	14,244	17,050	9,410	5,105	7,486	1,367
PM03	postop	24	-3,989	35,194	20,125	21,322	7,834	6,426	7,838	1,537
PM04	preop	24	14,783	33,090	19,560	20,519	5,196	3,221	3,876	0,708
PM04	postop	24	17,464	37,490	24,645	25,438	6,517	4,147	5,311	1,022
PM05	preop	24	13,975	34,991	26,343	25,425	7,474	4,994	5,437	1,159
PM05	postop	24	13,485	40,605	24,031	24,363	10,958	8,320	7,471	1,438

Spectre moyen nasal global pour tous les locuteurs sur toutes les voyelles orales en contexte nasal confondues

locuteur	preop.ou.pos	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd	se
MT01	témoin	24	23,468	33,703	26,508	27,094	2,164	1,695	2,700	0,510
MT02	témoin	24	25,536	35,578	28,334	28,666	1,809	1,674	2,325	0,439
MT03	témoin	24	24,153	30,950	27,163	27,029	2,828	2,456	1,951	0,398
MT04	témoin	24	22,813	31,810	26,365	27,008	3,374	2,142	2,534	0,517
MT05	témoin	24	23,444	31,753	26,744	26,739	2,455	1,989	1,962	0,400
MT06	témoin	24	24,399	33,582	30,160	29,727	2,197	1,811	2,403	0,490
MT07	témoin	24	23,693	33,084	26,923	27,251	2,848	1,771	2,411	0,492
MT08	témoin	24	25,233	30,512	28,004	27,976	1,740	1,384	1,335	0,272
PM02	preop	24	23,644	33,644	28,011	27,913	4,592	3,724	3,068	0,626
PM02	postop	24	22,191	29,769	26,575	26,333	4,293	3,080	2,462	0,450
PM03	preop	24	25,076	34,759	27,371	27,953	1,433	1,142	2,351	0,429
PM03	postop	24	-3,179	29,036	26,506	25,151	2,600	1,845	6,016	1,180
PM04	preop	24	23,325	30,315	27,893	27,825	1,330	0,991	1,365	0,249
PM04	postop	24	22,452	29,428	26,850	26,712	2,075	1,664	1,622	0,312
PM05	preop	24	24,743	32,190	28,166	28,037	2,696	2,459	2,028	0,432
PM05	postop	24	22,675	31,491	26,203	26,337	3,402	2,671	2,078	0,400

Annexe 24 : Volumes des cavités naso-sinusiennes en préopératoire et postopératoire, et pour le locuteur sain en mm^3

patient	chirurgie	volume
PM02	préopératoir	49118
PM02	postopératoi	53697
PM03	préopératoir	25512
PM03	postopératoi	55550
PM04	préopératoir	33353
PM04	postopératoi	52230
PM05	préopératoir	27136
PM05	postopératoi	60730
Témoin	Témoin	58830

Annexe 25 : Scores VHI, SHI et SNOT-22

« VHI_E » correspond aux scores des items catégorisés comme Emotionnel, « VHI_F » comme fonctionnel, « VHI_P » comme physique. « SHI_S » correspond aux scores des items catégorisés comme relatifs à la parole et « SHI_Ps » pour la catégorie psycho-sociale.

locuteur	Chirurgie	quest	score
PM02	préopératoire	VHI	0
PM02	préopératoire	VHI_E	0
PM02	préopératoire	VHI_F	0
PM02	préopératoire	VHI_P	0
PM02	préopératoire	SNOT-22	31
PM02	préopératoire	SHI	2
PM02	préopératoire	SHI_S	2
PM02	préopératoire	SHI_Ps	0
PM02	postopératoire	VHI	0

PM02	postopératoire	VHI_E	0
PM02	postopératoire	VHI_F	0
PM02	postopératoire	VHI_P	0
PM02	postopératoire	SNOT-22	20
PM02	postopératoire	SHI	0
PM02	postopératoire	SHI_S	0
PM02	postopératoire	SHI_Ps	0
PM03	préopératoire	VHI	18
PM03	préopératoire	VHI_E	3
PM03	préopératoire	VHI_F	3
PM03	préopératoire	VHI_P	12
PM03	préopératoire	SNOT-22	68
PM03	préopératoire	SHI	18
PM03	préopératoire	SHI_S	15
PM03	préopératoire	SHI_Ps	3
PM03	postopératoire	VHI	6
PM03	postopératoire	VHI_E	0
PM03	postopératoire	VHI_F	2
PM03	postopératoire	VHI_P	4
PM03	postopératoire	SNOT-22	17
PM03	postopératoire	SHI	3
PM03	postopératoire	SHI_S	3
PM03	postopératoire	SHI_Ps	0
PM04	préopératoire	VHI	20
PM04	préopératoire	VHI_E	8
PM04	préopératoire	VHI_F	7
PM04	préopératoire	VHI_P	5
PM04	préopératoire	SNOT-22	20
PM04	préopératoire	SHI	18
PM04	préopératoire	SHI_S	12
PM04	préopératoire	SHI_Ps	4
PM04	postopératoire	VHI	7
PM04	postopératoire	VHI_E	2
PM04	postopératoire	VHI_F	2
PM04	postopératoire	VHI_P	3
PM04	postopératoire	SNOT-22	3
PM04	postopératoire	SHI	3
PM04	postopératoire	SHI_S	2
PM04	postopératoire	SHI_Ps	1
PM05	préopératoire	VHI	1
PM05	préopératoire	VHI_E	0
PM05	préopératoire	VHI_F	1

PM05	préopératoire	VHI_P	0
PM05	préopératoire	SNOT-22	62
PM05	préopératoire	SHI	1
PM05	préopératoire	SHI_S	1
PM05	préopératoire	SHI_Ps	0
PM05	postopératoire	VHI	2
PM05	postopératoire	VHI_E	0
PM05	postopératoire	VHI_F	1
PM05	postopératoire	VHI_P	1
PM05	postopératoire	SNOT-22	41
PM05	postopératoire	SHI	3
MT01	témoin	VHI	8
MT01	témoin	VHI_E	4
MT01	témoin	VHI_F	3
MT01	témoin	VHI_P	1
MT01	témoin	SHI	2
MT01	témoin	SHI_Ps	2
MT01	témoin	SHI_S	0
MT01	témoin	SNOT-22	8
MT02	témoin	VHI	0
MT02	témoin	VHI_E	0
MT02	témoin	VHI_F	0
MT02	témoin	VHI_P	0
MT02	témoin	SHI	0
MT02	témoin	SHI_Ps	0
MT02	témoin	SHI_S	0
MT02	témoin	SNOT-22	6
MT03	témoin	VHI	2
MT03	témoin	VHI_E	1
MT03	témoin	VHI_F	1
MT03	témoin	VHI_P	0
MT03	témoin	SHI	4
MT03	témoin	SHI_Ps	0
MT03	témoin	SHI_S	4
MT03	témoin	SNOT-22	2
MT04	témoin	VHI	2
MT04	témoin	VHI_E	0
MT04	témoin	VHI_F	1
MT04	témoin	VHI_P	1
MT04	témoin	SHI	1
MT04	témoin	SHI_Ps	0
MT04	témoin	SHI_S	1

MT04	témoin	SNOT-22	0
MT05	témoin	VHI	5
MT05	témoin	VHI_E	0
MT05	témoin	VHI_F	0
MT05	témoin	VHI_P	5
MT05	témoin	SHI	6
MT05	témoin	SHI_Ps	0
MT05	témoin	SHI_S	5
MT05	témoin	SNOT-22	10
MT06	témoin	VHI	12
MT06	témoin	VHI_E	3
MT06	témoin	VHI_F	4
MT06	témoin	VHI_P	5
MT06	témoin	SHI	13
MT06	témoin	SHI_Ps	3
MT06	témoin	SHI_S	10
MT06	témoin	SNOT-22	23
MT07	témoin	VHI	6
MT07	témoin	VHI_E	1
MT07	témoin	VHI_F	5
MT07	témoin	VHI_P	0
MT07	témoin	SHI	5
MT07	témoin	SHI_Ps	0
MT07	témoin	SHI_S	5
MT07	témoin	SNOT-22	0
MT08	témoin	VHI	8
MT08	témoin	VHI_E	2
MT08	témoin	VHI_F	5
MT08	témoin	VHI_P	1
MT08	témoin	SHI	6
MT08	témoin	SHI_Ps	0
MT08	témoin	SHI_S	6
MT08	témoin	SNOT-22	0

Annexe 26 : Résultats statistiques de la cotation GRB et de l'item Enrhumé

Scores de l'item Enrhumé n=384

Contexte	Auditeur	Chirurgie	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd
nasal	expert	A	28	0	2	1.0	1,393	1,000	1,483	0,629
nasal	expert	B	28	0	3	1.0	0,929	2,000	1,483	0,979
nasal	expert	temoin	56	0	3	1.0	1,125	2,000	1,483	0,974
nasal	naif	A	20	0	3	1.5	1,350	1,000	0,741	0,875

nasal	naif	B	20	0	3	1.0	1,150	1,250	1,483	0,933
nasal	naif	temoin	40	0	3	2.0	1,400	2,000	1,483	1,033
oral	expert	A	28	0	2	1.0	0,714	1,000	1,483	0,713
oral	expert	B	28	0	1	0.0	0,179	0,000	0,000	0,390
oral	expert	temoin	56	0	3	0.0	0,607	1,000	0,000	0,824
oral	naif	A	20	0	3	1.0	0,850	1,250	1,483	0,933
oral	naif	B	20	0	2	0.0	0,400	0,250	0,000	0,754
oral	naif	temoin	40	0	3	0.0	0,575	1,000	0,000	0,813

Scores de l'item Grade

Contexte	Auditeur	Chirurgie	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd
nasal	expert	A	28	0	2	0,5000	0,5714	1,0000	0,7413	0,6341
nasal	expert	B	28	0	2	0,0000	0,5000	1,0000	0,0000	0,6383
nasal	expert	temoin	56	0	3	1,0000	0,6429	1,0000	1,4826	0,7243
nasal	naif	A	20	0	2	0,5000	0,6500	1,0000	0,7413	0,7452
nasal	naif	B	20	0	2	1,0000	0,8500	1,0000	0,0000	0,6708
nasal	naif	temoin	40	0	2	1,0000	0,8250	1,0000	1,4826	0,7472
oral	expert	A	28	0	2	0,5000	0,6786	1,0000	0,7413	0,7724
oral	expert	B	28	0	1	0,0000	0,3214	1,0000	0,0000	0,4756
oral	expert	temoin	56	0	2	0,0000	0,5357	1,0000	0,0000	0,6866
oral	naif	A	20	0	3	1,0000	1,1500	1,0000	0,7413	0,8127
oral	naif	B	20	0	2	0,5000	0,7000	1,0000	0,7413	0,8013
oral	naif	temoin	40	0	2	1,0000	0,7500	1,0000	1,4826	0,7425

Scores de l'item Raucité

Contexte	Auditeur	Chirurgie	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd
nasal	expert	A	28	0	2	0,000	0,357	1,000	0,000	0,559
nasal	expert	B	28	0	2	0,000	0,321	1,000	0,000	0,548
nasal	expert	temoin	56	0	2	0,000	0,554	1,000	0,000	0,658
nasal	naif	A	20	0	2	0,000	0,450	1,000	0,000	0,605
nasal	naif	B	20	0	2	1,000	0,700	1,000	1,483	0,733
nasal	naif	temoin	40	0	3	0,000	0,600	1,000	0,000	0,744
oral	expert	A	28	0	2	1,000	0,714	1,000	1,483	0,713
oral	expert	B	28	0	1	0,000	0,286	1,000	0,000	0,460
oral	expert	temoin	56	0	2	1,000	0,643	1,000	1,483	0,699
oral	naif	A	20	0	3	1,000	1,100	2,000	1,483	0,968
oral	naif	B	20	0	2	0,500	0,700	1,000	0,741	0,801
oral	naif	temoin	40	0	2	1,000	0,825	1,000	1,483	0,781

Scores de l'item Souflle

Contexte	Auditeur	Chirurgie	length	min	max	median	mean	iqr	mad	sd
nasal	expert	A	28	0	2	0.0	0,500	1,000	0,000	0,694

nasal	expert	B	28	0	2	0.0	0,357	1,000	0,000	0,559
nasal	expert	temoin	56	0	2	0.0	0,286	0,000	0,000	0,594
nasal	naif	A	20	0	2	0.0	0,700	1,250	0,000	0,865
nasal	naif	B	20	0	2	0.5	0,550	1,000	0,741	0,605
nasal	naif	temoin	40	0	2	0.0	0,450	1,000	0,000	0,677
oral	expert	A	28	0	2	0.0	0,214	0,000	0,000	0,499
oral	expert	B	28	0	1	0.0	0,250	0,250	0,000	0,441
oral	expert	temoin	56	0	3	0.0	0,250	0,000	0,000	0,580
oral	naif	A	20	0	2	1.0	0,950	1,250	1,483	0,759
oral	naif	B	20	0	3	0.0	0,600	1,000	0,000	0,940
oral	naif	temoin	40	0	3	0.0	0,575	1,000	0,000	0,813

Scores de l'item Enrhumé par patient

locuteur	Contexte	Auditeur	Chirurgie	length	min	max	median	mean	iqr	mad
PM02	nasal	expert	A	7	0,000	2,000	1,000	1,286	1,000	1,483
PM02	nasal	expert	B	7	0,000	2,000	1,000	0,857	0,500	0,000
PM02	nasal	naif	A	5	0,000	2,000	2,000	1,200	2,000	0,000
PM02	nasal	naif	B	5	0,000	2,000	1,000	1,200	1,000	1,483
PM02	oral	expert	A	7	0,000	2,000	1,000	0,857	0,500	0,000
PM02	oral	expert	B	7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PM02	oral	naif	A	5	0,000	2,000	0,000	0,600	1,000	0,000
PM02	oral	naif	B	5	0,000	1,000	0,000	0,200	0,000	0,000
PM03	nasal	expert	A	7	1,000	2,000	2,000	1,857	0,000	0,000
PM03	nasal	expert	B	7	1,000	3,000	2,000	2,143	0,500	0,000
PM03	nasal	naif	A	5	0,000	2,000	2,000	1,600	0,000	0,000
PM03	nasal	naif	B	5	0,000	3,000	1,000	1,600	2,000	1,483
PM03	oral	expert	A	7	0,000	1,000	0,000	0,429	1,000	0,000
PM03	oral	expert	B	7	0,000	1,000	0,000	0,429	1,000	0,000
PM03	oral	naif	A	5	0,000	1,000	0,000	0,200	0,000	0,000
PM03	oral	naif	B	5	0,000	2,000	0,000	0,600	1,000	0,000
PM04	nasal	expert	A	7	0,000	2,000	1,000	1,000	0,000	0,000
PM04	nasal	expert	B	7	0,000	2,000	0,000	0,571	1,000	0,000
PM04	nasal	naif	A	5	1,000	2,000	1,000	1,400	1,000	0,000
PM04	nasal	naif	B	5	1,000	2,000	1,000	1,400	1,000	0,000
PM04	oral	expert	A	7	0,000	2,000	0,000	0,571	1,000	0,000
PM04	oral	expert	B	7	0,000	1,000	0,000	0,286	0,500	0,000
PM04	oral	naif	A	5	0,000	2,000	1,000	1,200	1,000	1,483
PM04	oral	naif	B	5	0,000	2,000	0,000	0,800	2,000	0,000
PM05	nasal	expert	A	7	1,000	2,000	1,000	1,429	1,000	0,000
PM05	nasal	expert	B	7	0,000	1,000	0,000	0,143	0,000	0,000
PM05	nasal	naif	A	5	0,000	3,000	1,000	1,200	0,000	0,000
PM05	nasal	naif	B	5	0,000	1,000	0,000	0,400	1,000	0,000

PM05	oral	expert	A	7	0,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,483
PM05	oral	expert	B	7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PM05	oral	naif	A	5	0,000	3,000	1,000	1,400	1,000	1,483
PM05	oral	naif	B	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Résultats Wilcoxon

1) Pour l'item Enrhumé

Expert oral									
	.y.	**group1**	**group2**	**n1**	**n2**	**statistic**	**p**	**p.adj**	**p.adj.signif**
1	Enrhume	A	B	28	28	556	0.002	0.005	**
2	Enrhume	A	temoin	28	56	876	0.337	0.337	ns
3	Enrhume	B	temoin	28	56	568	0.015	0.03	*
Expert nasal									
1	Enrhume	A	B	28	28	519	0.028	0.085	ns
2	Enrhume	A	temoin	28	56	922.	0.167	0.334	ns
3	Enrhume	B	temoin	28	56	692	0.362	0.362	ns
Naif nasal									
1	Enrhume	A	B	20	20	230	0.401	0.966	ns
2	Enrhume	A	temoin	20	40	385	0.81	0.966	ns
3	Enrhume	B	temoin	20	40	339	0.322	0.966	ns
Naif oral									
1	Enrhume	A	B	20	20	258.	0.079	0.237	ns
2	Enrhume	A	temoin	20	40	468.	0.243	0.486	ns
3	Enrhume	B	temoin	20	40	348.	0.335	0.486	ns

2) Pour l'item Grade

	.y.	**group1**	**group2**	**n1**	**n2**	**statistic**	**p**	**p.adj**	**p.adj.signif**
Expert oral									
1	Grade	A	B	28	28	484.	0.084	0.252	ns
2	Grade	A	temoin	28	56	858	0.436	0.448	ns
3	Grade	B	temoin	28	56	673	0.224	0.448	ns
Expert nasal									

1	Grade	A	B	28	28	418	0.637	1	ns
2	Grade	A	temoin	28	56	756	0.772	1	ns
3	Grade	B	temoin	28	56	706	0.412	1	ns
Naif nasal									
1	Grade	A	B	20	20	166	0.323	0.969	ns
2	Grade	A	temoin	20	40	348.	0.379	0.969	ns
3	Grade	B	temoin	20	40	412.	0.852	0.969	ns
Naif oral									
1	Grade	A	B	20	20	260	0.087	0.223	ns
2	Grade	A	temoin	20	40	506.	0.074	0.223	ns
3	Grade	B	temoin	20	40	381	0.754	0.754	ns

3) Pour l'item Raucité

	.y.	**group1**	**group2**	**n1**	**n2**	**statistic**	**p**	**p.adj**	**p.adj.signif**
Expert oral									
1	Raucite	A	B	28	28	520	0.017	0.051	ns
2	Raucite	A	temoin	28	56	828	0.651	0.651	ns
3	Raucite	B	temoin	28	56	574	0.024	0.051	ns
Expert nasal									
1	Raucite	A	B	28	28	406.	0.791	0.791	ns
2	Raucite	A	temoin	28	56	662.	0.188	0.376	ns
3	Raucite	B	temoin	28	56	637	0.109	0.327	ns
Naif nasal									
1	Raucite	A	B	20	20	164.	0.277	0.831	ns
2	Raucite	A	temoin	20	40	363	0.518	1	ns
3	Raucite	B	temoin	20	40	435	0.55	1	ns
Naif oral									
1	Raucite	A	B	20	20	246	0.19	0.57	ns
2	Raucite	A	temoin	20	40	462	0.306	0.612	ns
3	Raucite	B	temoin	20	40	363	0.538	0.612	ns

4) Pour l'item Souffle

Expert oral									
	.y.	**group1**	**group2**	**n1**	**n2**	**statistic**	**p**	**p.adj**	**p.adj.signif**
1	Souffle	A	B	28	28	368.	0.581	1	ns
2	Souffle	A	temoin	28	56	770	0.851	1	ns
3	Souffle	B	temoin	28	56	819	0.646	1	ns

Expert nasal									
1	Souffle	A	B	28	28	428	0.49	0.738	ns
2	Souffle	A	temoin	28	56	920	0.1	0.299	ns
3	Souffle	B	temoin	28	56	856	0.369	0.738	ns
Naif nasal									
1	Souffle	A	B	20	20	210.	0.765	0.918	ns
2	Souffle	A	temoin	20	40	457	0.306	0.918	ns
3	Souffle	B	temoin	20	40	447	0.4	0.918	ns
Naif oral									
1	Souffle	A	B	20	20	257	0.099	0.198	ns
2	Souffle	A	temoin	20	40	516.	0.049	0.147	ns
3	Souffle	B	temoin	20	40	392	0.892	0.892	ns

5) Pour l'item Enrhumé par patient

PM02								
y	group 1	group 2	n1	n2	statistic	p	p.adj.	p.adj. signif.
Naif nasal								
1	Enrhume	A	B	5	5	13	1	ns
Naif oral								
1	Enrhume	A	B	5	5	15.5	0.519	ns
Expert oral								
1	Enrhume	A	B	7	7	42	0.0102	*
Expert nasal								
1	Enrhume	A	B	7	7	32.5	0.298	ns

PM03								
Naif nasal								
	Enrhume	A	B	5	5	12.5	1	ns
Naif oral								
1	Enrhume	A	B	5	5	9.5	0.519	ns
Expert oral								
1	Enrhume	A	B	7	7	24.5	1	ns

Expert nasal								
1	Enrhume	A	B	7	7	18.5	0.377	ns

PM04								
Naif nasal								
1	Enrhume	A	B	5	5	12.5	1	ns
Naif oral								
1	Enrhume	A	B	5	5	15.5	0.576	ns
Expert oral								
1	Enrhume	A	B	7	7	29	0.545	ns
Expert nasal								
1	Enrhume	A	B	7	7	33.5	0.233	ns

PM05								
Naif nasal								
1	Enrhume	A	B	5	5	18.5	0.204	ns
Naif oral								
1	Enrhume	A	B	5	5	22.5	0.0248	*
Expert oral								
1	Enrhume	A	B	7	7	42	0.0108	*
Expert nasal								
1	Enrhume	A	B	7	7	47	0.00259	**

Évaluation multiparamétrique de la nasalité : Conception et utilisation d'un masque aérodynamique appliquée à une population témoin et pathologique : l'AeroMask

Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'évaluation multiparamétrique de la nasalité à travers quatre axes : aérodynamique, acoustique, volumétrique et perceptif. Ce travail a été l'occasion de parfaire le développement d'un outil d'acquisition aérodynamique : un masque en fibre de papier. Ce masque nous a permis de pallier certains inconvénients des outils d'acquisition aérodynamiques actuels. L'objectif principal était de contribuer à la compréhension de la perturbation de la nasalité dans le cadre de la polypose naso-sinusienne et sa chirurgie. Notre population était composée de quatre patients atteints de polypose naso-sinusienne enregistrés avant et après chirurgie que nous avons comparés à une population de huit locuteurs sains. Notre corpus comprenait des logatomes de type VCV. Outre la variabilité individuelle, nos résultats montrent que la population pathologique reste proche des locuteurs sains pour les études aérodynamique, acoustique et perceptive. En effet, les patrons aérodynamiques des patients sont similaires à ceux des locuteurs sains de même que les moyennes de DAN et de DAO calculées sur chaque phonème. Pour l'étude acoustique, nous avons examiné la durée des voyelles et le spectre moyen total et nasal. La différence de durée entre voyelles orales et nasales se maintient en préopératoire et postopératoire. Les moyennes de spectre moyen total et nasal des patients sont proches des locuteurs sains. Pour l'étude volumétrique, à partir de scanners, les volumes d'air naso-sinusiens ont été calculés avant et après chirurgie. Une augmentation du volume a été notée en postopératoire, volume qui se rapproche de celui du témoin. Enfin, l'étude perceptive a montré que la voix et la parole ne sont pas un handicap pour le patient et que la qualité vocale des patients n'est pas perçue comme altérée.

La relation entre aérodynamique, acoustique, volumétrie et perception s'avère complexe. Nous n'avons pas pu relever de liens tangibles en raison notamment de la forte variabilité individuelle. La pathologie ainsi que la chirurgie ne semblent pas perturber la voix et la parole des patients.

Nos résultats sont novateurs en étant les premiers à montrer l'efficacité de l'AeroMask pour l'étude de la nasalité.

Mots-clés : Nasalité, Polypose naso-sinusienne, Multiparamétrique, Instrumentation, AeroMask, DAN, DAO, acoustique, perception

Multiparametric assessment of nasality: Design and use of an aerodynamic mask applied to a control and pathological population: the AeroMask

Abstract

This thesis focuses on the multiparametric assessment of nasality through four axes: aerodynamic, acoustic, volumetric and perceptual. This work was an opportunity to perfect the development of an aerodynamic acquisition tool: a paper-fiber mask. This mask enabled us to overcome some of the drawbacks of current aerodynamic acquisition tools. The main objective was to contribute to the understanding of nasal disturbance in the context of nasal polyposis and its surgery. Our population consisted of four patients with nasal polyposis recorded before and after surgery, which we compared with a population of eight healthy speakers. Our corpus included VCV logatoms. Apart from individual variability, our results show that the pathological population remains close to healthy speakers for aerodynamic, acoustic and perceptual studies. Indeed, the aerodynamic patterns of the patients are similar to those of healthy speakers, as are the averages of NAF and OAF calculated on each phoneme. For the acoustic study, we examined vowel duration and the mean total and nasal spectrum. The difference in duration between oral and nasal vowels was maintained both pre-operatively and postoperatively. The patients' mean total and nasal spectra are close to those of healthy speakers.

For the volumetric study, sinonasal air volumes were calculated before and after surgery, using CT scans. An increase in volume was noted postoperatively, which was close to that of the control. Finally, the perceptual study showed that voice and speech are not a handicap for the patient, and that the patients' vocal quality is not perceived as impaired.

The relationship between aerodynamics, acoustics, volumetry and perception is complex. We were unable to identify any tangible links, mainly because of the high degree of individual variability. Pathology and surgery do not seem to interfere with patients' voice and speech.

Our results are innovative in that they are the first to demonstrate the effectiveness of the AeroMask in studying nasality.

Keywords: Nasality, Nasal Polyposis, Multiparametric, Instrumentation, AeroMask, Nasal Airflow, Oral Airflow, Acoustics, Perception

Université Sorbonne Nouvelle

École Doctorale 622- Sciences du langage

4 rue des Irlandais, 75005, Paris