

UNIVERSITÉ PARIS III – SORBONNE NOUVELLE

UFR Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées

École Doctorale Langage et Langues : Description, Théorisation, Transmission
(ED268)

Doctorat

Discipline : Phonétique

**ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE, FIBROSCOPIQUE,
ACOUSTIQUE ET PERCEPTIVE DES VOYELLES NASALES
DU FRANÇAIS**

Présentée par

Angélique AMELOT

Thèse dirigée par Mme le Professeur Jacqueline VAISSIÈRE

Soutenue le 18 décembre 2004 devant le jury composé de :

Mme Abigail Cohn (rapporteur)

Mme Danielle Duez

Mme Jacqueline Vaissière

Mr Didier Demolin (rapporteur)

Mr Shinji Maeda

Mr Bernard Roubeau

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui m'ont aidé à mener à bien cette thèse, pour leur soutien, leurs conseils et leurs critiques. En particulier, toute ma reconnaissance va à Jacqueline Vaissière qui m'a guidé et conseillé dans ce travail. Merci aussi à Shinji Maeda et à Abigail Cohn qui m'ont éclairé sur tous ces points qui me semblaient si obscurs... Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté de valider ce travail.

Cette thèse m'aura permis de découvrir une grande chaîne de solidarité, je vais essayer de remercier toutes ces personnes qui d'une façon ou d'une autre ont participé à l'avancement de cette recherche. Pardon d'avance pour ceux que j'aurai oubliés...

Un grand merci,

à John John Ohala, Annie Rialland, Klaus Kohler, Lise Crevier-Buchman pour leurs suggestions lors de l'avancée de ce travail.

à Lise (encore...) et Bernard Roubeau et sans lesquels je n'aurais pas eu de données.

à Patricia pour nos discussions parfois enflammées mais qui m'ont appris la prudence dans mes conclusions. Patricia, tu étais là dans les traversées du désert, c'est ton tour maintenant...

à Cédric et son "si joli nez" pour sa patience et son aide pour la prise de données.

à Katia qui a essayé d'ouvrir un peu mon esprit et qui surtout m'a ouvert grand son cœur.

à Colleen, pour son aide en anglais,

à Paddy, pour son "chouette" coup de crayon et sa gomme magique...

un grand merci à Marie-France, la mamie du petit dernier qui m'a donné de son temps et de son amitié pour m'aider à terminer.

à Patrick, pour sa patience et qui je peux le dire maintenant, désespérait de me voir terminer un jour...

à ma famille, Papa, Frédéric, Christophe, Sébastien, Tata, Tonton et Tonton, qui n'ont jamais bien su en quelle année d'études j'étais, ni même ce que je pouvais bien faire mais qui n'ont jamais manqué de m'encourager, de m'aider et de me soutenir. Vous n'imaginez pas mon bonheur de ne plus avoir à vous dire quand je pense terminer ma thèse...

Ma dernière pensée va à la personne qui mériterait le plus d'être là en ce moment, elle n'a cessé de me soutenir et de m'encourager pour que je termine.

J'aimerais profiter de ces dernières lignes pour lui dire à quel point je l'aime et à quel point elle me manque.

A toi ma maman avec tout mon amour...

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	13
I. Problèmes posés par la nasalité vocalique	14
II. Questions posées dans cette étude	23
III. Méthodes utilisées :	23
IV. Construction de cette étude	24
CHAPITRE I : PARTIE THÉORIQUE.....	25
I. Définition de la nasalité	25
I.A. Définition articulatoire du terme "nasal"	25
I.B. Définition phonologique des traits [+nasal] et [-nasal] :	26
I.C. Définition acoustique de la nasalité.....	26
I.D. Définition aérodynamique de la nasalité	32
I.E. Rapport aérodynamique et articulatoire	34
I.F. Voyelle nasale et voyelle nasalisée.....	35
II. Répartition des phonèmes nasals dans les langues du monde.....	35
II.A. Les consonnes	36
II.B. Les voyelles	36
III. Répartition des phonèmes nasals en français	37
III.A. Les consonnes	37
III.B. Les voyelles	37
IV. Historique des voyelles nasales en français.....	38
IV.A. Historique de l'appellation "voyelle nasale"	38
IV.B. Les étapes de la nasalisation.....	39
IV.C. Les théories	39
IV.D. Ordre d'apparition des voyelles nasales.....	40
V. Instruments utilisés pour étudier la nasalité.....	40
V.A. Les mesures physiologiques : l'électromyographie (EMG)	40
V.B. Les mesures articulatoires	42
V.C. Les mesures acoustiques et aérodynamiques	46
V.D. La synthèse et la modélisation.....	46
VI. Données anatomiques et physiologiques	47
VI.A. Les fosses nasales.....	47
VI.B. Les sinus.....	48
VI.C. Le voile du palais :	49
VII. Coarticulation et assimilation.....	54
CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE	59
I. Les données aérodynamiques.....	61
I.A. Méthodologie	63
I.B. Résultats	68
I.C. Discussion.....	102
II. Les données fibroscopiques	115
II.A. Méthodologie	116
II.B. Pré-étude : mesures des mouvements du velum en parallèle avec les mouvements des parois vélo-pharyngées	118
II.C. Discussion.....	124
II.D. Etude Principale : mesures des mouvements d'ouverture et de fermeture du velum.....	125
II.E. Discussion.....	148
III. Alignement des données aérodynamiques et fibroscopiques	151
III.A. Méthodologie	151
III.B. Pré-étude : données simultanées comparées aux données alignées	152
III.C. Discussion.....	156
III.D. L'étude principale : Rapport entre les mouvements vélaux et les débits d'air nasals	157

III.E. Discussion.....	163
IV. Analyse acoustique.....	165
IV.A. Méthodologie	165
IV.B. Résultats	166
IV.C. Discussion.....	169
V. Analyse perceptive	171
V.A. Méthodologie.....	171
V.B. Résultats.....	173
V.C. Discussion.....	176
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	179

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation hypothétique de la propagation du flux d'air nasal en tenant compte des contraintes phonologiques de l'anglais et du français (Cohn, 1990 p.89).....	16
Figure 2 : Coupe sagittale montrant la propagation du flux d'air (U), localisation des différentes résistances (R) dans le conduit vocal (Baken, 1987 p.408).	17
Figure 3 : Echelle de propagation de la nasalité (Clements <i>et al.</i> , 2001) comparée à l'échelle des sons selon leur "force articulatoire" (Straka, 1964).	19
Figure 4 : Structure de la syllabe.	20
Figure 5 : Différence de hauteur vélaire en fonction de la position du phonème nasal dans le mot (2 loc.), (A) : moyenne de la hauteur minimum du velum, (B) : durée du plateau bas du velum, (C) : amplitude de mouvement de l'abaissement du velum, (Krakow, 1999 p.28).	21
Figure 6 : Spectre acoustique de trois voyelles synthétisées (a : [i], b : [a], c : [u]). Six couplages différents avec la cavité nasale (NC) sont représentés, F1 : le premier formant, F2 : deuxième formant, N1 : premier anti-formant et N2 : deuxième anti-formant (Maeda, 1993 p.152).	22
Figure 7 : Coupes sagittales, a : le conduit vocal et le conduit nasal connectés par l'ouverture du port vélo-pharyngé, b : le voile du palais ferme l'orifice du port vélo-pharyngé, d'après (Straka, 1965).	26
Figure 8 : a : Spectrogramme de /m/ et /n/ prononcées devant le phonème /a/ (loc 2), b : schématisation acoustique des trois consonnes nasales du français (Carton, 1974 p.54), d'après (Delattre, 1966).	27
Figure 9 : Localisation des formants (ronds pleins) et des anti-formants (ronds vides) pour deux locuteurs en fonction de cinq voyelles de l'anglais pour les consonnes /m/ (en haut) et /n/ (en bas), (Fujimura, 1962 p.1871).	28
Figure 10 : Spectrogramme des trois voyelles nasales prononcées à l'isolée : /ɔ̃/, /ɑ̃/ et /ɛ̃/ (loc 1).	29
Figure 11 : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [i]. (Maeda, 2000).	30
Figure 12 : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [u], (Maeda, 2000)	31
Figure 13 : a : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [E], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [ɛ̃], calculé au milieu de la voyelle (loc1).	31
Figure 14 : a : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation des voyelles [o], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [ɔ̃], calculé au milieu de la voyelle (loc 1).	32
Figure 15 : a : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation des voyelles [0], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [ʌ̃], calculé au milieu de la voyelle (loc 1).	32
Figure 16 : Schématisation du conduit vocal, représenté comme un mécanisme de "robinets", (Ohala, 1983 p.191).	33
Figure 17 : (a) flux d'air nasal brut, (b) flux d'air oral et (c) flux d'air proportionnel pour le segment /ma/, (Krakow <i>et al.</i> , 1993 p.35).	33
Figure 18 : Schéma idéalisé du rapport entre les mouvements vélaire et les flux d'air sortants	34
Figure 19 : Localisation des différentes consonnes nasales et leur répartition (%) dans les langues du monde d'après (Maddieson, 1984).	36
Figure 20 : Localisation des différentes voyelles nasales et leur répartition (%) dans les langues du monde (Maddieson, 1984).	37
Figure 21 : Schématisation de l'évolution des voyelles nasales en français d'après (Pope, 1994) et (Straka, 1979b p.516), (Maeda, 2000).	40
Figure 22 : Coupe sagittale montrant une vue latérale des fosses nasales (Akoka <i>et al.</i> , 1972).	47
Figure 23 : Paroi externe montrant les trois cornets : cornet supérieur, cornet moyen et cornet inférieur (Le Huche <i>et al.</i> , 2001 p.140)	48
Figure 24 : Localisation des quatre sinus (Le Huche <i>et al.</i> , 2001 p.150).	48
Figure 25 : Les différentes formes du cavum (Akoka <i>et al.</i> , 1972).	49
Figure 26 : Profils articulatoires, à partir d'IRM de la voyelle /0/ (en gris) vs. /ʌ̃/ (en noir) dans les items vɔ̃v. Trois répétitions par voyelle pour un sujet masculin (Delvaux, 2003 p.74).	51
Figure 27 : Fermeture du port vélo-pharyngé par l'action des muscles latéraux et verticaux, (Skolnick <i>et al.</i> , 1973 p.288).	51
Figure 28 : Prononciation du même phonème nasal par deux locuteurs, a : pas de mouvements visibles des parois vélo-pharyngées, b : mouvements vélaire verticaux et horizontaux.	52
Figure 29 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ɛ̃] dans le mot "pente", la voyelle [A] dans le mot "pâte" et la voyelle [a] dans le mot "part", (Straka, 1965 p.57).	53
Figure 30 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ɛ̃] dans le mot "faim" et la voyelle [E] dans le mot "lait", (Straka, 1965 p.57).	53

Figure 31 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ɔ] dans le mot "pont", la voyelle [o] dans le mot "pope" et la voyelle [o] dans le mot "peau", (Straka, 1965 p.58).	54
Figure 32 : Représentation schématisée des éléments séquentiels de la parole ; a) aspect phonémique, b) et c) aspects acoustiques, et d) degré de corrélation phonème-son (coarticulation), (Fant, 1973 p.22).	54
Figure 33 : Superposition des gestes articulatoires, S=segment (ou phonème), (Keating, 1985 p.2).	55
Figure 34 : Débit d'air oral (dm ³ /s) en fonction du temps (ms), pour illustrer le problème de masque souple avec les segments /dididi/ (trait en pointillés) et /dadada/ (trait plein) (loc 1).	62
ainsi que des instruments de mesures. Le tableau de commande de ces instruments, l'affichage des résultats et leurs calculs sont gérés par l'ordinateur au moyen de logiciels spécifiques.	63
Figure 35 : a : Position des différents capteurs utilisés dans cette étude sur la "pièce à main", b : collier permettant la prise de données EGG.	63
Figure 36 : Schématisation de l'emplacement du masque, des embouts nasals et de l'EGG sur le sujet.	64
Figure 37 : Exemple de signaux visualisés avec le logiciel Phonedit 3.2, a : signal audio, b : signal électroglottographique, c : débit d'air nasal sortant, d : débit d'air oral sortant. Le logatome est : /dadada/ (loc 2).	64
Figure 38 : Spectrogramme de [ti] montrant le début acoustique de la voyelle représenté par la position (3) marqué par le trait, quand elle est précédée par une occlusive, le début de la voyelle a lieu après le burst (1) ou la friction (2).	67
Figure 39 : Spectrogramme de [fa] montrant le début acoustique de la voyelle représenté par la position (2), marqué par le trait. Quand elle est précédée par une fricative, le début de la voyelle a lieu après la friction (1).	67
Figure 40 : Tracé du débit d'air nasal pour le logatome /dadada/ (loc 1).	68
Figure 41 : Tracé du débit d'air nasal pour le logatome /dadada/ (loc 2).	68
Figure 42 : Tracé du débit d'air nasal (Type 1) pour le logatome /gigigi/ (loc 2).	69
Figure 43 : Tracé du débit d'air nasal (Type 2) pour le logatome /pipipi/ (loc 2).	69
Figure 44 : Tracé du débit d'air nasal (Type 3) pour le logatome /dadada/ (loc 1).	70
Figure 45 : Tracé du débit d'air nasal (Type 4) pour le logatome /bibibi/ (loc 2).	70
Figure 46 : Tracé du débit d'air nasal (Type 5) pour le logatome /bababa/ (loc 1).	70
Figure 47 : Tracé du débit d'air nasal (Type 6) pour le logatome /kykyky/ (loc 1).	71
Figure 48 : Tracé du débit d'air nasal pour une séquence de trois phrases lues : "Je commence. C'est quoi respiration. Je continue" (loc 2).	71
Figure 49 : Tracé idéalisé du débit d'air nasal en début et fin de phrase.	72
Figure 50 : Tracé du débit d'air oral pour les logatomes /kakaka/ et /zazaza/ (loc 2).	72
Figure 51 : Tracé du débit d'air oral pour le logatome /kukuku/ (loc 2).	73
Figure 52 : Tracé du débit d'air oral pour le logatome /lilili/ (loc 1).	73
Figure 53 : Tracé du débit d'air oral (Type 1) pour le logatome /gugugu/ (loc 2).	74
Figure 54 : Tracé du débit d'air oral (Type 2) pour le logatome /tytyty/ (loc 2).	74
Figure 55 : Tracé du débit d'air oral (Type 3) pour le logatome /pypipy/ (loc 2).	75
Figure 56 : Tracé du débit d'air oral (Type 1) pour le logatome /zyzyzy/ (loc 2).	75
Figure 57 : Tracé du débit d'air oral (Type 2) pour le logatome /lilili/ (loc 1).	75
Figure 58 : Exemple de pause inspiratoire pour le loc 1.	76
Figure 59 : Exemple de pause expiratoire pour le locuteur 1.	76
Figure 60 : Mesure de la durée du phonème nasal (D1), en ms, pour le logatome /titi/ (loc 1).	77
Figure 61 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=4).	78
Figure 62 : Moyenne de la durée du phonème nasal (D1), en ms, en fonction des 4 répétitions des logatomes (2 loc, n=108).	78
Figure 63 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	79
Figure 64 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).	79
Figure 65 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V ₁) (2 loc, n=108).	80
Figure 66 : Mesure de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour la voyelle nasale /ɔ/ prononcée dans le logatome est /titi/ (loc 1).	82
Figure 67 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	83
Figure 68 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc).	83
Figure 69 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V ₁), (2 loc, n=108).	84

Figure 70 : Deux cas de débit d'air nasal pour la voyelle /ø/, a : le débit d'air nasal est présent durant toute la durée du phonème et continue pendant la pause, b : le débit d'air nasal est très court durant le phonème et reprend durant la pause.....	86
Figure 71 : Extraits de phrases contenant trois cas de dénasalisation de voyelles nasales : "...le zip deux cent cinquante..." et "...vous êtes en train (de) me..." (loc 1).....	87
Figure 72 : Extraits de phrases contenant des cas de dénasalisation de voyelles nasales : "... ben des phrases..." et "... quand je leur disais..." (loc 2).....	87
Figure 73 : Exemple de débit d'air nasal pendant une hésitation : "...du style <hésitation> le bateau..." (loc 2).....	88
Figure 74 : Exemple de nasalisation spontanée dans la phrase : "...des phrases parfois bizar rr res..." (loc 2).....	89
Figure 75 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du phonème (D6), en ms, pour la voyelle nasale /ø/ prononcée dans le logatome /titøi/ (loc 1).....	89
Figure 76 : Anticipation importante du débit d'air nasal sur la voyelle /ø/ prononcée dans le logatome /gagøga/ (loc 2).....	90
Figure 77 : Retard important de débit d'air nasal sur la voyelle /ø/ prononcée dans le logatome /pipøpi/ (loc 1).....	91
Figure 78 : Moyenne de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).....	91
Figure 79 : Moyenne de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).....	92
Figure 80 : Exemple de propagation de débit d'air nasal sur une consonne orale /t/, pour la phrase "...tonton tond..." (loc 1).....	93
Figure 81 : Mesure du décalage entre la fin du débit d'air nasal et la fin de la voyelle (D12), en ms, pour la voyelle nasale /ø/ prononcée dans le logatome est /titøi/ (loc 1).....	94
Figure 82 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).....	95
Figure 83 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁), (2 loc, n=48).....	95
Figure 84 : Mesure du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour la voyelle nasale prononcée dans le logatome /babøba/ (loc 2).....	97
Figure 85 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).....	98
Figure 86 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).....	98
Figure 87 : Moyenne de la moyenne du débit d'air nasal (Q2), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).....	100
Figure 88 : Moyenne de la moyenne du débit d'air nasal (Q2), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).....	100
Figure 89 : Moyenne du flux d'air nasal proportionnel (Q3), en %, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).....	102
Figure 90 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /gugøgu/ (loc 2).....	103
Figure 91 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /tytøty/ (loc 2).....	103
Figure 92 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /pypøpy/ (loc 2).....	103
Figure 93 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /pupøpu/ (loc 2).....	103
Figure 94 : Graphiques de régression de la durée du phonème en fonction de la durée totale de débit d'air nasal toutes voyelles confondues pour les logatomes (2 loc).....	105
Figure 95 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /zyøzy/ (loc 2).....	105
Figure 96 : Coupe sagittale et position des lèvres pour la prononciation des voyelles nasales /ø/ (ligne pleine) et /ø̃/ (ligne pointillée) (Bothorel <i>et al.</i> , 1986 p.144).....	106
Figure 97 : Coupe sagittale et position des lèvres prise au début de la production de la voyelle nasale /ø/ entourée des consonnes /p/ (a) et /s/ (b) (Bothorel <i>et al.</i> , 1986 p.120 et 121). Mettre une explication avec la fermeture de et remettre l'explication.....	107
Figure 98 : Corrélation entre la fin du débit d'air nasal et la fin des vibrations glottiques. Exemple avec les logatomes /titøi/ (loc 1) et /sisøsi/ (loc 2).....	108
Figure 99 : Propagation du débit d'air nasal sur un segment non voisé en parole spontanée : "...deux cent cinquante va..." (loc 1).....	109
Figure 100 : Exemple d'assimilation nasale sur des occlusives et des fricatives sonores pour la phrase "...effectivement demandé à des gens..." (loc2).....	110
Figure 101 : Degrés d'ouverture de la bouche pour les quatre voyelles nasales (la mesure a été faite au milieu de la voyelle) (Bothorel <i>et al.</i> , 1986 p.142).....	111
Figure 102 : Degrés d'ouverture labiale pour les trois voyelles nasales pour les deux locuteurs (la mesure a été faite au milieu de la voyelle).....	112

Figure 103 : Tracé idéalisé des courbes de débit d'air nasal (en foncé) et de débit d'air oral (en clair), en fonction des cas les plus fréquemment trouvés.....	113
Figure 104 : Mise en place des règles phonologiques exprimées en traits aérodynamiques.	114
Figure 105 : Différentes positions de l'endoscope : a : permet de voir les mouvements du larynx, b : l'épiglotte, c : les mouvements des parois vélo-pharyngées, d : les mouvements du velum (Ushijima <i>et al.</i> , 1972)....	116
Figure 106 : Vue du dessus du port vélo-pharyngé durant une phase de respiration (loc 1).	117
Figure 107 : Exemple de mesure des mouvements vélaire, le point de départ est l'image de référence où le velum est le plus ouvert (phase de respiration).	118
Figure 108 : Exemple de courbe obtenue après séquençage des images vidéos, logatome /dad ⁰ la/ (loc 2)....	118
Figure 109 : Exemple d'alignement de deux courbes (velum & parois) obtenues à partir des vidéos fibroscopiques, logatome /zaz ² za/ (loc 1).	120
Figure 110 : Graphiques récapitulant les mesures de la hauteur du velum et la distance entre les parois pour les voyelles nasales (2 loc, n=1).	120
Figure 111 : Illustration de la mesure du décalage entre le début du phonème et le début du mouvement des parois (P4), en ms, et de la mesure du décalage entre la fin du phonème et la fin du mouvement des parois (P11), en ms, sur le logatome /dad ⁰ la/ (loc 1).	122
Figure 112 : Mesure de la distance entre le début du phonème et le début de l'ouverture vélaire (D4), en ms, et mesure de la distance entre le début du phonème et le début du mouvement des parois (P4), en ms, (2 loc, n=15).	123
Figure 113 : Mesure de la distance entre la fin du phonème et la fin de l'ouverture vélaire (D4), en ms, et mesure de la distance entre la fin du phonème et la fin du mouvement des parois (P4), en ms, (2 loc, n=15).	123
Figure 114 : Exemple de synchronie des mouvements du velum et des parois pour le logatome /dad ⁰ la/ (loc 1). Les débuts et les fin des mouvements sont indiqués par les flèches.....	123
Figure 115 : Exemple du tracé des mouvements vélaire pour les logatomes /sasasa/ et /sisisi/ (loc 2).	125
Figure 116 : Exemple du tracé des mouvements vélaire pour les logatomes /zyz ² zy/ et /dad ⁰ la/ (loc 2).	126
Figure 117 : Schématisation de trois cas possibles pour segmenter le début et la fin du mouvement d'ouverture du velum.	126
Figure 118 : Exemple du tracé du mouvement vélaire durant les pauses, les phrases "ton tonton tond ton tonton. Tonton tond ton tonton Thon. Thon, ton tonton tond tonton." (loc 1).	127
Figure 119 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum est fermé avant le premier phonème de la phrase : "Demain, Jean vient." (loc 2).	127
Figure 120 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum se ferme durant le premier phonème de la phrase : "Cet homme est énorme." (loc 2).	128
Figure 121 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum est ouvert durant le premier phonème de la phrase et se ferme pour le phonème suivant : "Il pense à sa blessure." (loc 1).	128
Figure 122 : Production d'une voyelle nasale sans mouvement d'ouverture vélaire, "... et ben pas tous..." (loc 2).	129
Figure 123 : Mouvements d'ouverture pour la voyelle /a/ dans l'entourage /1/, "...ce soir je vais aller..." (loc 2).	129
Figure 124 : Tracé du mouvement vélaire durant une hésitation (loc 2).	130
Figure 125 : Moyenne de la durée du phonème nasal (D1), en ms, en fonction des 4 répétitions des logatomes pour les mesures fibroscopiques (2 loc, n=108).	131
Figure 126 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes pour les mesures fibroscopiques (2 loc, n=144).	132
Figure 127 : Mesure de la durée totale du mouvement d'ouverture et de fermeture du velum (D2) pour le logatome /tit ⁰ i/ (loc 1).	133
Figure 128 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms, pour les voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	133
Figure 129 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	134
Figure 130 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).	135
Figure 131 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D12) (en ms) pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 2, n=47).	136
Figure 132 : Mesure du décalage entre le début du mouvement du velum et le début acoustique du phonème (D4) pour le logatome /tit ⁰ i/ (loc 1).	136
Figure 133 : Moyenne de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	137
Figure 134 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).	138

Figure 135 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V ₁) (2 loc, n=108).	138
Figure 136 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 2, n=47).	139
Figure 137 : Mesure de la persévération du mouvement vélaire (D11) pour le logatome /titʔi/ (loc 1).	140
Figure 138 : Moyenne de la durée de la persévération du mouvement (D11), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=144).	141
Figure 139 : Moyenne de la durée de la persévération du mouvement (D11), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).	141
Figure 140 : Mesure du décalage entre l'ouverture maximum du velum et le début acoustique du phonème (D8) pour le logatome /titʔi/ (loc 1).	142
Figure 141 : Moyenne du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème (D8), en ms, en fonction des voyelles nasales pour les logatomes (2 loc, n=144).	143
Figure 142 : Moyenne du décalage entre le début du mouvement et l'ouverture maximum (D8), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=48).	144
Figure 143 : Mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13) et mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14) pour le logatome /titʔi/ (loc 1).	145
Figure 144 : Moyennes de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13) et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14) pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	146
Figure 145 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum pour le logatome /titʔi/ (loc 1).	147
Figure 146 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum (Q4), en pixels, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).	147
Figure 147 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum (Q4), en pixels, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (2 loc, n=144).	148
Figure 148 : Coupe sagittale montrant la production de la vélaire /k/ (trait plein) pour la séquence /iku/ et /b/ (trait pointillé) dans la séquence /ebuʔi/, images extraites au milieu de la consonne (Bothorel <i>et al.</i> , 1986 p.79).	149
Figure 149 : Schéma idéalisé résumant les mouvements d'ouverture et de fermeture du velum.	150
Figure 150 : Alignement des fichiers aérodynamiques et fibroscopiques, pour le logatome /tatʔa/ (loc 2).	152
Figure 151 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D9) en fonction des trois voyelles nasales (loc 1).	154
Figure 152 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélares (D2, D4, D8) en fonction des trois voyelles nasales (loc 1).	155
Figure 153 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D9) en fonction des trois consonnes orales (loc 1).	155
Figure 154 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélares (D2, D4, D8) en fonction des trois consonnes orales (loc 1).	155
Figure 155 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), pour le logatome /dadʔa/ (loc 2).	157
Figure 156 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).	158
Figure 157 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=12).	158
Figure 158 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V ₁) (2 loc, n=27).	159
Figure 159 : Mesure du décalage entre le début du débit de l'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7) pour le logatome /dadʔa/ (loc 2).	159
Figure 160 : Mesure du décalage entre le début du débit de l'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).	160
Figure 161 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C ₁) (2 loc, n=12).	160
Figure 162 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7) pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V ₁) (2 loc, n=27).	161
Figure 163 : Mesure du décalage entre le maximum d'ouverture du velum et le pic maximum de débit d'air nasal (D10) pour le logatome /dadʔa/ (loc 2).	161

Figure 164 : Moyenne de la distance entre le maximum d'ouverture vélaire et le maximum de débit d'air nasal pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).	162
Figure 165 : Exemple de mise en connexion des conduits oral et nasal, logatome /tit <i>ʔ</i> i/ (loc 2).	163
Figure 166 : Illustration de la fonction inverse entre le débit d'air nasal et le débit d'air oral pendant le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum, logatome /li <i>ʔ</i> i/ (loc 1).	164
Figure 167 : Exemples des observations faites sur le signal acoustique sur trois voyelles nasales. Cas 1 : [i] pas de modification d'amplitude observée sur le signal acoustique, Cas 2: [i] enveloppe découpée en deux, Figure 3 : [i] enveloppe découpée en trois.	166
Figure 168 : Les trois positions du velum observées par rapport au signal acoustique. 1) début du mouvement d'ouverture, 2) fin du mouvement d'ouverture et 3) ouverture maximale.	166
Figure 169 : Exemple de corrélation entre l'ouverture vélaire maximale et le signal acoustique pour le logatome /li <i>ʔ</i> i/ (loc 2).	167
Figure 170 : Exemple de corrélation entre le début du débit d'air nasal et le signal acoustique pour logatome /bi <i>ʔ</i> i/ (loc 1).	168
Figure 171 : L'enveloppe du signal acoustique est modifiée quand le débit d'air oral diminue, logatome /di <i>ʔ</i> i/ (loc 2).	169
Figure 172 : a : voyelle nasale découpée à partir de la second période, le reste de la voyelle qui est hachuré est progressivement présenté à l'auditeur, b : les deux vibrations glottiques et 20 ms de la voyelle nasale sont présentées à l'auditeur.	172
Figure 173 : a : découpage de la voyelle nasale qui commence par la fin de celle-ci, b : dévoilement des 20 ms suivants la première découpe.	172
Figure 174 : Nombre de personnes ayant perçu la nasalité en fonction de la voyelle nasale, pour l'ensemble du test 1.	174
Figure 175 : Courbe d'identification de la nasalité pour le test 1 en fonction de la moyenne d'identification pour les 40 mots, pour l'ensemble du test 1.	174
Figure 176 : Nombre de personnes ayant perçu la nasalité en fonction de la voyelle nasale, pour l'ensemble du test 2.	175
Figure 177 : Courbe d'identification de la nasalité pour le test 1 en fonction de la moyenne d'identification pour les 40 mots, pour l'ensemble du test 2.	175
Figure 178 : Perception de la voyelle nasale en fonction de l'ouverture du port vélo-pharyngé (Benguerel <i>et al.</i> , 1981).	177
Figure 179 : Le logatome /tit <i>ʔ</i> i/ (loc 1), le trait indique l'instant où les auditeurs ont discriminé la nasalité.	177

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classement des différentes langues répertoriées dans UPSID, selon si elles comportent des phonèmes nasals dans leur système phonologique, (Clements <i>et al.</i> , 2001).	35
Tableau 2 : Répartition des consonnes nasales du français, (Carton, 1974 p.72 ; Wioland, 1991 p.30).	37
Tableau 3 : Répartition des voyelles nasales du français, (Carton, 1974 p.72 ; Wioland, 1991 p.30).	38
Tableau 4 : Différents phonèmes utilisés pour les logatomes (C ₁ V ₁ C ₁ V ₁ C ₁ V ₁).	65
Tableau 5 : Moyennes de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales et 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	77
Tableau 6 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=9).	77
Tableau 7 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).	81
Tableau 8 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 1, n=58 & loc 2, n= 79).	81
Tableau 9 : Moyennes de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	82
Tableau 10 : Ordre d'apparition des consonnes (C ₁) en fonction de la mesure du débit d'air nasal (D3) pour les trois voyelles nasales.	84
Tableau 11 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2 loc, n=48).	85
Tableau 12 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).	85
Tableau 13 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc1, n=58 & loc 2, n=79).	86
Tableau 14 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané", en fonction de la position dans le mot, dans le corpus "spontané" (loc1, n=58 & loc 2, n=79).	87
Tableau 15 : Mots pour lesquels il y a du débit d'air nasal en parole spontanée, les phonèmes nasalisés sont en gras (2 loc).	88
Tableau 16 : Mesure de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	89
Tableau 17 : Ordre d'apparition des consonnes en fonction du retard de débit d'air nasal constaté sur les voyelles nasales (2 loc).	92
Tableau 18 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	94
Tableau 19 : Ordre d'apparition des consonnes en fonction de la persévération du débit d'air nasal constatée sur les voyelles nasales (2 loc).	96
Tableau 20 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).	96
Tableau 21 : Mesure du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour les trois voyelles nasales à l'isolées (2 loc, n=1).	97
Tableau 22 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2loc, n=48).	99
Tableau 23 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm ³ /s, pour les 3 voyelles nasales dans le corpus "spontané" (loc 1, n=58 & loc 2, n=79).	99
Tableau 24 : Mesure de la moyenne de débit d'air nasal (Q2) en cm ³ /s, pour les trois voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	100
Tableau 25 : Mesure du flux d'air nasal proportionnel (Q3), en %, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	101
Tableau 26 : Moyenne de l'ouverture du velum et la distance entre les parois pour les voyelles orales et les voyelles nasales pour les logatomes.	121
Tableau 27 : Moyenne de l'anticipation et de la persévération des mouvements du velum et des parois (D4, D11, P4 et P11), en ms moyenne pour les trois voyelles nasales (2 loc, n=15).	122
Tableau 28 : Synchronisation des mouvements du velum et des parois en % (2 loc, n=90).	124
Tableau 29 : Moyennes de la durée du phonème (D1), en ms pour 4 voyelles orales et 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	130
Tableau 30 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms pour les 3 voyelles nasales, dans le corpus "spontané", pour les mesures fibroscopiques (loc 1, n=10 & loc2, n=47).	133
Tableau 31 : Moyenne de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).	137

Tableau 32 : Moyenne de la durée de persévération du mouvement (D11), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).....	140
Tableau 33 : Mesure du décalage entre l'ouverture maximum et le début du phonème (D8), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).....	143
Tableau 34 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).....	145
Tableau 35 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, pour les logatomes (2 loc, n=432).	145
Tableau 36 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, en fonction des voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2 loc, n=48).....	146
Tableau 37 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, en fonction des voyelles nasales pour le corpus "spontané" (loc 1, n=10, loc 2, n=47).....	146
Tableau 38 : Moyenne et Ecart type de la durée des voyelles (D1), en ms) (loc 1, n=6).	154
Tableau 39 : Moyenne et Ecart type des mesures temporelles en ms, (loc 1, n=36).	154
Tableau 40 : Moyenne du flux d'air nasal proportionnel (Q8) et moyenne du maximum du débit d'air nasal (Q1) pour les deux méthodes (loc 1, n=18).	156

INTRODUCTION

"Les voyelles définies dans les traités spéciaux, les seules correctes d'après certains phonétistes, n'ont pas cours dans la vie ordinaire : organismes trop délicats, peu faits pour les chocs et les conflits de l'existence quotidienne, elles se brisent au premier usage." (Marichelle, 1902 p.14).

La production des sons a toujours été au centre des préoccupations phonétiques.- Panini (env. IV^e siècle avant notre ère) a décrit la grammaire sanscrite à l'aide d'une description exhaustivement articulatoire. Rousselot (1891), précurseur de la phonétique expérimentale, a proposé d'expliquer les changements de sons uniquement par la facilité articulatoire : les transformations langagières sont dues à des défauts de langage et l'évolution se manifeste par une mauvaise coordination ou un manque de précision dans les mouvements (Rousselot, 1891 p.14). Il faut attendre Durand en 1955, pour ne plus laisser à l'auditeur un rôle passif dans les changements de sons (Durand, 1955). Pour Martinet (1955), il est possible d'expliquer la typologie des systèmes phonologiques à la fois en termes de facilité articulatoire et de prégnance des contrastes auditifs : les sons tendent à se ressembler dans la chaîne, mais le système d'opposition exerce une pression pour les maintenir différents sur l'axe paradigmatique (Martinet, 1955). Ohala (1974) poursuit cette théorie et explique que les contraintes physiologiques dans la production de la parole impliquent que le locuteur produise des choses sensiblement différentes du point de vue perceptif. Le locuteur réinterprète quand il prononce un mot qu'il a entendu de façon ambiguë (Ohala, 1974).

Vu la complexité du langage, il apparaît nécessaire d'aborder chaque phénomène de parole de plusieurs points de vue, et de les mettre en confrontation : la facilité articulatoire à prononcer les sons en séquence couplée à la dynamique différente des articulateurs, la non linéarité entre les mouvements articulatoires et leurs effets acoustiques, les contraintes aérodynamiques de mise en vibration des plis vocaux ou de la création du bruit dans le conduit vocal, le traitement du signal au niveau de l'oreille périphérique, les problèmes de masquage temporel et fréquentiel, l'identification des phonèmes à partir des traits acoustiques, l'accès lexical et la pression du système des contrastes phonologiques.

La revue de la littérature montre que la description phonétique d'une langue ne sera pas la même en parole hyper-articulée et en parole relâchée (Duez, 1996 ; Lindblom, 1963). Ces différences ne sont pas complètement liées au débit. Le locuteur a tendance à ajuster son effort au besoin de l'auditeur (Jakobson *et al.*, 1956). Etudier la parole en situation naturelle n'est pas une idée nouvelle, pourtant les connaissances sont encore limitées dans ce domaine. Il existe des données acoustiques et perceptives, en particulier des données faites par les ingénieurs dans les systèmes de reconnaissance de la parole. Par contre, il existe très peu de données physiologiques. Plusieurs théories sur les mécanismes sous-jacents à la réduction s'affrontent, théories dans lesquelles le locuteur joue un rôle plus ou moins actif : de l'influence passive du contexte phonétique et de la durée des phonèmes à l'anticipation active, et du rôle de plus ou plus redécouvert de la position prosodique des phonèmes à l'intérieur de la syllabe, de la position de la syllabe dans le mot, et de l'influence de l'accent (Straka, 1979a). Un mot n'est pas une suite linéaire de phonèmes, ni même d'allophones, une représentation hiérarchisée correspond mieux à la réalité. La réalité est très complexe puisque la structure de la syllabe, la structure du mot, la structure syntaxique de la phrase et la

structure pragmatique jouent un rôle très important. A cela s'ajoutent des facteurs biologiques dans la parole spontanée liés par exemple au besoin de respirer et qui font que les phénomènes phonétiques de la parole spontanée sont bien plus difficiles à prédire que dans la parole lue.

Les phénomènes de nasalité ont été relativement bien étudiés en français, tout au moins en parole lue :

- ?? Données radiographiques de Straka (1965), Delattre (1968). (Delattre, 1968 ; Straka, 1965)
- ?? Données cinéradiographiques de Brichler-Labaeye (1970), Zerling (1984). (Brichler-Labaeye, 1970 ; Zerling, 1984)
- ?? Données aérodynamiques liées à l'abaissement du levator palatini de Benguerel (1974), Cohn (1990), Delvaux (2003). (Benguerel, 1974 ; Cohn, 1990 ; Delvaux, 2003)
- ?? Données fibroscopiques sur les mouvements vélares de Benguerel (1975), Ausseterre (1989), Amelot (2003). (Amelot *et al.*, 2003 ; Ausseterre *et al.*, 1989 ; Benguerel *et al.*, 1975)
- ?? Données électromyographiques sur les muscles du velum de Benguerel (1977), Flament (1989). (Benguerel *et al.*, 1977b ; Flament, 1989)
- ?? Etudes acoustiques approfondies de la nasalité de Maeda (1982), Lonchamp (1988). (Lonchamp, 1988 ; Maeda, 1982a)
- ?? Modélisation des conséquences articulatoires liées à la mise en dérivation du conduit nasal de Maeda (1993). (Maeda, 1993)
- ?? Synthèse des nasales de Bognar (1986). (Bognar *et al.*, 1986)
- ?? Etudes perceptives de Benguerel (1981), Bognar (1986). (Benguerel *et al.*, 1981 ; Bognar *et al.*, 1986)

Peu de travaux concernant la nasalité en parole spontanée.- Les trois exceptions notables sont Malécot (1972) qui a étudié la coarticulation nasale sur le plan acoustique, Duez en 1995 qui a montré l'influence du contexte nasal sur la perception des consonnes occlusives voisées environnantes, et Basset *et al.* (2001) qui montrent la propagation du flux d'air nasal sur les phonèmes environnants (Basset *et al.*, 2001 ; Duez, 1995 ; Malécot *et al.*, 1972).

En gardant à l'esprit qu'une description phonétique doit être multi-paramétrique, nous avons voulu donner une description la plus exhaustive possible des voyelles nasales du français à travers différents styles de parole.

Nous avons choisi la nasalité vocalique en français car c'est une des 97 langues du monde sur les 451 référencées dans la base de données UPSID¹ (Maddieson, 1984) qui possède dans son inventaire phonologique, des consonnes et voyelles nasales. Ce contraste résulte du couplage de la cavité orale avec la cavité nasale par l'ouverture du canal vélo-pharyngé. L'addition d'une nouvelle cavité rend plus complexe l'étude de la coarticulation avec les phonèmes adjacents.

I. Problèmes posés par la nasalité vocalique

1. La description articulatoire du trait nasal convient-elle pour une description phonologique ou une description en termes acoustiques est-elle plus appropriée ?

¹ Est un acronyme de UCLA Phonological Segment Inventory Database, base de données créée au laboratoire de Phonétique de l'Université de Californie, Los Angeles.

Selon la définition de Chomsky et Halle (1968) :

“Nasals sounds are produced with a lowered velum which allows the air to escape through the nose; non nasal sounds are produced with a raised velum so that the air from the lungs can escape only through the mouth.” (Chomsky *et al.*, 1968 p.316)

Le trait articulatoire de la nasalité est décrit par la distinction [+nasal] et [-nasal] (cf. I.B. p.26).- Chomsky et Halle abordent la nasalité à partir d’une description articulatoire : la distinction [+nasal] et [-nasal] reprend la différence fondamentale : voile du palais abaissé ou voile du palais relevé. Cette description binaire est appliquée à la fois pour les consonnes et les voyelles nasales. Pourtant la nasalité vocalique semble plus complexe. Un même degré d’abaissement du voile du palais peut ou non conduire à la perception de la nasalisation, en fonction notamment de l’identité de la voyelle. Une ouverture vélaire de 0,4 cm² est suffisante pour percevoir une voyelle /i/ comme nasalisée alors qu’il faut une ouverture du velum de 1,6 cm² pour que la voyelle /a/ soit perçue comme nasale (Maeda, 1993).

Les corrélats acoustiques de la nasalité sont complexes.- Ils sont traités dans la partie I.C. p.26. Pour résumer, les conséquences acoustiques du couplage des cavités orales et nasales sont l’ajout d’anti-formants dans le spectre de la voyelle, un changement de fréquence, d’intensité et de largeur de bande des formants oraux (Fant, 1960 ; Fujimura *et al.*, 1971).

La difficulté réside dans le fait de savoir à quelle fréquence vont se situer les nouveaux formants et les anti-formants. Leur position dépend de la cavité nasale (fixe sans constriction) qui peut varier en fonction des individus, et du conduit buccal, plus mobile dont la forme (et donc les résonances naturelles) est modifiée, quand le velum s’abaisse. Le problème réside ensuite dans le repérage de tels indices sur le signal acoustique. Une modélisation (avec le modèle de Maeda) permet d’étudier les associations entre formants et anti-formants, cavité buccale et nasale. Maeda fait l’hypothèse que le corrélat acoustique principal est un aplatissement du premier et du second formant (Maeda, 1982c).

Alors, comme le souligne Fant en 1973 ne faut-il pas inclure également les corrélats acoustiques et perceptifs pour décrire la nasalité vocalique ? (Fant, 1973 p.171).

Nos données permettront-elles de dire quel est le meilleur corrélat pour décrire la nasalité vocalique ?

2. Dans quelle mesure la coarticulation nasale est-elle un phénomène dépendant de la langue ?

La coarticulation vélaire est spécifique aux langues (Clumeck, 1976).- Sur les six langues que Clumeck a étudiées, deux langues ont une coarticulation plus importante que les autres : l’américain et le portugais brésilien manifestent une plus grande assimilation nasale sur les voyelles, alors que les locuteurs de chinois (Amoy) en montre moins.

L’étendue possible de coarticulation subit la pression du système.- La différence entre les langues peut dépendre des oppositions phonologiques qui existent dans ces différentes langues. Une langue ayant une opposition entre les voyelles nasales et les voyelles orales devra avoir moins de coarticulation nasale pour pouvoir maintenir l’opposition entre les voyelles (Cohn, 1990 ; Solé *et al.*, 1991).

En anglais, la nasalité peut se propager allégrement sur les phonèmes qui entourent le phonème nasal.- L’anglais est une langue qui n’a pas d’opposition entre voyelles orales et voyelles nasales. La nasalisation de la voyelle en anglais permet de repérer la présence de la consonne nasale en coda, plutôt que la présence de la consonne nasale elle-même (Malécot, 1960).

La coarticulation nasale doit être minimum en français pour maintenir la distinction entre les phonèmes.- C'est l'objet de notre thèse et elle sera traitée dans la partie VII.A.5. p.56. Avec une coarticulation nasale maximale, le trait de nasalité qui se propage sur un segment vocalique non nasal phonologiquement ne pourrait plus permettre d'opposer les voyelles orales et nasales. Selon Martinet (1955), la langue réagit pour maintenir les oppositions entre phonèmes (Martinet, 1955). La contrainte phonologique (pression du système) permet de déduire une représentation phonétique hypothétique selon laquelle, le flux d'air nasal pourrait se propager sur les phonèmes environnant en anglais mais pas en français.

(3) Hypothetical phonetic output

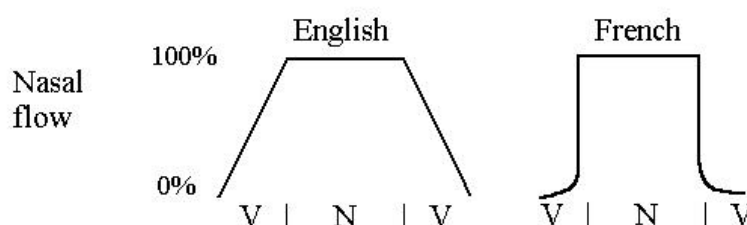


Figure 1 : Représentation hypothétique de la propagation du flux d'air nasal en tenant compte des contraintes phonologiques de l'anglais et du français (Cohn, 1990 p.89).

Notre étude porte sur une seule langue, le français. Nous ne sommes pas en mesure de vérifier la coarticulation nasale en fonction des langues. Par contre, à travers cette recherche qui combine corpus lu et corpus "spontané", nous cherchons à savoir si l'étendue possible de la coarticulation nasale est différente selon le style de parole.

3. La coarticulation nasale est-elle dépendante des contraintes articulatoires ?

Du point de vue articulatoire, la nasalité vocalique fait intervenir à la fois le conduit nasal et le conduit buccal, avec des interactions non linéaires. Il est donc possible d'aborder un des problèmes majeurs de la phonétique et qui concerne la préséance de l'articulatoire sur l'acoustique ou de l'acoustique sur l'articulatoire dans la production de la parole.

Le levator palatini est le principal muscle élévateur du voile du palais. - Autant les chercheurs sont assez d'accord pour dire que le muscle responsable de l'élévation du velum est le levator palatini. Autant en ce qui concerne le muscle abaisseur, les opinions divergent ; certains pensent qu'il pourrait s'agir du palato-glosse (Moll, 1962). Ce muscle pourrait avoir une activité différente selon les contextes et les langues (Bell-Berti *et al.*, 1973).

La fermeture vélo-pharyngée n'est pas obtenue seulement par l'élévation du levator palatini. - Pendant longtemps, les chercheurs ne se sont intéressés qu'à la fonction d'abaissement et d'élévation du velum, nous verrons dans la partie VI.C.1. p. 50 que le levator palatini n'est pas le seul muscle intervenant dans les mouvements d'ouverture et de fermeture du port vélo-pharyngé (Skolnick *et al.*, 1973). Les parois vélo-pharyngées latérales et postérieures interviennent pour fermer le port vélo-pharyngé ce qui donne une fermeture de type sphincter.

Nous profiterons de cette étude pour observer les parois vélo-pharyngées latérales et postérieures, et savoir dans quelle mesure elles participent à la production articulatoire des phonèmes.

Les contraintes articulatoires modifient la hauteur intrinsèque du velum. - L'élévation du palais mou durant la production des voyelles est corrélée avec la hauteur de la voyelle. Le voile du palais est plus haut pour les voyelles hautes, et plus bas pour les voyelles basses. Les anglais-américains nasalisent les voyelles basses dans un contexte non-nasal (Clumeck, 1976). Les voyelles hautes seraient moins sensibles à une assimilation articulatoire nasale.

L'hypothèse est que le velum est relié à la langue par le muscle palato-glosse, quand il s'abaisse pour produire un phonème nasal. Cet abaissement implique un abaissement de la langue et une ouverture de la mâchoire (Carton, 1974 p.182 ; Moll, 1962 ; Tronnier, 1998).

Dans notre travail, nous nous posons la question de la hauteur intrinsèque du voile du palais dans la parole spontanée ?

L'assimilation nasale est plus anticipatoire que persévérante (Chafcouloff, 1999).- Le velum met environ 50 ms pour s'ouvrir (Ohala, 1975). Le levator palatini met plus de temps à s'abaisser qu'à se relever (Benguerel *et al.*, 1977b). Le velum se contracte pendant la parole et reprend sa position de prédilection après, la gravité favorise l'abaissement de celui-ci (Benguerel *et al.*, 1977a). L'inertie est plus importante au début de segment, le mouvement du velum commence à s'abaisser avant le phonème pour compenser le manque de simultanéité, et avoir de la nasalité en début de phonème nasal. La propagation de la nasalité à partir d'une consonne nasale peut avoir lieu aussi bien progressivement que régressivement, mais l'assimilation régressive serait plus courante (Ferguson, 1975).

Dans cette étude, nous nous posons la question de savoir si le mouvement anticipé d'ouverture implique forcément que l'air nasal arrive au début du phonème nasal ?

4. La coarticulation nasale est-elle dépendante des contraintes aérodynamiques ?

La mise en connexion des deux cavités entraîne des conséquences aérodynamiques non linéaires.

1) *Une ouverture vélaire minimum est nécessaire pour que l'air puisse passer par le conduit nasal (Warren, 1964 ; Warren et al., 1964).*-

2) *L'impédance à l'intérieur du conduit oral est importante.*- Si la taille du port vélo-pharyngé est un bon indicateur de l'air qui passe par le nez (Warren, 1967), l'ouverture du port vélo-pharyngé n'est pas toujours suffisante à la production de débit d'air nasal. Baken en 1987 a montré qu'il y avait aussi une importance de l'impédance ; le velum peut très bien être abaissé sans que pour autant il y ait du débit d'air nasal significatif (exemple de la voyelle /a/).

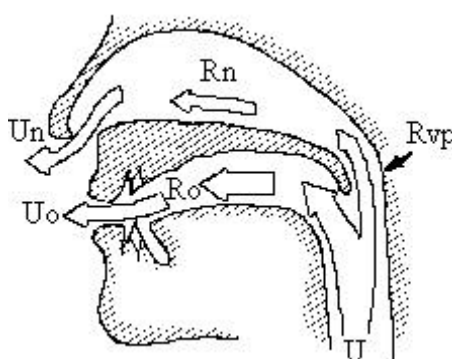


Figure 2 : Coupe sagittale montrant la propagation du flux d'air (U), localisation des différentes résistances (R) dans le conduit vocal (Baken, 1987 p.408).

La Figure 2 représente schématiquement la mise en connexion des cavités. L'air total vient du bas du pharynx (U). Quand il n'y a pas d'obstacle à l'air dans la cavité orale, il n'y a qu'une petite résistance à cet air (R_o). Un faible R_o conduira à un faible passage de l'air nasal dans la cavité nasale (U_n). Un fort R_o conduira à un passage important de l'air dans la cavité nasale. Le passage de l'air dans cette cavité (U_n) dépend aussi de la résistance au niveau du velum

(R_{vp}). De ce fait, le volume d'air nasal (U_n) dépend de R_o (on parle également de pression intra-orale) divisée par la résistance au niveau du port vélo-pharyngé (R_{vp}) :

$$U_n = \frac{R_o}{R_{vp}}$$

Formule 1 : Le débit d'air nasal total est obtenu en faisant le rapport entre la résistance dans le conduit buccal et la résistance à l'entrée du port vélo-pharyngé.

R_o varie selon les phonèmes, il est plus important pour les voyelles fermées que pour les voyelles ouvertes. La force vocale et le degré de la constriction orale ont une incidence sur le flux d'air nasal sortant.

3) *Il est possible d'observer du flux d'air nasal (généralement de faible amplitude et de courte durée) alors que le port vélo-pharyngé est complètement fermé (Benguerel, 1974).*- L'étude de Benguerel (1974) consiste à examiner les mouvements temporels du velum à travers des données aérodynamiques prises sur les locuteurs parlant français.

Les contraintes aérodynamiques sont différentes selon les phonèmes.- Ohala (1983) essaie d'expliquer les phénomènes aérodynamiques et du même coup la propagation de la nasalité. Les propriétés aérodynamiques et anatomiques du conduit vocal influencent la combinaison des sons entre eux.

“...some aerodynamic and anatomical properties of the vocal tract and how they influence the shape and patterning of speech sounds.”(Ohala, 1983 p.189).

Ohala classe les phonèmes selon leur efficacité de pression :

Les fricatives voisées nécessitent plus de contraintes aérodynamiques que les occlusives voisées.- Pour le voisement, la pression doit être basse et haute pour la friction (Ohala, 1975). Il est admis que l'ouverture d'un conduit va modifier la pression intra-orale : l'ouverture du port vélo-pharyngé va réduire la pression orale. Une petite ouverture vélaire peut être positive pour les consonnes voisées, et incompatible avec la pression nécessaire pour maintenir la friction. Ohala (1975) explique également qu'une fricative nasale sera produite partiellement voisée pour permettre de maintenir une différence auditive, qui n'est pas effective si l'air passe uniquement par la cavité nasale (Ohala, 1975).

Les occlusives sourdes nécessitent une forte pression intra-orale.- Les occlusives sourdes nécessitent également une pression importante pour stopper le voisement, elles sont réalisées avec un conduit vocal complètement étanche. Ceci expliquerait l'incompatibilité entre l'explosion qui demande une augmentation de pression et une ouverture vélaire qui implique une diminution de pression ; l'abaissement du velum permet à l'air de s'échapper par la cavité nasale et tend donc à égaliser l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la bouche (Ohala *et al.*, 1993). Les occlusives sourdes seront, du même coup moins sensibles à l'assimilation nasale. Des hypothèses suggèrent que les occlusives sourdes, pour ces raisons, sont les plus difficiles à produire en contexte nasal. A l'inverse, les occlusives sonores, elles seront plus perméables à l'assimilation nasale.

Une queue nasale apparaît quand une occlusive sourde suit un phonème nasal.- Pour poursuivre la théorie précédente, le velum serait capable de contrôler des muscles, suffisamment pour compenser un rapport critique de pression d'air entre la cavité nasale et la cavité buccale (Hardcastle, 1976). Il pourrait y avoir plusieurs stratégies pour maintenir une pression suffisante, comme l'allongement compensatoire. Ce phénomène d'allongement compensatoire jouerait notamment un rôle important lors de la production de phonèmes non

voisés après une nasale (Hardcastle, 1976). Une tendance universelle serait que les obstruantes non voisées apparaîtraient comme voisées quand elles sont précédées d'une nasale. Ceci serait dû à ce que l'on appelle "la fuite nasale" (Ferguson, 1975 p.184). La "fuite nasale" serait une position intermédiaire du velum pour laquelle il existe des fuites d'air du fait que le port vélo-pharyngé n'est pas totalement fermé (Ferguson, 1975 p.184). Il n'y a pas d'incidence acoustique à ce phénomène mais il pourrait aider au voisement des occlusives.

En résumé, les phonèmes nécessitant une forte pression intra-orale pour bloquer le voisement ou pour maintenir la friction bloqueront la nasalisation. Les spirantes peuvent apparaître entre toutes les voyelles sauf les nasales :

"After a nasal segment all following segments are nasalized, with nasalization spreading all the way to the end of the word unless blocked by an oral obstruent." (Ohala, 1983 p.208).

Clements (2001), à partir de ces considérations aérodynamiques, établit une échelle qui définit le système de propagation et/ou d'assimilation de la nasalité en fonction des phonèmes proches :

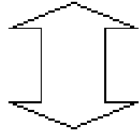
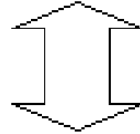
	Moins résistantes à la nasalisation		Moins Fortes
Voyelles		Voyelles	
Glides		Constrictives sonores	
Implosives		Constrictives sourdes	
Fricatives sonores		Affriquées	
Fricatives sourdes/Occlusives sonores		Occlusives sonores	
Occlusives sourdes		Occlusives sourdes	
	Plus résistantes à la nasalisation		Plus Fortes

Figure 3 : Echelle de propagation de la nasalité (Clements *et al.*, 2001) comparée à l'échelle des sons selon leur "force articuloire" (Straka, 1964).

Dans la première échelle, les sons sont ordonnés selon la facilité de propagation nasale, en fonction du phonème. Dans la seconde échelle, les sons sont ordonnés selon la force articuloire mise en œuvre pour les prononcer. Schourup (1973) résume l'échelle de sonorité et formule les contraintes imposées par la nasalité comme :

"Nasalization will not spread from an initiating segment through a segment when airflow or oral pressure requirements are so high that the velum is forced to close." (Schourup, 1973 p.200).

Les deux échelles sont très proches l'une de l'autre. Hume *et al.* (1996) proposent de réduire les échelles à une seule échelle dite "d'impédance" qui serait définie selon la résistance du flux d'air, nécessaire pour la formation des phonèmes, à travers le conduit vocal au-dessus de la glotte (Hume *et al.*, 1996).

Nous verrons si l'échelle de Clements (2001) peut être appliquée dans notre étude à tous les styles de parole ?

5. La coarticulation nasale est-elle dépendante du style de parole, de la position prosodique, du débit ?

Le style de parole modifie l'opacité de certains phonèmes. - Nous avons noté précédemment qu'une consonne occlusive non voisée bloque plus facilement la propagation de la nasalité. Basset en 2001 a montré qu'il est possible en parole spontanée, d'avoir du flux d'air nasal sur la totalité d'une consonne non voisée (Basset *et al.*, 2001).

La position dans la syllabe a une influence en fonction de la position de la nasale dans le mot.- La syllabe se compose d'une attaque et d'une rime, elle-même composée d'un nucleus obligatoire, et d'un coda :

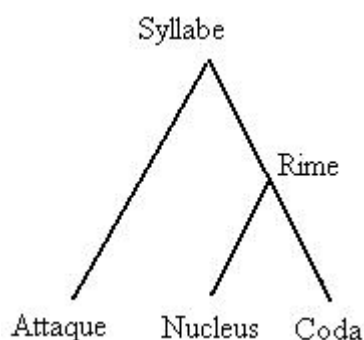


Figure 4 : Structure de la syllabe.

Plusieurs investigations physiologiques, utilisant tous types de techniques instrumentales ont montré que les syllabes contenant un phonème nasal en position finale étaient associées à des positions vélares plus basses que les phonèmes nasals placés à l'initiale de la syllabe (Krakow, 1989 ; Ohala, 1971 ; Ushijima *et al.*, 1972).

Henderson en 1984, à l'aide d'un fibroscope, a montré que le velum est plus bas dans la séquence CVN et plus haut dans la séquence NVC pour l'anglais et l'hindi (Henderson, 1984)².

Les phénomènes de nasalité sont influencés par la position syllabique en français.- Il en est en français comme dans les autres langues. Il n'y a pas d'effet de la frontière syllabique sur l'anticipation de la coarticulation nasale (Benguerel *et al.*, 1977b).

Fougeron (1996, 1998) a étudié l'anticipation et la persévérance du débit nasal dans les segments [ana], [ini] et [kʌd]. Pour les quatre locuteurs étudiés, la persévérance sur la voyelle qui suit est importante en position initiale de syllabe pour la séquence /ini/. Pour deux locuteurs, il y a une anticipation pendant la pause pour la séquence /ana/ en début de groupe intonatif. Pour ces deux locuteurs, il y a un raccourcissement de l'anticipation en début de groupe intonatif et en début de mot lexical. En ce qui concerne la voyelle nasale, seuls deux locuteurs sur quatre ont un effet significatif de la position prosodique. Elle réinterprète la position vélaire en fonction des données de débit d'air nasal et indique que la position du velum est plus élevée pour les phonèmes nasals à l'initiale (Fougeron, 1996 ; Fougeron, 1998).

Il existe une différence de débit nasal en fonction de la position du mot dans la phrase.- Gordon (1996) a comparé l'articulation nasale de /n/ en estonien dans des constituants de différents niveaux. Quatre positions sont observées : le début de l'énoncé, le début du groupe intonatif, le début du mot et le début de la syllabe pour trois locuteurs. Gordon trouve une diminution progressive du débit nasal ; de la position syllabique au début de mot et au début du groupe intonatif. Le débit nasal en début d'énoncé est plus important qu'en début de groupe intonatif (Gordon, 1996).

Fougeron (1998) présente les variations de débit nasal pour la consonne /n/ et la voyelle /ɔ/ placées à l'initiale dans plusieurs constituants, en français. Pour la consonne /n/, seule la position supérieure en début de constituant se distingue clairement des autres positions par un

² Cité par Krakow, R. A., (1989). The articulatory organization of syllables: A kinematic analysis of labial and velar gestures. 203p., Th: Thèse..

débit nasal plus faible pour trois locuteurs sur quatre. Pour la voyelle nasale, les variations suivent la même direction : le débit nasal diminue au début du constituant supérieur.

En anglais, l'accent et la position dans le mot ont une influence sur la hauteur vélaire.- Krakow (1999) a utilisé un système de vélotrace pour étudier des segments contenant des nasales dans des mots ou des frontières de mots :

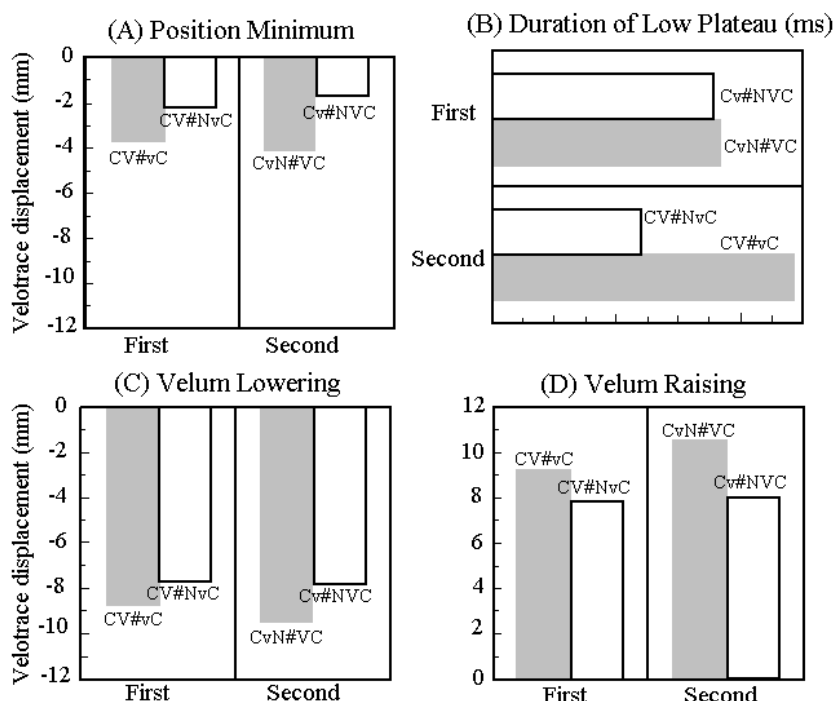


Figure 5 : Différence de hauteur vélaire en fonction de la position du phonème nasal dans le mot (2 loc), (A) : moyenne de la hauteur minimum du velum, (B) : durée du plateau bas du velum, (C) : amplitude du mouvement de l'abaissement du velum, (Krakow, 1999 p.28).

Sur la Figure 5, le phonème accentué est indiqué en majuscule, en opposition au phonème non accentué, en minuscule. Les séquences contenant les phonèmes accentués sont à gauche dans les différents graphiques. La Figure 5 montre une interaction significative entre la position syllabique et l'accentuation. La différence la plus significative se retrouve dans le graphique (B) où la syllabe accentuée a une tenue du plateau plus longue quand la nasale se trouve en fin de mot et la voyelle qui se trouve avant est accentuée.

La coarticulation nasale entre la nasale et la voyelle précédente sera plus importante si le velum est très bas. La voyelle précédant la nasale en position finale aura plus de nasalité que la voyelle précédant la nasale en position initiale :

"The larger velum lowering movement, lower minimum and longer low plateau indicate that a vowel preceding a final nasal is more likely to be affected by coarticulation nasality than a vowel preceding an initial nasal." (Krakow, 1993 ; Krakow, 1999 p.29).

La différence de vitesse et de hauteur vélaire dépend de la prosodie de la phrase.- Le mouvement du voile du palais observé par le système l'X-Ray Microbeam dans des phrases anglaises a été étudié par Vaissière en 1988 : la description du mouvement vertical d'un échantillon de la surface du velum a été publiée pour deux locuteurs anglais prononçant une série de phrases. Les mouvements vélares ont été reconstitués par une série de règles. Elles suggèrent : (1) le trait [+nasal] ne permet pas à lui seul d'expliquer les combinaisons de hauteurs vélares, (2) il n'existe pas de valeur cible pour la hauteur du velum sur les voyelles (du moins sur le corpus étudié), (3) la prosodie ou les facteurs configurationnels types, la

position intra-syllabique et les patrons accentuels ont une forte influence sur la hauteur du velum, la vitesse du mouvement vélaire et le timing des gestes et (4) les stratégies utilisées par les deux locuteurs sont différentes (Vaissière, 1988).

La vitesse du mouvement vélaire est différente selon le débit dans certaines langues.- Une étude menée par Solé et Ohala (1991) à l'aide du nasographe, sur trois locuteurs anglais et trois locuteurs espagnol suggère qu'en anglais, les mouvements du velum sont d'autant plus relâchés que la vitesse d'élocution est rapide. Ce phénomène ne se produit pas en espagnol (Solé *et al.*, 1991).

6. Comment est perçue la nasalité vocalique ?

Le timbre de la voyelle nasale semble plus grave que celui de la voyelle orale correspondante.- Pour mieux percevoir la nasalité, il est possible d'exagérer ce caractère distinctif, soit par rétraction de la langue ou par arrondissement des lèvres (Passy, 1890).

Les voyelles fermées sont perçues comme plus nasales que les voyelles ouvertes.- Des arguments acoustiques ont été avancés pour dire que l'identification des voyelles fermées serait moins facile que celle des voyelles plus ouvertes : plus le velum s'ouvre, plus une partie importante de l'air passe par le nez, de telle sorte qu'une voyelle ouverte serait mieux perçue. La tendance est d'ouvrir plus la bouche pour percevoir une voyelle fermée comme nasale (Passy, 1890 p.181). Cependant Maeda (1982-1993) a montré que si une voyelle haute est nasalisée, elle sera perçue plus rapidement comme nasalisée qu'une voyelle basse.

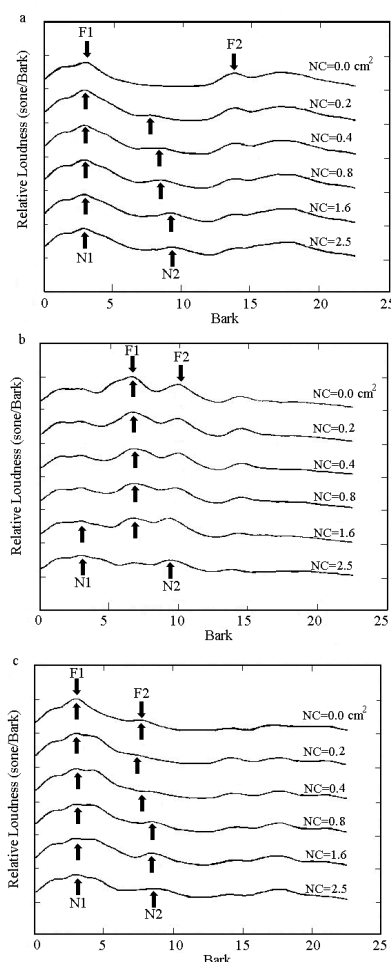


Figure 6 : Spectre acoustique de trois voyelles synthétisées (a : [i], b : [a], c : [u]). Six couplages différents avec la cavité nasale (NC) sont représentés, F1 : le premier formant, F2 : deuxième formant, N1 : premier anti-formant et N2 : deuxième anti-formant (Maeda, 1993 p.152).

La Figure 6 montre que le premier anti-formant apparaît plus rapidement pour les voyelles fermées.

La perception de la nasalité de voyelle est catégorielle si la langue a une opposition entre les voyelles orales et nasales. - Beddor (1982) suite à une étude sur la perception de la nasalité sur des auditeurs anglais et hindis, a montré que les sujets n'ont pas de difficulté à discriminer le phonème [b] du phonème [n] s'ils ont cette opposition dans leur langue. Par contre, pour la paire [ba]~[bɔ̃], les sujets en majorité perçoivent la différence entre les deux voyelles mais les sujets anglais ont besoin d'un plus grand couplage de la cavité nasale pour identifier le trait nasal. Le couplage nasal est moins important pour les sujets hindis qui ont cette opposition dans leur système phonologique. La perception de la nasalité vocalique est catégorielle en hindi alors qu'elle est plus continue en anglais (Beddor *et al.*, 1982).

Il ne peut pas y avoir de voyelles nasales sans passage d'air par le nez, mais ce passage ne rend pas nécessairement la voyelle nasale. - Toutes les voyelles orales ne sont pas nasalisées au contact d'une consonne nasale (Durand, 1953). Durand cite en exemple le mot [bone] ("bonnet") pour lequel la voyelle [o] est perçue par les auditeurs français comme une voyelle orale. Il serait intéressant de connaître quel est le couplage minimum entre les deux cavités qui modifie la perception d'une voyelle orale en une voyelle nasale.

Nous avons voulu savoir dans notre étude à quel moment la voyelle est perçue comme nasale: voir si les indices de perception de la nasalité sont plutôt à la fin ou au début de la voyelle.

II. Questions posées dans cette étude

Nous venons de montrer qu'il existe des contraintes articulatoires, acoustiques, aérodynamiques et perceptives en ce qui concerne la nasalité vocalique. Cette recherche a pour but de connaître les implications des différentes contraintes les unes sur les autres :

1. Existe-t-il une **relation temporelle** entre le début de l'ouverture du velum et l'**apparition** d'un débit nasal ? L'hypothèse est qu'un retard de débit d'air expliquerait les mouvements d'anticipation d'abaissement du voile du palais, afin que le débit d'air soit positif au début du phonème nasal.
2. Quelle est la relation entre le **degré d'aperture** du port vélo-pharyngé et la **quantité** du débit d'air nasal sortant ? L'hypothèse est qu'une grande ouverture du velum impliquera un débit d'air nasal important.
3. Existe-t-il des **corrélations** entre les mesures acoustiques et physiologiques, d'une part, et la perception, d'autre part ? Nous attendons une non linéarité des rapports.
4. Quels sont les rapports entre l'**aperture buccale**, l'aperture du port vélo-pharyngé, la résistance dans le conduit vocal et le débit d'air nasal sortant. L'hypothèse est que le débit nasal sera plus faible si les phonèmes nécessitent une aperture buccale importante.
5. Et quelles sont les conséquences de nos résultats sur les descriptions phonologiques.

III. Méthodes utilisées :

Il existe peu d'études aérodynamiques et fibroscopiques systématiques sur les phénomènes de nasalité en français comparativement aux travaux sur l'anglais. Nous avons choisi des instrumentations peu invasives pour tenter d'obtenir de la parole non lue.

?? **Des données aérodynamiques** (flux d'air oral et nasal) donnent une indication directe du débit d'air nasal.

- ?? **Des données fibroscopiques** donnent une indication directe de l'ouverture du port vélo-pharyngé.
- ?? **La corrélation entre les données aérodynamiques couplées aux données fibroscopiques** permet d'avoir une indication sur le rapport entre l'ouverture vélo-pharyngée et le débit d'air nasal.
- ?? **Des données acoustiques** nous permettront de connaître la corrélation entre les mouvements vélares et/ou les débits d'air avec le signal acoustique résultant.
- ?? Et **des données perceptives** permettront de savoir à quel moment la nasalité est perçue.

IV. Construction de cette étude

Cette étude est constituée de deux chapitres.

Le premier chapitre reprend les grandes notions connues sur la nasalité : définitions du terme nasal, historique de la nasalité, données d'anatomies fonctionnelles sur le velum et les différents organes impliqués dans la production de la nasalité, les différentes instrumentations disponibles pour étudier ce phénomène. Après avoir défini la coarticulation, nous donnerons les grands axes de la coarticulation nasale.

Le second chapitre est consacré à nos expérimentations. Il fournit les résultats des données aérodynamiques, des données fibroscopiques, des données fibroscopiques couplées aux données aérodynamiques, de la corrélation entre les données articulatoires et aérodynamiques avec la sortie acoustique, et les résultats des tests de perception.

La conclusion nous permettra de répondre aux questions posées en Introduction, d'évoquer les limites de ce travail et d'envisager les perceptives pour la continuité d'une telle recherche.

.

CHAPITRE I : PARTIE THÉORIQUE

Résumé :

Du point de vue phonologique, le phonème nasal se distingue du phonème oral correspondant par le trait [+nasal].

Du point de vue articulatoire, ce trait correspond essentiellement à l'abaissement du voile du palais. Les parois vélo-pharyngées postérieures et latérales peuvent intervenir dans la fermeture du port vélaire.

Du point de vue acoustique, premièrement la mise en connexion avec le conduit nasal introduit des zéros et des anti-formants. Deuxièmement, l'abaissement du velum modifie la forme du conduit oral et donc modifie les formants. Et troisièmement, on observe en français, pour les voyelles nasales, une modification volontaire de la forme du conduit vocal, il n'existe pas (ou plus) de correspondance parfaite entre les voyelles orales et les voyelles nasales.

Du point de vue aérodynamique, un phonème nasal est caractérisé par un débit d'air nasal positif. Il faut deux conditions principales pour que l'air passe dans le conduit nasal : premièrement, le port vélo-pharyngé doit atteindre une ouverture suffisante, Deuxièmement, l'impédance dans le conduit vocal doit être suffisante.

Du point de typologique, il existe très peu de langues n'ayant ni consonne nasale ni voyelle nasale (4%), 22% des langues contiennent les deux. En français, les voyelles nasales sont minoritaires.

Du point de vue historique, les voyelles nasales ont connu plusieurs étapes de développement. D'abord diphtongues, elles ont pris un statut de vraies voyelles vers le XVII^{ème} siècle. Il existe plusieurs théories quand à la nasalisation de la voyelle : assimilation régressive, progressive ou les deux. La théorie la plus répandue veut que les voyelles se soient nasalisées quand elles précédaient une consonne nasale ; l'anticipation de l'abaissement du voile du palais a permis au phonème adjacent d'acquérir le trait nasal de la consonne. Les voyelles sont devenues phonologiquement nasales après la disparition de la consonne nasale.

Il existe un grand panel d'instrumentations possible pour étudier la nasalité : EMG, IRM, radiologie, vélotrace, fibroscopie, aérodynamique, mesures acoustiques, synthèse, modélisation...

La coarticulation est définie comme les différents changements dont un son est susceptible d'être affecté quand il subit l'influence d'un son voisin. La coarticulation nasale dépend de la langue et sera plus ou moins importante selon les distinctions phonologiques de celle-ci. Elle pourra être locale ou longue distance. Plus le phonème qui suit ou précède la nasale nécessite des contraintes aérodynamiques et/ou articulatoires moins la propagation de la nasalité peut avoir lieu.

I. Définition de la nasalité

I.A. Définition articulatoire du terme "nasal"

Un son nasal est produit avec le port vélo-pharyngé ouvert.- Un phonème est dit nasal lorsqu'il est articulé avec le voile du palais détaché de la paroi pharyngée, et plus ou moins abaissé vers le dos de la langue, de telle sorte que le passage est ouvert entre le larynx et les

fosses nasales. L'air qui se trouve dans le conduit vocal peut alors passer soit par le conduit nasal uniquement, soit par le conduit oral et le conduit nasal.

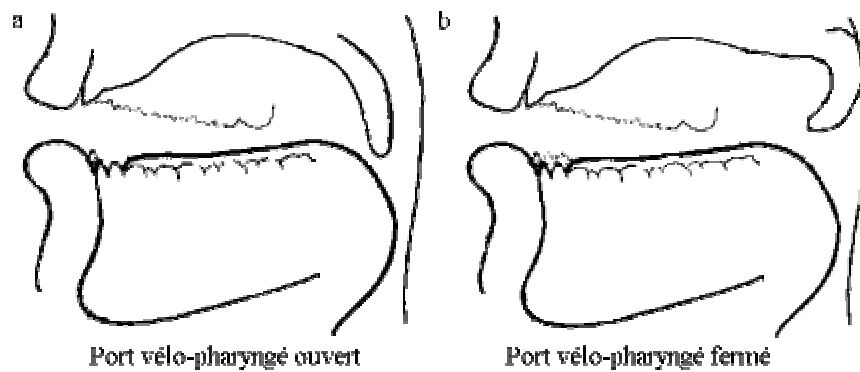


Figure 7 : Coupes sagittales, a: le conduit vocal et le conduit nasal connectés par l'ouverture du port vélo-pharyngé, b : le voile du palais ferme l'orifice du port vélo-pharyngé, d'après (Straka, 1965).

Les voyelles nasales, aussi appelées bucco-nasales, sont articulées avec le conduit buccal et le conduit nasal ouvert (Grammont, 1933 p.96).

I.B. Définition phonologique des traits [+nasal] et [-nasal] :

Il est largement répandu que les unités de base de la phonologie ne sont pas les segments mais les traits, les éléments d'un petit regroupement de catégories élémentaires qui peuvent se combiner de différentes manières pour former les sons de la parole humaine (Durand *et al.*, 2000). Une voyelle nasale est un phonème qui a une opposition phonologique avec son équivalent oral. Par exemple dans les mots 'banc' [b^hɑ̃] et 'bas' [b^hɑ], les voyelles s'opposent par les traits [+nasal] et [-nasal]. Il existe au moins trois possibilités pour décrire les traits, dont le trait nasal : en utilisant une base articulatoire, une base acoustique ou une base perceptive.

Comme nous l'avons évoqué en Introduction, la distinction fondamentale, [+nasal] et [-nasal] reprend la différence fondamentale : voile du palais abaissé ou voile du palais relevé. Cette description binaire est appliquée à la fois pour les consonnes et les voyelles nasales.

Le trait nasal, en ce qui concerne les voyelles, est utilisé en français.- En français, les voyelles sont spécifiées phonologiquement par les traits [+nasal] et [-nasal], en anglais, le trait [+nasal] n'est pas spécifié pour les voyelles.

Notons qu'il n'est pas possible de distinguer une voyelle légèrement nasalisée d'une voyelle lourdement nasalisée, pourtant phonétiquement cette distinction existe dans une langue, le Chinantec (Ladefoged *et al.*, 1995 p.298, 299), voir aussi (Ladefoged, 1997b p.607).

I.C. Définition acoustique de la nasalité

Le degré d'évidence acoustique de la nasalité d'un phonème varie au cours du temps.- Dans la suite *ca*, ou *ca* représente une voyelle nasalisée, la voyelle orale suivie d'une consonne nasale peut être entièrement ou en partie affectée par la nasalité.

Il existe trois facteurs qui ont une influence sur l'acoustique de la nasalité.- i) Premièrement, l'ouverture du port vélo-pharyngé par abaissement du velum met en dérivation une nouvelle

cavité connectée à la cavité orale. Quand la cavité nasale est ajoutée, deux paramètres vont modifier la fonction de transfert :

- ?? l'impédance au niveau du port vélo-pharyngé à l'entrée de la cavité nasale,
- ?? la vélocité de l'air à partir du port vélo-pharyngé jusqu'à la sortie de la cavité nasale

Cette nouvelle cavité introduit des zéros et des anti-formants.

ii) Deuxièmement, l'ouverture du conduit nasal modifie la configuration du conduit buccal par l'abaissement du velum. La taille de la cavité buccale est modifiée par le rétrécissement au niveau vélaire. Cette modification modifie les formants.

iii) Et troisièmement, les voyelles nasales ont une production articuloire différente des voyelles orales, même de celles qui ont longtemps étaient considérées comme leur correspondant oral (Zerling, 1984). Nous ne sommes pas en mesure de dire si cette différence a toujours existée où si elle est apparue au fur et à mesure. En tout cas, cette configuration orale, entraîne une localisation des formants propre aux voyelles nasales (*cf.* Figure 29.p.53).

I.C.1. Acoustique des consonnes nasales

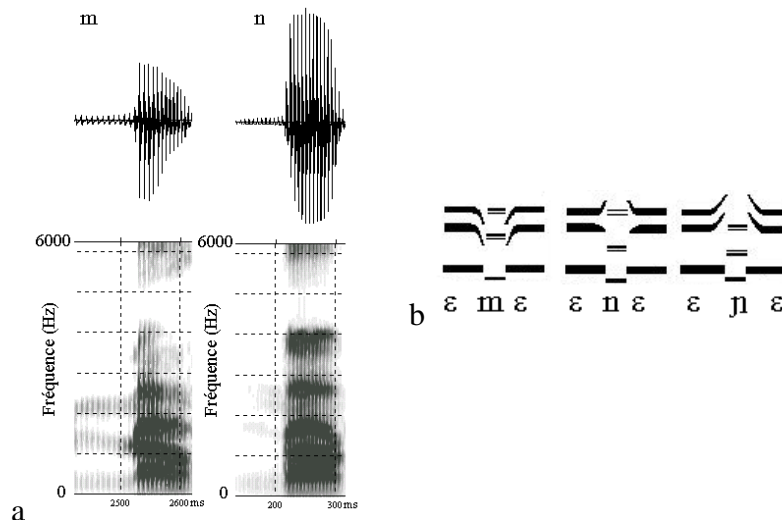


Figure 8 : a : Spectrogramme de /m/ et /n/ prononcées devant le phonème /a/ (loc 2), b : schématisation acoustique des trois consonnes nasales du français (Carton, 1974 p.54), d'après (Delattre, 1966).

En ce qui concerne les consonnes nasales, le son est produit avec une fermeture complète à un point dans la cavité orale, et la quantité appréciable de couplage entre la cavité nasale et orale crée un "murmure nasal". C'est-à-dire le passage de l'air par la cavité nasale.

Selon Delattre (1954), le mode nasal est caractérisé en tout premier lieu par un formant bas vers les 250 Hz, un formant de fréquence assez fixe vers 2000 Hz qui est le même que celui des voyelles nasales et un formant de fréquence variable vers les 900 Hz (la fréquence de ce dernier varie selon la voyelle qui précède ou qui suit) (Delattre, 1954). L'analyse des spectres ne fournit presque pas d'indication sur les lieux d'articulation des consonnes nasales.

Il existe une différence acoustique entre /n/ et /m/. - Fujimura (1962) a montré qu'il existe une différence de position des anti-formants entre les consonnes /n/ et /m/. Il a observé les spectres acoustiques des deux consonnes nasales en fonction de l'entourage vocalique.

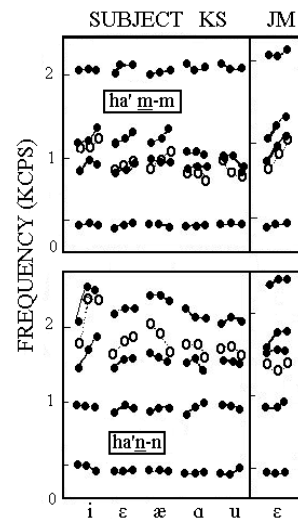


Figure 9 : Localisation des formants (ronds pleins) et des anti-formants (ronds vides) pour deux locuteurs, en fonction de cinq voyelles de l'anglais pour les consonnes /m/ (en haut) et /n/ (en bas), (Fujimura, 1962 p.1871).

Les anti-formants sont sensibles à l'entourage de la consonne.- Le zéro est situé entre 750 Hz et 1250 Hz pour /m/ et entre 1450 Hz et 2200 Hz pour /n/. La position des anti-formants change de façon significative en fonction de l'entourage d'une même consonne du fait de la configuration de la cavité orale qui va être différente. La fréquence des anti-formants sera plus haute quand les deux consonnes sont suivies d'une voyelle haute et inversement. Les anti-formants ont une influence sur les formants environnants.

Les formants se modifient dans l'entourage des anti-formants.- Pour /m/, le premier et le quatrième formant ne se modifient pas. Par contre, le premier et le troisième formant, du fait des anti-formants, forment un "cluster" variable. Pour /n/, le "cluster" est constitué du deuxième et du troisième formant, et des anti-formants. Dans ce cas, le premier et le quatrième formant sont assez stables.

La largeur de bande est différente pour les anti-formants.- La largeur de bande semble ne pas avoir de différence significative en fonction des deux consonnes ni même en fonction des différents formants. Si ce n'est peut-être le quatrième formant de /m/ qui a une largeur de bande supérieure à /n/ et aux autres formants. Par contre, la largeur de bande des anti-formants de /n/ est bien largement supérieure à celle de /m/ (Fujimura, 1962).

I.C.2. Acoustique des voyelles nasales

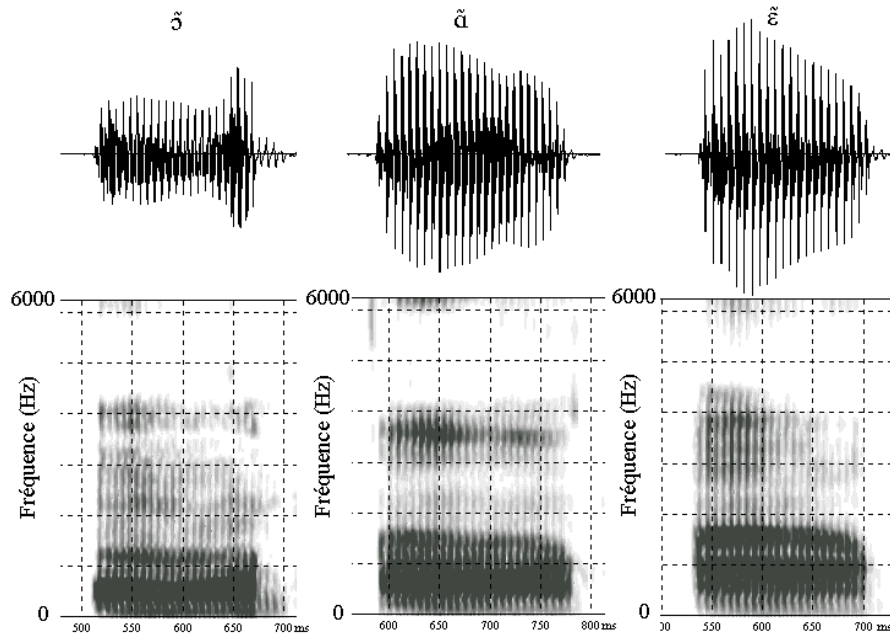


Figure 10 : Spectrogramme des trois voyelles nasales prononcées à l'isolée : /ɔ̃/ /ɑ̃/ /ɛ̃/ (loc 1).

Les spectrogrammes ont été obtenus à l'aide du logiciel Phonedit 3.2 (Figure 10), le choix de ce logiciel est forcé, il nous permet de visualiser les fichiers aérodynamiques et articulatoires, ce logiciel a l'inconvénient de ne pas montrer l'amplitude relative des formants qui est très importante pour les nasales. Les spectres de ces voyelles se trouvent plus bas : nous avons mis en parallèle les spectres des voyelles nasales nasalisées avec les spectres des voyelles naturelles (cf. Figure 13 et Figure 14).

La résonance des cavités nasales est caractérisée par des formants et des anti-formants qui modifient radicalement le spectre de la voyelle.

Selon Delattre (1954) les attributs acoustiques de la nasalité vocalique sont les suivants (Delattre, 1954) :

- ?? Une extrême faiblesse d'intensité du premier formant (par exemple en synthèse en réduisant uniquement l'intensité du premier formant, il est possible de percevoir une voyelle nasale),
- ?? L'apparition d'un formant très bas vers 250 cycles,
- ?? L'apparition d'un formant vers 2000 cycles, il est d'autant plus faible que la voyelle est plus ouverte,
- ?? Le deuxième formant de la voyelle orale ne change guère d'intensité pour la nasalisation
- ?? Au-delà du deuxième formant de nombreux changements se voient sur le spectre de la nasale surtout au niveau du troisième et quatrième formants.

House (1956), à l'aide d'une modélisation, retient les caractéristiques acoustiques suivantes (House *et al.*, 1956) :

- ?? La réduction de l'intensité du premier formant et l'élévation de sa fréquence. Cette réduction est due au placement du premier formant nasal sous F1. Le zéro nasal, lors du couplage, vient naturellement réduire l'amplitude de F1 après le couplage des cavités nasales et orales. Le fort amortissement du formant nasal l'empêche d'être visible et distinct de F1,

- ?? Une réduction de l'intensité de la voyelle,
- ?? L'apparition d'un zéro entre 700 et 1800 Hz, conséquence automatique du couplage.

Fant, en 1960, affirme que les voyelles nasales françaises sont réalisées avec une position linguale spécifique en plus de la nasalisation. Il présente la nasalité à l'aide d'une fonction d'aire où les simulations font apparaître les résultats suivants (Fant, 1960) :

- ?? Le premier zéro se trouve vers 750-800 Hz,
- ?? F1N (formant nasal) vers 1000 Hz,
- ?? Affaiblissement de F1 du à la proximité d'un zéro.

Guérin (1977) retrouve les principaux attributs des voyelles nasales (Guérin *et al.*, 1977) :

- ?? Réduction de l'intensité du premier formant,
- ?? Centralisation de la fréquence du premier formant vers 500 Hz,
- ?? Pas de modification du second formant.

Maeda en 1982 et 1993 à l'aide d'une modélisation qui reproduit la réalité, propose une tendance globale à l'aplatissement du spectre dans la zone du premier et second formant (de 200 à 2000 Hz). Cet aplatissement ce qui semble être un trait de nasalisation indépendant de la voyelle. Le modèle de fonction d'aire, propose une augmentation de l'aire vélo-pharyngée proportionnellement à l'affaiblissement de l'aire du passage oral. Elle est déterminée par la position articuloire pour la production de la voyelle. Maeda a pu identifier quatre différents types de modification spectrale pour identifier la nasalisation. Ces quatre types sont différents selon la voyelle orale concernée (Maeda, 1993) :

- ?? La fréquence du premier formant nasal chez un homme est autour de 400 Hz ou en dessous (une voyelle avec un formant nasal en dessous de 400 Hz est nasalisée), ce qui signifie que les voyelles qui ont un F1 en dessous de 400 Hz, auront un formant nasal qui va apparaître au-dessus de F1. C'est le cas pour les voyelles [i], [y] et [u]. Dans le cas de [i] et [y] l'anti-formant est accompagné par une anti-résonance dans les hautes fréquences. L'enveloppe spectrale dans la région de F2 pour [i] et [y] reste relativement stable.

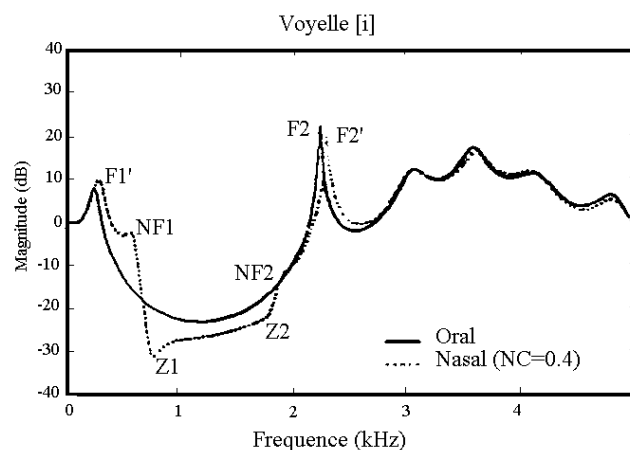


Figure 11 : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [i], (Maeda, 2000).³

- ?? Il existe un schéma différent pour la voyelle [u]. La première résonance de [u] est très basse, elle est due à l'arrondissement des lèvres. Dans un modèle où R1 et R2 seront

³ Maeda, S. (2000) Cours SL444 : Acoustique du conduit vocal : voyelles nasales et nasalisées.

respectivement à 272 Hz et 776 Hz, la résonance nasale sera localisée entre ces deux résonances. Il n'y a pas d'affaiblissement significatif des pics F1 et F2. Une modification dans les hautes fréquences apparaît autour de 2000 Hz, due au couplage de la paire anti-formant et formant nasal, et implique des changements de F3.

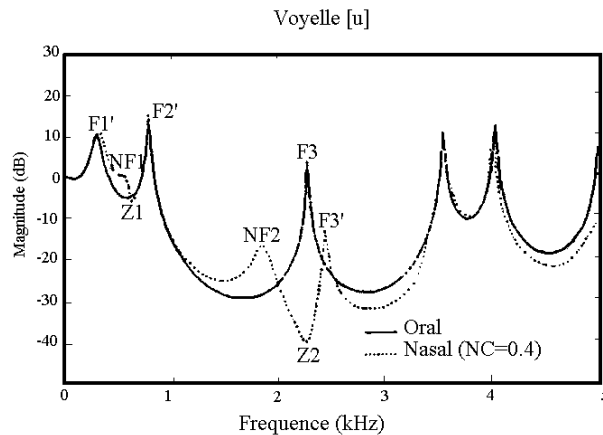


Figure 12 : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [u], (Maeda, 2000).

?? Pour les voyelles qui ont un F1 au-dessus de 400 Hz, F1 sera affecté par l'anti-formant qui se situe vers 400 Hz. Il est possible de différencier les voyelles d'avant des voyelles d'arrière dans ce cas là. Pour les voyelles d'avant, F2 ne sera pas affecté par le premier anti-formant (Z1) puisque sa fréquence de F2 est largement supérieure. Le premier formant nasal apparaît au-dessous de F1 et du même coup le renforce, alors que l'apparition de Z1 va affaiblir le pic F1 voir même le faire disparaître. Il n'y a pas de changement significatif au niveau de F2.

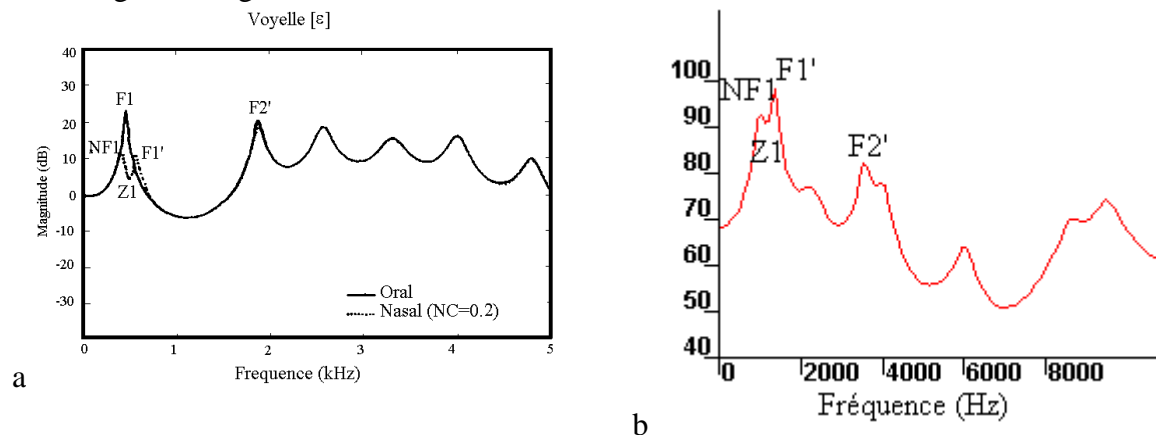


Figure 13 : a : Identification des formants oraux (Fn), nasals (NFn) et des anti-formants nasals (Zn) après modélisation de la voyelle [ε], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [ε], calculé au milieu de la voyelle (loc1).

Cette figure montre que la correspondance entre la parole naturelle et la modélisation n'est pas parfaite.

?? En ce qui concerne les voyelles d'arrière, F1 et F2 peuvent être influencés par Z1. Pour la voyelle [ɔ] par exemple, il est possible d'observer un affaiblissement du pic F2. Il est intéressant de constater que l'apparition du second anti-formant va créer des modifications dans F3, le séparant nettement des premières résonances. Les spectrogrammes de ces voyelles montrent généralement un espace vide entre les formants bas et hauts (appelé "œil nasal").

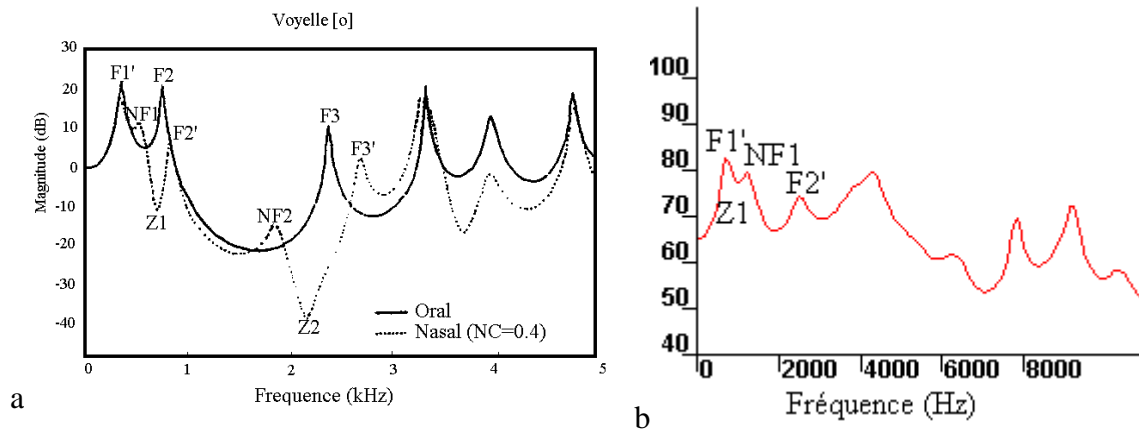


Figure 14 : a : Identification des formants oraux (F_n), nasals (NF_n) et des anti-formants nasals (Z_n) après modélisation des voyelles [o], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [œ], calculé au milieu de la voyelle (loc 1).

Nous avons effectué la même correspondance entre la voyelle orale [o] et la voyelle nasale [œ], (Maeda, 1993).

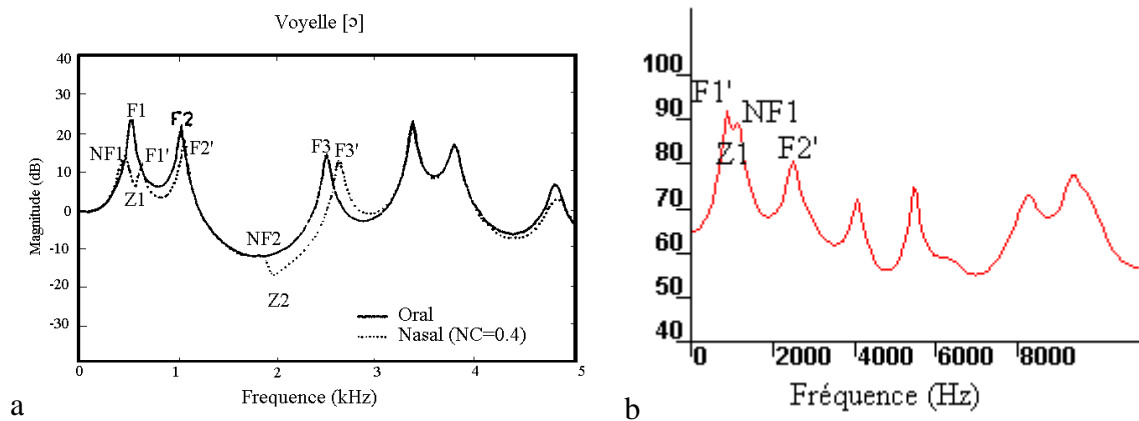


Figure 15 : a : Identification des formants oraux (F_n), nasals (NF_n) et des anti-formants nasals (Z_n) après modélisation des voyelles [œ], (Maeda, 2000), b : spectre acoustique de la voyelle [œ], calculé au milieu de la voyelle (loc 1).

Les spectres acoustiques obtenus à partir de la modélisation sont sensiblement différents des spectres acoustiques obtenus à partir de la parole naturelle. Les spectres de parole naturelle se basent sur un locuteur féminin et les spectres obtenus à partir de la modélisation sont basés sur un locuteur masculin, ce qui peut en parti expliquer les différences.

I.D. Définition aérodynamique de la nasalité

Un phonème nasal a un débit d'air nasal positif.- La mise en relation des deux cavités par l'ouverture du port vélo-pharyngé va permettre à l'air contenu dans le conduit vocal de passer par le conduit nasal.

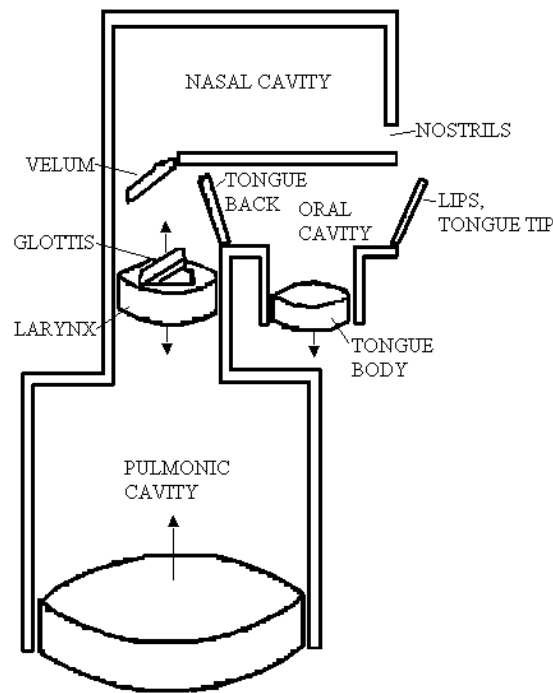


Figure 16 : Schématisation du conduit vocal, représenté comme un mécanisme de "robinets", (Ohala, 1983 p.191).

Les poumons insufflent de l'air dans le conduit vocal, et selon le "robinet" qui s'ouvre ou se ferme la pression est modifiée.

Le passage nasal peut être ouvert, sans que l'air passe par le nez.- L'ouverture de l'orifice vélo-pharyngé dépasse les $1,0 \text{ cm}^2$ pour la respiration. Elle est généralement comprise entre $0,4$ et $1,0 \text{ cm}^2$ pour les consonnes et les voyelles nasales (Warren *et al.*, 1993 p.120). La fermeture de l'orifice nasal durant la production d'une consonne orale bien que généralement complète, peut s'ouvrir jusqu'à $0,03 \text{ cm}^2$ sans qu'il y ait de l'air qui passe.

Le volume d'air total est difficile à estimer.- Pour la production des consonnes nasales, le volume de flux d'air total utilisé est compris entre 15 et 30 cm^3 . Pour obtenir la quantité de flux d'air nasal total, il faut calculer le flux d'air nasal proportionnel. Il désigne la proportion moyenne du débit d'air total imputable au débit d'air nasal (en %). Il peut être décrit avec la formule suivante : quantité de flux d'air nasal/(flux d'air nasal + flux d'air oral). Ce résultat sera affecté par les changements du port vélo-pharyngé et/ou de la constriction orale mais il ne sera pas affecté par les changements de flux d'air dans leur ensemble.

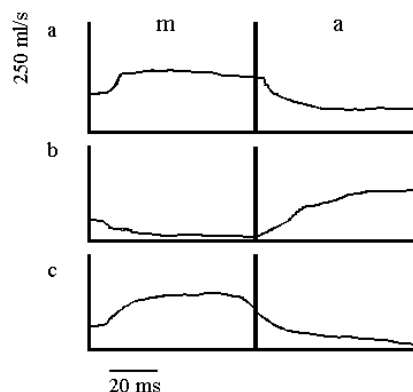


Figure 17 : (a) flux d'air nasal brut, (b) flux d'air oral et (c) flux d'air proportionnel pour le segment /ma/, (Krakow *et al.*, 1993 p.35).

Dans le cas de la Figure 17, il n'y a pas de différence pour la consonne, il peut y en avoir pour les voyelles nasales.

I.E. Rapport aérodynamique et articulaire

Quel serait le rapport idéal entre les mouvements articulatoires et le débit d'air nasal (conversations personnelles avec Maeda).

L'ouverture vélaire suffisante est de $0,4 \text{ cm}^2$. - Il existe une ouverture minimale du port vélo-pharyngé pour laquelle l'air peut passer par le conduit nasal. Cette ouverture est d'environ $0,4 \text{ cm}^2$ (Warren *et al.*, 1987 ; Warren, 1964). Une fois cette ouverture minimum obtenue, l'air contenu dans le conduit vocal passera soit uniquement par la cavité nasale soit par la cavité orale et nasale. Si l'air passe par les deux cavités, le flux d'air oral va diminuer proportionnellement à l'augmentation du débit d'air nasal. Pour une voyelle nasale, nous obtiendrions dans l'idéal le schéma suivant :

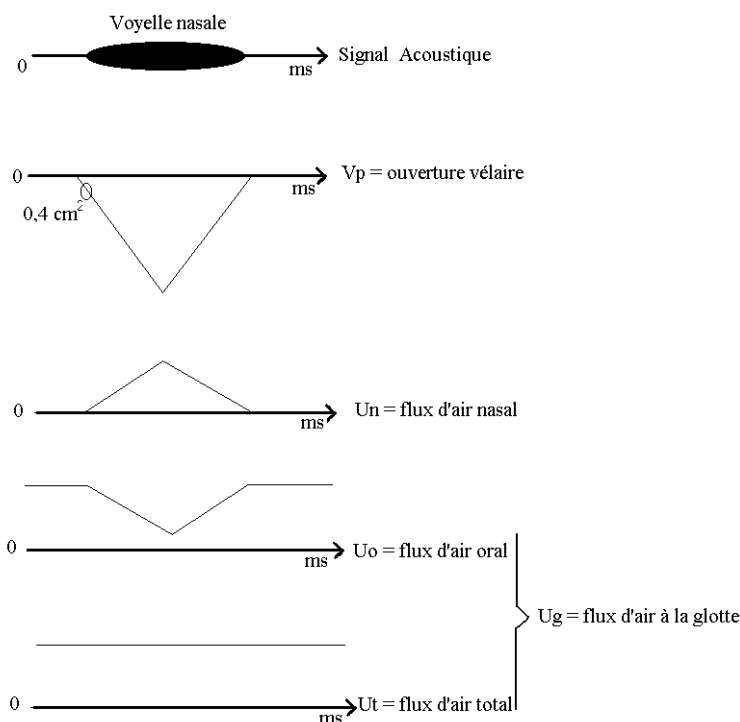


Figure 18 : Schéma idéalisé du rapport entre les mouvements vélaire et les flux d'air sortants.

Il s'agit d'une proposition de modélisation. Ce modèle ne tient pas compte de l'entourage. Les modifications liées à l'entourage seront développées dans le Chapitre II : Partie Expérimentale p.63.

Cette ouverture n'est pas suffisante pour que l'air passe. - L'ouverture vélaire minimum obtenue n'implique pas obligatoirement que l'air va passer, il faut que l'impédance dans le conduit vocal soit suffisante pour pousser l'air dans la cavité nasale. La quantité de flux d'air varie en fonction de la pression intra-orale qui est fonction des phonèmes, et qui change en fonction de l'effort vocal. Quand la pression intra-orale est constante, le passage de l'air dans la cavité nasale sera fonction de la constriction dans le conduit oral. Bien que Baken (1987) emploie le terme de "constriction" et de "résistance" indifféremment, nous préférons celui de "résistance" dans tous les cas (Baken, 1987 p.408).

Pour Baken, la quantité d'air nasal diminue si la résistance nasale augmente. Il est difficile de mesurer cette résistance et de savoir si elle est contrôlée.

Le débit d'air nasal est positif alors que le port vélo-pharyngé est fermé.- Comme nous l'avons déjà évoqué en Introduction. Il peut y avoir du flux d'air nasal alors que le velum est complètement remonté. Une partie de l'air contenu dans les narines est expulsé par les mouvements vélaire au moment de la fermeture du velum (Benguerel, 1974).

I.F. Voyelle nasale et voyelle nasalisée

La phonétique traditionnelle, Ladefoged (1982) et Maddieson et Ladefoged (1993), réserve le terme de nasal exclusivement pour les sons produits avec le port vélaire ouvert et une fermeture buccale complète (Ladefoged, 1982 ; Maddieson *et al.*, 1993). Les autres sons, articulés avec le port vélo-pharyngé et le conduit buccal ouvert sont référencés comme nasalisés. En accord avec d'autres recherches comme Malécot et Metz (1972), Stevens *et al.* (1987) et Maeda⁴, un son peut être dit nasal s'il est produit avec le port vélo-pharyngé ouvert, il peut même avoir une ouverture buccale, si un contraste phonémique se produit entre ce son et un autre dans un langage particulier, lequel est déterminé par le seul statut de port vélo-pharyngé ouvert (Malécot *et al.*, 1972 ; Stevens *et al.*, 1987). Un son nasalisé est produit avec une ouverture vélaire, qui est du à une assimilation avec une nasale adjacente.

?? Voyelles nasales = contraste phonémique entre ces voyelles et les voyelles orales, ([bE]~[bɛ]).

?? Voyelles nasalisées = condition phonétique, due au contexte (consonne/voyelle) nasal environnant (ex : maman).

II. Répartition des phonèmes nasals dans les langues du monde

Il existe très peu de langues n'ayant ni consonnes nasales ni voyelles nasales.- Clements (2001) a classé les langues en 4 groupes selon qu'elles contiennent des consonnes nasales, des voyelles nasales, des consonnes et des voyelles nasales ou aucune des deux :

	C	V	UPSID	%
Classe 1	Non	Non	4	1%
Classe 2	Non	Oui	5	1%
Classe 3	Oui	Non	345	76%
Classe 4	Oui	Oui	97	22%
Total			451	100%

Tableau 1 : Classement des différentes langues répertoriées dans UPSID, selon si elles comportent des phonèmes nasals dans leur système phonologique, (Clements *et al.*, 2001).

Les différentes classes spécifient si la langue contient des consonnes et des voyelles nasales :

?? Classe 1 : ni consonne nasale, ni voyelle nasale

?? Classe 2 : uniquement des voyelles nasales

?? Classe 3 : uniquement des consonnes nasales

?? Classe 4 : des consonnes nasales et des voyelles nasales.

⁴ Maeda, S. Acoustique du Conduit Vocal : Voyelles Nasales et Nasalisées. In: Cours à l'ILPGA, Paris, 2000.

II.A. Les consonnes

Il y a environ 97% des langues qui ont une consonne nasale simple (Cohn, 1993 ; Maddieson, 1984 ; Stefanuto *et al.*, 1999 ; Vallée, 1994).

Les consonnes nasales possibles sont :

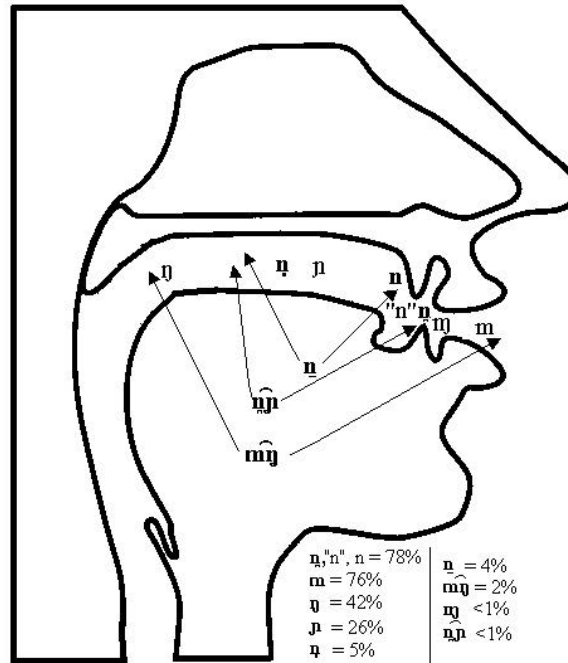


Figure 19: Localisation des différentes consonnes nasales et leur répartition (%) dans les langues du monde d'après (Maddieson, 1984).

Les bilabiales et les dentales sont les phonèmes les plus représentés dans les langues du monde.

II.B. Les voyelles

Il existe environ 22% des langues qui ont une opposition voyelle orale/voyelle nasale- (Maddieson, 1984 p.130 ; Vallée, 1994).

Le nombre de voyelles nasales peut être égal ou inférieur au nombre de voyelles orales. Il n'existe pas à notre connaissance des langues où le nombre de voyelles nasales est supérieur au nombre de voyelles orales (Ruhlen, 1975). Il n'existe pas non plus de langues qui ont seulement des voyelles nasales sans voyelles orales. Les voyelles nasales sont réparties ainsi :

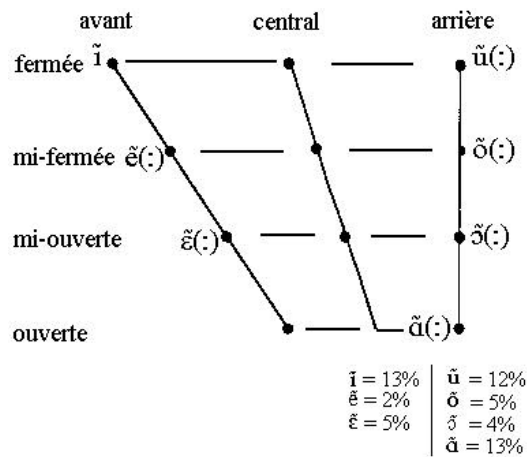


Figure 20 : Localisation des différentes voyelles nasales et leur répartition (%) dans les langues du monde (Maddieson, 1984).

Il est intéressant de constater qu'avec /*ø*/ et /*œ*/, le français a dans son système phonologique les voyelles nasales les moins usitées dans les langues du monde.

III. Répartition des phonèmes nasals en français

III.A. Les consonnes

Le français comporte trois consonnes nasales dans son système consonantique : [n], [m] et [ɲ] et une empruntée à l'anglais [ŋ].- Carton en 1974 et Wioland en 1991 ont donné des statistiques sur la fréquence d'apparition des séquences sonores en français et trouvent pour les consonnes nasales.

Consonnes	Carton (%)	Wioland (%)
m	3,6	3,845
n	2,9	3,095
J	0,1	-
N	Moins de 0,1	-

Tableau 2 : Répartition des consonnes nasales du français, (Carton, 1974 p.72 ; Wioland, 1991 p.30).

Les deux consonnes /m/ et /n/ sont les plus représentées en français. Ces statistiques dépendent du type de corpus.

III.B. Les voyelles

Le français comporte trois ou quatre voyelles nasales, selon les individus, les régions et les générations.- La neutralisation des timbres [ɔ̃] et [œ̃] a été notée en 1821 par le Père Desgranges⁵ (Malderez, 1991). Martinet en 1945, suite à un questionnaire qu'il a fait passer dans un camp de prisonniers trouvait que les deux phonèmes [ɔ̃] et [œ̃] étaient distincts essentiellement dans le parlé du sud de la France et que l'opposition entre les deux avait quasiment disparue dans le parlé parisien (Martinet, 1945). A la fin des années 80, les

⁵ Desgranges, J. C. L. P. (1821). *Petit dictionnaire du peuple à l'usage des quatre cinquièmes de la France*, cité par Malderez, I. "Neutralisation des voyelles nasales chez des enfants d'île de France." *XIIème congrès International des Sciences Phonetiques (ICPhS)*, Aix-En-Provence, France, 174-177, traducteur, Chaumerot, Paris.

phonéticiens trouvent de nouvelles tendances à la neutralisation entre les voyelles nasales [ɛ̃] et [œ̃] et entre [ɔ̃] et [ɑ̃] (Fonagy et al., 1989).

Voyelles	Carton (%)	Wioland (%)
ɛ̃	3,4	3,09
œ̃	1,2	1,845
ɔ̃	2,1	2,255
ɑ̃	0,5	-

Tableau 3 : Répartition des voyelles nasales du français, (Carton, 1974 p.72 ; Wioland, 1991 p.30).

La disparition progressive de la voyelle nasale [ɛ̃].- Walter en 1994 donne des mesures chiffrées qui montrent que le spectre acoustique de [ɛ̃] se rapproche de [œ̃] et que celui de [ɔ̃] se confond avec [ɑ̃] (Walter, 1994). Delattre en 1968 prévoyait que la grande atténuation du premier formant pourrait fort bien réduire les quatre phonèmes nasals à deux : /ɛ̃/ et /ɑ̃/ ; (antérieur écarté/postérieur arrondi) (Delattre, 1968). Les tests de perception fait par Malderez en 1991 sur des enfants de 8 et 9 ans confirment les spéculations de Delattre et montrent une neutralisation des oppositions /ɛ̃/ et /œ̃/ et des oppositions /ɔ̃/ et /ɑ̃/ (Malderez, 1991).

IV. Historique des voyelles nasales en français

IV.A. Historique de l'appellation "voyelle nasale"

Les voyelles nasales ont d'abord été appelées diphtongues.- Le Père Louis Chifflet, en 1673⁶ est le premier à considérer les voyelles nasales comme de "vraies voyelles", il les appellera de "fausses diphtongues". Celui qui entérine le nom de voyelle nasale et qui introduit le tilde, arrive 11 ans plus tard, en 1694 et se nomme Louis de Courcillon, Abbé de Dangeau⁷ :

"Le son qui est exprimé par eu dans le mot lieu, par ein dans feindre, c'est un second son que je prétends simple et voyelle." (Coseriu, 1994)

Les voyelles nasales ont très bien pu être des diphtongues avant de devenir des voyelles à part entière. C'est en tout cas ce que propose Straka dans son processus de nasalisation de la voyelle et décrit l'évolution à l'aide de la formule suivante : $A_n > A^{f_h} > A\tilde{n} > ^f\tilde{A}n > \tilde{A}n > \tilde{A}$, on arrive à un moment donné à une sorte de diphtongue semi-nasale dont la première partie est une voyelle pure et la deuxième une voyelle nasale (Avram, 1974).

Le français vient du latin qui ne comportait pas de voyelles nasales.- La nasalisation est un phénomène typiquement français. Elle s'est installée au cours du Moyen-Age à partir du XI^e. Quatre voyelles nasales se seraient imposées à la veille ou au début du XVII^e siècle.

Les voyelles nasales des phonèmes à part entière.- Passy en 1899, insiste sur le fait que les voyelles nasales du français ne sont pas des diphtongues. Pour cela, il monte une expérience très simple : il utilise deux miroirs, il en place un devant la bouche et l'autre devant le nez, ensuite il prononce une voyelle nasale soutenue et constate que les deux miroirs se ternissent au même moment, signe qu'il ne s'agit pas ici de la combinaison de deux sons (Passy, 1899).

⁶ Père Louis Chifflet, (1673) *Essay d'une parfaite grammaire françoise*, Paris ; cité par Coseriu, E., (1994). La "découverte" des voyelles nasales. *Communication & cognition*, **27**, (1-2), 7-20.

⁷ Louis de Courcillon, Abbé de Dangeau, (1694). Première lettre d'un Académicien sur le sujet des voyelles, dans *Essais de grammaire contenus en trois lettres, d'un Académicien à un autre Académicien*, Paris ; cité par *Ibid.* .

IV.B. Les étapes de la nasalisation

La nasalisation par l'influence d'un phonème nasal est un phénomène universel du langage, le voile du palais commençant à s'abaisser trop tôt lors de la production de la nasale. La nasalisation contextuelle peut avoir lieu aussi bien du fait de la consonne ou de la voyelle nasale (Passy, 1890 p.180-181).

Il n'est pas certain que les voyelles nasales que nous connaissons aujourd'hui et qui ont une valeur distinctive avec les orales, aient existé dès l'ancien français (Carton, 1974 p.180).

Les voyelles nasales auraient subi trois étapes de développement en français (Passy, 1890 p.181 ; Straka, 1979b p.504).

Le français n'a pas toujours connu le même nombre de voyelles nasales qu'à l'époque moderne. Au cours du Moyen-Age et à l'époque préclassique, il existait aussi des diphtongues nasales.

- ?? En ancien français et jusqu'au XVI^e siècle : la nasalité a affecté les voyelles ou les diphtongues présentes partout devant une consonne nasale (m, n, *nf* mouillé), même devant une consonne nasale intervocalique : ('bonne' [bo~~n~~fi] ; 'année' [fi~~n~~e]). Certains linguistes pensent que la nasalisation phonologique est teutosyllabique (il faut que la consonne nasale appartienne à la même syllabe). La teutosyllabité favorise la nasalisation de la voyelle précédant la consonne nasale (Vaissière, 1995).
- ?? Jusqu'à la fin du XVI^e siècle, en position finale et devant une consonne orale, les voyelles nasales étaient suivies d'un segment consonantique nasal ('grande' [gr~~n~~ʁ~~n~~di]).
- ?? Quand la voyelle nasalisée se distingue nettement de la voyelle orale, elle peut entraîner la chute de la consonne qui est devenue superflue à moins qu'elle ne serve à empêcher la rencontre entre deux voyelles, comme par exemple la différence en français pour le mot "longue" [lɔ̃g] qui fait [luŋga] en italien.
- ?? La chute de la consonne entraîne l'allongement de la voyelle.
- ?? Quand la consonne ne disparaît pas, la trace de nasalité sur la voyelle précédente n'est pas suffisamment marquée et disparaît dans la plupart des cas, exemple avec le mot "homme" [ɔ̃m] qui en vieux français faisait [ɔ̃m].

IV.C. Les théories

La revue de la littérature montre qu'il existe plusieurs théories pour la propagation de la nasalité sur la voyelle :

- ?? Influence fermante de la consonne nasale (Laborderie, 1994 ; Straka, 1979b). Le voile du palais s'abaissant trop tôt, par anticipation de l'articulation de la consonne, la voyelle précédente prend une résonance nasale qui gagne l'ensemble de son émission (Bourciez *et al.*, 1982 ; Durand, 1953 ; Laborderie, 1994). Il faut parler dans ce cas d'assimilation régressive.
- ?? L'abaissement du voile du palais continue alors que commence le phonème suivant, c'est une assimilation progressive (Carton, 1974).
- ?? Un phonème qui se trouve entre deux nasales va augmenter ses chances d'être nasalisé par assimilation progressive et régressive.
- ?? Toute voyelle est susceptible d'être nasalisée (Bourciez *et al.*, 1982 p.11). Pourquoi certaines voyelles se sont nasalisées avant d'autres, et pourquoi certaines ne se sont pas

nasalisées ? Pour une voyelle basse comme [a], aidée par la position de la langue, le voile du palais s'abaisse plus facilement que pour [i] ou [y]. Et pourtant, une petite ouverture vélaire suffit pour percevoir la nasalité sur une voyelle haute (Carton, 1974 p.181). Ceci pourrait expliquer que la voyelle [i] est la plus nasalisée dans les langues du monde.

?? Il faut distinguer phonème et réalisation (voyelle nasalisée). L'opposition nasale/orale n'est devenue phonologique que quand la disparition du e muet final a rendu distinctive la disparition du [n] (Carton, 1974 ; Durand, 1953) (par exemple : [numeru] qui est devenu [n^{or}br]).

IV.D. Ordre d'apparition des voyelles nasales

Toutes les voyelles n'ont pas subi la nasalisation à la même époque. La nasalisation s'applique aussi bien sur des atones que sur des voyelles accentuées (Bourciez *et al.*, 1982).

1. Nasalisation de [A] et [e], datation XI^e siècle,
2. Nasalisation de [o], datation XII^e siècle,
3. Nasalisation de [i], [u] et [y], datation XIII^e siècle,
4. Dénasalisation : quand la voyelle nasalisée est suivie d'une consonne nasale, elle perd son timbre nasal, datation XV^e siècle.

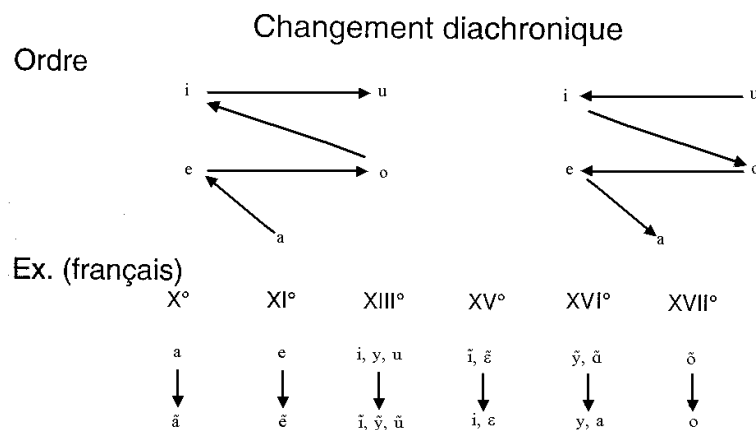


Figure 21 : Schématisation de l'évolution des voyelles nasales en français d'après (Pope, 1994) et (Straka, 1979b p.516), (Maeda, 2000).

V. Instruments utilisés pour étudier la nasalité

Il existe un grand panel d'instrumentations possible pour étudier la nasalité : EMG, IRM, radiologie, vélotrace, fibroscopie, aérodynamique, mesures acoustiques, synthèse, modélisation... Toutes ces méthodes ont des avantages et des inconvénients et sont plus ou moins invasives. Certaines permettent d'avoir une indication directe des mouvements du velum et d'autres une indication indirecte.

Cette partie a été élaborée à l'aide de l'ouvrage de Lass, 1995 et du premier chapitre de "Nasals, Nasalization and the Velum", 1993 (Krakow *et al.*, 1993 ; Lass, 1995).

V.A. Les mesures physiologiques : l'électromyographie (EMG)

Cette instrumentation donne une indication directe des mouvements du velum.- L'EMG, utilisée, depuis 1950, permet d'étudier l'activité musculaire durant la phonation, incluant les muscles qui contrôlent l'ouverture du port vélo-pharyngé (Bell-Berti, 1976 ; Bell-Berti *et al.*,

1975b ; Benguerel *et al.*, 1977b ; Fritzell, 1979 ; Hirano *et al.*, 1969 ; Kuenzel, 1978 ; Ushijima *et al.*, 1974).

L'électromyographie autant que possible détecte et enregistre l'activité électrique associée à la contraction musculaire. Cette contraction fournit des informations sur le contrôle de l'ouverture du vélo-pharynx.

Pour comprendre cette technique, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement des muscles eux-mêmes. Quand un muscle se contracte, un changement chimique produit une activité électrique. La quantité de cette activité électrique dépend de la taille et de la fonction du muscle. Un muscle est composé par un ensemble de fibres musculaires. Plus il y a de fibres activées, plus la contraction du muscle est augmentée, et plus le signal EMG est important. Les électrodes placées dans l'entourage de la perturbation peuvent détecter et enregistrer la variation de l'activité électrique. Les électrodes EMG sont utilisées par paires. L'expérimentateur obtient des informations sur l'activité électrique en deux points et compare l'activité à ces deux endroits.

Il existe trois types d'électrodes : électrode de surface, aiguille et 'hook wire'. Les deux dernières sont des électrodes intramusculaires. Les procédures qui utilisent des électrodes de surface ont l'avantage d'être non-invasives mais leur utilisation est limitée aux muscles de surface. Leur utilisation n'est pas aisée sur un groupe de muscles car il n'est pas possible de déterminer l'activité d'un muscle bien précis. Elles peuvent être utilisées pour les muscles des lèvres, elles ne permettent pas de collecter des données sur les muscles spécifiques qui contrôlent la fonction vélo-pharyngée parce que l'enchevêtrement des fibres musculaires des muscles du voile est très important dans cette région. Il faut utiliser les électrodes intramusculaires.

Les électrodes 'hook wire' sont plus fines que les électrodes à aiguille, et sont utilisées pour les muscles ayant une grande amplitude de mouvement car elles gardent bien leur position. Après l'application d'une anesthésie locale, elles sont insérées dans les muscles et repliées sur elles-mêmes, laissant une longueur de fil enfoncée dans le muscle. Après avoir inséré les électrodes, il est nécessaire de vérifier leur position. Pour le levator veli, les électrodes sont insérées dans la fosse vélaire quand le sujet soutient la voyelle /a/. L'aiguille est rapidement insérée à partir de la surface dans la direction latérale crânienne postérieure. Pour vérifier le placement dans le levator veli, il est demandé au sujet de produire un /s/ soutenu. Les expérimentateurs doivent être conscients qu'il existe des différences anatomiques individuelles dans les arrangements précis des muscles.

L'avantage d'une telle méthode est qu'il est possible de voir les mouvements de plusieurs muscles en même temps, ce qui est très intéressant pour comprendre les mécanismes de la coarticulation (Krakow *et al.*, 1993). Les données EMG peuvent être collectées avec d'autres types de données, comme les données acoustiques.

Il y a plusieurs inconvénients à l'EMG. Il s'agit d'une méthode invasive. Le signal est bruyant et souvent difficile à interpréter. La procédure est inconfortable. Une longue session peut causer un grossissement des tissus et une distorsion de la parole.

Les électrodes doivent être insérées par une personne habilitée. Il est important d'avoir une idée des muscles importants pour la phonation (Bell-Berti *et al.*, 1975b ; Kuenzel, 1978). Il faut bien choisir les électrodes, bien les fixer et les mettre au bon endroit pour avoir un signal correct. Ensuite il faut être capable d'interpréter les résultats obtenus (Kuenzel, 1978). Il n'est pas aisé de reproduire les expériences.

V.B. Les mesures articulatoires

Nous ne traiterons pas de la fibroscopie dans ce chapitre. Elle fait l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre II (cf. I. p.115).

V.B.1. Imagerie radiologique

Cette méthode permet d'avoir une indication directe des mouvements vélares.- Les phonéticiens ont cherché très tôt à connaître comment les sons du français sont prononcés grâce à la radiographie (Brichler-Labaeye, 1970 ; Delattre, 1968 ; Straka, 1965 ; Zerling, 1984). Il faut dire que la radiologie (ou radiographie) donne beaucoup d'informations sur l'activité articulatoire de la parole, même pour la fonction vélo-pharyngée. L'énergie des rayonnements provenant des désintégrations atomiques (alpha, bêta et gamma) passe à travers le corps humain. Elle est ensuite reflétée sur un écran ou un support. Comme la densité des tissus affecte l'étendue des rayons qui seront absorbés par le corps, l'image à la sortie reflète les variations de tissus.

Pour l'étude de la parole, les images sont généralement utilisées en position latérale. Les rayons X donnent des images détaillées du conduit vocal, ce qui donne la possibilité de mesurer les positions des articulateurs statiques, fixées par les structures osseuses.

L'énergie des rayons X traversant les sujets peut être imprimée directement sur un film ou projetée sur un fluoroscope. L'écran d'un fluoroscope est photographié pour conserver l'image. L'illumination du fluoroscope nécessite moins de radiation qu'un film.

La radiographie permet de faire des études articulatoires dynamiques. Cette méthode s'appelle la cinéradiographie. Une fois les images conservées sur un film, elles peuvent être projetées sur du papier, échantillon par échantillon. Les structures des articulateurs avec la référence de la structure osseuse peuvent être tracées.

Les rayons X traversent tout ce qui se trouve sur leur chemin. Comme les structures osseuses produisent des images plus sombres, elles peuvent cacher les tissus mous qui sont derrière. Pour augmenter la visualisation des tissus mous durant la cinéradiographie ou la vidéofluorographie, il faut placer une pâte de baryum de sulfate sur les structures qui sont à étudier.

Le plus grand problème des rayons concerne le risque pour les sujets. Les rayons X pris au-delà du temps imparti augmentent les radiations cumulées par séquence. De telles expériences doivent être limitées dans le temps. Le nombre de phrases ou d'occurrences collectées sont limitées. Les informations radiologiques sur les régions vélo et rhino-pharyngées peuvent être de qualité discutable : en position haute le voile du palais donne une image floue par diffraction (Zerling, 1984).

V.B.2. Imageries par résonance médicale (IRM)

Cette méthode permet d'avoir une indication directe des mouvements du voile du palais.- Les images par résonances magnétiques (IRM) sont relativement nouvelles et donnent des informations détaillées en trois dimensions. L'IRM est une technique d'images tomographiques des tissus humains dans les plans sagittaux, coronaux, obliques et transversaux. Les images IRM fournissent une projection de la densité des noyaux d'hydrogène dans le tissu. Les noyaux d'hydrogène sont abondants dans l'eau, et comme les différents tissus ne contiennent pas tous autant d'eau, les images montrent les différences

parmi les tissus. Le sujet est placé dans un champ magnétique fort qui perturbe le noyau d'hydrogène. Les images sont obtenues en enregistrant le comportement des noyaux atomiques dans ce champ électromagnétique. En contraste avec les techniques de rayon X, les IRM n'ont pas de problèmes de radiation et fournissent une excellente discrimination des tissus mous. Bien que développées pour des buts médicaux, les IRM ont été utilisées récemment dans un grand nombre d'études sur le conduit vocal. Jusqu'à ce jour les techniques d'IRM pour étudier les fonctions du vélo-pharynx sont limitées, mais les résultats sont prometteurs.

Chaque image est stockée directement sur un ordinateur comme une matrice de nombres qui fournit des données de haute résolution en pixels de différents degrés de gris. Cette technique est considérée comme la meilleure pour obtenir des données statiques du conduit vocal. Cependant l'utilisation de l'IRM est limitée par un certain nombre de facteurs : les données sont prises en position idéale pour le domaine médical, pas pour la parole : les effets de la gravité peuvent être importants. Il faut un certain temps pour prendre des images IRM claires (plusieurs dizaines de secondes à plusieurs minutes) ceci limite les investigations à des images fixes du conduit vocal et nécessite de maintenir longtemps la production d'un phonème (son peu naturel). Malheureusement, le nombre de capture d'images n'est pas assez rapide pour capter la dynamique d'ouverture et de fermeture du port vélo-pharyngé (Poppelreuter *et al.*, 1999). Par contre, il est possible d'avoir une indication de la position du velum lors de la production d'un phonème nasal.

V.B.3. Ultrasons

L'ultrason permet de voir des mouvements articulatoires et l'intérieur du conduit vocal, sans passage d'un appareil à l'intérieur de celui-ci. En ce qui concerne les recherches sur la parole, les ultrasons ont été essentiellement utilisés pour observer les mouvements de la langue. Il est tout à fait possible d'utiliser cette technique pour étudier l'ouverture du voile du palais, car elle donne des informations sur les mouvements de la paroi pharyngée latérale. Les ultrasons sont appelés ainsi car ils nécessitent l'utilisation de hautes fréquences non perceptibles à l'oreille humaine. Les ultrasons produisent une image en utilisant la propriété réfléchissante des ondes sonores, un cristal piezo-électrique activé par un courant électrique émet une haute fréquence d'ondes sonores. Grâce à un conducteur placé au contact de la peau, les ondes sonores traversent les tissus mous et sont retransmises quand elles atteignent une surface différente (os). Les hautes fréquences retransmises sont transformées en signaux électriques, traitées sur ordinateur.

Pour voir les mouvements du velum, le placement de l'appareil à ultrason se fait derrière le lob de l'oreille, sur le cou. La méthode consiste à suivre un point sur cette paroi à différents temps (*t*). Quand le conducteur est positionné correctement pour voir les mouvements de la paroi pharyngée, l'écho du mouvement du tissu est retransmis par une différence d'amplitude sur l'onde en fonction de la distance relative du tissu, les discontinuités dans la forme d'onde sont dues aux discontinuités du tissu. Cette méthode ne provoque pas de désagrément pour le sujet, et peut être utilisée aussi longtemps que nécessaire, il n'y a pas de problème de surexposition. Cette méthode est limitée par la structure des tissus humains. En effet, les ultrasons ne donnent aucun résultat sur des tissus durs comme le palais dur, et ne passent pas au-delà des structures osseuses. Ils sont rapides et permettent d'étudier la coarticulation. Cependant, il n'est pas facile de distinguer les tissus d'environ 1 cm, ils sont trop petits. Le placement de l'ultrason est délicat, en effet, selon sa position les signaux obtenus peuvent être contradictoires (Ryan *et al.*, 1976).

V.B.4. Suivi de points

Le suivi de point avec les rayons X consiste à fixer, à l'aide d'un adhésif non toxique, des plombs (2 ou 3 mm) sur un ou plusieurs articulateurs. Ensuite, il y a une projection de rayons X. Ceux-ci traversent la tête et détectent la densité du métal. La sortie est visible en deux dimensions, sur un ordinateur. Pour étudier les mouvements du velum, les plombs sont fixés sur celui-ci.

?? Le système le plus connu est Microbeam. Il a été développé par les chercheurs de l'Université de Tokyo, il permet d'étudier les mouvements des articulateurs avec un risque minimisé d'exposition aux rayons X. Les rayons X du système Microbeam passent à travers un petit trou d'épingle en direction du sujet. Le rayon est ensuite enregistré sur un ordinateur. La représentation est basée sur le déplacement des plombs, leur vitesse et leur accélération. Chaque plomb est scanné. Sur l'ordinateur, apparaît le mouvement des articulateurs sur lesquels les plombs ont été fixés. Cette méthode a l'avantage d'être rapide donc intéressante pour la coarticulation. Elle nécessite un faible dosage en radiation, ce qui peut augmenter le temps de l'expérimentation. Cette méthode permet d'avoir des données articulatoires seulement qu'en deux dimensions. L'équipement pour ce genre d'expérience est important et coûteux. De plus tout comme pour l'électromyographie il faut une bonne connaissance de l'anatomie pour placer correctement les plombs.

?? Articulométrie électromagnétique (EMMA) : Une autre méthode pour obtenir un mouvement dynamique de plusieurs articulateurs à partir d'un suivi de point est l'articulométrie électromagnétique. L'articulométrie électromagnétique a été la première méthode développée par Hixon en 1970 (Hixon, 1970). Il est possible d'obtenir des indications sur les mouvements des lèvres, de la langue, de la mâchoire et du velum sur le plan sagittal. Il s'agit de fixer des petits anneaux récepteurs sur les articulateurs voulus. Des anneaux transmetteurs émettent un champ magnétique alternatif qui est intercepté par les anneaux récepteurs. Les données du mouvement sont mesurées à la fréquence de 500 Hz. En sortie, il y a des voltages générés par les récepteurs électroniques, digitalisés et convertis en coordonnées x et y à l'aide d'un logiciel spécialisé. Les anneaux récepteurs sont montés perpendiculairement au plan sagittal et parallèlement aux anneaux transmetteurs. Comme le système Microbeam, cette méthode permet de se constituer de grandes bases de données sur les articulateurs internes (langue, velum) et externes (lèvres) et ceci sans gêne pour le sujet. Il est possible de refaire les mêmes analyses que pour les données du système Microbeam, elles peuvent donc être comparées entre elles. Par rapport au système Microbeam, elle a l'avantage d'être moins chère et plus facilement supportable par le sujet.

V.B.5. Vélotrace

Le vélotrace est un appareil mécanique, qui a été développé par Hiroguchi et Bell-Berti en 1987, celui-ci capte les mouvements du velum dans le temps. Un appareil inséré par la narine est construit en trois parties :

- ?? Un levier interne courbé, qui reste sur la surface du velum,
- ?? Un levier externe qui reste à l'extérieur du nez,
- ?? Un bâtonnet qui connecte les deux leviers entre-eux.

Le mouvement du velum change l'angle du levier interne, ce qui modifie son point d'appui et qui correspond à un mouvement angulaire du levier externe. Le mouvement de celui-ci est mesuré, et donné sur le plan x, y. Le mouvement du levier externe est beaucoup plus ample

que celui du levier interne et donc plus ample que les mouvements du velum. Les mouvements ainsi décuplés sont plus visibles. L'appareil est inséré après une anesthésie locale et une décongestion des muqueuses nasales et des parois pharyngées. Un bandeau permet de maintenir le vélotrace en une position stable. Un système optique, des diodes émettant de la lumière (LED), peut être ajouté sur l'extrémité du levier externe pour suivre les mouvements de la lèvre inférieure ou de la mâchoire.

Cette méthode permet d'étudier plusieurs articulateurs en même temps. Elle a été mise en place spécifiquement pour les mouvements du velum. Comme pour la fibroscopie et la cinéradiographie, elle donne des mouvements en continu. Elle permet d'obtenir de grandes quantités de données.

Le vélotrace ne peut pas être calibré avec certitude ce qui pose un problème pour refaire les expériences.

V.B.6. Strain Gauge

C'est une notion assez difficile à traduire en français, il s'agit d'une méthode pour calculer une résistance électrique ou mécanique. Un semi-conducteur varie en fonction des différentes intensités émises.

Les 'Strain Gauges' sont utilisées dans un grand nombre d'études sur les lèvres et les mouvements de la mâchoire et quelques études sur le voile du palais. Le principe des 'Strain Gauges' est généralement le même pour tous les articulateurs : deux 'Strain Gauges' sont montées à l'extrémité d'une bande en métal flexible, l'autre extrémité de cette bande est accrochée à un support stable. Cette extrémité est déformée quand un articulateur bouge, créant une tension au début et à la fin de la bande. Ces effets sont alors analysés. Pour l'étude du velum, le fil est prévu pour prolonger en son centre le voile du palais dans le conduit vocal. Les mouvements verticaux du velum modifient la courbure du fil, causant un changement de résistance au niveau des 'Strain Gauges'.

Leur utilisation est limitée car il n'est pas facile de connaître l'exactitude des données relevées.

V.B.7. Photodétection

Cette méthode donne des indications sur l'ouverture et la fermeture d'une région dans le conduit vocal. Il s'agit du port vélo-pharyngé pour une étude sur la nasalité. Une lumière est insérée d'un côté du port du vélo-pharynx et un détecteur capte la lumière quand le velum s'ouvre. Il existe plusieurs types de photodétecteurs : nasographe (Ohala), vélographe (Dalston). La photodétection donne une indication sur les mouvements des parois pharyngées. Elle permet de collecter une grande quantité de données. Cependant elle ne permet pas de détecter une faible ouverture du voile du palais. Il est peu commode d'insérer correctement le tube qui transmet la lumière à détecter.

?? Le nasographe est conçu avec un tube compressible en polyéthylène contenant à la fois la lumière source et le détecteur de cellule lumineuse. Le tube d'un diamètre de 4 mm, est inséré par la narine et l'une des extrémités est avalée pour arriver dans l'œsophage, ce qui permet de stabiliser le nasographe, et d'avoir la lumière source en dessous du port vélo-pharyngé, le détecteur de lumière juste au-dessus. Des informations sur l'ouverture du port vélo-pharyngé sont obtenues à partir de la lumière qui arrive, celle-ci est ensuite transformée en voltage (Ohala, 1971).

?? Le vélographe a été développé à l'Université de Kiel en 1976 (Kuenzel, 1977a). Il mesure le degré de l'élévation vélaire. Le vélographe est constitué de deux tubes flexibles terminés par une cellule photo à une extrémité et une source lumineuse à l'autre. La sonde est insérée dans la narine à une distance de 6 ou 7 cm jusqu'à toucher les bords du palais mou, à l'intersection du sillon ptérygomaxillaire et de l'épine nasale. La position peut être manipulée aisément. Il a été rajouté séparant le flux oral et le flux nasal, pour capter les débits d'air.

V.C. Les mesures acoustiques et aérodynamiques

Nous ne parlerons pas dans ce chapitre des données aérodynamiques. Elles font l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre II (cf. VII. p.61).

V.C.1. Pression sonore microphonique

La pression nasale peut être détectée par un microphone positionné à l'intérieur ou à l'extérieur de la narine. Quand le microphone est placé à l'intérieur du nez, il y a un certain nombre de problèmes, notamment la difficulté pour maintenir le microphone. De plus, il faut faire attention de différencier des changements dans la vibration nasale à partir des changements de toute la sortie vocale. Par exemple, si le sujet parle plus fort, il y aura une augmentation de l'amplitude des vibrations nasales, cela ne signifie pas pour autant qu'il y a eu une augmentation de l'ouverture du port vélo-pharyngé. L'enregistrement de la totalité du flux d'air peut être obtenu en enregistrant la variation de pression orale et de pression nasale séparément. Le signal oral permet alors d'interpréter le signal nasal. Quand le microphone nasal est fixé à l'extérieur, le signal nasal est isolé du signal émis par la bouche. Il faut alors un deuxième microphone pour le signal oral. Cette méthode permet de récolter une grande quantité de données (Feng *et al.*, 2004 ; Montagu, 2000 ; Tronnier, 1998). Elle donne une bonne indication de la transition orale/nasale.

V.C.2. Analyse spectrale

Il est possible de faire une analyse spectrale sur un enregistrement nez/bouche séparée ou ensemble. Cette méthode est couramment utilisée pour étudier acoustiquement la parole. En ce qui concerne la nasalité, autant les consonnes nasales sont relativement simples à discriminer, autant les voyelles nasales posent encore de nos jours beaucoup de problèmes. Nous avons résumé dans la partie I.C.2. p.29, les principaux indices de la nasalité vocalique.

V.D. La synthèse et la modélisation

Ces deux méthodes consistent à créer artificiellement des phonèmes nasals afin de savoir comment ceux-ci sont perçus par les auditeurs. Il existe différents types de synthèse : à formant, à diphone...

En ce qui concerne la modélisation, il s'agit de modéliser un conduit vocal à l'aide de tubes. Ensuite il faut créer différentes constriction, allonger ou ouvrir plus ou moins un tube (Maeda, 1982b).

VI. Données anatomiques et physiologiques

Les descriptions anatomiques et physiologiques ont été élaborées à partir de l'Encyclopédie médicale du XX^e siècle (Akoka *et al.*, 1972), des Cahiers Anatomiques d'ORL (Legent *et al.*, 1981), de l'Anatomie du voile (Lerault *et al.*, 1993) et de La voix (Le Huche *et al.*, 2001).

Il existe plusieurs organes nécessaires à la production de la nasalité : le nez, les fosses nasales, les sinus, le voile du palais... Nous passerons rapidement sur les organes qui n'ajoutent pas d'indications essentielles à notre recherche.

VI.A. Les fosses nasales

Les fosses nasales sont deux cavités séparées l'une de l'autre par une mince cloison. Elles sont situées au-dessus de la cavité buccale, en dessous de la cavité crânienne et en dedans des cavités orbitaires. Elles se prolongent en avant par les cavités du nez. Elles s'ouvrent en arrière dans le rhino-pharynx par des orifices appelés "choanes". Elles sont en communication avec les sinus. Ces deux cavités ont pour parois squelettiques :

- ?? En dedans, une cloison médiane, osseuse et cartilagineuse, qui sépare les deux fosses nasales,
- ?? En bas, la voûte palatine sépare les fosses nasales de la cavité buccale,
- ?? En arrière, les fosses nasales s'ouvrent dans le pharynx par les "choanes" (fosses).

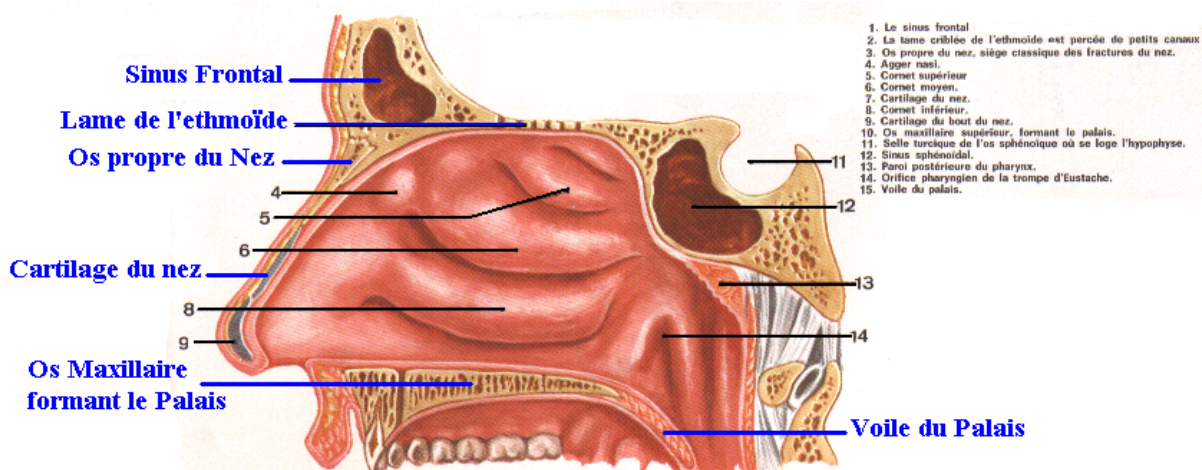


Figure 22 : Coupe sagittale montrant une vue latérale des fosses nasales (Akoka *et al.*, 1972).

Les parois des fosses nasales sont revêtues d'une muqueuse pituitaire. Cette muqueuse est décomposée en deux parties : (1) à sa partie inférieure, elle est rouge, richement vasculaire, contient des glandes à mucus, des cellules à cils vibratiles, c'est la "muqueuse respiratoire", (2) la muqueuse supérieure est blanchâtre, c'est la "muqueuse olfactive" ; elle contient les cellules sensorielles à l'origine des fibres du nerf olfactif.

Il est important pour notre étude de situer les différents cornets.

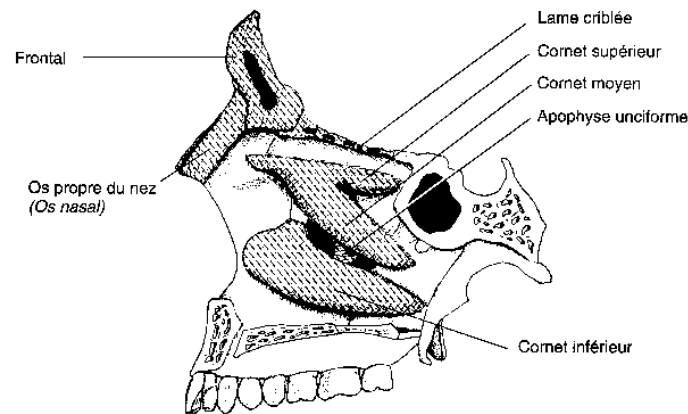


Figure 23 : Paroi externe montrant les trois cornets : cornet supérieur, cornet moyen et cornet inférieur (Le Huche *et al.*, 2001 p.140)

Nous verrons dans la partie fibroscopique que l'endoscope est inséré dans le cornet moyen. Le plan superficiel est constitué en haut par les masses latérales de l'ethmoïde, en bas par le cornet inférieur. La face interne des masses latérales présente deux lames osseuses enroulées sur elles-mêmes : le cornet supérieur et le cornet moyen. L'insertion du cornet moyen se poursuit en arrière sur la lame verticale du palatin.

Dans les fosses nasales, débouchent des cavités creusées dans les os qui les limitent : les sinus, en particulier le sinus frontal, le sinus maxillaire et le sinus sphénoïdal, ainsi que les conduits lacrymaux (sous les cornets inférieurs).

VI.B. Les sinus

Les sinus sont rattachés aux fosses nasales. Il en existe quatre différents :

- ?? Le sinus maxillaire,
- ?? Le sinus ethmoïdal,
- ?? Le sinus frontal,
- ?? Le sinus sphénoïdal.

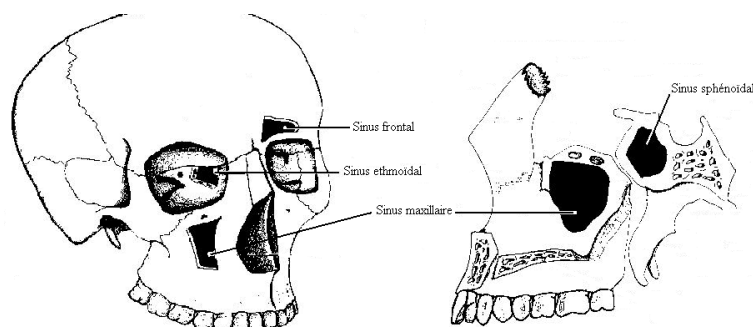


Figure 24 : Localisation des quatre sinus (Le Huche *et al.*, 2001 p.150).

Un certain nombre d'hypothèses ont été émises concernant le rôle des sinus : esthétique, d'allègement de l'ossature du crâne, de protection de la base du crâne contre les chocs, olfactif, phonatoire. En fait, aucune de ces fonctions n'est prouvée ni même probable. Le développement des sinus semble être une simple conséquence de la croissance faciale.

Dans la phonation, ils ne peuvent pas être considérés comme des cavités de résonance comme on l'a prétendu longtemps. Tout au plus peuvent-ils être le siège de sensations vibratoires entrant dans le complexe sensori-moteur de la voix chantée comme points de départ de réflexes d'adaptation de la mécanique vocale (Le Huche *et al.*, 2001).

VI.C. Le voile du palais :

Le plafond des fosses nasales est constitué en grande partie du palais. Le palais est généralement défini comme la voûte de la cavité orale qui sépare les cavités orales et nasales. Il est divisé en deux régions : palais dur et palais mou. Le palais mou est également appelé voile du palais ou velum.

Le palais mou à l'arrière du palais est rattaché au palais dur. Le palais dur couvre les deux tiers du palais, le velum la troisième partie. Le palais dur, constitué d'une structure osseuse est fixe.

Le voile du palais est un organe complexe. Il a la forme d'une fine feuille constituée essentiellement de fibres musculaires, tissus, nerfs, glandes et vaisseaux sanguins (Hardcastle, 1976). Il a un rôle positif dans la déglutition et la phonation, néfaste dans le ronflement.

Description anatomique du velum :

- ?? Croissance : rapide de la naissance à 2 ans, elle se ralentit jusqu'à 5 ans, puis augmente de nouveau jusqu'à l'âge adulte.
- ?? Situation : il est logé dans la partie la plus profonde de la cavité buccale, il surplombe la langue.
- ?? Forme : quadrilatère, oblique en bas et en arrière. Au repos, il épouse la partie haute de la base de la langue par sa concavité antéro-inférieure.
- ?? Dimensions (chez l'adulte) : Longueur : 30 à 35 mm, Epaisseur : 10 mm, dans sa partie antérieure, où le voile est plus épais, Largeur : 60 à 70 mm sur la face buccale, 30 à 35 mm sur la face nasale.

Le cavum sous lequel se situe le velum a une forme différente selon les individus, ce qui peut modifier la forme de la résonance au moment du passage de l'air.

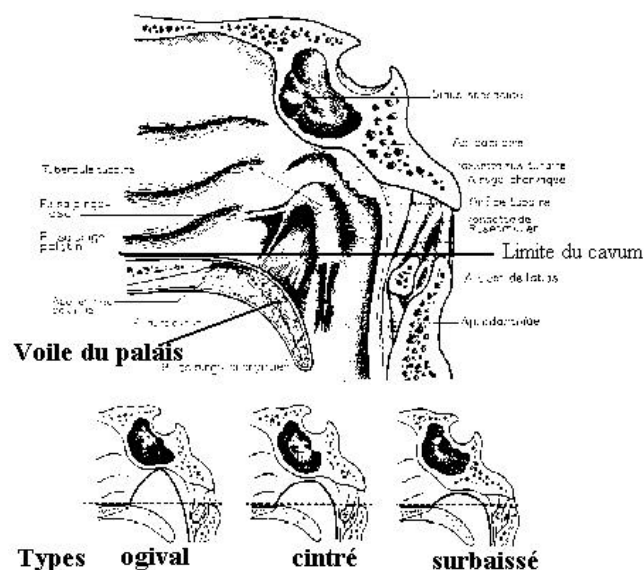


Figure 25 : Les différentes formes du cavum (Akoka *et al.*, 1972).

VI.C.1. Les muscles nécessaires à la contraction du velum

Le voile est une structure musculaire constituée d'une dizaine de muscles. Les deux muscles les plus connus en ce qui concerne les mouvements vélares sont le levator palatini et le palato-glosse. Nous allons décrire les six muscles principaux dans les mouvements vélares :

- ?? Le levator palatini (ou péristaphylin interne) : véritable satellite de la trompe cartilagineuse, ce muscle a une forme de ruban dans sa portion juxta-tubaire et d'éventail dans sa portion vélique. Son action sur la trompe : le muscle dilate l'ostium tubaire en déposant en arrière et en dedans, sa lèvre postérieure ou bourrelet, aidé dans cette action par le faisceau tubaire du muscle pharyngo-staphylin. Sur le voile : il est élévateur du voile et assure en grande partie la fermeture de l'orifice vélo-pharyngé.
- ?? Le péristaphylin externe (ou tensor veli) : il est situé en dehors de la fibreuse pharyngée, il est formé de deux couches : une couche superficielle qui agit sur le voile et une couche profonde qui agit sur la trompe. Son action : la couche superficielle est classiquement tenseuse de l'aponévrose palatine, son rôle est mineur. La couche profonde ouvre la trompe d'Eustache, action essentielle du muscle.
- ?? Le pharyngo-staphylin (ou palato-pharyngien) : il appartient à la musculature du pharynx, il forme un double éventail musculaire réuni par un faisceau intermédiaire qui constitue le pilier postérieur du voile. Son action : les pharyngo-staphylins jouent un rôle très important dans le sphincter vélo-pharyngé, en abaissant le voile, élevant le pharynx et rapprochant les deux piliers postérieurs. Ils empêchent notamment le passage des aliments vers les fosses nasales pendant la déglutition.
- ?? Le palato-glosse (ou glosso-staphylin) : tendu entre le voile du palais et la langue, c'est le muscle du pilier antérieur du voile. Son action : Il rétrécit l'isthme du gosier en abaissant le voile. Il peut aussi élever ou abaisser la base de la langue, du fait que ses fibres se perdent dans les muscles linguaux latéraux.
- ?? Le palato-staphylin (ou azygos de la luette) : ce muscle paramédian est entièrement contenu dans le voile. Son action : il relève et raccourcit la luette. Son rôle est moins accessoire qu'il n'y paraît. Marchant par pair, celui de gauche et de droite entraînent en effet un épaississement du voile à sa partie médiane lors de la constriction, facilitant ainsi son application contre la paroi pharyngée postérieure.
- ?? La fibre accessoire (muscle occipito-staphylin), il est accessoirement élévateur du voile.

VI.C.2. Fonction du velum durant la phonation :

Au cours de parole, la partie antérieure du voile reste en tension constante. Seul le bord postérieur est en mouvement occultant ou non le cavum au gré des phonèmes. Bien que souvent considéré comme un articulateur relativement lent, le velum dans des études récentes est montré comme plutôt rapide (Legent *et al.*, 1981).

Le voile du palais ne descend pas jusqu'à toucher le dos de la langue, il n'est dans cette position que lors d'une phase de repos accompagnée d'une respiration nasale, pour les articulations dites nasales, le voile du palais se maintient à mi-chemin entre la partie postérieure de la langue et la paroi du pharynx (Straka, 1979b p.503). Les données articulatoires de Delvaux (2003) prises à l'aide de l'IRM montrent tout de même des voyelles nasales prononcées avec un voile du palais qui touche le dos de la langue (Delvaux, 2003). Il n'est pas possible de dire dans quelle mesure la masse volumique modifie la position articulatoire d'origine lors de la prise de données IRM.



Figure 26 : Profils articulatoires, à partir d'IRM de la voyelle /o/ (en gris) vs. /ø/ (en noir) dans les items *vøv*. Trois répétitions par voyelle pour un sujet masculin (Delvaux, 2003 p.74).

Le tracé montre que le velum peut toucher le dos de la langue.

Les appareils utilisés n'ont pas toujours permis de voir la totalité du port vélo-pharyngé et, avant les années 50, il était courant de penser que le port du vélo-pharynx n'était fermé que par la seule action du velum (Skolnick *et al.*, 1973). L'apparition d'appareillages plus sophistiqués montre que la cavité nasale peut être fermée par l'action de plusieurs muscles. Petit à petit, le terme de sphincter vélo-pharyngé fait son apparition. Ceci est en contradiction avec les recherches de (Bell-Berti *et al.*, 1975b ; Niimi *et al.*, 1982), pour lesquels seul le levator palatini est à l'origine de l'élévation du velum.

Le sphincter vélo-pharyngé est le résultat de la combinaison de plusieurs gestes articulatoires.- L'occlusion vélo-pharyngée peut mettre en jeu les parois latérales et postérieures du pharynx.

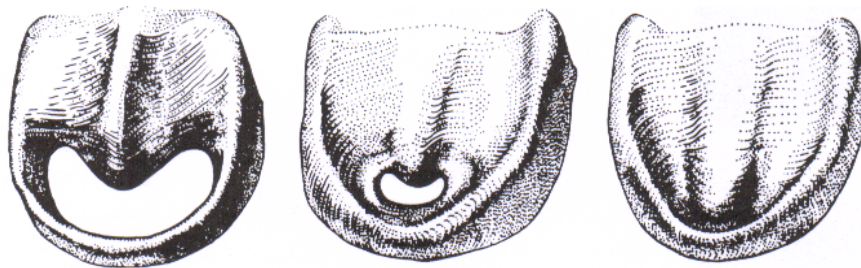


Figure 27 : Fermeture du port vélo-pharyngé par l'action des muscles latéraux et verticaux, (Skolnick *et al.*, 1973 p.288).

Ces mouvements créent un sphincter vélo-pharyngé. Ces activités musculaires ne sont pas les mêmes pour tous les individus. Il existe plusieurs schémas de fermeture vélo-pharyngée (Skolnick *et al.*, 1973), au moins quatre, qui sont décrits clairement par Zwitman (1974) et Croft (1981) (Croft *et al.*, 1981 ; Zwitman *et al.*, 1974).

Les distinctions sont établies à partir des mouvements des parois latérales et postérieures du pharynx :

- "1. lateral walls move medially and fuse, resulting in purse-string closure as the velum touches the approximated section of the lateral walls
2. lateral walls almost approximate, with the velum contacting the lateral walls and partly occluding the space between them. a small medial opening is observed in some cases
3. lateral walls move medially, filling the lateral pharyngeal gutters and fusing with the raised velum as it contacts the posterior wall
4. lateral walls move slightly or not at all. velum touches posterior wall at midline, and lateral openings are observed during phonation." (Zwitman *et al.*, 1974 p.368).

Les mouvements latéraux des parois vélo-pharyngées sont très importants notamment chez les individus souffrant d'insuffisance vélaire, car ils peuvent ainsi compenser une fente vélaire.

Amelot *et al.* (2003) confirment que les mouvements des parois n'ont pas la même intensité selon les locuteurs. Pour quatre individus dont les mouvements du velum ont été enregistrés à l'aide d'une vidéo-endoscope, deux locuteurs avaient à peu près la même stratégie de fermeture et les deux autres avaient des stratégies différentes (Amelot *et al.*, 2003). Les auteurs ont classé les sujets en deux groupes, entrant respectivement dans les catégories 3 et 4 de Zwitman.

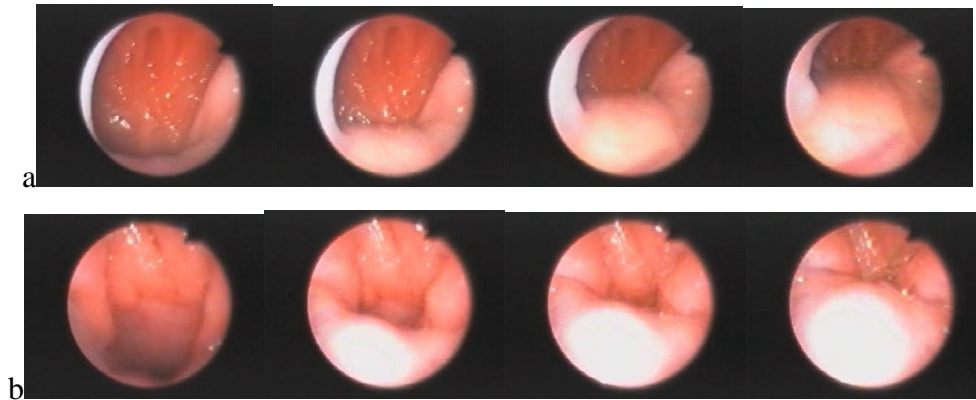


Figure 28 : Prononciation du même phonème nasal par deux locuteurs, a : pas de mouvements visibles des parois vélo-pharyngées 🗿, b : mouvements vélaire verticaux et horizontaux 🗿.

La différence d'aperture entre les voyelles nasales et orales reflète une loi phonétique générale, une voyelle nasale est toujours plus ouverte que la voyelle orale correspondante et lorsqu'une voyelle orale se nasalise, elle tend à s'ouvrir. L'explication physiologique en est la suivante : l'air phonatoire s'écoule à la fois par le nez et par la bouche, il en passe moins par la cavité buccale que pour les voyelles orales ce qui implique une baisse de la pression et dès lors les muscles réagissent moins, ils se tendent moins, la langue s'abaisse, le résonateur buccal moins tendu augmente de volume (Grammont, 1933 p.94). Il existe également une explication perceptive qui voudrait que l'on ne percevrait pas bien la nasalité sur une voyelle fermée (Passy, 1890 p.181). Cette théorie a été contredite par la suite, notamment par (Maeda, 1993).

Les voyelles nasales françaises ont été largement étudiées à l'aide de données radiographiques ou d'IRM (Brichler-Labaeye, 1970 ; Chlumsky, 1938 ; Delattre, 1968 ; Delvaux, 2003 ; Straka, 1965 ; Zerling, 1984).

Pour faciliter la description articulaire, les chercheurs décrivent la voyelle nasale par rapport à une voyelle orale. Comme nous l'avons déjà évoqué les voyelles nasales ont une production articulaire qui leur est propre (Zerling, 1984 ; Montagu, 2004).

?? Le cas de [ɶ] :

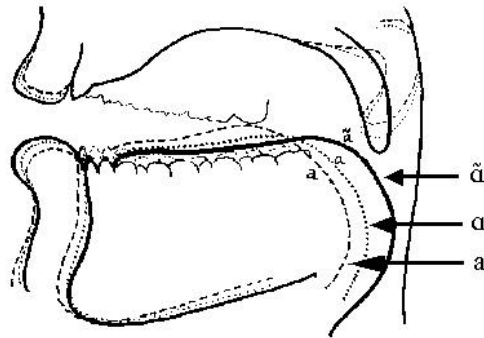


Figure 29 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ɶ] dans le mot "pente", la voyelle [A] dans le mot "pâte" et la voyelle [a] dans le mot "part", (Straka, 1965 p.57).

La différence principale entre [a] et [ɶ] : l'abaissement du voile du palais. La langue recule dans sa partie antérieure et se rapproche de la paroi pharyngée. L'angle de la mâchoire s'agrandit, la lèvre supérieure s'abaisse. La voyelle est nettement labialisée. La protusion est grande et l'espace inter-labiale est plus faible que pour ses correspondantes orales. Pour Zerling, l'angle de la mandibule serait toujours légèrement plus fermé pour la nasale par rapport à l'orale correspondante. Les données de Delvaux (2003) confirment que [ɶ] est plus ouvert que [a] (Delvaux, 2003).

?? Le cas de [ɶ̃] :

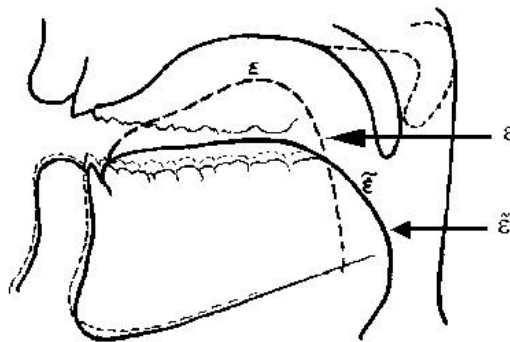


Figure 30 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ɶ̃] dans le mot "faim" et la voyelle [E] dans le mot "lait", (Straka, 1965 p.57).

La différence articulatoire est très nette entre les deux voyelles. La langue s'abaisse en son centre et recule vers la paroi pharyngée. Le voile s'éloigne très nettement de la paroi. Delvaux montre des clichés où [ɶ̃] serait la voyelle nasale pour laquelle le velum s'abaisse le plus.

Pour Zerling (1984), l'espace inter-labial serait légèrement plus petit pour la nasale que pour l'orale, avec une protusion plus importante pour le phonème nasal. Pour Briclher-Labaeye, la voyelle nasale serait plus ouverte que l'orale ce qui est confirmé par Delvaux en 2003. Tout le monde s'accorde pour dire que la nasale est plus postérieure.

?? Le cas de [ø] :

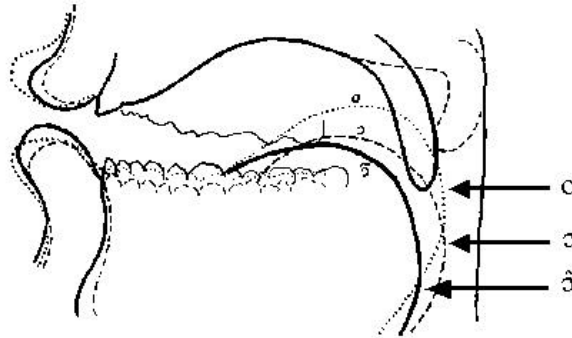


Figure 31 : Coupe sagittale montrant la position des articulateurs pour produire la voyelle [ø] dans le mot "pont", la voyelle [o] dans le mot "pope" et la voyelle [ɔ] dans le mot "peau", (Straka, 1965 p.58).

Pour la voyelle nasale, la distance entre le voile du palais et la langue est petite, le velum va jusqu'à se poser sur la langue dans les données de Delvaux. La langue est relativement haute. L'angle des maxillaires s'ouvre et les lèvres en se rapprochant, rétrécissent sensiblement l'orifice buccal.

VII. Coarticulation et assimilation

Dans les études classiques, la coarticulation se distingue de l'assimilation par des notions de terminologie. La coarticulation est un terme plutôt utilisé en phonétique et l'assimilation plutôt en phonologie. Le terme d'assimilation est employé quand les effets de coarticulation sont perçus auditivement.

VII.A.1. Définition générale

Le terme de coarticulation est arrivé dans les années 60 et 70 sans que l'on sache vraiment qui fut le premier à l'utiliser.

?? Fant (1973) : il existe des opinions différentes sur la nature de la parole. Le concept de parole comme une séquence d'unités discrètes avec des limites distinctes, et liées ensemble comme perles sur un collier, s'oppose la théorie selon laquelle la parole est une succession continue de segments variant et se chevauchant les uns les autres. Cette dernière serait à l'origine de la définition de la coarticulation (Fant, 1973 p.21).

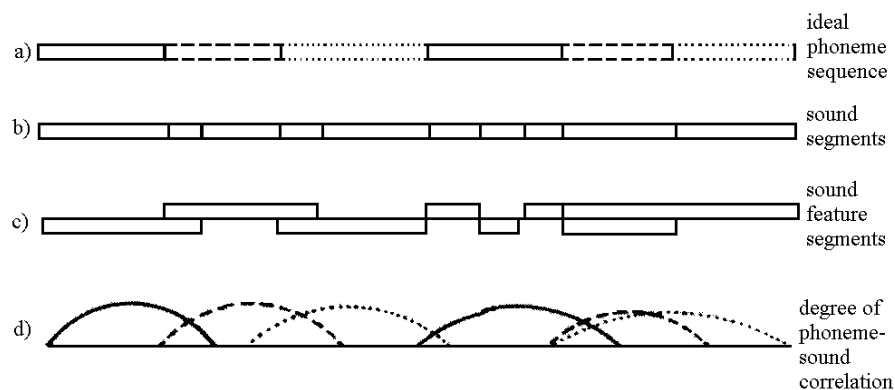


Figure 32 : Représentation schématique des éléments séquentiels de la parole ; a) aspect phonémique, b) et c) aspects acoustiques, et d) degré de corrélation phonème-son (coarticulation), (Fant, 1973 p.22).

- ?? Carton (1974) : la coarticulation équivaut aux différents changements dont un son est susceptible d'être affecté quand il subit l'influence d'un son voisin : deux sons contigus tendent à acquérir un ou plusieurs caractères communs (Carton, 1974 p.82).
- ?? Kent (1977) : la coarticulation est décrite comme une "actualisation" de la parole qui implique : 1) des unités discrètes et invariantes servant de données de base au système de contrôle moteur, 2) un effacement éventuel des limites entre ces unités, aux niveaux articulatoires et acoustiques (Kent *et al.*, 1977 p.116).
- ?? Bourciez (1982) : la tendance qu'ont deux sons voisins à s'emprunter une partie de leur caractère. Ou encore c'est la propagation d'un trait propre à un son sur un son contigu et qui ne possède pas a priori ce trait (Bourciez *et al.*, 1982 p.20).
- ?? Keating (1985) : la coarticulation réfère aux interactions articulatoires entre les segments et les conséquences acoustiques de ces interactions. Les traits d'un segment empiètent facilement sur le segment suivant ou précédant (Keating, 1985).

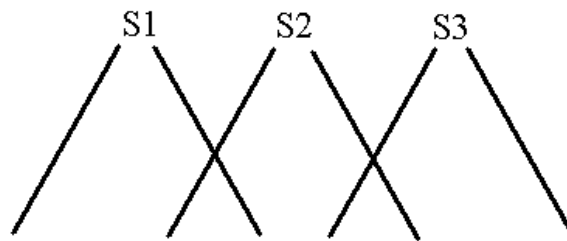


Figure 33 : Superposition des gestes articulatoires, S=segment (ou phonème), (Keating, 1985 p.2).

- ?? Kühnert, (1997-1999) :

"The concept of coarticulation, defined as the apparent variation of segments due to the influence of adjacent or nearby segments..." (Kühnert *et al.*, 1997 ; Kühnert *et al.*, 1999 p.7).

VII.A.2. Les causes de la coarticulation

Quand deux sons sont en contact l'un communique à l'autre totalement ou partiellement, un de ses traits articulatoires. La synchronisation est rarement parfaite, les muscles des différents organes répondent inégalement aux influx nerveux (Carton, 1974 p.82).

- ?? Carton (1974) : programmation. Les éléments se succèdent en se combinant les uns les autres (Carton, 1974 p.71). Les séquences sonores sont plus ou moins intimement attachées les unes aux autres (p.72). Les sons peuvent changer leur point d'articulation selon la nature de la voyelle qui suit (ceci est d'autant plus vrai pour les consonnes pour lesquelles on prépare la voyelle qui suit). Il faut dans ce cas parler d'anticipation vocalique.
- ?? Carton (1974) : inertie des articulateurs. La coarticulation est un phénomène causé par le manque de simultanéité des mouvements articulatoires aboutissant à des influences réciproques (Carton, 1974 p.234).

VII.A.3. Les aspects de la coarticulation

Deux aspects dans la coarticulation, l'un temporel et l'autre spatial ; ils apparaissent comme cruciaux pour tester les prédictions des modèles, et par la même, vérifier la validité des différentes théories (Farnetani *et al.*, 1999) :

1. Le domaine temporel de la coarticulation : la coarticulation peut s'étendre dans n'importe quelle direction et aussi loin que les mouvements de coarticulation le permettent, tant que

les articulateurs engagés dans la production du segment clé ne vont pas nécessiter des mouvements antagonistes dans la production des segments adjacents.

2. Le domaine spatial de la coarticulation : en cas de conflits gestuels, la coarticulation sera bloquée ou sera modifiée, selon les différentes contraintes imposées par les gestes en compétition (Farnetani *et al.*, 1999).

Les aspects spatio-temporels de la coarticulation ne dépendent pas seulement des caractéristiques du segment clé et de son environnement immédiat mais aussi :

- ?? De la structure supra-segmentale comme l'accent (stress),
- ?? Du débit de la parole,
- ?? Du style de la parole.

Etant donné le caractère réciproque des influences, la coarticulation peut agir vers la droite comme vers la gauche (Zerling, 1991).

Rétention et anticipation : la Figure 33 montre le problème que pose le cas de S2, il a des propriétés communes avec S1 placé devant, il faut alors parler d'anticipation ou de phénomène régressif. Daniloff *et al.* (1968) ont montré que l'anticipation peut remonter au-delà de six consonnes en anglais américain. S2 a également un chevauchement avec S3, on parle alors de phénomènes progressifs, persévérants ou rétentifs (carryover). Il s'agit des phénomènes qui vont vers la droite. Ces phénomènes sont moins étudiés que les phénomènes d'anticipation (Daniloff *et al.*, 1968).

VII.A.4. Les grands axes de la coarticulation

La coarticulation a d'abord été étudiée sur le plan acoustique.- Öhman (1966) a observé des changements acoustiques sur le spectrogramme à partir des effets coarticulatoires de l'ouverture buccale qui est le reflet de la coarticulation de la fonction de filtre du conduit vocal (Öhman, 1966). House et Fairbank ont trouvé que les caractéristiques acoustiques des voyelles sont dépendantes de l'environnement consonantique (House *et al.*, 1953).

Avec l'arrivée de nouvelles techniques comme la cinéradiographie, l'EMG, la palatographie dynamique, ultrasons, les mouvements de la langue et le degré d'arrondissement des lèvres ont montré l'étendue de la coarticulation.- Des évidences physiologiques ont été mises en avant par MacNeilage *et al.* par des signaux de recouvrement électromyographiques sur la langue (Macneilage *et al.*, 1967). Kelsey a montré que des effets coarticulatoires se retrouvent également au niveau des parois pharyngées (Kelsey *et al.*, 1969).

VII.A.5. Coarticulation nasale

Du point de vue articulatoire et physiologique, très tôt, il a été montré que les consonnes nasales ont un effet contextuel sur les voyelles orales environnantes (Passy, 1890).- Au début des années 60, en cinéradiographie (Moll, 1962) et (Dickson, 1962) ont montré que le velum a une position plus basse pour une voyelle en contexte nasal. Cette constatation a été ensuite démontrée avec d'autres investigations instrumentales comme EMG avec (Bell-Berti *et al.*, 1971 ; Bell-Berti *et al.*, 1975b). Cohn en 1990 et Delvaux *et al.* en 2002 ont observé qu'une voyelle orale entre deux nasales a velum plus bas durant sa production que si elle est prononcée entre deux consonnes orales (Cohn, 1990 ; Delvaux *et al.*, 2002).

L'aperture des voyelles orales environnantes peut influencer la hauteur du voile du palais durant une voyelle nasale ou une consonne nasale.- Lorsqu'on prononce une consonne

nasale, le velum sera plus bas si la voyelle qui se trouve avant le segment nasal est une voyelle basse.

En français, la coarticulation peut avoir lieu avec des phonèmes éloignés.- Amelot en 2003 a montré que dans le segment $C_1V_1V_nC_1V_1$, le velum sera plus bas pour la voyelle nasale si la voyelle (V_1) est une voyelle basse (Amelot *et al.*, 2003).

Il existe deux types d'assimilation.- Les phonologues ont observé dans plusieurs langues des phénomènes de propagation. Ils sont de deux types : régression nasale ou persévération nasale. La propagation est soit locale, soit longue distance.

?? Locale : la nasalité se propage sur le segment voisin dans la même syllabe,

?? Longue distance : la nasalité se propage au-delà de la syllabe sur l'ensemble du mot.

Quand la propagation nasale est longue distance, il faut alors parler d'**harmonie**. L'harmonie nasale est un type de propagation nasale (assimilation) pour laquelle la nasalité est distinctive au niveau du morphème, pas du segment.

Il semble que selon les langues la propagation sera plutôt locale ou longue distance :

1. Dans certaines langues (Classe 2 et 3) (*cf.* II. p.35), la nasalité passerait par-dessus tous types de consonnes (même les occlusives non voisées) : propagation longue distance
2. Dans d'autres langues (Classe 1), la nasalité serait arrêtée par certaines classes de consonnes, incluant les occlusives non voisées : propagation locale.

Selon la plupart des phonologues, notamment (Clements *et al.*, 2001), les langues de Classe 2 et 3 subissent l'harmonie nasale.

Il existe des exceptions en français (Dell, 1986). Dell a étudié les phénomènes de nasalisation régressive et progressive et trouve des règles d'apparition suivantes ; une occlusive voisée peut facultativement se réaliser comme nasale devant une consonne nasale de même point d'articulation, alors que les occlusives non voisées qui précèdent une consonne nasale ne peuvent pas être nasalisées :

$$\begin{bmatrix} - \text{cont} \\ + \text{voix} \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} + \text{nas} \end{bmatrix} / \text{---} \begin{bmatrix} - \text{cons} \\ + \text{nas} \end{bmatrix}$$

Dans le cas de la nasalisation progressive, les occlusives voisées et non voisées se nasalisent facultativement mais les occlusives sourdes sont soumises à des règles plus strictes ; elles ne peuvent se nasaliser que si elles précèdent immédiatement une obstruante :

$$\begin{bmatrix} - \text{cont} \\ \langle + \text{voix} \rangle \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} + \text{nas} \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} - \text{cons} \\ + \text{nas} \end{bmatrix} \text{---} \langle \begin{bmatrix} - \text{son} \end{bmatrix} \rangle$$

Dans tous les cas, cette nasalisation s'opère sans tenir compte du découpage morphosyntaxique (Dell, 1986).

Sabatier (1999), à partir d'une étude acoustique et perceptive qui a observé la propagation nasale d'une voyelle nasale sur les phonèmes qui suivent, arrive aux mêmes conclusions que Dell. Il existe des contextes avec une assimilation progressive et d'autres où cette propagation est bloquée. Ses conclusions se fondent sur une analyse perceptive et une observation sur spectrogramme :

?? $[\text{ʁ}] + [\text{t}] + [\text{sonante}]$ (r,l,m,n) = pas d'assimilation,

?? $[\text{ʁ}] + 2 \text{ sonores}$ = taux de nasalisation élevé,

?? [ʁ] + sonore + sourde = 67% de nasalisation,

?? [ʁ] + sourde + sonore = 68% de nasalisation (Sabatier, 1999).

La nasalité peut dans une certaine mesure se propager sur au moins deux phonèmes adjacents.
Il existe des phonèmes qui sont plus opaques à la propagation que d'autres.

CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE

Résumé :

Le chapitre II présente les différents résultats que nous avons obtenus dans les cinq expérimentations menées : i) données aérodynamiques, ii) données fibroscopiques, iii) données aérodynamiques couplées aux données fibroscopiques, iv) données acoustiques et v) résultats des tests de perception. Dans l'ensemble, nous montrons que pour la nasalité vocalique, il n'existe pas de rapport direct entre les mouvements vélares et leurs résultantes aérodynamiques. La coarticulation nasale au niveau aérodynamique est plutôt progressive, alors qu'elle est plutôt régressive du point de vue des mouvements articulatoires du voile du palais. De plus, plus la parole est relâchée, plus la propagation de la nasalité est importante. Le corpus est commun aux cinq investigations, il est découpé en trois parties.

- La première partie est composée de logatomes du type : "Dites C₁V₁C₁V₁C₁V₁ trois fois C₁V₁C₁V₁C₁V₁, C₁V₁C₁V₁C₁V₁, C₁V₁C₁V₁C₁V₁" où V₁ : [a, i, u, y], V_t : [ʔ, ɛ, ɔ] et où les consonnes s'opposent par le mode d'articulation, le lieu d'articulation et le voisement C₁ : [p, t, k, b, d, g, s, z, l], (exemple : "dites babʔba trois fois").

- La seconde partie comprend 24 phrases qui s'opposent deux à deux du fait d'une différence prosodique de type emphase ou découpage morphologique (Par exemple, cet homme est énorme et m'embête ~ cet homme est énormément bête). Les logatomes et les phrases lues ont été répétés deux fois. Nous avons éliminé des données, pour l'une des raisons suivantes : une erreur de prononciation, un problème de position du fibroscope, une trop grande sécrétion de mucus au niveau de l'ouverture du port vélo-pharyngé ou encore un problème de calibration sur les débits d'air. Au final, nous avons tout de même pu extraire une séquence pour chaque contexte.

- La troisième partie a été obtenue à partir de courtes séquences de parole spontanée.

Les locuteurs sont les deux mêmes pour les cinq méthodes d'investigations.

On trouvera cinq résumés avant les sous-parties qui traitent chacun une expérimentation différente.

I. Les données aérodynamiques

Résumé :

Les résultats sont les suivants :

Les données temporelles :

- Dans l'environnement d'un phonème nasal, le débit devient négatif (la courbe passe sous la ligne de zéro), puis positif. La dépression, inattendue (mais déjà notée dans la littérature) est sans doute le résultat de l'abaissement du voile de palais qui crée une pression négative dans la cavité nasale et un appel d'air momentané.
- Les voyelles nasales ont une durée acoustique plus importante que les voyelles orales. Moins la parole est contrôlée, moins leur durée acoustique est importante.
- La durée totale du débit d'air nasal est dans la plupart des cas supérieure à la durée du phonème. Plus la parole est relâchée, plus la durée du débit d'air nasal est importante.
- Pour les logatomes, les voyelles nasales sont essentiellement produites avec du retard de débit d'air nasal. L'anticipation du débit d'air nasal devient effective dans les phrases lues et le corpus spontané. Plus la parole est relâchée, plus nous observons de l'anticipation du débit d'air nasal.
- Il y a toujours du débit d'air nasal après le phonème nasal. La voyelle nasale aura moins de persévération de débit d'air nasal quand elle est suivie par une fricative. Il y a d'autant plus de persévération du débit d'air nasal que la parole est relâchée. De plus, il y a plus de persévération sur une voyelle nasale quand elle est en position finale de mot.
- La parole spontanée montre des cas de dénasalisation. Les trois voyelles nasales sont touchées par le phénomène. Et inversement, il existe des cas de nasalisation spontanée.

Les données quantitatives :

- La voyelle nasale qui a le pic de débit d'air nasal le plus important est la voyelle /œ/.
- La moyenne de débit d'air nasal confirme que la voyelle nasale /œ/ a la moyenne de débit d'air nasal la plus importante. La moyenne de débit d'air nasal est plus importante quand la voyelle nasale est en position finale de mot.
- Le rapport proportionnel de débit d'air nasal indique que la voyelle la plus nasale est la voyelle /œ/.

Suite à ces résultats, nous concluons que le débit d'air nasal est contraint par le débit d'air oral. La mise en place des articulateurs pour le début de la production implique du débit d'air nasal sur le premier phonème de la phrase. Nous avons le sentiment qu'il existe une corrélation entre la durée du phonème et la durée totale de débit d'air nasal pour les logatomes. Cette corrélation n'existe pas pour la parole moins contrôlée. Il existe une corrélation étroite entre le débit d'air nasal et la résistance dans le conduit vocal. Le débit d'air nasal facilite le voisement (ou inversement). La propagation nasale ne touche pas les mêmes phonèmes dans le sens progressif (occlusive) et dans le sens régressif (fricative). La propagation du débit d'air nasal est importante et longue distance en parole spontanée. Cette propagation touche aussi bien les consonnes sonores que les sourdes sans pour autant modifier leurs propriétés acoustiques.

L'aérodynamique est l'étude des mouvements de l'air.- Les mesures aérodynamiques sont : la pression intra-buccale, la pression d'air prise dans le pharynx, la pression sous glottique, le débit d'air nasal et le débit d'air oral. Les mesures de flux (ou débit) d'air et de pression sont obtenues par un appareil qui transforme l'air en un signal électrique. Les données de flux sont récoltées à l'aide d'un masque. Pour la pression, un tube suffit. Celle-ci est défini comme la force par unité d'air perpendiculaire à la surface ; plusieurs unités différentes peuvent servir à la quantifier. Le débit, quant à lui, est le terme utilisé pour décrire le mouvement de la quantité de gaz à travers une aire donnée, dans une unité de temps (Baken, 1987).

Les appareils de mesures sont reliés à différents pneumotachographes qui captent les mouvements d'air, et permettent de prendre une grande quantité de mesures. Les tubes liens entre l'appareillage et le sujet, doivent être assez courts. Les tubes trop longs se comportent comme des filtres acoustiques et suppriment les petites variations de pression associées au voisement. Dans la plupart des cas, il est possible de séparer le flux d'air nasal du flux d'air buccal. Le flux d'air peut être capté par un masque de Rothenberg (1977). Séparé en deux, il prend à la fois le flux d'air nasal et le flux d'air buccal (Rothenberg, 1977). Il est aussi possible de fabriquer un petit masque (bol de dentiste en caoutchouc) qui sera placé sur le nez, ou encore, utiliser des olives nasales (ou des embouts) pour capter le flux d'air de chaque narine.

Le taux d'échantillonnage pour la numérisation dépend du type d'informations recherchées. Par exemple, le flux d'air oral peut être filtré de manière à enlever les résonances formantiques et révéler la forme d'onde produite à la glotte (Ladefoged, 1997a). L'avantage du masque de Rothenberg est que le flux d'air oral est déjà digitalisé avec un taux de 5000 Hz. Si les paramètres physiologiques sont utilisés pour montrer les mouvements bruts des organes vocaux, alors un taux d'échantillonnage à 500 Hz est suffisant.

Les mesures aérodynamiques permettent de prendre une grande quantité de données. - Il est même possible d'enregistrer de longues séquences de parole continue ce qui est idéal pour le discours non préparé.

Les inconvénients de ce type de mesures. - L'utilisation d'un masque souple soulève un problème. Pour les sons prononcés avec la bouche très ouverte, le signal de flux d'air oral peut être modifié, la constriction orale pour une occlusive n'apparaît ni après ni avant la voyelle /a/. Lors de l'abaissement de la mâchoire, le masque suit le mouvement d'abaissement, s'agrandit et modifie sa taille, ce qui probablement produit un appel d'air.

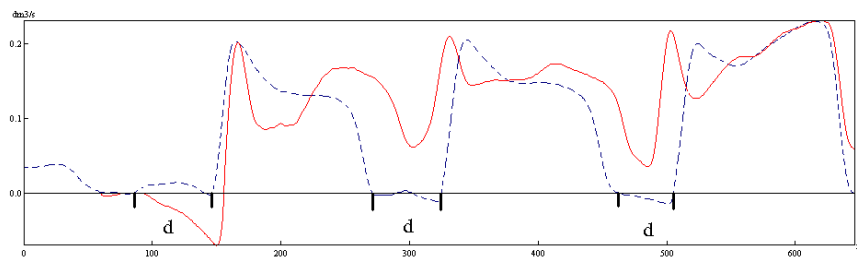


Figure 34 : Débit d'air oral (dm³/s) en fonction du temps (ms), pour illustrer le problème de masque souple avec les segments /dididi/ (trait en pointillés) et /dadada/ (trait plein) (loc 1).

L'occlusion du /d/ se fait parfaitement pour /dididi/ où le débit oral est proche de zéro. Par contre la constriction orale complète dans /dadada/ n'est pas obtenue, le débit d'air oral est toujours positif. Ce qui ne veut pas dire qu'elle n'a pas lieu, mais plutôt que le masque souple a bougé, ce qui a modifié la sortie d'air.

La quantité d'air mesurée dépend de la morphologie des locuteurs. - Il n'est pas possible de diminuer le débit d'air maximal des capteurs, ce qui pourrait être très utile pour les sujets féminins qui ont un débit nasal plus faible que les hommes (Delvaux, 2003 p.22), ce qui pose un problème en terme de valeur absolue. Il est difficile dès lors de comparer les mesures quantitatives de débit d'air nasal si les sujets choisis sont de sexes différents.

Ce type d'appareil n'est pas toujours très facile à calibrer, pourtant le temps de réaction de la machine est essentiel, d'où l'intérêt de faire le "test du ballon" (cf. I.A.2. p.64).

I.A. Méthodologie

I.A.1. Le matériel utilisé dans cette étude

Les données aérodynamiques ont été prises à l'aide de l'appareil EVA2TM, à l'hôpital Tenon sous la direction de Roubeau, orthophoniste. La station de travail ORL-Phoniatry EVA2TM a été développée au laboratoire "Parole et Langage" par Galindo et Teston, en collaboration avec le centre hospitalier Universitaire de la Timone à Marseille (Galindo *et al.*, 1989).

La station EVA2TM est constituée par un micro-ordinateur de type PC, auquel sont associés des capteurs acoustiques et aérodynamiques ainsi que des instruments de mesures. Le tableau de commande de ces instruments, l'affichage des résultats et leurs calculs sont gérés par l'ordinateur au moyen de logiciels spécifiques. Pour notre recherche, nous avons pris des mesures acoustiques, de débit d'air oral, de débit d'air nasal et des données électroglottographiques en raccordant un glottographe.

Le signal de parole est capté par un microphone calibré à la valeur de 120 dB à 30 cm. Celui-ci se trouve derrière le capteur de débit d'air buccal. La plupart des capteurs sont disposés sur un ensemble appelé "pièce à main" (dispositif breveté). La mesure des débits d'air est réalisée par des pneumotachographes à grille, caractérisés par une grande dynamique, un faible volume mort et une bonne linéarité. Pour 1 l/s, la résistance de la grille est d'environ 10 hPa, ce qui correspond à 1% de la pression sous-glottique usuelle pour ce débit. La charge créée par la grille est très faible. Les mesures peuvent s'effectuer en expiration et en inspiration.

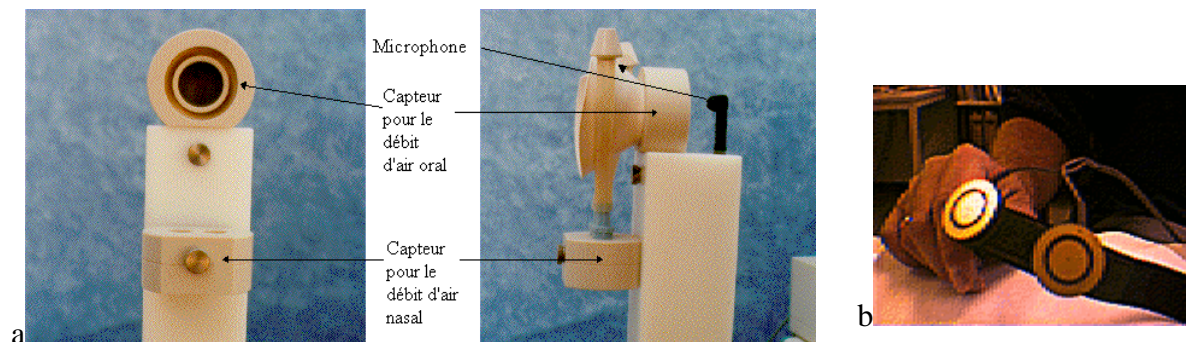


Figure 36 : a : Position des différents capteurs utilisés dans cette étude sur la "pièce à main", b : collier permettant la prise de données EGG.

Le débit d'air oral est mesuré en dm^3/s .- Le masque pour le débit d'air oral existe en trois tailles pour s'adapter à la physionomie du sujet. Les masques sont fabriqués en silicone. Souples et agréable au contact, ils permettent une bonne étanchéité et acceptent la plupart des agents désinfectants.

Le débit d'air nasal est mesuré en dm^3/s .- Le capteur de débit d'air nasal est placé verticalement sous les narines. Une telle disposition permet une conduction naturelle de l'air. Le flux est capté par deux embouts narinaux. Différentes tailles d'embouts sont disponibles pour s'adapter aux différentes formes de narines. L'ensemble peut être démonté et nettoyé.

L'EGG fournit des informations sur les mouvements des cordes vocales.- Le signal EGG a été enregistré à l'aide du laryngographe portable (Laryngograph Processor) développé par Laryngograph Ltd., relié à la plate-forme d'expérimentation. Les électrodes sont fixées près de la glotte, elles ont été légèrement mouillées avec une solution saline pour améliorer le contact électrique (*cf.* Figure 36).

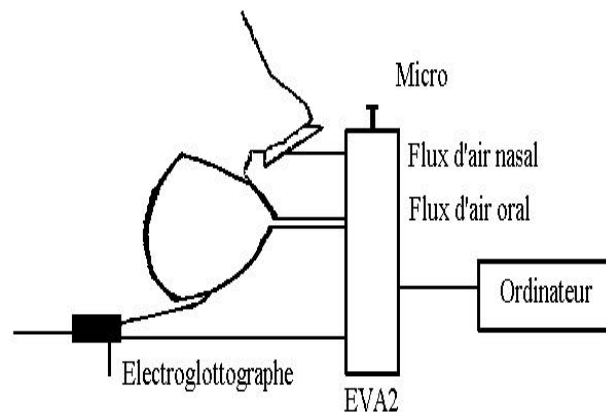


Figure 37 : Schématisation de l'emplacement du masque, des embouts nasals et de l'Egg sur le sujet.

Une fois l'acquisition des données faite, il est possible de les visionner à l'aide du logiciel Phonedit 3.2.

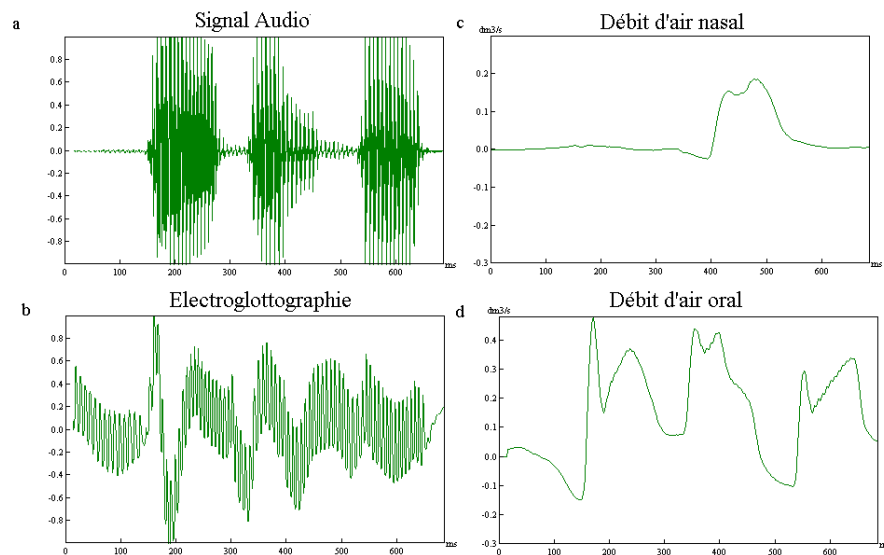


Figure 38 : Exemple de signaux visualisés avec le logiciel Phonedit 3.2, a : signal audio, b : signal électroglottographique, c : débit d'air nasal sortant, d : débit d'air oral sortant. Le logatome est : /dadada/ (loc2).

1.A.2. Procédure d'enregistrement et calibration des données

Pour des raisons de confort du locuteur, les enregistrements sont faits en plusieurs fois.

La calibration est la première opération qui doit être effectuée. Elle permet de calibrer les paramètres pour effectuer des mesures en unités physiques. L'acquisition est réalisée avec une dynamique de plus ou moins 10 Volts et une résolution de douze bits. Cela donne en valeurs entières 0 pour -10 Volts, 2047 pour 0 Volts et 4095 pour 10 Volts. Si l'on connaît le niveau de sortie des capteurs de mesure, par exemple -5 Volts pour une pression de 10 hPa, on calibre l'acquisition en donnant la valeur 3071 (avec le curseur positionné sur le point zéro) (Galindo *et al.*, 1989).

Tous ces calculs sont automatiques dans la nouvelle version de EVA2. Le système de calibration est interne et nécessite que les voyants soient remis à zéro avant chaque enregistrement. C'est aussi un moyen de réinitialiser le dispositif.

Le temps de réaction des capteurs est essentiel pour les mesures temporelles. - Il a fait l'objet d'une étude de la part des concepteurs (Ghio *et al.*, 2002). L'expérience consiste à produire une impulsion de débit au moyen d'un poids tombant sur un réservoir d'air souple ("test du ballon"). Ce système permet de faire varier de façon impulsive la quantité de débit en fonction de la hauteur de chute du poids. Le bruit du choc est capté par le microphone et donne l'instant précis du début du transitoire de débit. Le temps de réponse est inférieur à la ms pour le débit oral, et de l'ordre de 2 ms pour le débit nasal, le retard ici est expliqué par le volume mort produit par la longueur des tubes (12 cm). Plus ceux-ci seront courts, moins le délai sera important.

I.A.3. Les locuteurs

Nous avons retenu deux locuteurs, une femme et un homme (*cf.* II.A.2. p. 117). La locutrice féminine (locuteur 1) âgée de 28 ans au moment de l'enregistrement du corpus, ne souffre pas de pathologie du langage, et parle un français standard. Le locuteur homme (locuteur 2) âgé de 26 ans au moment des enregistrements, ne souffre pas de pathologie du langage, et parle un français standard.

I.A.4. Les corpus

Les corpus sont de plusieurs types : voyelles isolées, logatomes, phrases lues et corpus "spontané" (l'ensemble des corpus se trouve en Annexe).

Les voyelles isolées et les logatomes :

Les différents corpus ont été présentés aux locuteurs avant l'enregistrement, il a été demandé aux deux locuteurs de les lire deux fois avec l'appareillage. Les voyelles isolées sont du type : "Dites V_t trois fois". Les logatomes sont du type : "Dites $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$ trois fois, $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$, $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$, $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$ ".

Le premier logatome est encadré dans la phrase support avec deux consonnes sourdes pour être sûr d'avoir le velum fermé au début du logatome. Ceci a son importance au moment de l'alignement des données aérodynamiques et fibroscopiques.

Les phonèmes analysés sont les suivants :

V_t	ʌ	ɔ	ɛ	a	i	u	y			
C_1	p	t	k	b	d	g	s	z	l	(n)
V_1	a	i	u	y						

Tableau 4 : Différents phonèmes utilisés pour les logatomes ($C_1V_1C_1V_tC_1V_1$).

Exemple d'un logatome utilisé : "Dites tutɔu trois fois, tutɔu, tutɔu, tutɔu". L'analyse concerne V_t (Voyelle Test). Nous avons étudié trois voyelles nasales, les plus courantes en français. La voyelle /ɔ/ ne fait pas partie du système vocalique de nos deux locuteurs (*cf.* les triangles vocaliques des deux locuteurs en Annexe). Quatre voyelles orales ont également été prononcées, mais elles n'ont pas fait l'objet d'une étude systématique. Les logatomes contenant la consonne [n] ont été analysés seulement dans la pré-étude fibroscopique.

Les phrases lues :

En ce qui concerne les phrases lues, le corpus est constitué de 24 phrases. Elles contiennent des voyelles nasales et ont des oppositions prosodiques deux à deux, du type emphase,

position dans le mot et découpage morphologique. Exemple : "Cet homme est énorme et m'embête" opposé à "cet homme est énormément bête".

Le corpus "spontané":

Définition de la parole spontanée.- Le terme de "spontané", utilisé en phonétique se réfère à la parole en situation réelle. Bien que ce terme soit couramment employé dans les disciplines linguistiques, le concept de la "spontanéité" n'est pas facile à définir. Pour résumer, en fonction de la revue de littérature, la parole dite "spontanée" peut être définie comme :

- ?? De la parole qui n'est pas de la "parole lue"
- ?? Un message **non répété** et **non planifié** à l'avance
- ?? "Une façon de parler" propre aux situations **informelles**
- ?? Toute parole **énoncée de mémoire** dans une situation de communication réelle et naturelle (Fagyal, 1995).

Pour obtenir des séquences de paroles non lues, nous avons repris la méthodologie élaborée par Pieri en 1997. Cette méthode consiste à laisser les appareils enregistrer et de poser des questions au sujet, même quand il lui est demandé de faire une pause. Nous avons transcrit le corpus obtenu et demandé l'autorisation à nos deux locuteurs de l'utiliser (Pieri, 1997). Les thèmes abordés concernent le sujet de recherche, le week-end, divers problèmes informatiques et le ressenti par rapport à la prise de données aérodynamiques. Le corpus "spontané" aérodynamique et fibroscopique est de 5 minutes et 43 s pour les deux locuteurs.

I.A.5. Les critères d'élimination

Un certain nombre de séquences ont été rejetées :

- ?? Les logatomes mal prononcés avec une confusion de consonne ou de voyelle type : /tit~~a~~/
- ?? Les logatomes coupés par une pause /ti#t~~a~~i/
- ?? Les séquences où la calibration du flux d'air n'a pas été réinitialisée
- ?? Les phrases pour lesquelles nous avons observé une fuite au niveau du débit d'air oral (cf. I. p.61).

Au total, une répétition pour chaque logatome (648 occurrences) et une répétition pour chaque phrase ayant une opposition prosodique ont pu être analysées (24 phrases), plus le corpus spontané.

I.A.6. La segmentation acoustique

Le point de référence de toutes nos mesures se fait à partir de la fin ou du début acoustique de la voyelle Test (V_t). Quand elle est précédée par une consonne occlusive, nous avons identifié le début acoustique de la voyelle après l'explosion ou l'aspiration (en anglais), ou dévoisement de la voyelle qui suit (en français) qui correspond avec l'apparition des formants. La différence entre l'aspiration et la friction : les consonnes françaises ne sont pas considérées comme aspirées, ce bruit de friction apparaît essentiellement avec les voyelles fermées et labialisées [i, y], on peut considérer qu'il s'agit d'une partie dévoisée de la voyelle qui peut être interprétée comme un retard de voisement. Les voyelles fermées ont une pression intra-orale plus élevée que les autres, et donc la pression transglottique met plus de temps à s'établir ce qui explique un retard de voisement (cours SL444).

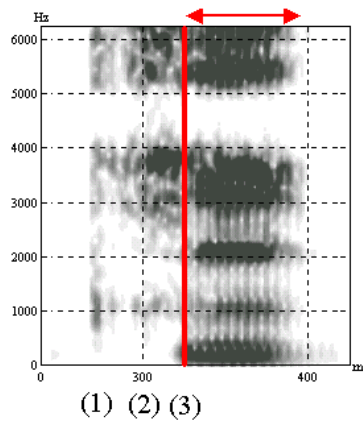


Figure 39 : Spectrogramme de [ti] montrant le début acoustique de la voyelle représenté par la position (3) marqué par le trait, quand elle est précédée par une occlusive, le début de la voyelle a lieu après le burst (1) ou la friction (2).

Quand la consonne qui précède la voyelle Test est une fricative, le début acoustique de celle-ci se situe au début de l'apparition des formants après la friction.

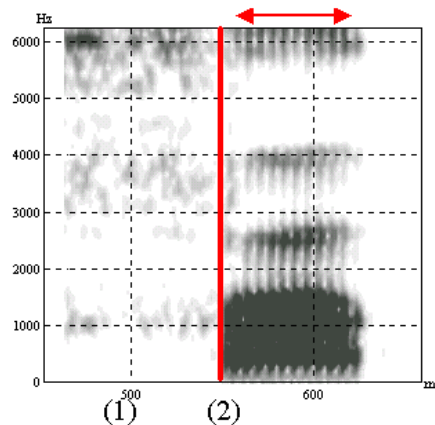


Figure 40 : Spectrogramme de [fa] montrant le début acoustique de la voyelle représenté par la position (2), marqué par le trait. Quand elle est précédée par une fricative, le début de la voyelle a lieu après la friction (1).

Quand la consonne qui précède la voyelle Test est une sonante, le début acoustique est plus difficile à identifier. La sonante se caractérise par la présence de formants vocaliques. Elle peut se distinguer des voyelles orales par un des formants qui a une plus faible intensité, ce qui est aussi le cas pour les voyelles nasales. La séparation entre les sonantes et les voyelles nasales se fait généralement au début de la transition des formants.

En ce qui concerne la fin acoustique de la voyelle Test, elle est estimée généralement à la disparition complète du second formant. Il s'agissait de déterminer si nous décidions de ne considérer que la partie orale de la voyelle nasale ou la partie orale et la partie nasale. Comme cette partie nasale est plus ou moins visible selon la nature de la voyelle nasale, de son entourage phonémique et du style de parole, nous avons choisi de segmenter la voyelle nasale en tenant compte de sa partie orale et sa partie nasale (cf. Figure 42).

I.B. Résultats

I.B.1. Analyse des tracés aérodynamiques

Dans cette partie, nous faisons une description globale des tracés aérodynamiques. La première partie sera consacrée aux courbes de débit d'air nasal, la seconde aux tracés de débit d'air oral.

I.B.1.i. Le débit d'air nasal

Les logatomes :

?? Le tracé de débit d'air nasal quand V_t est une voyelle orale :

Cette courbe est assez simple à décrire, le tracé est plat et constamment sur la ligne zéro, ce qui indique qu'il n'y a pas de passage de flux nasal.

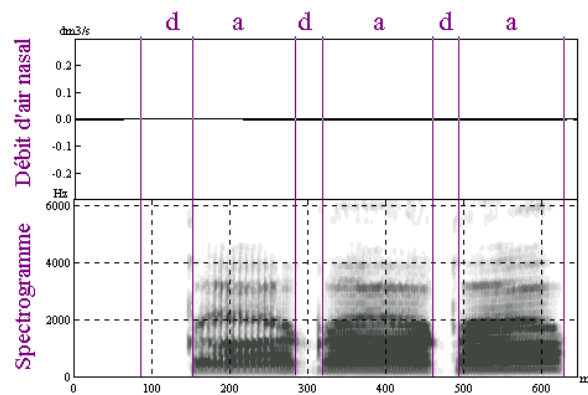


Figure 41 : Tracé du débit d'air nasal pour le logatome /dadada/ (loc 1).

Il est intéressant de constater que nous ne trouvons pas de cas de voyelle /a/ prononcée avec du débit d'air nasal. La revue de littérature indique que les voyelles basses sont prononcées avec le velum plus bas que pour les voyelles hautes ; soit cette ouverture n'est pas suffisante pour que l'air passe, soit l'impédance dans le conduit buccal ne facilite pas le passage de l'air dans le conduit nasal.

?? Le tracé de débit d'air nasal quand V_t est une voyelle nasale :

Cette courbe est plus complexe. Les tracés n'ont pas toujours le même contour. La Figure 42 donne un exemple de tracé de débit d'air nasal pour le locuteur 2.

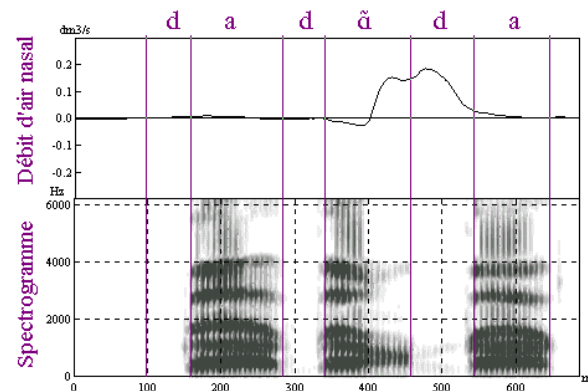


Figure 42 : Tracé du débit d'air nasal pour le logatome /dadada/ (loc 2).

Nos tracés ressemblent à ceux décrits par (Ausseterre *et al.*, 1989 ; Benguerel, 1974 p.109). Benguerel décrit la courbe de débit d'air nasal pour la consonne nasale, nous pouvons donc en conclure que les tracés des voyelles nasales sont assez similaires aux tracés des consonnes nasales. Nous pouvons résumer les contours ainsi :

- ?? Une courte période où le débit d'air nasal est négatif. Benguerel pense que ceci correspond au début de l'abaissement du velum quand le port vélo-pharyngé n'est pas encore ouvert ; durant cette période le volume de la cavité nasale augmente lentement ce qui crée une légère succion au niveau des narines. Nous pensons que la partie de débit d'air nasal négative correspond plutôt au moment où la connexion se fait entre le conduit nasal et le conduit buccal. Le départ du mouvement du velum n'a pas une amplitude suffisante pour modifier l'une des deux cavités, cette hypothèse se base sur les observations de la corrélation entre les mouvements vélares et le signal acoustique (IV. p.165). De plus dans l'analyse des données aérodynamiques couplées aux données fibroscopiques nous verrons que cette partie négative apparaît bien après le début du mouvement (*cf.* III. p.151).
- ?? Les tracés des courbes ne sont pas linéaires (Benguerel à ce niveau ne décrit qu'un type de contour). Nous pensons qu'il existe six patterns différents :
1. Type 1 : le débit d'air nasal augmente rapidement jusqu'à atteindre un maximum puis redescend lentement pour revenir à une position zéro :

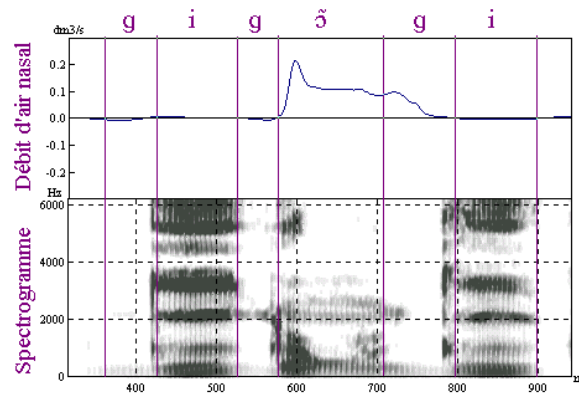


Figure 43 : Tracé du débit d'air nasal (Type 1) pour le logatome /gigi/ (loc 2).

2. Type 2: le débit d'air nasal augmente rapidement jusqu'à atteindre un maximum, puis redescend rapidement pour revenir à une position zéro :

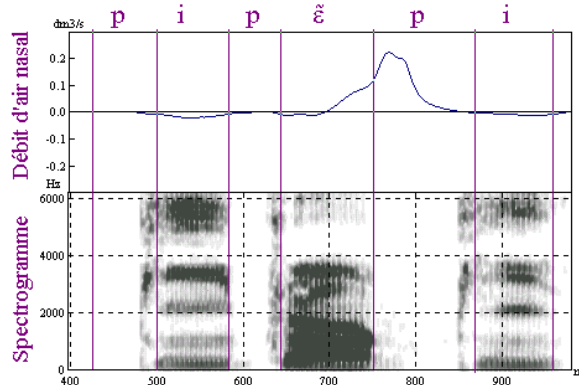


Figure 44 : Tracé du débit d'air nasal (Type 2) pour le logatome /pipi/ (loc 2).

3. Type 3 : le débit d'air nasal progresse doucement, puis monte jusqu'à une position maximum et redescend pour revenir à une position zéro :

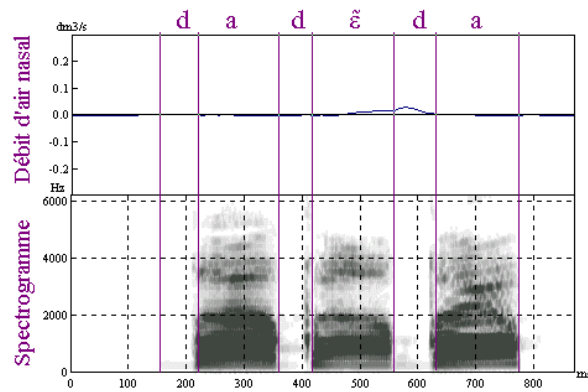


Figure 45 : Tracé du débit d'air nasal (Type 3) pour le logatome /dadɛda/ (loc 1).

4. Type 4: le débit d'air nasal progresse rapidement, atteint une position maximum, redescend, se stabilise, puis repart de nouveau sur un pic de débit d'air nasal et finalement retourne à une position zéro :

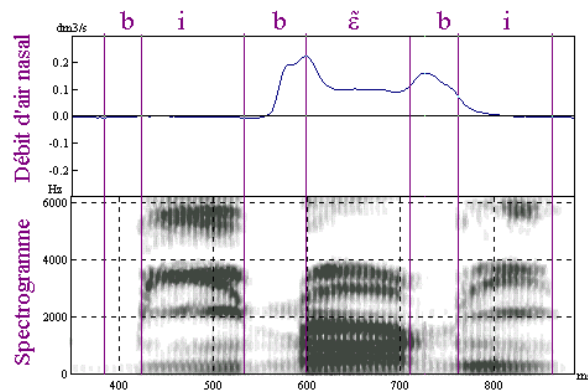


Figure 46 : Tracé du débit d'air nasal (Type 4) pour le logatome /bibɛbi/ (loc 2).

5. Type 5 : le débit d'air nasal progresse doucement, se maintient en plateau et redescend vers une position zéro :

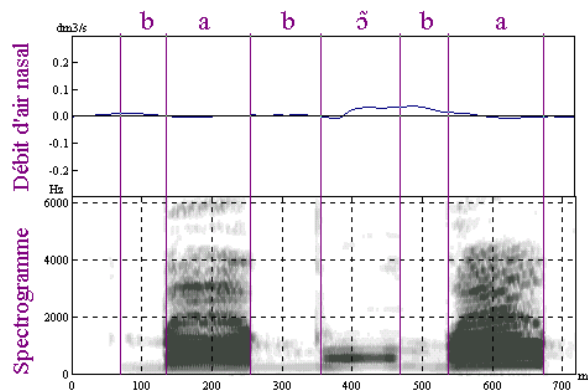


Figure 47 : Tracé du débit d'air nasal (Type 5) pour le logatome /babɔba/ (loc 1).

6. Type 6 : le tracé passe en dessous de zéro puis remonte, nous pouvons supposer que le velum s'ouvre, mais le tracé de débit d'air nasal reste très proche de la ligne de zéro :

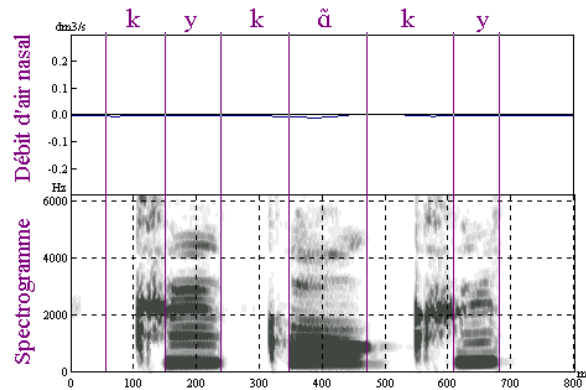


Figure 48 : Tracé du débit d'air nasal (Type 6) pour le logatome /kykãky/ (loc 1).

Le type 6 se retrouve uniquement chez le locuteur 1. Pour ces cas, le contexte C_1 est une consonne sourde. Il existe des contextes réfractaires à la nasalisation de la voyelle même pour des segments bien contrôlés.

Les phrases lues et corpus "spontané" :

Nous avons observé différentes phrases prononcées les unes à la suite des autres, et nous avons constaté que les pauses n'ont pas toujours le même tracé. Parfois le débit d'air nasal passe nettement en dessous de la ligne zéro, parfois il reste largement au-dessus. Les différents mouvements de débit d'air nasal traduisent les différents types de pause. Lorsque le débit d'air nasal passe en dessous de la ligne de zéro, il s'agit d'une pause inspiratoire pendant laquelle le sujet reprend de l'air. Quant à l'autre, il s'agit d'une pause où le locuteur n'a pas eu besoin de reprendre de l'air, nous parlons dans ce cas de pause expiratoire.

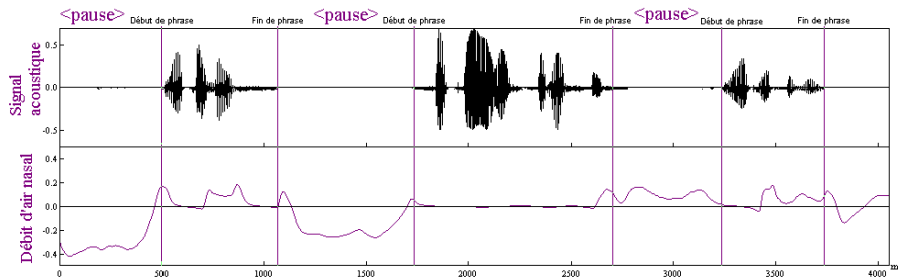


Figure 49 : Tracé du débit d'air nasal pour une séquence de trois phrases lues : "Je commence. C'est quoi respiration. Je continue" (loc 2).

Il est assez facile de repérer les phrases qui contiennent des segments nasals. Nous observons que dans le cas d'une pause inspiratoire, une partie du premier segment de la phrase suivante est couverte par le débit d'air nasal. La fin de la phrase suivie par une pause a du débit d'air nasal, sans pour autant qu'il y ait un phonème nasal.

Nous avons observé 100 phrases prises au hasard dans le corpus des phrases lues et le corpus "spontané". Toutes ces phrases avaient en commun de commencer par une consonne voisée ou une voyelle, ce qui nous a permis de repérer le début acoustique de la phrase.

Sur les 100 phrases, nous trouvons :

?? 5% des phrases n'ont pas de débit d'air nasal sur le premier phonème

?? Sur les 95% des phrases qui ont du débit d'air nasal sur le premier phonème, 30% d'entre-elles ont du débit d'air nasal sur la totalité du premier phonème, il continue même sur le phonème suivant.

?? Pour 8% des phrases, il y a du débit d'air nasal sur le dernier phonème de la phrase.

Il est possible de résumer le schéma de débit d'air nasal sur une phrase comme suit :

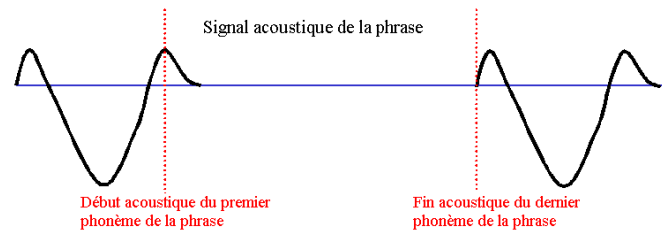


Figure 50 : Tracé idéalisé du débit d'air nasal en début et fin de phrase.

I.B.1.ii. Le débit d'air buccal

Nous allons maintenant voir ce qu'il en est pour les tracés de débit d'air oral (ou débit d'air buccal).

Les logatomes :

Quand V_t est une voyelle orale, les contours de débit d'air oral peuvent être regroupés en deux groupes : (1) C_1 est une occlusive, (2) C_1 est une fricative ou une liquide.

Pour les occlusives, le débit d'air oral, durant la consonne, est sous ou proche de la ligne zéro, l'absence de débit d'air oral transcrit la phase de fermeture de la consonne.

Pour les fricatives comme les liquides, le débit d'air oral durant la consonne, est continu et toujours au-dessus de la ligne zéro.

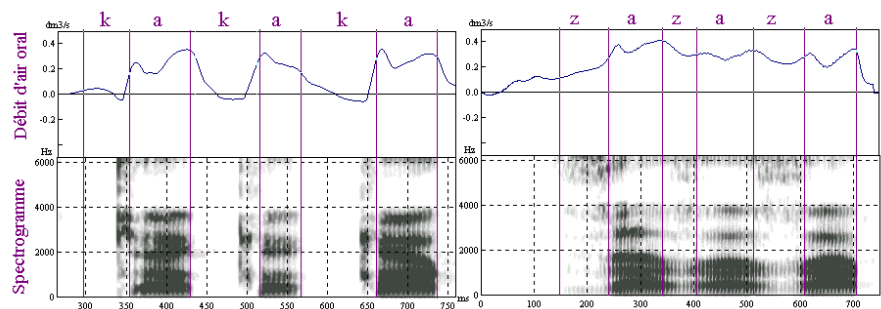


Figure 51 : Tracé du débit d'air oral pour les logatomes /kakaka/ et /zazaza/ (loc 2).

Nos tracés sont identiques à ceux trouvés par (Barry *et al.*, 1975) en ce qui concernent les plosives. Ils peuvent se résumer ainsi :

Une phase de fermeture de la consonne transcrit, par un débit d'air oral nul, quasi nul ou négatif, une brusque montée du débit d'air oral au départ de la voyelle, puis celui-ci redescend légèrement jusqu'à trouver une position stable et positive durant toute la production de la voyelle ; puis de nouveau un passage à zéro (jusqu'à être négatif) pour l'occlusive qui suit. Le schéma reste assez prédictible.

Il y a une différence entre les occlusives voisées et les occlusives non voisées : celle-ci se situe au niveau de l'intensité du pic après la phase de fermeture. Le pic a une amplitude moins importante pour les sonores par rapport aux sourdes.

En ce qui concerne les non voisées, nous trouvons une différence entre les consonnes vélaires et les autres (en accord avec (Barry *et al.*, 1975)). Lors de la fermeture du /k/ le flux d'air est plus sensible aux variations selon le contexte vocalique.

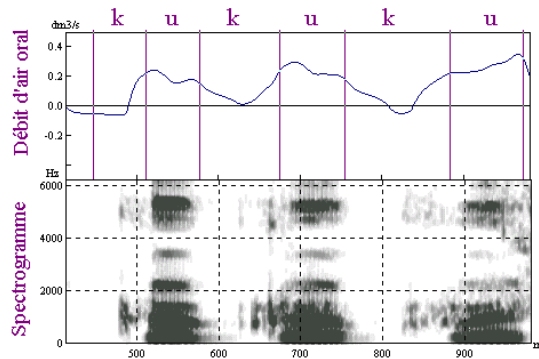


Figure 52 : Tracé du débit d'air oral pour le logatome /kukuku/ (loc 2).

Si nous comparons la Figure 51 et la Figure 52, nous constatons que la phase de fermeture n'est pas la même selon le contexte vocalique. Elle est beaucoup plus courte quand la voyelle est un /u/.

Pour les occlusives sourdes avec de la friction, le débit d'air oral commence au début de la friction et non au début acoustique de la voyelle. Nous obtenons donc le même schéma aérodynamique qu'une occlusive sans friction.

Pattern général quand C_1 est une fricative ou une liquide : un débit d'air oral continu tout au long du logatome.

Le débit d'air oral est assez constant pour la fricative voisée et la voyelle qui suit. Pour les fricatives sourdes, il augmente légèrement pour les consonnes et diminue pour les voyelles.

Les liquides peuvent se retrouver avec une légère fermeture durant la consonne. Dans l'ensemble le débit d'air oral est constant comme pour les fricatives voisées.

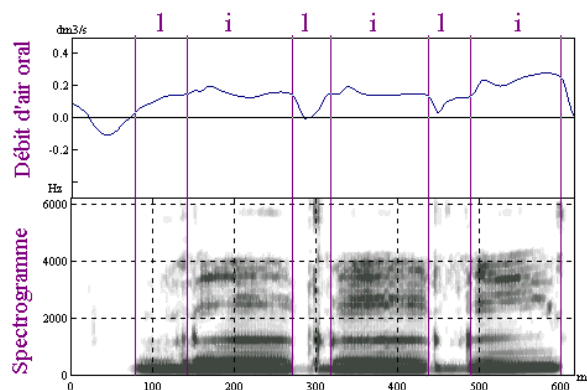


Figure 53 : Tracé du débit d'air oral pour le logatome /lilili/ (loc 1).

Quand V_t est une voyelle nasale, le schéma canonique que nous retrouvons pour les voyelles orales a complètement disparu.

A échelle égale, le débit d'air oral et le débit d'air nasal du locuteur 2 sont supérieurs à ceux du locuteur 1. Ces données confirment qu'il existe une différence en fonction du sexe du locuteur. L'angle du velum vers le pharynx est plus prononcé pour les hommes que pour les femmes, l'aire de contact est plus grande pour les hommes (Mckerns *et al.*, 1970). La spéculation serait qu'il y ait une différence d'activité musculaire. Les hommes mettraient moins de temps que les femmes pour fermer leur port vélo-pharyngé ; nous verrons ce qu'il en est pour nos deux locuteurs p.145. Des études plus récentes montrent qu'il y a plus de pression et de flux pour les locuteurs masculins que pour les locuteurs féminins (Crouse *et al.*, 1999). La différence de sexe ne semble cependant pas jouer de rôle en ce qui concerne la coarticulation vélaire ; nous verrons ce qu'il en est pour nos données tout au long de cette étude (Zajac *et al.*, 1996 ; Zajac *et al.*, 1998).

La description des courbes de débit d'air oral est différente selon C_1 :

Nous avons observé trois contours différents quand C_1 est une occlusive :

1. Type 1 : un pic au début de la voyelle nasale comme pour les voyelles orales, puis une diminution progressive jusqu'à la fin de la voyelle, parfois la diminution est interrompue par une fermeture buccale, exclusivement pour la voyelle nasale /ø/ :

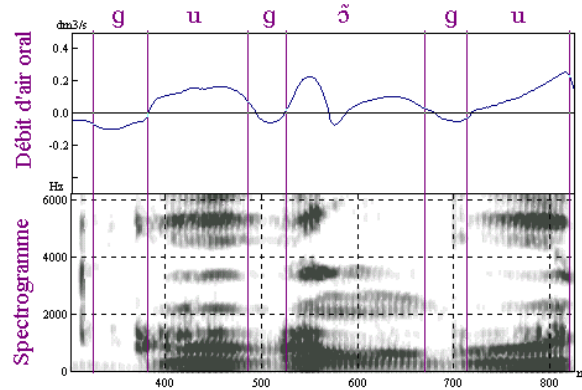


Figure 54 : Tracé du débit d'air oral (Type 1) pour le logatome /gugøu/ (loc 2).

2. Type 2 : une augmentation progressive d'amplitude réduite, jusqu'à arriver à un plateau (absence de pic), puis une descente progressive jusqu'à la fin de la voyelle nasale.

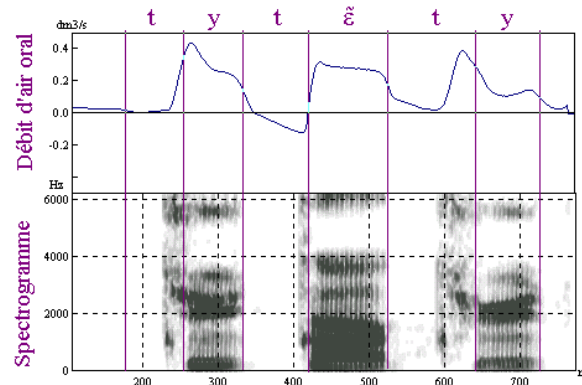


Figure 55 : Tracé du débit d'air oral (Type 2) pour le logatome /tytøy/ (loc 2).

3. Type 3 : une fermeture symbolisée par le passage du débit d'air oral à zéro ; ici la ligne reste proche de zéro tout le long de la voyelle nasale :

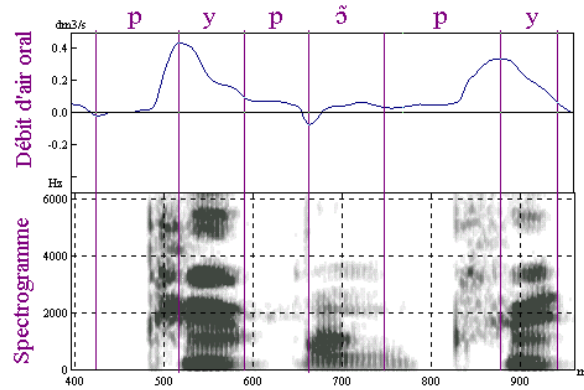


Figure 56 : Tracé du débit d'air oral (Type 3) pour le logatome /pyp̃py/ (loc 2).

Nous avons observé deux contours différents quand C_1 est une fricative ou une liquide :

1. Type 1 : une diminution progressive du débit d'air oral jusqu'à atteindre un minimum, maintient de ce plateau, puis au trois quarts de la voyelle augmentation jusqu'à atteindre un pic :

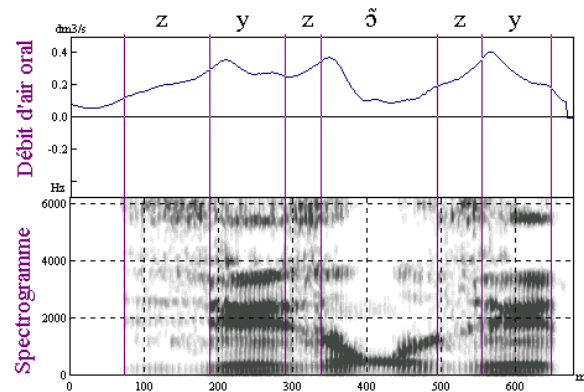


Figure 57 : Tracé du débit d'air oral (Type 1) pour le logatome /zyz̃zy/ (loc 2).

2. Type 2 : une diminution progressive du débit d'air oral jusqu'à atteindre un minimum qui se trouve en dessous de la ligne zéro (fermeture), maintient de ce plateau, puis au trois quarts de la voyelle augmentation jusqu'à atteindre un pic :

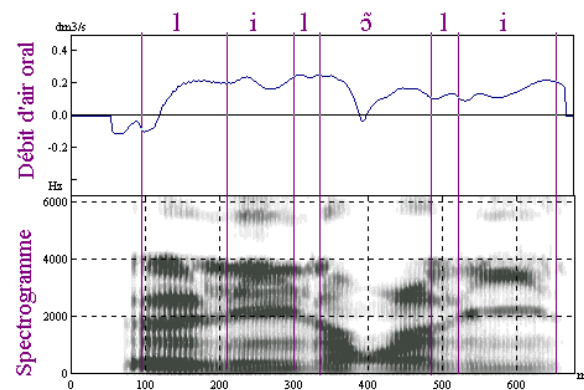


Figure 58 : Tracé du débit d'air oral (Type 2) pour le logatome /lil̃li/ (loc 1).

Les phrases lues et le corpus "spontané" :

La pause inspiratoire est caractérisée par une dépression du débit d'air oral.- La courbe de débit d'air oral confirme les deux types de pauses que nous avons trouvées avec le contour de

débit d'air nasal : la pause inspiratoire, va avoir une grande dépression de la courbe de débit d'air oral associée à la courbe de débit d'air nasal, ce qui montre que le sujet reprend sa respiration.

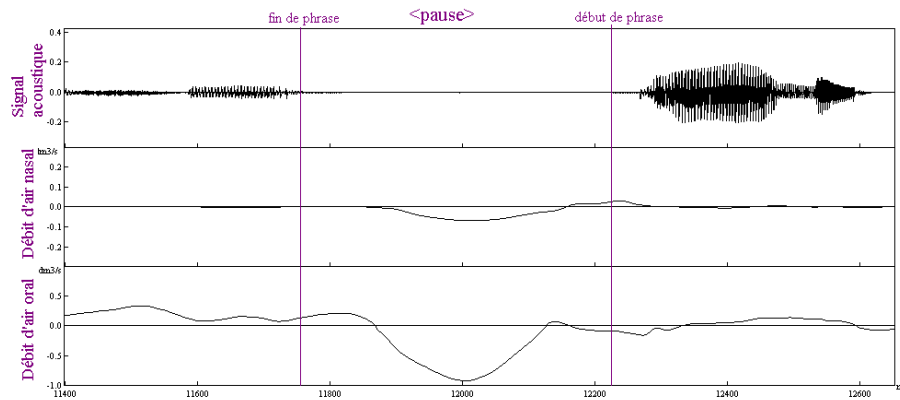


Figure 59 : Exemple de pause inspiratoire pour le loc 1.

La pause expiratoire est caractérisée par un débit d'air oral qui se maintient proche de la ligne de zéro.- Dans ce cas, nous voyons très bien que le locuteur n'a pas repris sa respiration. Le locuteur expulse le restant d'air par le nez et par la bouche, puis le conduit oral se ferme (cf. Figure 60).

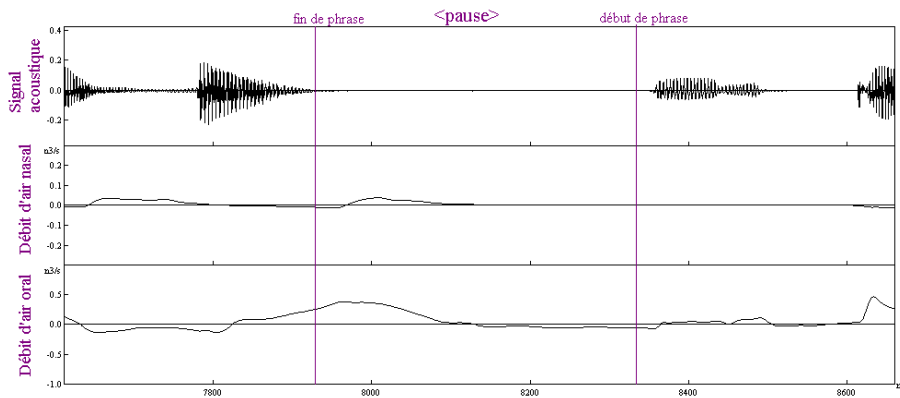


Figure 60 : Exemple de pause expiratoire pour le locuteur 1.

Nous voyons que le débit d'air oral reste proche de la ligne de zéro pendant la pause et que le débit d'air nasal passe par le conduit nasal.

Comme attendu, il y a du débit d'air oral tout au long des phrases. Quand la phrase commence par une occlusive, le débit d'air oral est négatif. Quand la phrase commence par un autre phonème (voyelle, fricative, liquide...) le débit d'air oral est positif. Nous constatons que la corrélation est meilleure entre le débit d'air oral et le premier phonème de la phrase, qu'entre le débit d'air nasal et le premier phonème.

I.B.2. Mesures temporelles

Nous allons maintenant présenter nos résultats faits sur les mesures temporelles.

I.B.2.i. Mesure de la durée du phonème (D1)

La mesure de la durée acoustique du phonème est nommée dans cette étude D1. Elle est représentée sur la Figure 61 :

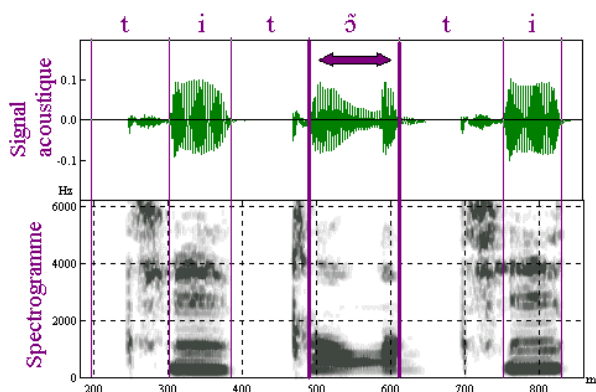


Figure 61 : Mesure de la durée du phonème nasal (D1), en ms, pour le logatome /ti/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

Pour les voyelles à l'isolée, nous trouvons les mesures de la durée acoustique du phonème suivantes :

	D1 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
a	148	166
u	168	184
i	128	162
y	186	162
Moyenne	158	159
ɔ̃	172	197
ɛ	143	178
ø	168	163
Moyenne	161	179
Moyenne générale	159	173

Tableau 5 : Moyennes de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales et 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

En ce qui concerne les voyelles à l'isolée, le locuteur 2 les a prononcées plus tenues que le locuteur 1. En moyenne, les voyelles nasales sont plus longues que les voyelles orales. Nous constatons tout de même que prises isolément, les voyelles orales peuvent avoir la même longueur voire être plus longues que les voyelles nasales. Il est difficile d'avoir une idée exacte de la durée vocalique à l'isolée car les locuteurs ont pu soutenir plus ou moins longtemps une voyelle.

Les logatomes :

Nous avons mesuré la durée (D1) de V_t quand celle-ci est une voyelle orale :

	D1 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
/a/	116	88,11
/i/	101,11	92,77
/u/	102,88	92,55
/y/	101,22	97,11
Moyenne générale	105,3	92,63

Tableau 6 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=9).

Nous confirmons que les locuteurs ont tenu la voyelle prononcée à l'isolée. La moyenne générale permet de dire que le locuteur 1 a un débit plus rapide que le locuteur 2. Les deux

locuteurs ont des écarts types relativement faibles (21,2 pour le locuteur 1 et 20,9 pour le locuteur 2).

Pour le locuteur 1, la mesure du phonème est plus importante quand la voyelle est un /a/. Pour le locuteur 2, à l'inverse c'est la voyelle /a/ qui a la durée (D1) la moins importante.

	D1	
	Locuteur 1	Locuteur 2
/b/	113,5	83,75
/d/	130,5	109,25
/g/	101,25	102
Moyenne des occlusives voisées	115,08	98,33
/p/	93,25	74,25
/t/	78,75	74,5
/k/	93,25	75
Moyenne des occlusives sourdes	88,41	74,58
Moyenne des occlusives	101,75	86,45
/z/	122	117
/s/	87,25	81,25
Moyenne des fricatives	104,62	99,12
/l/	128	116,75
Moyenne générale	105,3	92,63

Figure 62 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour 4 voyelles orales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=4).

La voyelle sera plus longue si elle a, comme entourage consonantique (C_1), une consonne voisée ; elle sera d'autant plus importante si cette consonne sonore est une fricative ou/et une liquide. La voyelle sera plus courte si C_1 est une consonne sourde.

Quand V_t est une voyelle nasale, nous trouvons les mesures suivantes :

Nous notons qu'il existe une différence significative entre les quatre répétitions pour les deux locuteurs. Le test anova à mesures répétées donne $p < 0,0001$ pour les deux locuteurs :

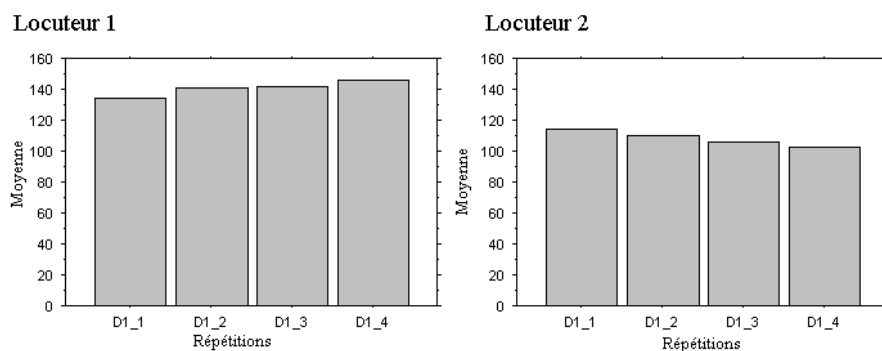


Figure 63 : Moyenne de la durée du phonème nasal (D1), en ms, en fonction des 4 répétitions des logatomes (2 loc, n=108).

La phrase cadre est indiquée sur le graphique par D1_1. Les différentes répétitions sont marquées (D1_2, D1_3, D1_4). Les deux locuteurs ont eu une stratégie opposée. Le locuteur 1 a prononcé la série des trois répétitions plus lentement que l'occurrence encadrée dans la phrase cadre. Le locuteur 2 a fait l'inverse. Bien que la différence soit significative entre les quatre répétitions, la différence de moyenne entre les deux répétitions les plus éloignées n'est que de 11 ms pour le locuteur 1, et 12 ms pour le locuteur 2. L'écart type pour les deux

locuteurs et les quatre répétitions oscille autour de 20 ms. L'écart type apparaît comme suffisamment faible pour présenter les résultats globalement, sans tenir compte des différentes répétitions.

La moyenne générale des voyelles nasales est de 124,12 ms pour les deux locuteurs (140,52 ms pour le locuteur 1 et 108 ms pour le locuteur 2), alors qu'elle est de 98,96 ms pour les voyelles orales. Les voyelles nasales ont une durée acoustique plus importante. Le locuteur 2 a prononcé les logatomes en moyenne plus lentement que le locuteur 1. En ce qui concerne l'écart type, il est relativement faible et se rapproche de celui trouvé pour les voyelles orales. Nous pouvons dire que les locuteurs ont prononcé les segments de façon régulière (écart type pour le locuteur 1 : 20,97 et 20,7 pour le locuteur 2).

La mesure de la durée du phonème (D1) pour les trois voyelles nasales :

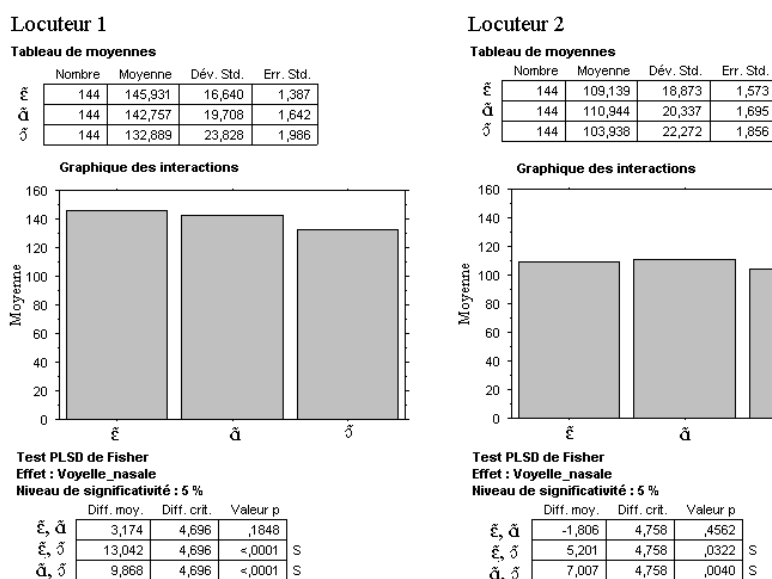


Figure 64 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

En ce qui concerne la différence entre les voyelles nasales, nous constatons que pour les deux locuteurs c'est la voyelle *ɑ̃* pour laquelle la mesure de la durée du phonème est la moins importante. Au vu des résultats du test PLSD Fischer, les deux voyelles *ɛ̃* et *ɑ̃* ont une durée acoustique similaire. Pour les deux locuteurs, *ɑ̃* a une différence significative de durée avec les deux autres voyelles nasales.

La mesure de la durée acoustique du phonème nasal en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

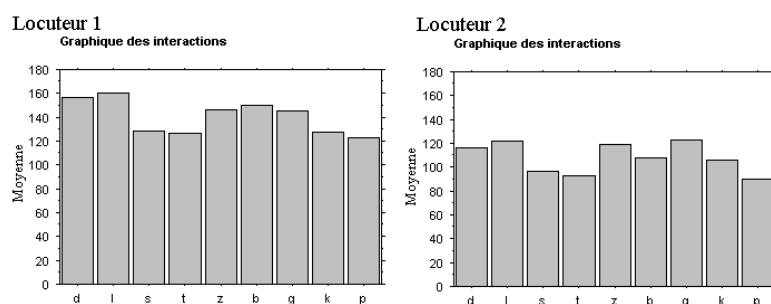


Figure 65 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=48).

Nous confirmons que la durée de la voyelle est plus courte quand celle-ci est entourée d'une consonne sourde, que ce soit une occlusive ou une fricative. Elle sera plus longue lorsqu'elle est entourée par la consonne /l/. Ceci est en correspondance avec les résultats observés pour les voyelles orales.

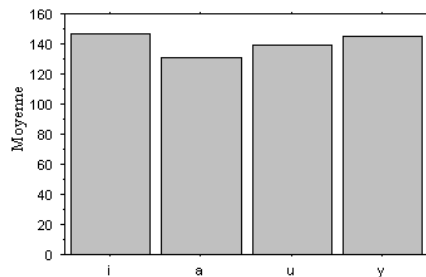
Nous avons voulu savoir si la durée de la voyelle nasale peut être influencée par l'entourage vocalique plus éloigné V_1 :

Locuteur 1

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
i	108	146,843	19,394	1,866
a	108	130,528	20,343	1,958
u	108	139,454	19,446	1,871
y	108	145,278	20,956	2,016

Graphique des interactions



Test PLSD de Fisher

Effet : Voyelle_entourage

Niveau de significativité : 5 %

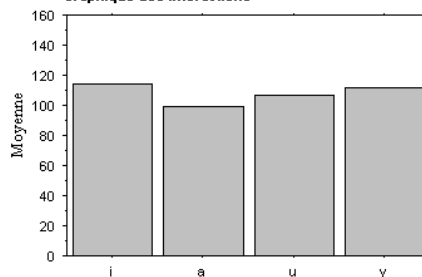
	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
i, a	16,315	5,362	<,0001	S
i, u	7,389	5,362	,0070	S
i, y	1,565	5,362	,5665	
a, u	-8,926	5,362	,0012	S
a, y	-14,750	5,362	<,0001	S
u, y	-5,824	5,362	,0333	S

Locuteur 2

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
i	108	114,194	22,682	2,183
a	108	99,583	21,079	2,028
u	108	106,583	16,347	1,573
y	108	111,667	19,378	1,865

Graphique des interactions



Test PLSD de Fisher

Effet : Voyelle_entourage

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
i, a	14,611	5,352	<,0001	S
i, u	7,611	5,352	,0054	S
i, y	2,528	5,352	,3538	
a, u	-7,000	5,352	,0105	S
a, y	-12,083	5,352	<,0001	S
u, y	-5,083	5,352	,0626	

Figure 66 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V_1) (2 loc, n=108).

Pour les deux locuteurs, la durée de la voyelle nasale sera plus courte lorsque $V_1 = /a/$. La question ici est de savoir pourquoi ressort une telle différence entre les phonèmes d'autant que si nous regardons les quatre répétitions indépendamment les unes des autres, nous retrouvons dans tous les cas cette distinction. De plus l'écart type n'est pas plus important pour le /a/ que pour les autres voyelles ; il n'est donc pas possible d'expliquer cette différence par une plus grande variabilité dans la prononciation.

La revue de la littérature ne nous a pas permis de trouver une explication à cette différence. Notre première hypothèse était de penser qu'il pouvait s'agir d'un phénomène de compensation, en effet nous avons vu que la voyelle /a/ est la plus longue par rapport aux trois autres orales. Martinet en 1965 indique que les voyelles ouvertes ont une durée plus importante que les autres, parce qu'il faut plus de temps pour ouvrir la bouche (Martinet, 1965). Nous pensions que pour ajuster la longueur du logatome, les locuteurs jouaient sur la longueur des autres voyelles. Il s'avère qu'après avoir mesuré la longueur totale de plusieurs logatomes, la durée varie systématiquement en fonction de l'entourage vocalique. Nous ne sommes pas en mesure de donner une explication à ce phénomène, mais il se peut que cela soit du à un phénomène de coarticulation et que le /a/ ait une influence significative sur la prononciation de la voyelle nasale.

Les phrases lues :

Nous avons mesuré la durée acoustique sur toutes les voyelles nasales contenues dans le corpus phrases lues. Nous trouvons une moyenne générale pour D1 de 117,62 ms (124,35 ms

pour le locuteur 1 et 110,89 ms pour le locuteur 2), bien que moins importante que pour les logatomes, la différence entre le locuteur 1 et le locuteur 2 est maintenue. L'écart type est supérieur à celui trouvé pour les logatomes ce qui indique que la durée ici est moins contrôlée, ce qui semble normale, les contextes étant différents pour chaque phrase. La différence entre les trois voyelles nasales est maintenue : la voyelle nasale qui a la durée acoustique la plus courte est /œ/, avec une moyenne de 116,8 ms pour le locuteur 1 et 103,7 ms pour le locuteur 2. Il ne nous a pas été possible de faire une comparaison en fonction des contextes C₁ et V₁ vu qu'ils sont différents pour chaque phrase. Nous confirmons que la position de la voyelle nasale dans le mot est importante pour la durée de celle-ci. En effet, nous constatons que lorsque V_i est à l'intérieur du mot sa durée sera en moyenne plus courte que si elle est en position finale :

	D1 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Position dans le mot : intérieur	113,3846	93,23
Ecart type	22,3589	18,18
Position dans le mot : fin	128,4285	117,4571
Ecart type	32,2914	36,6873

Tableau 7 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).

La différence est plus marquée pour le locuteur 2. Nous constatons également que l'écart type est plus grand quand la voyelle nasale est en fin de mot, ce qui signifie que D1 est moins constante dans cette position. Cette différence entre les écarts types montre aussi qu'à l'intérieur d'un mot la durée du phonème est moins variable. Ceci s'explique du fait que la voyelle est contrainte par le phonème qui suit.

Le corpus "spontané" :

La tendance pour laquelle le locuteur 1 a un débit plus rapide s'est inversée. En parole "spontanée", le locuteur 1 a une moyenne générale de D1 inférieure au locuteur 2 (95,32 ms contre 90 ms). L'écart type est encore plus important que pour les phrases avec une différence prosodique. Comme attendu, il y a une plus grande variabilité en parole non lue.

En ce qui concerne D1 en fonction des différentes voyelles nasales, la durée de la voyelle nasale /œ/ est différente en parole lue et en parole non lue. Pour le locuteur 1, la voyelle /œ/ a une durée acoustique plus importante par rapport aux deux autres nasales, ce qui est l'inverse de ce que nous avons trouvé en parole lue.

	D1 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Moyenne pour œ	79,46	91,23
Ecart type pour œ	15,25	34,6
Moyenne pour ʌ	96,29	90,27
Ecart type pour ʌ	38,02	32,56
Moyenne pour ɔ	105,33	90,2
Ecart type pour ɔ	54,84	56,81

Tableau 8 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 1, n=58 & loc 2, n=79).

La différence de D1 en fonction de la position de la nasale dans le mot confirme les données trouvées précédemment, à savoir que V_t a une durée acoustique plus courte quand la voyelle se trouve à l'intérieur du mot.

I.B.2.ii. Mesure de la durée totale du débit d'air nasal (D3)

Toutes les mesures qui suivent, concernent le débit d'air nasal. Nous n'avons pas fait de calculs sur les voyelles orales car comme nous l'avons vu dans la partie I.B.1.i. p.69, il n'y a pas de débit d'air nasal durant ces voyelles.

La durée du débit d'air nasal est calculée dès que celle-ci est positive et s'arrête quand elle est inférieure ou égale à $0,01 \text{ dm}^3/\text{s}$.

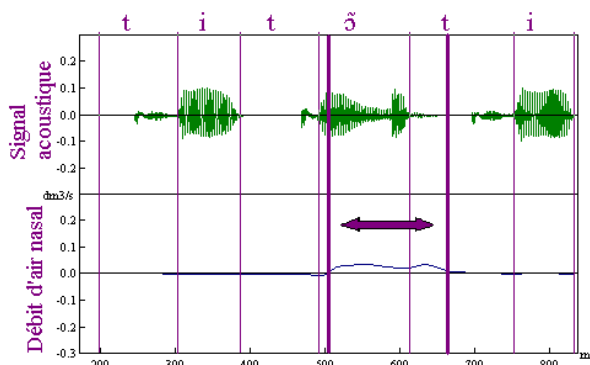


Figure 67 : Mesure de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour la voyelle nasale / ə̃ / prononcée dans le logatome est /tit ə̃ i/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

Pour les voyelles à l'isolée, nous trouvons les résultats suivants :

	D3 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ɛ̃	146	280
ɛ̃	190	239
ə̃	200	233
Moyenne	178,66	250,66

Tableau 9 : Moyennes de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Le locuteur 2 a une durée de D3 supérieure au locuteur 1. La voyelle nasale / ə̃ / est la voyelle pour laquelle la durée totale du débit d'air nasal est la plus grande pour le locuteur 1. Il s'agit de / ɛ̃ / pour le locuteur 2.

Les logatomes :

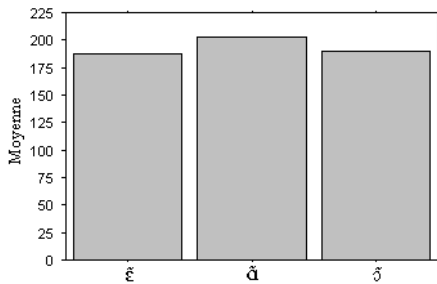
Nous trouvons une moyenne générale pour la durée de débit d'air nasal de 193,46 ms pour le locuteur 1 et 149,41 ms pour le locuteur 2, cette moyenne est supérieure à la moyenne de D1 et conserve la même différence entre les deux locuteurs. Cependant, ces résultats sont diamétralement opposés à ceux trouvés pour les voyelles isolées. Avec un écart type de 48,73 ms pour le locuteur 1 et de 26,74 pour le locuteur 2, D3 est une mesure assez constante, elle est plus variable pour le sujet 1. Dans 89% des cas, D3 est supérieure à D1 pour les deux locuteurs (87% pour le locuteur 1 et 92% pour le locuteur 2). La mesure de la durée totale du débit d'air nasal (D3) pour les trois voyelles nasales donne :

Locuteur 1

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
ɛ̃	144	187,396	51,305	4,275
ɑ̃	144	202,910	52,494	4,375
ɔ̃	144	190,076	40,388	3,366

Graphique des interactions



Test PLSD de Fisher
Effet : Vowelle_nasale

Niveau de significativité : 5 %

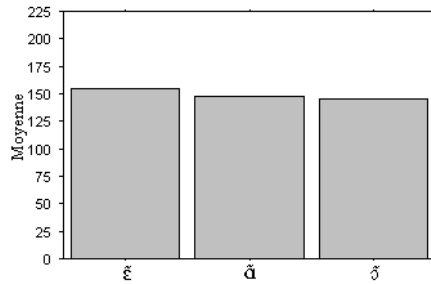
	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
ɛ̃, ɑ̃	-15,514	11,204	,0068	S
ɛ̃, ɔ̃	-2,681	11,204	,6384	
ɑ̃, ɔ̃	12,833	11,204	,0249	S

Locuteur 2

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
ɛ̃	144	154,597	31,869	2,656
ɑ̃	144	148,111	25,400	2,117
ɔ̃	144	145,549	21,236	1,770

Graphique des interactions



Test PLSD de Fisher
Effet : Vowelle_nasale

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
ɛ̃, ɑ̃	6,486	6,146	,0386	S
ɛ̃, ɔ̃	9,049	6,146	,0040	S
ɑ̃, ɔ̃	2,563	6,146	,4129	

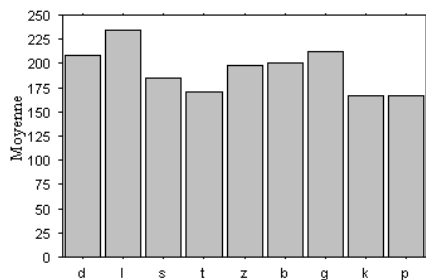
Figure 68 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Pour le locuteur 1, la voyelle nasale ayant le débit d'air nasal le plus long est *ɑ̃*. Cette voyelle a une différence significative de longueur avec les deux autres. Pour le locuteur 2, la voyelle *ɛ̃* a le débit d'air nasal le plus long. Si pour le locuteur 1 les différentes répétitions maintiennent la distinction entre *ɑ̃* et les deux autres voyelles nasales, ce n'est pas le cas pour le locuteur 2, la différence entre le *ɛ̃* et le *ɑ̃* est moindre dans deux répétitions. Ceci confirme que D3 n'est pas constant au moins pour le locuteur 2.

La mesure de la durée totale du débit d'air nasal en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

Locuteur 1

Graphique des interactions



Locuteur 2

Graphique des interactions

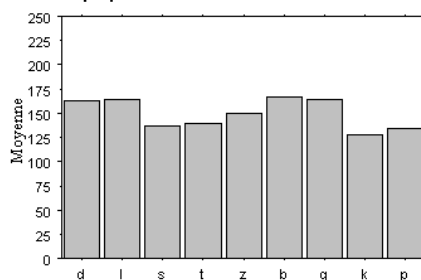


Figure 69 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc).

La même distinction que pour D1 entre les consonnes voisées et les consonnes non voisées est maintenue pour la mesure de D3. Dans l'ordre croissant, nous trouvons :

Locuteur 1	Locuteur 2
p	p
t	t
k	s
s	k
g	b
z	d
b	z
d	l
l	g

Tableau 10 : Ordre d'apparition des consonnes (C_1) en fonction de la mesure du débit d'air nasal (D3) pour les trois voyelles nasales.

Cet ordre n'est pas le même pour les deux locuteurs, pas même non plus en fonction des quatre répétitions. La distinction entre consonne sourde et consonne sonore est cependant maintenue systématiquement. Quand la voyelle nasale est entourée de la consonne /p/, le débit d'air nasal sera le plus court pour les deux locuteurs.

La mesure de la durée totale du débit d'air nasal en fonction de l'entourage vocalique (V_1) donne :

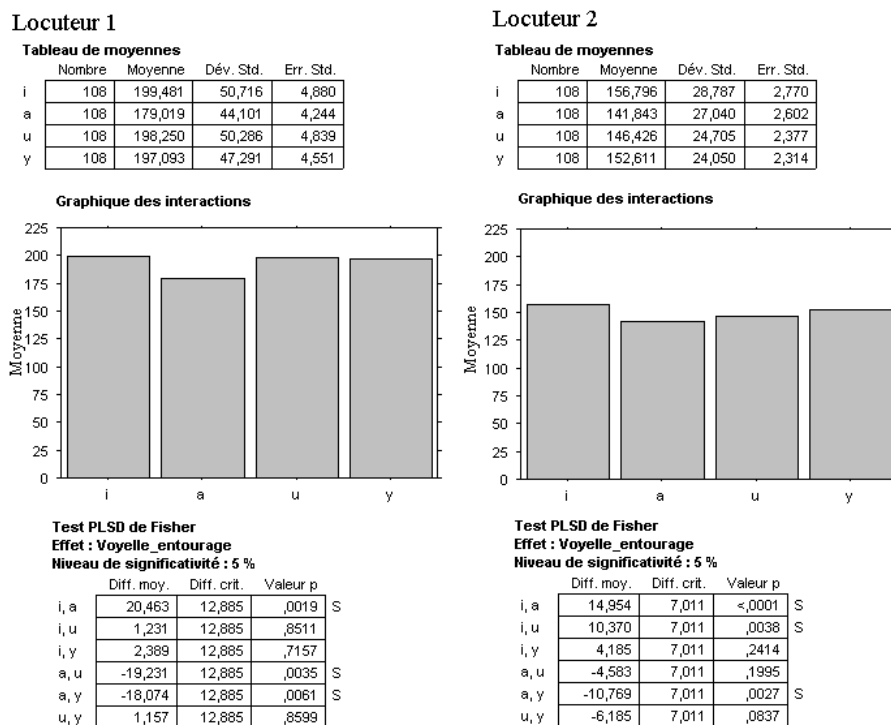


Figure 70 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V_1), (2 loc, n=108).

Il existe une différence de D3 en fonction de l'entourage vocalique, et notamment nous trouvons que la durée de débit d'air nasal est moins importante quand la voyelle V_1 est un /a/. La différence est significative entre /a/ et les trois autres voyelles pour le locuteur 1, et entre /i/ et /y/ pour le locuteur 2. Elle est maintenue dans les différentes répétitions pour le locuteur 1, et pour trois répétitions sur 4 pour le locuteur 2. Cette distinction est exactement la même que pour la mesure de la durée acoustique du phonème.

Les phrases lues :

La moyenne générale de la durée du débit d'air nasal pour le locuteur 1 est de 274,52 ms et de 249,18 ms pour le locuteur 2. Si nous comparons cette moyenne à celle des logatomes, il s'avère que la moyenne de la mesure D3 pour les phrases lues est nettement supérieure à celle des logatomes. Cette différence s'explique en partie du fait que l'entourage est différent. Les écarts types (loc1 : 116,55, loc2 : 165,71) montrent qu'il existe une grande variabilité en fonction des différentes phrases, et que D3 est moins contrôlée que pour les logatomes. Il est intéressant de constater que la différence de durée de débit d'air nasal entre les locuteurs est maintenue, tout comme la différence de durée acoustique du phonème.

	D3 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Moyenne pour ɛ̃	341,3	390,7
Ecart type pour ɛ̃	134,58	254,62
Moyenne pour ʌ	258,72	294,18
Ecart type pour ʌ	166,31	134,2
Moyenne pour œ̃	256,22	178,44
Ecart type pour œ̃	74,03	80,72

Tableau 11 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2 loc, n=48).

Nous constatons que pour les deux locuteurs, c'est la voyelle **ɛ̃** pour laquelle la durée du débit d'air nasal est la plus importante. La voyelle qui a le D3 le plus court est **œ̃**, c'est également celle pour laquelle, l'écart type est le plus faible ; c'est donc la voyelle pour laquelle il y a le moins de variabilité. Cette différence est la même que pour les logatomes.

La différence en fonction de la position de la voyelle dans le mot, suggère que la durée totale du débit d'air nasal est plus longue quand la voyelle est en position finale de mot :

	D3 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Moyenne pour la voyelle à l'intérieur du mot	242,23	198,3
Ecart type	82,15	78,9
Moyenne pour la voyelle en position finale	286,51	268,08
Ecart type	125,89	185,48

Tableau 12 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).

Les écarts types montrent une grande variabilité, qui est en partie due aux contextes différents. Nous avons trouvé des cas pour lesquels le débit d'air nasal est très court sur la voyelle nasale, puis apparaît après celle-ci. Tous ces cas sont avant une pause : soit le débit d'air nasal est très long et continu dans la phase de respiration, soit le débit d'air nasal est très court et recommence au moment de la respiration.

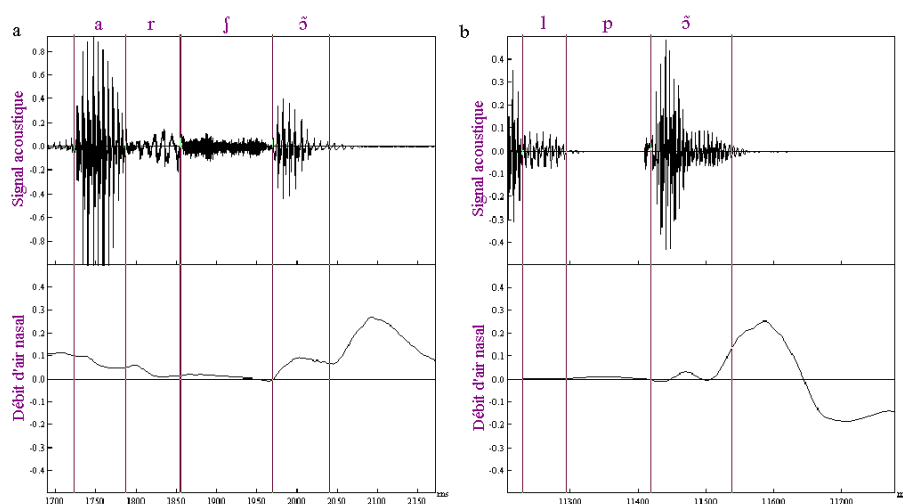


Figure 71 : Deux cas de débit d'air nasal pour la voyelle /œ/, a : le débit d'air nasal est présent durant toute la durée du phonème et continue pendant la pause, b : le débit d'air nasal est très court durant le phonème et reprend durant la pause.

Il faudra voir dans la partie fibroscopie si pour la figure b, le velum a un ou deux mouvements d'ouverture et de fermeture.

Le corpus "spontané" :

La moyenne générale de la durée totale du débit d'air nasal en ce qui concerne la parole non lue est de 388 ms pour le locuteur 1 et de 326 ms pour le locuteur 2. Ces moyennes sont nettement supérieures à celle des phrases lues, du même coup encore plus importantes que pour les logatomes. Les écarts types sont également beaucoup plus grands (309,42 pour le locuteur 1 et 236,53 pour le locuteur 2). La propagation de la nasalité dépend non seulement du contexte consonantique et vocalique, mais aussi du style de parole. Moins la parole est contrôlée, plus la durée du débit d'air nasal est importante.

	D3 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Moyenne pour /œ/	261,07	232,11
Ecart type pour /œ/	161,06	209,23
Moyenne pour /ɔ̃/	305,4	378,81
Ecart type pour /ɔ̃/	203,32	265,49
Moyenne pour /ɑ̃/	586,22	315,2
Ecart type pour /ɑ̃/	429,49	193,4

Tableau 13 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc1, n=58 & loc 2, n=79).

Dans ce cas, la voyelle /œ/ a la mesure de D3 la moins importante, ce qui est à l'opposé des résultats trouvés pour les logatomes et les phrases à distinction prosodique. Les écarts types sont vraiment très importants, notamment en ce qui concerne la voyelle /œ/ pour le locuteur 1.

	D3 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Position dans le mot : intérieur	300,16	294,68
Ecart type	137,04	160,41
Position dans le mot : finale	445,09	350,66
Ecart type	383,99	266,43

Tableau 14 : Moyenne de la durée totale du débit d'air nasal (D3), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané", en fonction de la position dans le mot, dans le corpus "spontané" (loc1, n=58 & loc 2, n=79).

La différence en fonction de la position dans le mot est la même que celle observée dans le corpus des phrases lues.

En parole non lue, comme pour les logatomes (loc 1), nous avons trouvé des cas de dénasalisation pour les deux locuteurs. Le débit d'air nasal est à zéro durant toute la voyelle nasale. Nous avons trouvé 3 cas pour le locuteur 1 et 8 cas pour le locuteur 2.

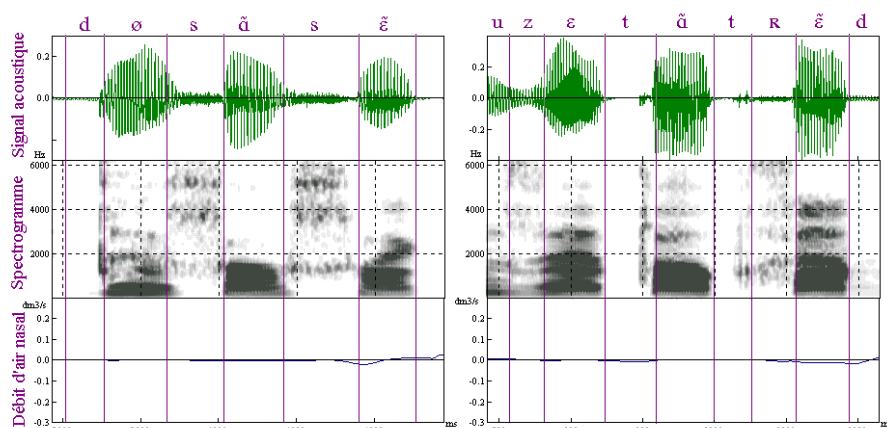


Figure 72 : Extraits de phrases contenant trois cas de dénasalisation de voyelles nasales : "...le zip deux **œ**nt cinquante..." (loc 1) et "...vous êtes **en** train (de) me..." (loc 1).

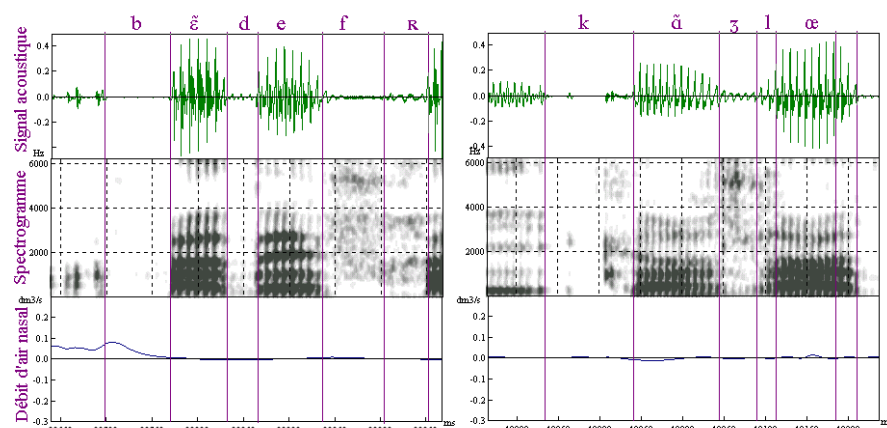


Figure 73 : Extraits de phrases contenant des cas de dénasalisation de voyelles nasales : "...**ben** des phrases..." (loc 2) et "...**quand** je leur disais..." (loc 2).

Pour le premier exemple du locuteur 2, la phrase entière donne vraiment l'impression qu'il s'agit du mot "ben" la phrase coupée ne donne plus tout à fait l'impression de ce mot mais quelque chose comme "fa des...".

Les autres cas de dénasalisation du locuteur 2 sont :

"...des émotions (en)**fin** j'ai demandé...", "...avec **un** petit mot...", "...ben ils vont le manger...", "...joie **enfin** moi j'ai...", "...pourquoi **ben**...".

Les trois voyelles nasales sont touchées par la dénasalisation. Les cas de dénasalisation ne se retrouvent pas uniquement dans l'entourage des occlusives sourdes comme nous aurions pu nous y attendre au vu des résultats des logatomes. Toutes les consonnes sont susceptibles d'entraîner une dénasalisation de la voyelle nasale.

Comme il existe des cas de dénasalisation, nous avons également trouvé des cas de nasalisation sur des phonèmes non nasals, uniquement en parole "spontanée". Nous n'avons pas tenu compte de la nasalisation d'un phonème oral après une pause car nous avons vu dans la partie (I.B.1. p. 68) que cette nasalisation est quasi-systématique. La plupart des hésitations marquées par l'allongement du phonème conduisent à une nasalisation du phonème qui porte l'hésitation :

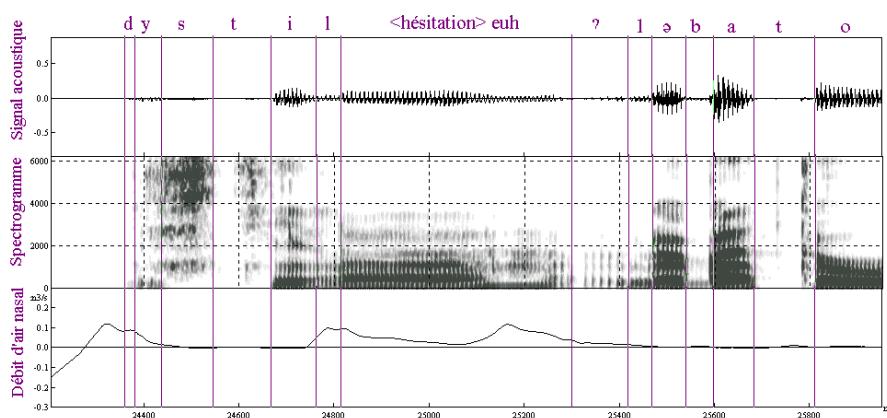


Figure 74 : Exemple de débit d'air nasal pendant une hésitation : "...du style <hésitation> le bateau..." (loc 2).

La phase d'hésitation est aussi une phase qui permet de faire des pauses articulatoires. Le velum par l'action de la gravité reprend sa position d'origine, l'air peut donc passer par le conduit nasal. La nasalisation est souvent effective sur la glottalisation (Vaissière, 1995). En dehors des hésitations, nous avons trouvé 8 cas de nasalisation spontanée sur des phonèmes orals pour les deux locuteurs. Les cas de nasalisation portent sur :

Locuteur 1	Locuteur 2
"une vache"	"d'accord "
	"voilà"
	"DEA c'était sur"
	"phrases parfois bizarres"
	"des phrases qui avaient..."
	"voilà"

Tableau 15 : Mots pour lesquels il y a du débit d'air nasal en parole spontanée, les phonèmes nasalisés sont en gras (2 loc).

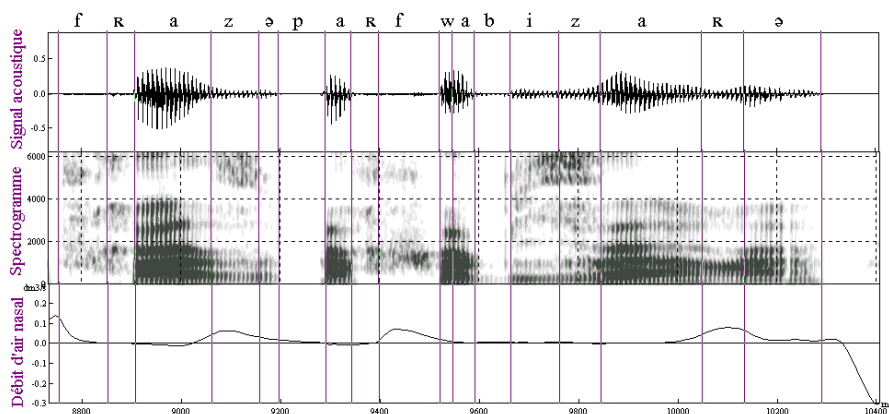


Figure 75 : Exemple de nasalisation spontanée dans la phrase : "...des phrases parfois bizarres..." (loc 2).

Les consonnes touchées par la nasalité spontanée sont essentiellement des fricatives et deux sonantes. Il est intéressant de constater que nous trouvons les cas de nasalisation dans l'entourage de la voyelle /a/ pour laquelle le velum est plus bas.

I.B.2.iii. Mesure de l'anticipation du débit d'air nasal (D6)

La mesure de l'anticipation a consisté à mesurer le décalage entre le début du débit d'air nasal et le début acoustique du phonème.

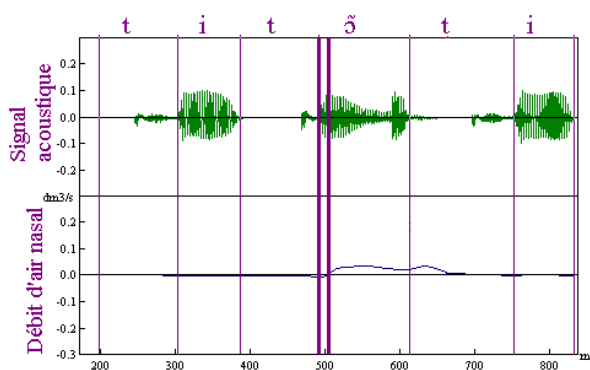


Figure 76 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du phonème (D6), en ms, pour la voyelle nasale /ɔ̃/ prononcée dans le logatome /ti/ (loc 1).

Nous sommes partie de l'hypothèse qu'il existe de l'anticipation, quand les données sont négatives cela signifie qu'il n'y a pas d'anticipation mais du retard : le flux d'air nasal arrive après le début acoustique du phonème.

Les voyelles isolées :

	Locuteur 1	Locuteur 2
	Anticipation (ms)	Anticipation (ms)
ɔ̃	-28	-24
ɛ̃	-19	-27
ʊ̃	-13	-13
Moyenne Générale	-20	-21,33

Tableau 16 : Mesure de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Nous constatons qu'à l'isolée, les voyelles nasales ont du retard de débit d'air nasal. Pour les deux locuteurs, /ʊ̃/ est la voyelle pour laquelle il y a le moins de retard. Il y a une différence

interlocuteur pour la voyelle avec le plus de retard : il s'agit de /**ʔ**/ pour le locuteur 1, et de /**ɛ̃**/ pour le locuteur 2.

Les logatomes :

Pour les logatomes, la moyenne générale est de -43,97 ms pour le locuteur 1 et de -22,72 ms pour le locuteur 2 (avec un écart type de 40,06 pour le locuteur 1 et 26,48 pour le locuteur 2). Les moyennes suggèrent qu'il y a plus souvent du retard que de l'anticipation pour les deux locuteurs. Le locuteur 2 a en moyenne moins de retard que le locuteur 1.

Nous avons trouvé de l'anticipation dans 16% des cas pour le locuteur 1 et dans 20% des cas pour le locuteur 2. Dans certains cas, nous trouvons un maximum de débit d'air nasal avant la voyelle nasale, et parfois l'anticipation est très mince. Pour le locuteur 1, la majorité des cas recensés avec de l'anticipation sont les logatomes qui contiennent la voyelle /**ʔ**/ . Pour le locuteur 2, le maximum de cas trouvés sont ceux avec la voyelle /**ɛ̃**/.

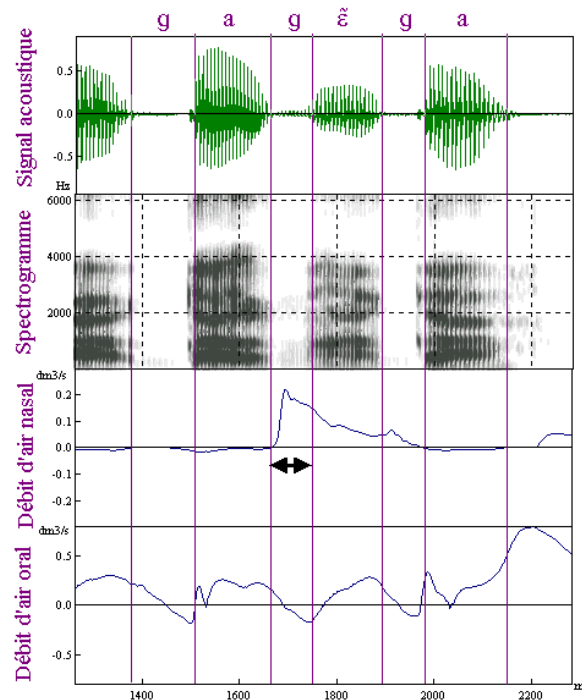


Figure 77 : Anticipation importante du débit d'air nasal sur la voyelle /**ɛ̃**/ prononcée dans le logatome /gag**ɛ̃**a/ (loc 2).

Avram (1989) indique que la nasalisation est fréquente devant une consonne vélaire (Avram, 1989), la Figure 77 semble montrer qu'effectivement celle-ci ne bloque pas la nasalisation.

Nous pouvons expliquer ce phénomène d'anticipation à l'aide de notre hypothèse de départ : le port vélo-pharyngé est ouvert du fait du /a/ ; il a atteint l'ouverture minimale pour laquelle l'air peut passer par le conduit nasal, la bouche garde une ouverture constante, la pression dans le conduit buccal n'augmente pas donc le velum même s'il remonte, garde une position pour laquelle l'air peut encore passer. Puis, la langue pour le /g/ se rapproche de la voûte palatine et bloque le passage de l'air vers la bouche (cf. Figure 77) comme le velum à une ouverture minimum, l'air bloqué avant la constriction passe par le conduit nasal ce qui explique qu'il n'y a pas une brusque montée pour le débit d'air oral. Le débit d'air oral augmente progressivement avec le **ɛ̃** puisque la constriction pour le /g/ s'estompe, et du même coup la résistance dans le conduit oral diminue, l'air nasal diminue.

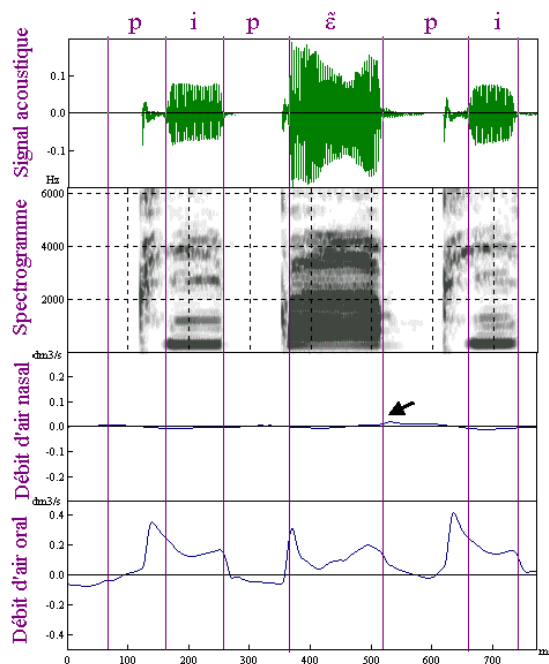


Figure 78 : Retard important de débit d'air nasal sur la voyelle /ɛ/ prononcée dans le logatome /pipɛpi/ (loc 1).

Voyons maintenant si notre hypothèse peut expliquer ce phénomène : le velum est fermé du fait du /i/ qui implique une position haute de la langue. Pour produire un /p/, la bouche se ferme, la pression dans le conduit vocal est importante, la résistance aussi mais comme la bouche est fermée le velum n'a pas l'ouverture nécessaire pour le passage de l'air dans le conduit nasal. Ensuite, la bouche s'ouvre pour la voyelle nasale, le velum s'ouvre également, comme l'ouverture de la bouche est importante la résistance dans le conduit vocal diminue, donc l'air passe par la bouche bien que le velum soit ouvert. L'air dans le conduit nasal commence à passer quand le velum bien que commençant à se fermer, a toujours une ouverture minimum. La bouche en se fermant pour la consonne va augmenter la résistance dans le conduit oral et l'air peut passer par le nez. Il s'agit évidemment d'une hypothèse qui devra se confirmer au fur et à mesure avec les données d'ouverture du velum. La mesure de l'anticipation du débit d'air nasal (D6) pour les trois voyelles nasales :

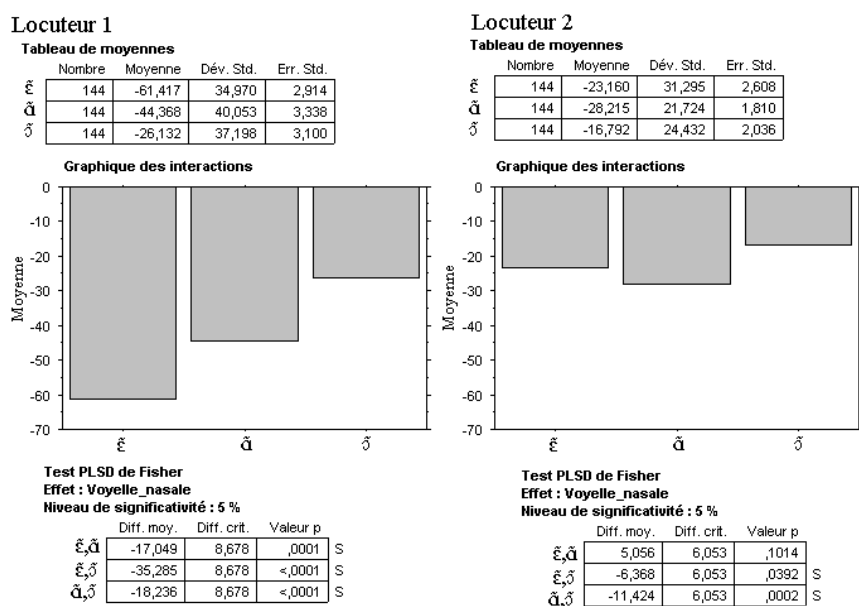


Figure 79 : Moyenne de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Il existe une différence interlocuteur. Néanmoins pour les deux sujets, la voyelle *œ* est celle pour laquelle nous retrouvons le moins de retard, ce qui confirme les résultats trouvés pour les voyelles à l'isolée. Et qui confirme que plus l'impédance dans la bouche est importante plus l'air passe par le conduit nasal.

Si notre hypothèse du départ se vérifie, il y aura moins de retard pour les consonnes qui n'ont pas de fermeture complète (les fricatives), puis les obstruantes seront plus ou moins classées en fonction de l'endroit de la constriction. La mesure de l'anticipation du débit d'air nasal en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

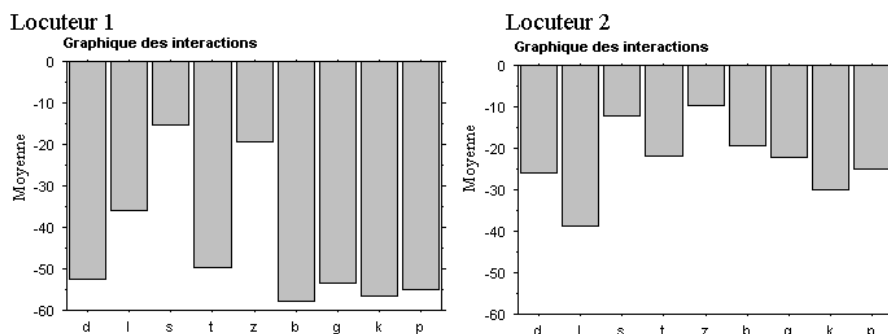


Figure 80 : Moyenne de l'anticipation du débit d'air nasal (D6), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=48).

La différence avec les fricatives est effectivement attestée. Pour les autres consonnes, l'hypothèse est un peu moins probante notamment pour le locuteur 2. Il existe une forte variabilité entre les différentes répétitions :

Répétition 1		Répétition 2		Répétition 3		Répétition 4	
Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2
p	k	b	l	k	l	b	l
d	g	p	p	p	k	k	k
g	l	d	d	g	p	t	d
t	p	g	t	b	b	d	b
k	d	t	g	d	d	g	t
b	t	k	b	t	g	p	p
l	s	l	k	l	t	l	g
z	z	z	s	s	z	s	z
s	b	s	z	z	s	z	s

Tableau 17 : Ordre d'apparition des consonnes en fonction du retard de débit d'air nasal constaté sur les voyelles nasales (2 loc).

La voyelle nasale aura moins de retard si elle est entourée par une fricative. Ensuite, il y a une grande variabilité interlocuteur notamment en ce qui concerne la liquide /l/. Contrairement à ce que nous pensions, la voyelle peut avoir beaucoup de retard de débit d'air nasal quand elle est entourée par une liquide. En ce qui concerne la distribution en fonction des quatre répétitions, il y a une grande variabilité intralocuteur. Nous avons trouvé une répétition pour le locuteur 1 qui confirme notre hypothèse (cf. Tableau 17). Le locuteur 2 montre une plus grande variabilité.

Si notre hypothèse se vérifie, nous devrions trouver une différence significative entre fonction de l'entourage vocalique (V_1). Il n'y pas de différence significative en fonction de l'entourage vocalique pour le locuteur 1. Les voyelles nasales ont un retard moyen de -45 ms pour trois V_1 sur 4. Quant au locuteur 2, il a bien une différence significative en fonction d'une voyelle (V_1), mais pas avec la voyelle attendue. En effet, le maximum de retard est observé pour les voyelles nasales quand celles-ci se trouvent avec un /a/ dans leur entourage, à moins tout simplement que ce retard s'explique par le fait que c'est pour la voyelle /a/ que la résistance

dans le conduit vocal est la moins importante. Nous pensons que l'entourage vocalique ne joue pas un rôle fondamental en ce qui concerne l'anticipation du débit d'air nasal. Le contexte consonantique immédiat est quant à lui fondamental.

Les phrases lues :

Nous avons mesuré l'anticipation du débit d'air nasal pour les phrases lues, nous trouvons beaucoup d'anticipation. La moyenne est de 10,95 ms pour le locuteur 1 et 44,77 ms pour le locuteur 2 (écart type : 92,44 et 113,41). Moins la parole est "contrôlée", plus les écarts types sont importants indiquant qu'il existe une grande variabilité. Pour les logatomes, nous trouvons essentiellement du retard, pour les phrases lues, nous trouvons autant d'anticipation que de retard (23 cas d'anticipation sur 47 pour le locuteur 1 et 27 pour le locuteur 2). Il est possible de spéculer que la voyelle nasale précédée par une autre nasale aura plus d'anticipation, les cas où la voyelle nasale est précédée par une consonne nasale sont minoritaires (7 sur les 47). Il existe donc une plus forte coarticulation nasale pour les phrases lues par rapport aux logatomes.

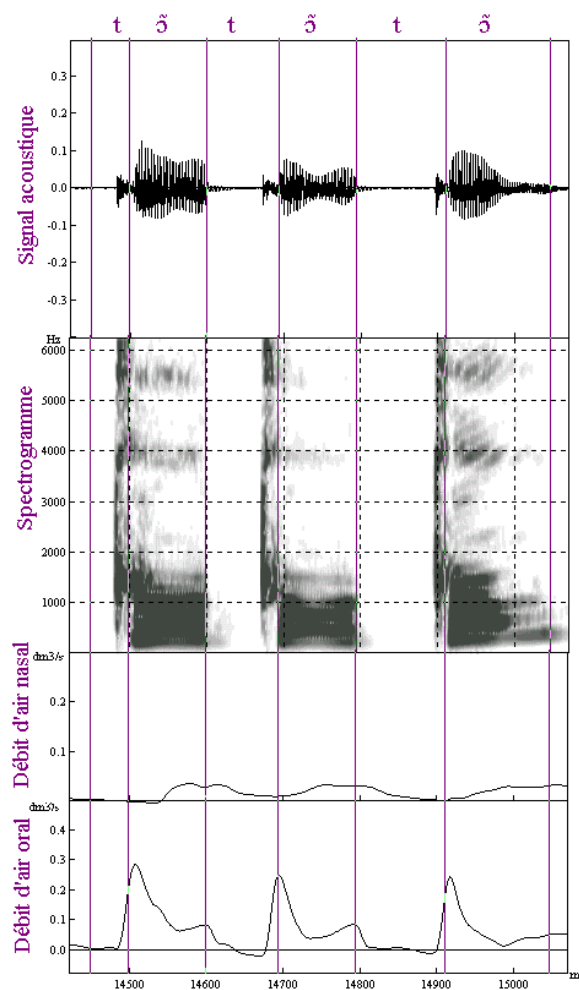


Figure 81 : Exemple de propagation de débit d'air nasal sur une consonne orale /t/, pour la phrase "...tonton tond..." (loc 1).

Il est difficile de déterminer s'il s'agit d'anticipation ou de persévération. Au vu de nos résultats précédents, nous pencherions plutôt pour de la persévération. Par contre, le débit d'air nasal a lieu durant la production d'une consonne sourde, celle-ci n'est pas voisée et l'explosion a quand même eu lieu. Ceci confirme qu'il est possible d'avoir une fuite nasale même sur les occlusives sourdes. Il n'existe pas de différence d'anticipation en fonction de la

position de la voyelle dans le mot. Ceci s'explique probablement du fait que la voyelle nasale est contrainte par le phonème qui la précède.

Le corpus "spontané" :

Avec une moyenne de 113,44 ms pour le locuteur 1 et 84,24 ms pour le locuteur 2, nous confirmons que moins la parole est contrôlée plus il y a d'anticipation. Il est intéressant de constater que la différence entre les deux locuteurs est la même que pour les logatomes. Les écarts types sont très importants ce qui confirme la grande variabilité en partie due aux contextes différents. Sur les 135 cas repérés pour les deux locuteurs, seulement 13 cas ont du retard de flux d'air nasal (dans les 13 cas nous retrouvons en majorité les voyelles nasales précédées de consonnes sourdes). Il n'y a de différence en fonction de la structure syllabique. Il peut aussi bien y avoir du retard pour la séquence C#V_t que pour la séquence CV_t. La frontière syllabique n'interfère pas sur l'anticipation de la nasalité.

I.B.2.iv. Mesure de la persévération du débit d'air nasal (D12)

Nous allons maintenant mesurer le décalage entre la fin du débit d'air nasal et la fin acoustique de la voyelle.

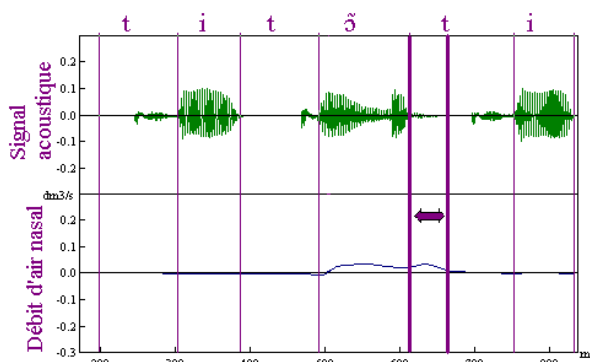


Figure 82 : Mesure du décalage entre la fin du débit d'air nasal et la fin de la voyelle (D12), en ms, pour la voyelle nasale / ɔ̃ / prononcée dans le logatome est /tit ɔ̃ i/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

	Locuteur 1	Locuteur 2
	Persévération (ms)	Persévération (ms)
ɔ̃	61	144
ɛ	61	115
ɔ	54	104
Moyenne Générale	58,66	121

Tableau 18 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Nous constatons qu'il y a de persévération pour les voyelles à l'isolée notamment chez le locuteur 2. Le locuteur 2 a le double de persévération par rapport au locuteur 1. Pour les deux locuteurs, c'est la voyelle ɔ qui a le moins de persévération. Il est intéressant de constater que c'est aussi la voyelle qui a le moins de retard.

Les logatomes :

La moyenne générale de la persévération du débit d'air nasal est de 96,56 ms pour le locuteur 1 et de 64,13 ms pour le locuteur 2 (écart type de 37,51 pour le locuteur 1 et de 22,17 pour le locuteur 2). Nous constatons que c'est le locuteur 1 qui avait le plus de persévération, c'est également lui qui a le plus de retard. Il semble donc qu'il y ait un équilibre entre l'anticipation

et la persévération du débit d'air nasal. Nous trouvons 100% de carryover pour les deux locuteurs et les quatre répétitions. La mesure de la persévération du débit d'air nasal (D12) pour les trois voyelles nasales donne :

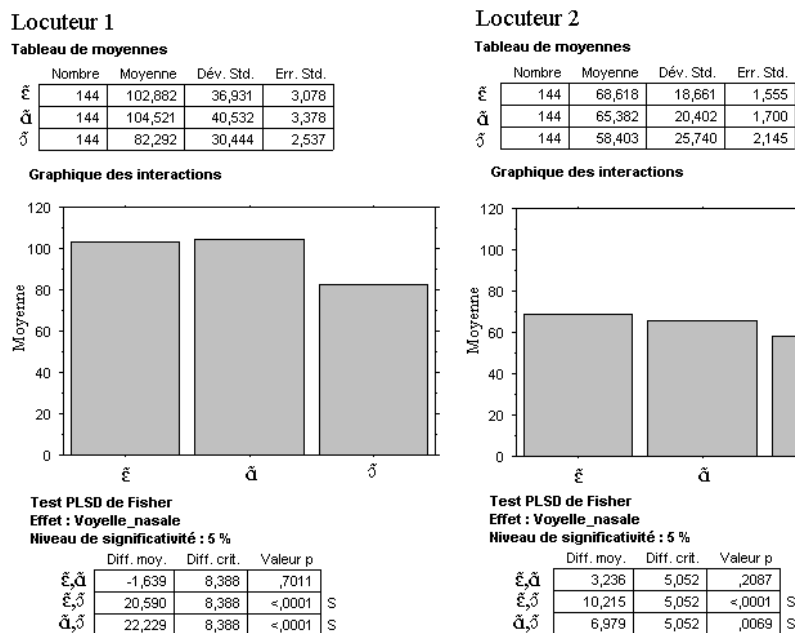


Figure 83 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

La différence constatée pour les voyelles à l'isolée est maintenue en ce qui concerne les logatomes. La voyelle nasale /ɔ̃/ est la voyelle pour laquelle il y a le moins de persévération. Ensuite les deux locuteurs n'ont pas de différence significative entre les voyelles /ɛ̃/ et /ɑ̃/. En ce qui concerne les écarts types, nous constatons qu'il y a beaucoup plus de variation pour le locuteur 1.

La mesure de la persévération du débit d'air nasal en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne :

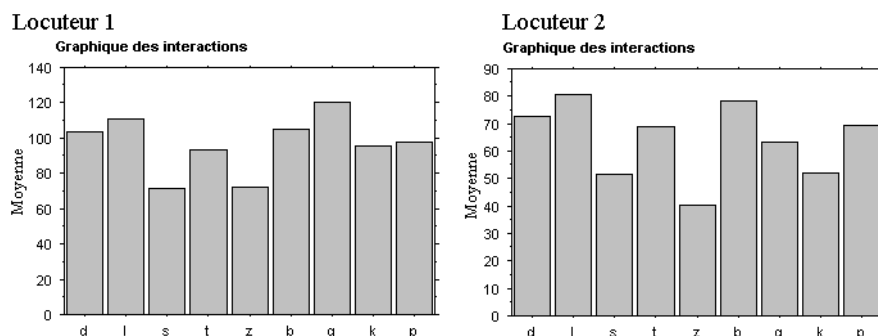


Figure 84 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁), (2 loc, n=48).

L'entourage consonantique confirme ce que nous avons trouvé pour les voyelles nasales : quand il y a peu de retard, il y a aussi peu de persévération : les fricatives ont le moins de persévération.

Répétition 1		Répétition 2		Répétition 3		Répétition 4	
Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2
s	z	s	z	z	z	s	z
z	k	z	s	s	s	z	k
p	s	k	k	t	k	t	s
k	g	t	g	k	t	d	g
t	t	d	l	d	g	l	p
b	p	p	p	b	p	p	t
g	b	b	d	p	d	b	d
d	l	l	t	l	b	k	b
l	d	g	b	g	l	g	l

Tableau 19 : Ordre d'apparition des consonnes en fonction de la persévération du débit d'air nasal constatée sur les voyelles nasales (2 loc).

Les occlusives voisées et les liquides sont les consonnes pour lesquelles il y a le plus de persévération.

Nous constatons que comme pour les mesures de l'anticipation du débit d'air nasal, il n'y a pas de différence significative en fonction de V_1 pour le locuteur 1. Pour le locuteur 2, il y a plus de persévération quand V_1 est un /a/. Tout comme pour les mesures de D6, l'entourage vocalique ne semble pas jouer un rôle déterminant dans la persévération du débit d'air nasal.

Les phrases lues :

Pour les phrases lues, nous trouvons une moyenne générale de 147,85 ms pour le locuteur 1 et 165,5 ms pour le locuteur 2. Comme pour les mesures précédentes, nous trouvons plus de persévération pour les phrases lues par rapport aux logatomes. Les écarts types sont aussi plus importants, notamment pour le locuteur 2. La persévération est plus importante pour les voyelles qui se trouvent en fin de mot.

	D12 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
Position dans le mot : intérieur	118,84	114,61
Ecart type	62,72	62,05
Position dans le mot : finale	158,62	184,4
Ecart type	92,71	228,15

Tableau 20 : Moyenne de la persévération du débit d'air nasal (D12), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues, en fonction de la position dans le mot (2 loc, n=48).

Il y a deux cas pour le locuteur 2 pour lesquels, le débit d'air nasal se termine avant la fin du phonème, il s'agit de phonèmes qui sont suivis d'une pause (cf. Figure 71).

Le corpus "spontané" :

La moyenne générale pour les énoncés spontanés est de 183,98 ms pour le locuteur 1 et de 163,25 ms pour le locuteur 2. Plus la parole est naturelle, plus il y a de la persévération. Les écarts types sont également très importants et montrent qu'il y a beaucoup de variabilité. Ceci s'explique en partie par les contextes différents. Comme pour les phrases lues, il y a plus de persévération pour les nasales en fin de mot. Nous n'avons pas trouvé de cas pour lesquels le débit d'air nasal se termine avant la fin de la voyelle.

I.B.3. Les données quantitatives

Les données quantitatives comme nous l'avons signalé dans la partie (I. p.61) sont à prendre avec précaution. Nous ne reviendrons pas sur le fait que le locuteur 2 a un débit d'air nasal nettement supérieur au locuteur 1. Pour avoir des résultats plus lisibles, nous avons converti toutes nos mesures en cm^3/s

I.B.3.i. Mesure du pic de débit d'air nasal (Q1)

Nous avons isolé la valeur du pic maximum (Q1), quand celui-ci n'existe pas, nous avons pris la valeur moyenne du plateau. Quand il y a deux pics, nous avons pris le plus important des deux.

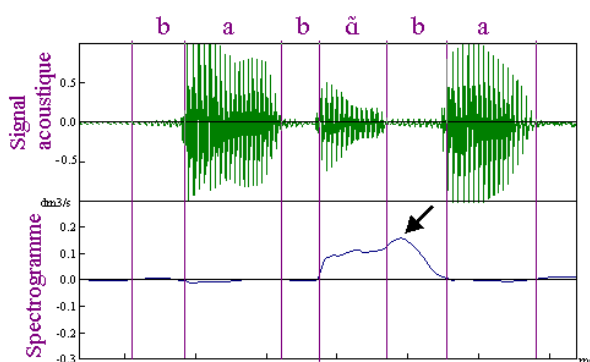


Figure 85 : Mesure du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm^3/s , pour la voyelle nasale prononcée dans le logatome /babãba/ (loc 2).

Les voyelles isolées :

	Locuteur 1	Locuteur 2
	Q1 (cm^3/s)	Q1 (cm^3/s)
ã	20	190
ɛ̃	40	220
œ̃	30	280
Moyenne Générale	30	230

Tableau 21 : Mesure du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm^3/s , pour les trois voyelles nasales à l'isolées (2 loc, n=1).

Pour les deux locuteurs, c'est la voyelle /ã/ qui a le pic de débit d'air nasal le moins important. En ce qui concerne le pic le plus important, il s'agit de /ɛ̃/ pour le locuteur 1 et /œ̃/ pour le locuteur 2.

Les logatomes :

La moyenne générale pour le locuteur 1 est de $31 \text{ cm}^3/\text{s}$ et de $197 \text{ cm}^3/\text{s}$ pour le locuteur 2. Les moyennes trouvées pour les logatomes sont proches de celles trouvées pour les voyelles à l'isolée.

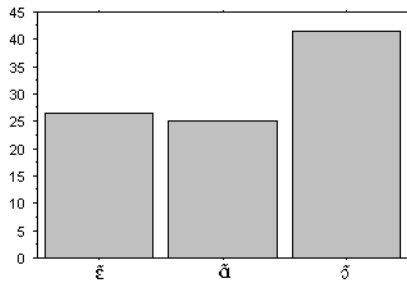
La mesure du pic de débit d'air nasal (Q1) pour les trois voyelles nasales donne :

Locuteur 1

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
ɛ̃	144	26,403	7,820	,652
ɑ̃	144	25,174	7,877	,640
ɔ̃	144	41,424	12,470	1,039

Graphique des interactions pour Q1_total



Test PLSD de Fisher

Effet : Voyelle_nasale

Niveau de significativité : 5 %

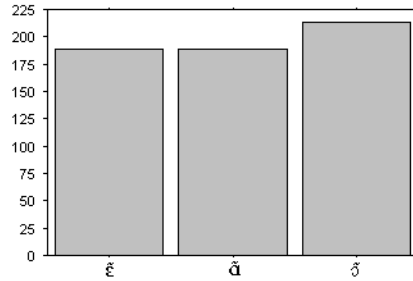
	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
ɛ̃, ɑ̃	1,229	2,220	,2771
ɛ̃, ɔ̃	-15,021	2,220	<,0001 S
ɑ̃, ɔ̃	-16,250	2,220	<,0001 S

Locuteur 2

Tableau de moyennes

	Nombre	Moyenne	Dév. Std.	Err. Std.
ɛ̃	144	188,319	63,068	5,258
ɑ̃	144	188,250	60,746	5,062
ɔ̃	144	213,674	50,571	4,214

Graphique des interactions pour Q1_total



Test PLSD de Fisher

Effet : Voyelle_nasale

Niveau de significativité : 5 %

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
ɛ̃, ɑ̃	,069	13,523	,9920
ɛ̃, ɔ̃	-25,354	13,523	,0003 S
ɑ̃, ɔ̃	-25,424	13,523	,0002 S

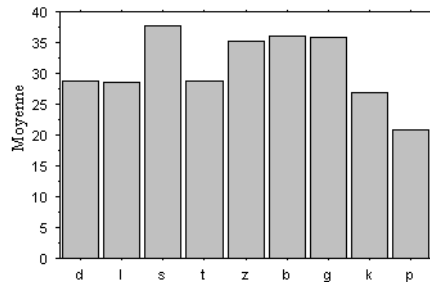
Figure 86 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Pour les deux locuteurs, la voyelle /ɔ̃/ est la voyelle pour laquelle le pic de débit d'air nasal est le plus important. Pour les deux locuteurs, il n'y a pas de différence significative entre /ɛ̃/ et /ɑ̃/.

La mesure du pic de débit d'air nasal en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne :

Locuteur 1

Graphique des interactions



Locuteur 2

Graphique des interactions

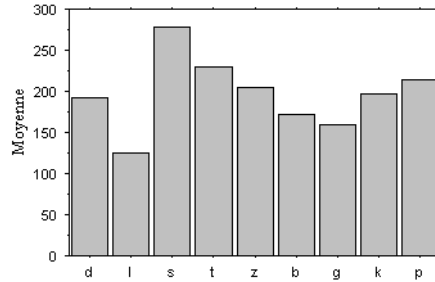


Figure 87 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=48).

Pour le locuteur 1 comme pour le locuteur 2, le pic est plus important quand C₁ est un /s/. Pour le locuteur 1, le pic minimum sera quand C₁ est un /p/ et pour le locuteur 2, quand C₁ est un /l/.

La différence en fonction de l'entourage vocalique est beaucoup moins significative qu'en fonction de l'entourage consonantique. Pour les deux locuteurs, trois voyelles ne présentent pas de différence significative entre elles. Pour le locuteur 1, le pic de débit d'air nasal est significativement différent entre /a/ et /y/ (/a/ étant la voyelle pour laquelle, la mesure de Q1 de V_t sera la plus importante). Pour le locuteur 2, le pic de débit d'air nasal est significativement différent entre /i/ et /a,u,y/ (/i/ étant la voyelle pour laquelle, la mesure de Q1 de V_t sera la plus importante).

Les phrases lues :

La moyenne générale pour le locuteur 1 est de 37 cm³/s et de 153 cm³/s pour le locuteur 2. Ces moyennes restent relativement proches des données trouvées pour les logatomes. Le style de parole ne semble pas avoir d'influence sur ce type de mesure. Les résultats pour les voyelles nasales ne concordent pas à ceux trouvés pour les logatomes.

	Locuteur 1	Locuteur 2
Moyenne pour ɛ̃	32	185
Moyenne pour ʌ̃	40	155
Moyenne pour œ̃	38	14

Tableau 22 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2loc, n=48).

Nous avons trouvé que la voyelle **ʌ̃** a le pic de débit d'air nasal le plus important pour les logatomes. Pour le corpus, il s'agit de la voyelle **/ʌ̃/** pour le locuteur 1 et **/ɛ̃/** pour le locuteur 2 lu. Il n'y a pas de différence en fonction de la position de la voyelle dans le mot.

Le corpus "spontané" :

Avec une moyenne de 96 cm³/s pour le locuteur 1, nous pouvons dire qu'en parole spontanée ce sujet augmente considérablement son débit d'air nasal. Le locuteur 2 quant à lui avec 121 cm³/s diminue son débit d'air nasal en parole spontanée. Les résultats pour les voyelles nasales sont :

	Locuteur 1 (cm ³ /s)	Locuteur 2 (cm ³ /s)
Moyenne pour ɛ̃	91	98
Moyenne pour ʌ̃	100	128
Moyenne pour œ̃	93	126

Tableau 23 : Moyenne du pic de débit d'air nasal (Q1), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales dans le corpus "spontané" (loc 1, n=58 & loc 2, n=79).

Ces mesures confirment que la voyelle **ʌ̃** est la voyelle pour laquelle le pic de débit d'air nasal est le plus important, ce qui ne correspond pas à ce que nous trouvons pour les logatomes, mais pour les phrases lues. Ensuite dans l'ordre pour les deux locuteurs nous trouvons **œ̃** et **ɛ̃**. Les deux locuteurs ont une stratégie opposée. L'un va augmenter sa quantité de débit d'air nasal en parole spontanée alors que l'autre va la diminuer.

I.B.3.ii. Mesure moyenne du débit d'air nasal (Q2)

Nous avons mesuré la moyenne de débit d'air nasal durant la voyelle cible. Nous aurions pu prendre la mesure de l'intégrale mais les données fournies par Phonedit, du fait de l'échelle et de l'arrondissement, sont très petites et n'auraient pas fourni une distinction suffisante pour être commentées.

Les voyelles isolées :

Pour les voyelles isolées, nous obtenons les valeurs suivantes :

	Locuteur 1	Locuteur 2
	Q2 (cm ³ /s)	Q2 (cm ³ /s)
æ	13	88
ɛ	11	64
ø	21	134
Moyenne Générale	15	95

Tableau 24 : Mesure de la moyenne de débit d'air nasal (Q2) en cm³/s, pour les trois voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

La voyelle /ɛ/ est la voyelle avec le minimum de débit d'air nasal, la voyelle de /ø/ celle qui a le maximum de débit d'air nasal, pour les deux locuteurs.

Les logatomes :

La moyenne générale pour le locuteur 1 est de 13,35 cm³/s et de 99,27 cm³/s. La moyenne de débit d'air nasal (Q2) pour les trois voyelles nasales donne :

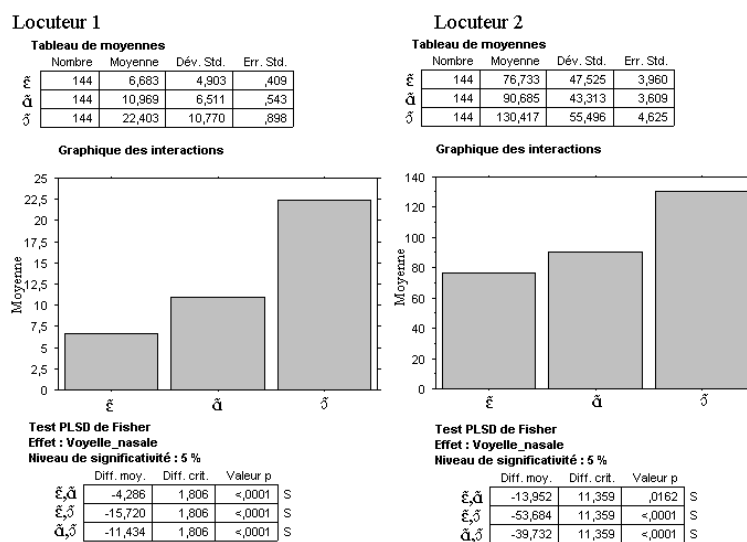


Figure 88 : Moyenne de la moyenne du débit d'air nasal (Q2), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Nous confirmons avec les logatomes, les résultats trouvés pour les voyelles isolées. La voyelle /ø/ a une moyenne de débit d'air nasal supérieure aux deux autres voyelles. La voyelle /ɛ/ est la voyelle pour laquelle il y a le moins de débit d'air nasal. La différence entre les trois voyelles nasales est significative. La moyenne du débit d'air nasal en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne :

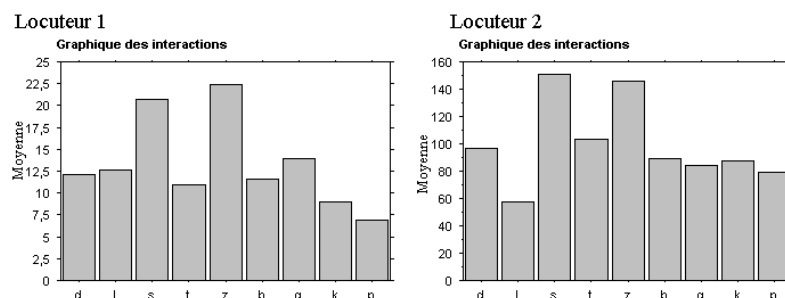


Figure 89 : Moyenne de la moyenne du débit d'air nasal (Q2), en cm³/s, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=48).

Nous constatons que pour les deux locuteurs, deux consonnes se détachent : les deux fricatives. Quand la voyelle nasale est dans l'entourage C_1 /z,s/, son débit d'air nasal sera plus important. Les autres mesures ne sont pas très différentes les unes des autres. Le débit d'air nasal de la voyelle sera le moins important quand C_1 sera un /p/ pour le locuteur 1 et un /l/ pour le locuteur 2.

En fonction de l'entourage vocalique (V_1), nous constatons qu'il n'existe pas de différence significative de la moyenne de débit d'air nasal pour le locuteur 1. Pour le locuteur 2, la moyenne de débit d'air nasal est plus grande lorsque V_1 est un /i/, et moins importante quand V_1 est un /a/.

Les phrases lues :

Les mesures quantitatives de la moyenne de débit d'air nasal donnent une moyenne de 19,47 cm³/s pour le locuteur 1 et 79,91 cm³/s pour le locuteur 2. Le locuteur 1 a un débit d'air nasal supérieur pour le corpus phrases lues que pour les logatomes. C'est l'inverse pour le locuteur 2. En ce qui concerne le locuteur 1, nous retrouvons exactement la même distinction entre les voyelles nasales. Par contre, nous ne la retrouvons pas pour le locuteur 2, la voyelle /ɛ/ étant celle avec la moyenne de débit d'air nasal la plus importante par rapport aux deux autres voyelles. Il n'y a pas de différence en fonction de la position de la voyelle dans le mot pour les deux locuteurs.

Le corpus "spontané" :

Avec une moyenne de 62,82 cm³/s pour le locuteur 1, nous confirmons le résultat trouvé pour la mesure du pic de débit d'air nasal. Le locuteur 1 a un débit d'air nasal beaucoup plus important en parole spontanée qu'en parole lue. Le locuteur 2, à l'inverse avec une moyenne de 66,46 cm³/s, a un débit d'air nasal moins important en parole spontanée. Contrairement au corpus lu, pour les deux locuteurs, nous trouvons que la voyelle /ɛ/ est celle pour laquelle le débit d'air nasal est le moins important, et ceci pour les deux locuteurs. Ensuite il n'y a pas réellement de différence entre /ɛ/ et /œ/ pour les deux locuteurs. Nous avons également trouvé une différence en fonction de la position de la voyelle dans le mot. Pour les deux locuteurs, la voyelle nasale aura un débit d'air nasal moins important si elle se trouve à la fin du mot.

I.B.3.iii. Mesure du flux d'air nasal proportionnel (Q3)

La mesure du flux d'air nasal proportionnel consiste à faire le rapport entre l'air qui sort par le nez et l'air qui sort par la bouche (cf.I.D. p.32). Nous avons mis la mesure en pourcentage pour que celle-ci soit plus lisible.

Les voyelles isolées :

La mesure du flux d'air nasal proportionnel pour les voyelles nasales prononcées à l'isolée donne les résultats suivants :

	Q3 (%)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ɛ	64%	86%
ɛ	43%	86%
œ	88%	92%
Moyenne	65%	88%

Tableau 25 : Mesure du flux d'air nasal proportionnel (Q3), en %, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Nous confirmons que la voyelle /œ/ est la voyelle la plus "nasale" des trois voyelles pour les deux locuteurs et /ɛ/ la moins "nasale" pour le locuteur 1.

Les logatomes :

Les mesures du flux d'air nasal proportionnel donnent exactement les mêmes tendances que les résultats trouvés pour les mesures de la moyenne de débit d'air nasal. A savoir que pour les deux locuteurs, la voyelle *œ* est la voyelle la plus nasale. Celle-ci sera prononcée avec un maximum de débit d'air nasal et un minimum de débit d'air oral. Et inversement, pour les deux locuteurs, la voyelle *e* est la voyelle la moins nasale, elle sera prononcée avec un minimum de débit d'air nasal et un maximum de débit d'air oral.

La mesure du flux d'air nasal proportionnel en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

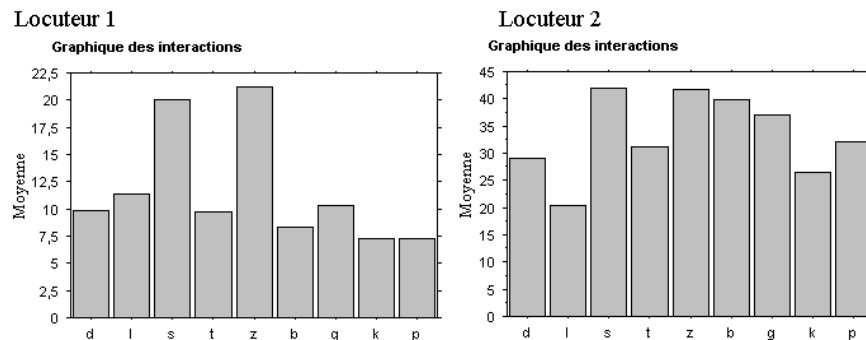


Figure 90 : Moyenne du flux d'air nasal proportionnel (Q3), en %, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=48).

Les mêmes résultats sont trouvés pour les deux locuteurs : les fricatives impliquent que la voyelle nasale est plus nasalisée.

Les phrases lues et le corpus "spontané" :

La mesure du flux d'air nasal proportionnel reprend ici aussi les mêmes distinctions que la mesure de la moyenne de débit d'air nasal (Q2). Ce qui implique qu'à quantité égale, plus l'air passe par le nez moins il passe par la bouche.

I.C. Discussion

Les tracés de débit d'air nasal différents selon l'entourage consonantique. - Cohn en 1990 et Delvaux en 2003 décrivent des contours de débit d'air nasal différents selon l'entourage consonantique (Cohn, 1990 ; Delvaux, 2003 p.55). A contextes similaires, nous trouvons des tracés semblables : pour $V_n + C_{[occlusive]}$, le pic apparaît en fin du débit d'air nasal. Par contre en ce qui concerne, le contexte $C_{[occlusive]} + V_n$, Delvaux n'indique pas la possibilité d'avoir un pic au début. Nous expliquons les différences trouvées par des items différents. En ce qui concerne le corpus de Delvaux (2003) tout comme celui de Cohn (1990) les items choisis ne donnaient pas de contexte plus éloigné que C_1 , (exemple de mots extraits du corpus de Delvaux : pain, pont, thon...) (Delvaux, 2003 p.20 ; Cohn, 1990). Notre corpus est en plus encerclé avec un contexte V_1 , la coarticulation a peut-être joué un rôle important, les articulateurs comme la langue ne partent pas de la même position si l'on prononce seulement /pœ/ ou si l'on prononce /pipœpi/.

Le débit d'air nasal interfère sur le débit d'air oral. - Dès l'apparition du débit d'air nasal, le schéma canonique du débit d'air oral est modifié. Globalement, l'apparition du débit d'air nasal implique une diminution du débit d'air oral. Pour les occlusives, nous avons trouvé quatre schémas possibles du débit d'air oral à l'apparition du débit d'air nasal :

?? Le débit d'air nasal, contraint par la pression intra-orale, ne peut pas avoir lieu au moment de l'explosion, il commence après celle-ci : (cas le plus fréquent)

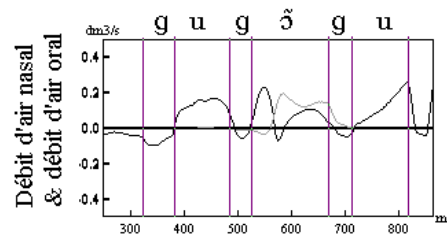


Figure 91 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /gugũ/ (loc 2).

?? Le débit d'air nasal commence en même temps que le débit d'air oral, il entraîne du même coup une atténuation de la pression intra-orale, l'explosion, caractérisée par un pic de débit d'air oral au début de la voyelle est affaiblie.

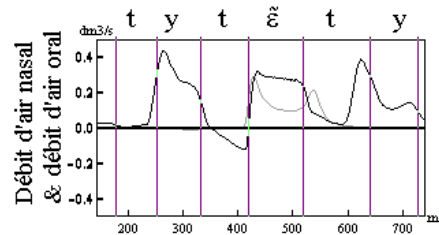


Figure 92 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /tytũ/ (loc 2).

?? Le débit d'air nasal commence avant l'explosion, pendant la phase de fermeture, l'air passe complètement par le nez, et l'explosion attendue au début de la voyelle, indication de l'explosion de la consonne, est remplacée par un débit d'air oral négatif :

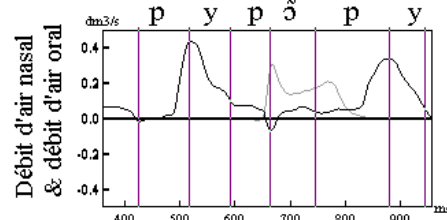


Figure 93 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /pypũ/ (loc 2).

?? Nous n'avons pas trouvé d'explication concernant le dernier schéma, l'air sort en même temps par le nez et par la bouche, l'atténuation dans le conduit vocal est faible et permet de maintenir l'explosion de la consonne. Ce schéma va à l'encontre de la théorie sur les contraintes aérodynamiques évoquées en introduction :

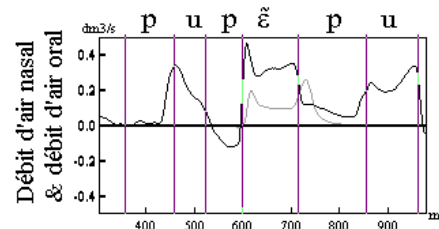


Figure 94 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /pupũ/ (loc 2).

Ce schéma n'est pas le plus souvent observé dans notre corpus (5 cas), mais il soulève une supposition selon laquelle une consonne occlusive peut être produite avec une explosion et un port vélo-pharyngé ouvert. Trois des cas concernent les occlusives sonores, il est possible de

produire une occlusive sonore avec une petite ouverture vélo-pharyngée pour favoriser le voisement (Ohala, 1975). Il est donc probable que l'ouverture vélaire ait été suffisante pour que l'air passe dans le conduit nasal. La question reste entière pour les deux occlusives sourdes. Le tracé EGG ne montre pas de vibration glottique durant la consonne, les vibrations commencent avec la voyelle. Tous les cas que nous avons observés concernent la voyelle nasale /ɛ/, pour le locuteur 1, il s'agit de la voyelle qui en moyenne a le plus important retard de débit d'air nasal. C'est aussi la voyelle qui nécessite la plus grande ouverture vélaire, notre hypothèse est que le velum a une ouverture vélaire suffisamment importante pour que l'air passe par le conduit nasal, et la faible résistance labiale permet à l'air de passer également par la bouche.

Existence de débit d'air nasal sur le premier phonème d'une phrase.- La nasalisation du premier et du dernier segment de la phrase n'a pas, à priori, de statut phonologique. Le phénomène de pré-phonation peut s'expliquer ainsi ; lors de l'élan respiratoire l'air pénètre dans les poumons par la trachée, la représentation est faite à la Figure 49, où il y a une grande partie très largement négative au niveau du débit d'air nasal qui représente le moment où l'air est aspiré. Pendant la phonation, l'air parcourt le chemin inverse pour aborder le larynx avec une pression et une vitesse réglées en fonction de la voix à produire (Le Huche *et al.*, 2001 p.14). Pour que l'air qui vient du nez, parte jusqu'aux poumons, il faut nécessairement que le port vélo-pharyngé soit ouvert, et au vu de la Figure 50, le velum n'est pas complètement refermé au début de la phonation (II.D.1.i. p.125). Puis il remonte pour produire le premier phonème de la phrase. La force mise pour la production du phonème, augmente l'impédance dans le conduit vocal. Le velum en se refermant, permet à une partie de l'air compris dans le conduit vocal de passer par le conduit nasal.

Existence de débit d'air nasal à la fin du dernier phonème de la phrase.- Le phénomène de post-phonation : Bell-Berti (1976) indique que la position naturelle du velum est la position relâchée. Le velum s'ouvre logiquement en fin de phonation. L'air restant dans le conduit vocal peut alors être expulsé par le conduit nasal, le conduit buccal ou les deux conduits.

Durée des voyelles nasales.- La durée vocalique en français comme dans d'autres langues a été très largement étudiée, pour ne citer que (Delattre, 1966 ; Durand, 1946 ; Rousselot, 1891) pour le français. Nos résultats sont en accord avec les leurs. Notamment, nous trouvons que les voyelles nasales ont une durée acoustique plus importante que les voyelles orales. Nous trouvons également que les voyelles nasales ont tendance à être plus courtes en parole spontanée, ceci est en accord avec les études de (Koopmans-Van Beinum *et al.*, 1989 ; Van Bergem *et al.*, 1989) pour le hollandais ou encore (Duez, 2001) pour le français : les voyelles sont caractérisées par une grande élasticité qui les rend particulièrement sensibles aux variations de vitesse de parole. En ce qui concerne leur réduction en parole spontanée, c'est le résultat de ce que Rousselot appelle la loi du moindre effort (Rousselot, 1891) qui peut être définie comme une réduction des gestes articulatoires. Les gestes articulatoires ne sont pas tous réduits avec la même ampleur, cela dépendra de la nature du mot, (Van Bergem *et al.*, 1989) trouvent par exemple que les mots de fonctions sont plus courts que les mots lexicaux. Ou encore (Koopmans-Van Beinum *et al.*, 1989) montrent que les mots nouveaux seront plus longs et produits avec plus de clarté que les mots qui apparaissent plusieurs fois. Il existe une différence de durée du phonème par rapport à sa position dans le mot. Dans cette étude, nous avons montré que les voyelles nasales sont plus longues quand elles se trouvent à la fin du mot ; nous confirmons en cela les résultats de (Fougeron, 1998).

Corrélation entre la durée du phonème et la durée totale du débit d'air nasal.- Il est intéressant de constater que la durée totale du débit d'air nasal (D3) va dans le même sens que la durée acoustique du phonème (D1). Nous nous sommes donc demandée si D3 n'est pas en corrélation avec D1 :

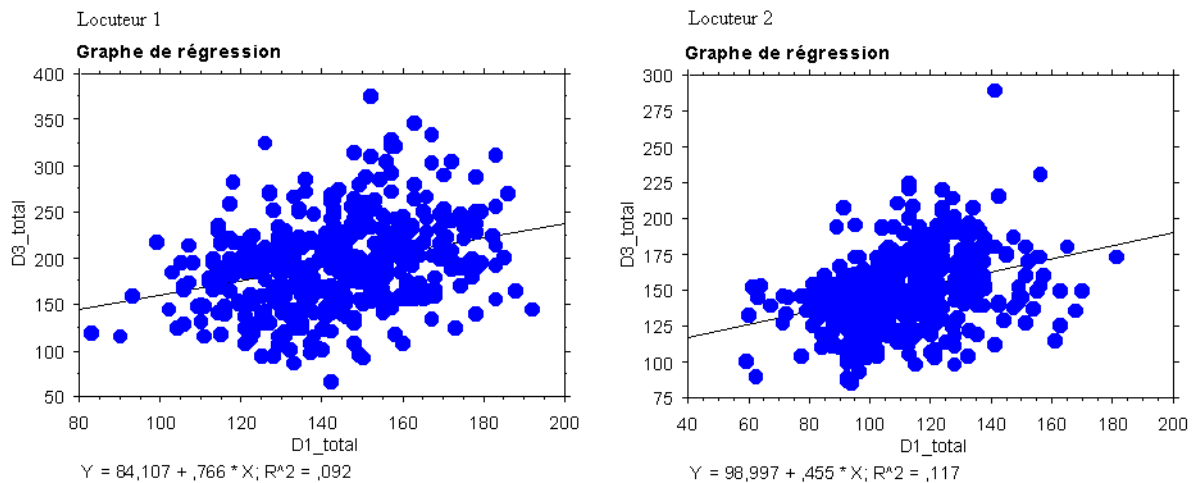


Figure 95 : Graphiques de régression de la durée du phonème en fonction de la durée totale de débit d'air nasal toutes voyelles confondues pour les logatomes (2 loc).

Bien que les deux graphiques de régression montrent de beaux nuages de points, avec un coefficient de corrélation de 0,376 pour le locuteur 1 et de 0,309 pour le locuteur 2, il n'est pas possible de dire qu'il existe une corrélation entre les deux. Le coefficient du locuteur 2 étant un peu plus proche de zéro, la corrélation est un peu meilleure. Même si la corrélation n'est pas parfaite, nous ne pouvons pas nous empêcher de penser que la durée acoustique (D1) joue un rôle sur la durée du débit d'air nasal (D3) en parole lue:

- ?? la différence de D1 entre les deux locuteurs est maintenue pour D3
- ?? la différence de D1 observé sur V₁ (/a/) est maintenue pour D3
- ?? la différence de D1 observée sur C₁ ([consonne sourde]) est maintenue pour D3.

Cette différence n'apparaît pas en parole "spontanée", la durée acoustique est moins importante que pour les phrases lues, et pourtant la durée de débit d'air nasal est bien supérieure à celle trouvée en parole lue.

Un retard important du débit d'air nasal pour les voyelles.- Nos données en parole lue indique que le débit d'air nasal commence bien après le début acoustique de la voyelle. Ce retard dépend de l'entourage consonantique, il sera plus important pour les occlusives que pour les fricatives. Le retard est moins important quand la parole est moins contrôlée, jusqu'à être remplacé exclusivement par de l'anticipation. La majorité de nos tracés montre que l'apparition du débit d'air nasal a lieu après la phase d'explosion de la consonne. En ce qui concerne les fricatives :

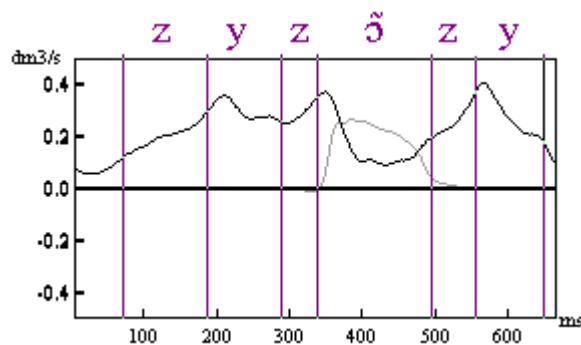


Figure 96 : Débit d'air oral (trait foncé) et débit d'air nasal (trait clair) pour le logatome /zyzzyzzy/ (loc 2).

Les tracés de débit d'air montrent que dès que le débit d'air oral diminue, le débit d'air nasal augmente.

Ohala *et al.* (1993) stipule qu'une forte pression intra-orale empêche le passage de l'air par le conduit nasal (Ohala *et al.*, 1993). Pour être produits, les phonèmes comme les occlusives ont besoin d'une augmentation de la pression importante, celle-ci, dans le conduit oral va bloquer l'ouverture du vélo-pharynx (Ohala, 1975). Il devrait donc y avoir un maximum de retard de débit d'air nasal quand ces consonnes précèdent une voyelle nasale. Cette théorie se vérifie dans la plupart des cas, mais il faut l'associer à d'autres phénomènes physiologiques. En effet, nous constatons du retard de débit d'air nasal quand la voyelle nasale est précédée par un /l/, ou même par une voyelle. La pression dans le conduit vocal n'est pas le seul phénomène qui explique la non assimilation nasale. Nos résultats confirment qu'il y a une corrélation entre la résistance dans le conduit oral et le passage de l'air dans le conduit nasal. La résistance à l'intérieur du conduit nasal est modifiée en partie par l'ouverture de la bouche. Plus il y a de résistance dans le conduit oral plus l'air passera par le conduit nasal. Inversement, si beaucoup d'air peut passer par la bouche, il y en aura d'autant moins par le conduit nasal. La résistance dans le conduit nasal peut se trouver à différents endroits dans celui-ci : pour la voyelle /ø/ la résistance se situe au niveau labial, les lèvres plus fermées pour cette voyelle, par rapport aux autres, augmentent la résistance dans le conduit nasal.

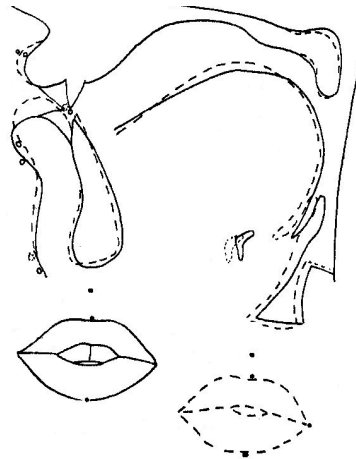


Figure 97 : Coupe sagittale et position des lèvres pour la prononciation des voyelles nasales /ɔ/ (ligne pleine) et /ø/ (ligne pointillée), (Bothorel *et al.*, 1986 p.144).

La résistance de l'air peut se retrouver également au niveau dental, ce qui peut expliquer la différence d'anticipation de débit d'air nasal que nous retrouvons entre les fricatives et les occlusives. Il existe une résistance durant la production des fricatives. Cette résistance à l'air permet, quand l'ouverture du velum est suffisante, que l'air s'échappe plus rapidement par le conduit nasal.

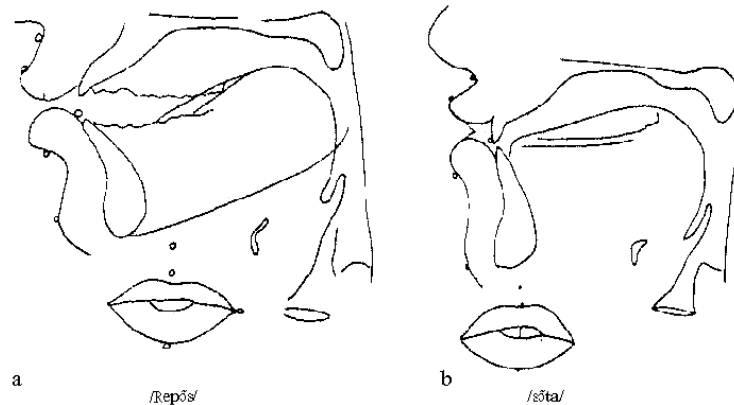


Figure 98 : Coupe sagittale et position des lèvres prise au début de la production de la voyelle nasale /ø/ entourée des consonnes /p/ (a) et /s/ (b) (Bothorel *et al.*, 1986 p.120 et 121). Mettre une explication avec la fermeture de et remettre l'explication.

Ohala (1975) explique que l'anticipation de la nasalité est fréquente du fait qu'il faut un temps minimum (50 ms) au velum, pour avoir une ouverture suffisante afin que l'air passe par le conduit nasal. Une anticipation systématique ou une persévérance d'assimilation est considérée comme un développement spécifique du langage (Ohala, 1975 p.302). Ohala indique que l'assimilation de la position vélaire est anticipante, bien que l'assimilation préservatrice n'est pas rare, et qu'elle peut se propager sur les mots en entier. L'anglais a les deux : anticipation et persévérance (Ohala, 1971). Ohala ne tient compte que des consonnes nasales.

Une persévérance importante du débit d'air nasal pour les voyelles.- Nous trouvons du débit d'air nasal après la voyelle nasale. Ce débit d'air nasal dépend de l'entourage consonantique et sera plus important pour les occlusives que pour les fricatives. Durand (1936) indique que la nasalité d'une voyelle se propage sur l'occlusive qui suit (Durand, 1936). Il s'agit selon elle d'un phénomène récent puisque Rousselot trouve une grande rigidité d'articulation en ce qui concerne les consonnes française (Rousselot, 1897). Selon Rousselot, les voyelles nasales "ne sont suivies d'aucune consonne nasale". Nos résultats sont en accord avec ceux de Durand (1936), toutes nos occlusives sont produites avec une partie nasalisée. Le débit d'air nasal diminue progressivement et disparaît complètement quand le débit d'air oral apparaît. Comme Durand (1936), nous trouvons que l'explosion de la consonne est protégée de la nasalisation. Durant la parole, le passage de l'air par le nez nécessite un effort supplémentaire. Nos tracés montrent bien que le passage de l'air est facilité quand la bouche est fermée. Il n'est donc pas étonnant de trouver de l'air nasal durant la phase de fermeture de la consonne.

La persévérance du débit d'air nasal est corrélée au voisement.- Le débit d'air nasal va stopper quand le voisement s'arrête. Nos données montrent qu'il est plus difficile de stopper le voisement pour une occlusive que pour une fricative, quand elles suivent une nasale. De ce fait, le débit d'air nasal continue durant le voisement. Il est difficile de déterminer si c'est le débit d'air nasal qui implique le voisement, ou si c'est le voisement qui implique le débit d'air nasal. La fuite nasale et l'élévation du velum permet de maintenir un flux transglottique et facilite le voisement, la consonne n'est pas pour autant perçue comme nasalisée (Bell-Berti *et al.*, 1975a ; Kuenzel, 1977b). Nous pensons au vu de nos données que c'est le débit d'air nasal qui implique le voisement.

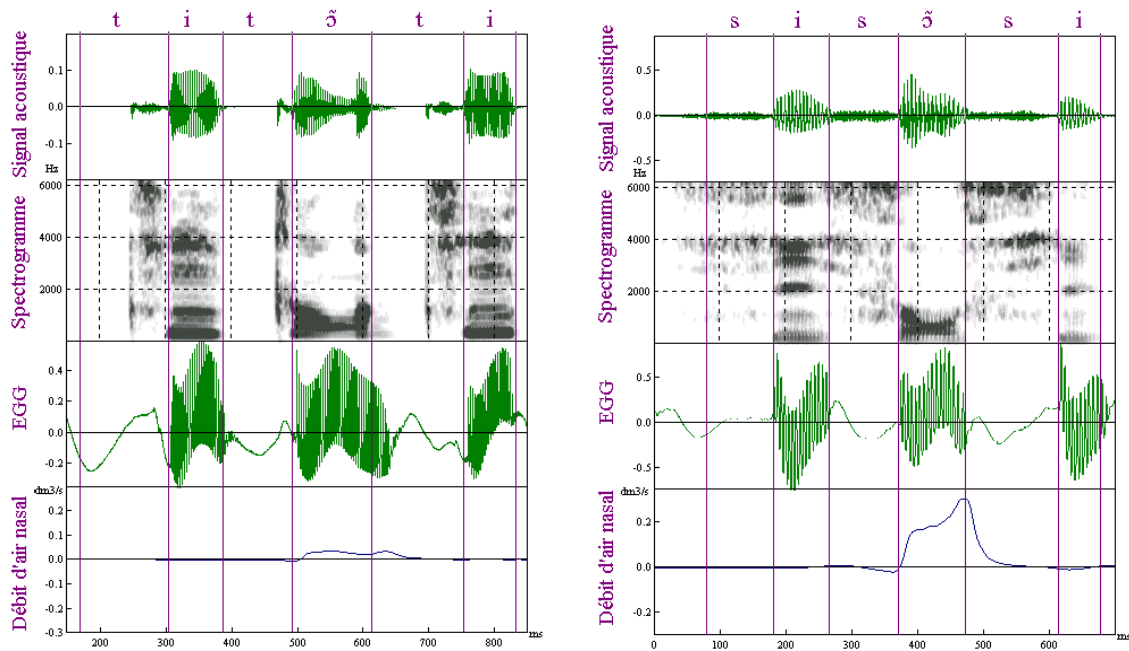


Figure 99 : Corrélation entre la fin du débit d'air nasal et la fin des vibrations glottiques. Exemple avec les logatomes /tit/ (loc 1) et /sis/ (loc 2).

Le voisement que nous trouvons après les occlusives sourdes a été observé dans plusieurs langues du monde : un patron phonétique montre que les obstruantes non voisées apparaissent comme voisées quand elles sont précédées d'une nasale (Ferguson, 1975). Ce phénomène est facilité par les contraintes nécessaires pour obtenir le voisement (Hayes *et al.*, 2000) :

- ?? Le voisement est favorisé si le pharynx est agrandi durant la formation de l'obstruante
- ?? Quand la pression sous-glottique est faible, la pression est réduite et le non voisement est favorisé (utilisation des obstruantes sourdes en position finale)
- ?? Les obstruantes voisées et aspirées sont difficiles à obtenir du fait du couplage entre les mouvements des cordes vocales et leurs vibrations
- ?? L'élévation du velum peut favoriser le voisement de la consonne. Il y aurait une relation entre la taille de l'ouverture du port vélo-pharyngé et la hauteur du velum. L'hypothèse de Bell-Berti (1975) est que le voile du palais peut se déplacer même s'il est fermé, et modifier ainsi la taille de la cavité orale, et donc influencer le voisement (Bell-Berti, 1975).

Hayes indique qu'il n'y a pas toujours du voisement après une nasale. Ce que nous confirmons dans nos données, dans ce cas là, en parole lue, le débit d'air nasal a une faible persévération. Par contre, en parole spontanée, il est possible d'avoir une forte persévération (ou anticipation?) avec des consonnes non voisées sans que pour autant qu'il y ait de vibration glottique :

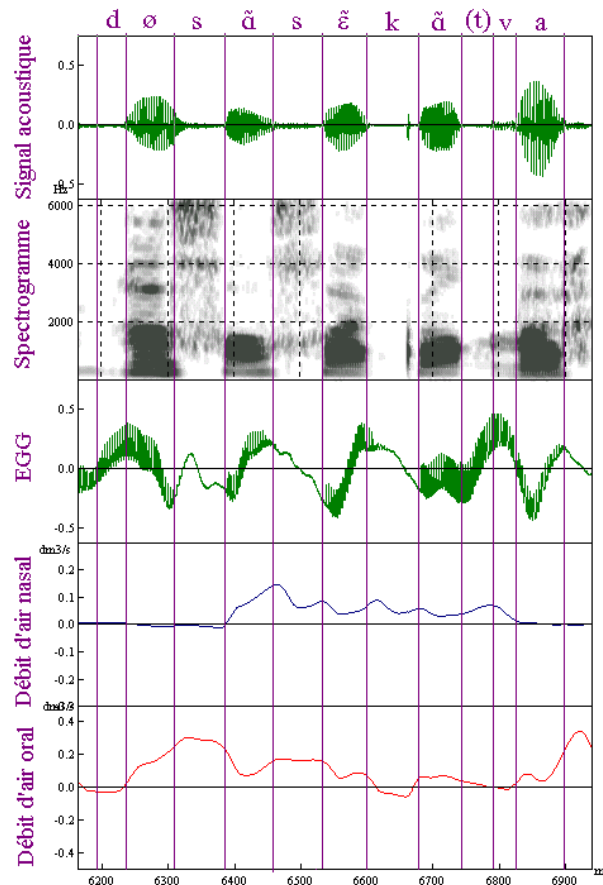


Figure 100 : Propagation du débit d'air nasal sur un segment non voisé en parole spontanée : "...deux cent cinquante va..." (loc 1)

Le principe d'oralité de la consonne n'est pas universel et entre deux segments nasals, elle peut perdre une partie de ces indices en français. Dans la Figure 100, le /t/ a perdu son caractère sourd et oral.

Plus la parole est relâchée, plus la propagation nasale est importante.- Dans la Figure 100, nous avons du débit d'air nasal qui se propage sur une occlusive sourde qui reste sourde ([k]), et du débit d'air nasal qui se propage sur une occlusive sourde qui est voisée et dont l'explosion a disparue ([t]). Dans l'exemple, à l'oreille, nous percevons un phonème qui semble être un [t]. La parole spontanée semble aller à l'encontre des contraintes aérodynamiques. Moins la parole est contrôlée, plus la propagation de la nasalité est importante. Nous confirmons en cela les données trouvées par Basset *et al.* en 2001 (Basset *et al.*, 2001). Nous avons trouvé de cas de nasalisation spontanée, la plupart du temps sur des fricatives. Ohala (1975) explique qu'une fuite vélaire diminue la pression orale, l'air à la constriction n'arrive pas avec suffisamment de vélocité pour créer les perturbations nécessaires à la perception de la fricative (Ohala, 1975). Nous avons trouvé une majorité de fricatives avec du débit d'air nasal en parole spontanée. Il semble au vu de nos données qu'une fuite vélaire n'est pas incompatible à la production d'une fricative non voisée, en tout cas elle conserve son caractère non voisé alors que l'ouverture vélaire devrait diminuer la pression orale, et du même coup favoriser le voisement (si la pression sous-glottique est supérieure). Rousselot (1897) s'étonne que Le Président de Brosses classe les consonnes /s/ parmi les nasales (Rousselot, 1897). Pourtant en parole spontanée, ces consonnes peuvent être produites avec du débit d'air nasal.

Un phonème qui a plus de persévération a aussi plus de retard.- Nous trouvons en ce qui concerne les logatomes qu'un phonème qui nécessite moins de retard, aura nécessairement moins de persévération. Ceci sous-entend qu'il y a un phénomène de compensation pour avoir un débit d'air nasal constant. Notre hypothèse est que pour être perçue comme nasale la voyelle a besoin d'un débit d'air nasal minimum ; ensuite en fonction de l'entourage de la voyelle et de la voyelle elle-même, le débit d'air nasal sera calé soit au début, soit à la fin de la voyelle.

Coarticulation nasale longue distance en parole spontanée.- Les exemples de persévérations trouvés en parole "spontanée" remettent en cause la théorie de l'assimilation selon laquelle le français serait une langue avec une coarticulation minimum. Dans la séquence "...effectivement demandé..." quatre phonèmes oraux sont prononcés avec du débit d'air nasal :

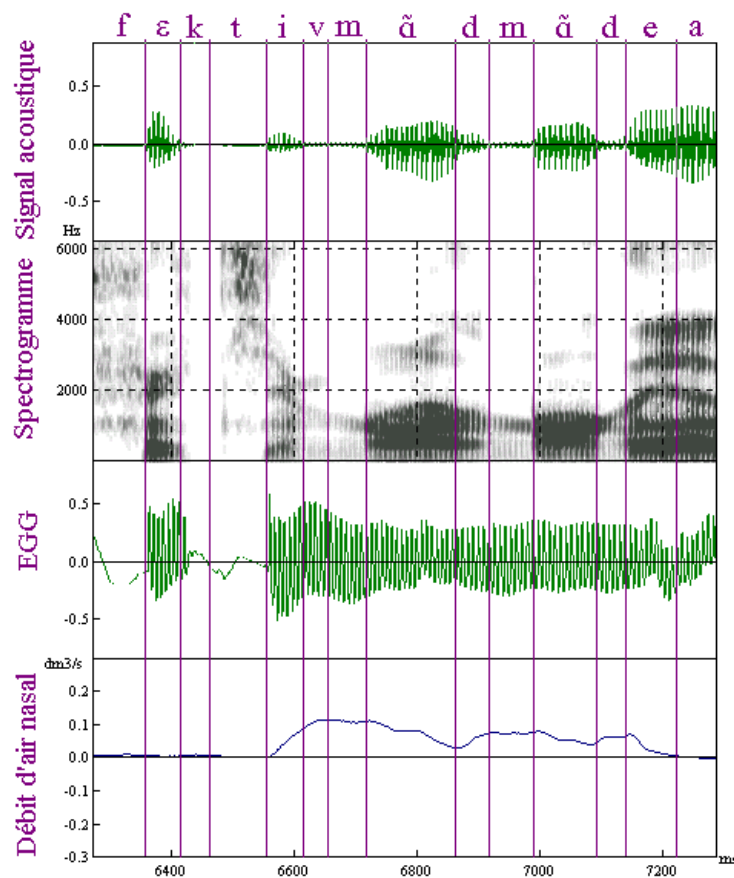


Figure 101 : Exemple d'assimilation nasale sur des occlusives et des fricatives sonores pour la phrase "...effectivement demandé à des gens..." (loc2).

Dans cet exemple, l'explosion pour les occlusives n'a pas eu lieu. Le spectrogramme montre que ces consonnes sont produites avec des formants. La consonne fricative est produite sans débit d'air oral, le spectrogramme ne montre pas de friction. A l'oreille, nous entendons qu'il y a un son entre le /i/ et le /m/ mais s'agit-il réellement d'une fricative ? La coarticulation nasale est effectivement sur les trois consonnes orales.

En français, la propagation du débit d'air nasal pour les voyelles nasales est plus progressive que régressive.- Les phonèmes les plus à même de bloquer la nasalisation dans un sens régressif sont les occlusives non voisées, et les fricatives dans le sens progressif. Pour les voyelles nasalisées en anglais, il y a une plus grande assimilation de nasalisation si la consonne nasale est derrière plutôt que si elle précède la voyelle (Ohala, 1971). Il y a donc

une différence entre les deux langues. Il y a aussi une distinction à faire entre l'anticipation des mouvements vélares, et l'anticipation du débit d'air nasal. Il se peut, nous le verrons dans la partie II.D.2.iii. p.136 qu'il y ait effectivement une anticipation de l'ouverture du port vélo-pharyngé, et pourtant du fait des contraintes de pression imposées par l'entourage phonémique, le débit d'air nasal ne puisse pas être anticipé.

La frontière syllabique ne bloque la persévération de la nasalité.- Nous sommes en accord avec les travaux de Fougeron (1996-1998), il y a une différence de débit d'air nasal selon la position de la voyelle nasale dans le mot (Fougeron, 1996 ; Fougeron, 1998 ; Fougeron *et al.*, 1996). Cette différence concerne la persévération et non l'anticipation.

Dénasalisation des mots de fonction et des mots répétés plusieurs fois dans le corpus.- Pour la parole lue, nous avons trouvé des cas où il n'y avait pas de débit d'air nasal. Les voyelles nasales touchées sont toutes entre deux occlusives sourdes. En parole spontanée, nos cas de dénasalisation concerne les mots de fonction comme "ben" et "enfin" et les mots répétés plusieurs fois. La dénasalisation se comporte comme la réduction des phonèmes en parole spontanée.

Les données observées sur les débits ont moins de différences interlocuteur que les données temporelles.- La différence en terme de débit entre les deux locuteurs est importante. Par contre, il est intéressant de constater que les tendances sont les mêmes pour les deux locuteurs, pour les voyelles nasales et pour l'entourage consonantique. Alors que nous ne voulions pas comparer les locuteurs entre-eux, nous sommes forcée de constater qu'il n'existe quasiment pas de différence interlocuteur (bien évidemment pas en mesure absolue).

L'impédance dépend de l'aperture buccale et/ou la résistance labiale.- La voyelle /ɛ/ est la voyelle qui pour les deux locuteurs a le moins de débit d'air nasal. Les données de Bothorel *et al.* (1986) montrent une ouverture labiale pour /ɛ/ est peu importante en comparaison de celle de /ɔ/, l'ouverture de /ɔ/ est quant à elle très grande.

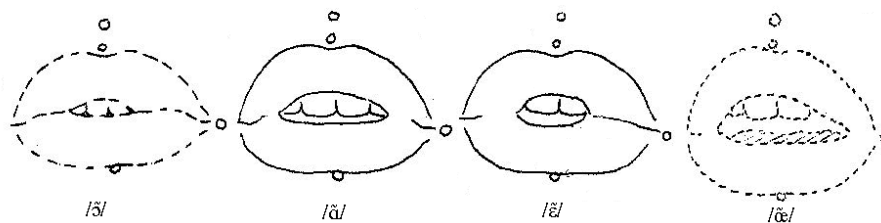


Figure 102 : Degrés d'ouverture de la bouche pour les quatre voyelles nasales (la mesure a été faite au milieu de la voyelle), (Bothorel *et al.*, 1986 p.142).

Les quelques mesures vidéos que nous avons prises de mouvements des lèvres de nos deux locuteurs montrent que la production de la voyelle /ɛ/ n'est pas celle trouvée par Bothorel *et al.*, elle est plus proche de /ɔ/ (cf. Figure 102) :

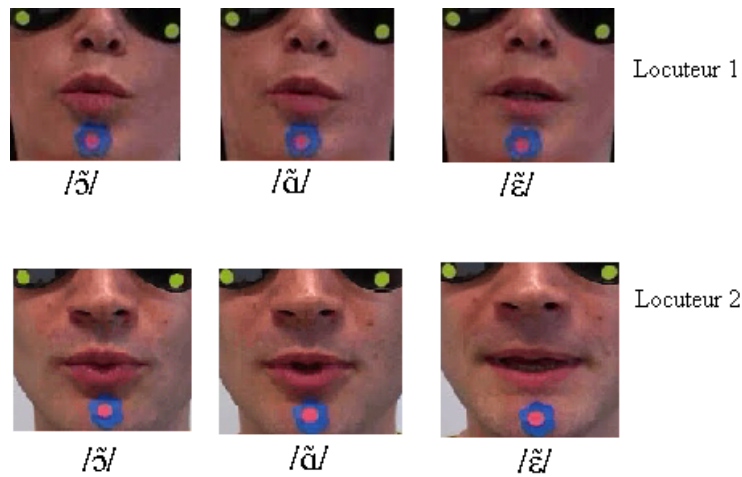


Figure 103 : Degrés d'ouverture labiale pour les trois voyelles nasales pour les deux locuteurs (la mesure a été faite au milieu de la voyelle).

Nos deux locuteurs ont une ouverture labiale plus importante pour produire la voyelle /*ɛ̃*/ par rapport aux deux autres voyelles. La voyelle /*ɑ̃*/ est produite avec une ouverture minimum. Ces données sont en correspondance avec les données quantitatives. Les deux locuteurs ont une différence en ce qui concerne la production de /*ɑ̃*/, le locuteur 1 a une production proche de /*ɑ̃*/, alors que le locuteur 2 a une production proche de /*ɛ̃*/.

La propagation de la nasalité a été décrite en règles phonologiques par (Cohn, 1990) :

- ?? Tous les phonèmes nasals sont [+nasal], les occlusives orales et les voyelles orales sont [-nasal], les autres phonèmes ne sont pas spécifiés du point de vue de la nasalité : les fricatives, les liquides et les semi-voyelles sont [?nasal], ce qui leur confère une certaine perméabilité à la nasalité.
- ?? Les cibles ont une durée propre, il reste une place en début et en fin de segment pour les transitions : le segment nasal a priorité sur le segment oral, il y a une exception quand le phonème qui précède le segment nasal est une occlusive orale, la transition se fait alors pendant la nasale.
- ?? S'il n'est pas possible d'expliquer tous les phénomènes à l'aide des deux règles (1 et 2) il existe encore la "nasal deletion rule", "syllable onset default rule" et la "onset assimilation rule" pour expliquer la nasalisation progressive.

Ces mesures ont le mérite d'être assez simples. Il est possible de réécrire ces règles en terme de débits d'air. Le schéma suivant résume les débits d'air observés dans nos données pour les trois voyelles nasales et leur entourage consonantique :

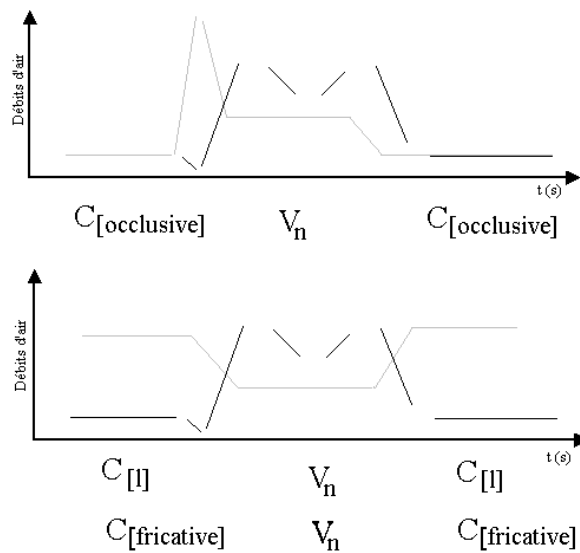


Figure 104 : Tracé idéalisé des courbes de débit d'air nasal (en foncé) et de débit d'air oral (en clair), en fonction des cas les plus fréquemment trouvés.

Ce schéma nous permet de déduire des règles phonologiques en terme de traits aérodynamiques : [+DAN]~[-DAN] et [+DAB]~[-DAB]. (DAN : débit d'air nasal, DAB : débit d'air buccal ou oral)

- ?? Une voyelle nasale est marquée : [+DAN]
- ?? Une occlusive est marquée en deux temps : [-DAB] qui caractérise la période de fermeture buccale et [+DAB] pour marquer l'explosion
- ?? Une fricative est marquée : [+DAB], les transitions sont marquées [0DAB] (elles sont perméables à la nasalité)
- ?? Trois règles sont nécessaires : 1) le débit d'air oral domine le débit d'air nasal : [+DAB] et [+DAN] = [+DAB], 2) si un débit d'air est négatif c'est le débit d'air positif qui domine : ex=[-DAN] et [+DAB] = [+DAB], 3) quand il y a un élément neutre, le débit d'air à droite domine.

Si nous associons les phonèmes entre-eux, nous obtenons les schémas suivants :

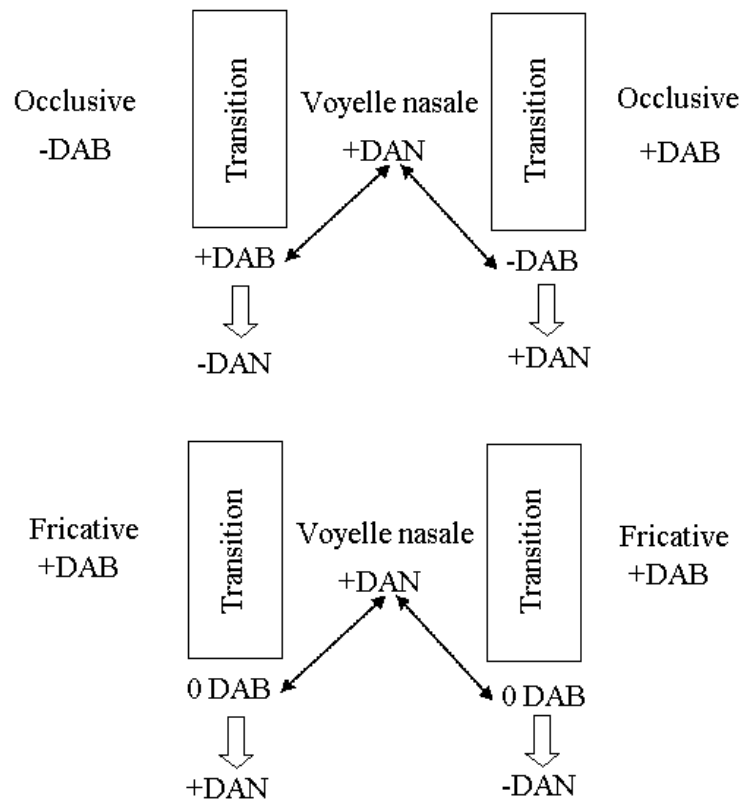


Figure 105 : Mise en place des règles phonologiques exprimées en traits aérodynamiques.

Ce schéma résume la propagation de la nasalité d'une voyelle nasale sur les fricatives et les occlusives. Les liquides auront le même schéma que les fricatives.

II. Les données fibroscopiques

Résumé :

Les résultats sont :

Les données temporelles :

- *Il existe plusieurs ouvertures possibles pour le voile du palais en début de phrase, que le phonème soit oral ou nasal.*
- *La mesure totale du mouvement vélaire est plus importante que la durée acoustique de la voyelle nasale. Il n'y a pas de différence significative de durée totale de mouvement vélaire en fonction de l'entourage consonantique. Plus la parole est relâchée, plus le mouvement vélaire est important. Le mouvement articulaire du voile du palais sera plus important pour la voyelle nasale en fin de mot.*
- *Dans une grande majorité des cas, le velum commence à s'ouvrir avant le début acoustique du phonème nasal. Plus la parole est relâchée, plus l'anticipation est importante.*
- *La mesure de la persévération du mouvement vélaire est moins importante que la mesure de l'anticipation articulaire. Elle est aussi inférieure à la mesure de la persévération du débit d'air nasal. La mesure de la persévération du mouvement vélaire sera plus importante pour les phrases que pour les logatomes. Par contre, elle sera plus courte en parole spontanée par rapport aux phrases lues. Nous avons même trouvé des cas en parole spontanée où le velum est fermé avant la fin acoustique du phonème nasal.*
- *La mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème n'est pas la même pour les voyelles à l'isolée et pour les voyelles en séquence. L'ouverture vélaire maximum a lieu avant la voyelle nasale quand elle est prononcée à l'isolée sinon elle se produit à peu près à la moitié du phonème nasal ou dans sa première moitié.*
- *La durée du mouvement d'ouverture vélaire est sensiblement la même que la durée du mouvement de fermeture du velum quelque soit la voyelle nasale, son entourage consonantique et le style de parole.*

Les mesures quantitatives :

- *Le velum sera maximalelement ouvert pour la voyelle /ɛ/ et moins ouvert pour la voyelle /ɔ/. De plus, le velum sera plus ouvert quand le phonème nasal est en position final de mot. Il y a un phénomène de compensation en parole spontanée, un velum est moins ouvert avec un mouvement articulaire plus long.*

Nous pouvons conclure qu'en ce qui concerne les mouvements articulaires contrairement à l'aérodynamique le mouvement d'anticipation est plus important que le mouvement de persévération. L'ouverture vélaire est contrainte par la position de la langue. Nous confirmons qu'en parole spontanée le velum est plus bas pour la voyelle /a/ et la consonne /l/. Nous avons trouvé un velum haut pour la voyelle nasale dans le mot de fonction [bɛ]. L'ouverture vélaire maximum semble aussi importante, voire plus importante que le début du mouvement vélaire.

La fibroscopie fait appel à une méthode optique. Les endoscopes flexibles à fibre optique ont été utilisés pour un grand nombre d'études sur du conduit vocal. Les premières études au moyen de la fibroscopie ont été réalisées pour observer le larynx, au laboratoire de Tokyo dans les années 70. Par la suite, plusieurs études se sont intéressées aux mouvements du velum. Le fibroscope est constitué de deux amalgames de fines fibres en verre. L'une des deux sert de guide lumineux, l'autre est équipée d'une lentille qui retransmet l'image sur un écran. Il peut être utilisé pour observer les parois pharyngées latérales et postérieures, le velum ou le larynx. La lentille n'est pas positionnée au même endroit selon l'endroit étudié.

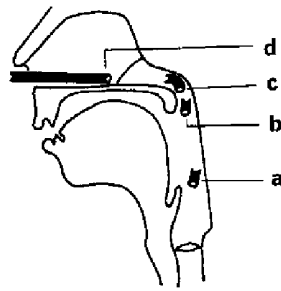


Figure 106 : Différentes positions de l'endoscope : a : permet de voir les mouvements du larynx, b : l'épiglotte, c : les mouvements des parois vélo-pharyngées, d : les mouvements du velum (Ushijima *et al.*, 1972).

Pour l'étude du velum, l'endoscope est inséré soit par le conduit buccal, soit par le conduit nasal. Quand il est inséré dans le conduit nasal, il passe soit par le cornet moyen, soit par le cornet inférieur. L'endoscope est posé sur le palais dur, à la limite du palais mou (d) pour voir les mouvements du velum seul. Il peut descendre plus en avant sur le palais mou (c), pour observer les mouvements du velum, et les mouvements des parois vélo-pharyngées.

La fibroscopie permet d'étudier l'intérieur du conduit vocal sans radiation. La gêne occasionnée par l'insertion de l'endoscope peut être minimisée par une anesthésie locale. La position du fibroscope n'interfère pas avec les mouvements du velum. Il faut tout de même faire très attention à la position du fibroscope car les images peuvent être de mauvaise qualité si elles sont couvertes par le corps de la langue, ou les amygdales (Poppelreuter *et al.*, 1999). Pour éviter ce problème, l'endoscope est passé par le nez au lieu de la bouche. Il n'y a pas de limite quant à la durée de l'expérience, de gros corpus peuvent être enregistrés. La vision en temps réel donne une bonne indication de la coarticulation. Les données fibroscopiques peuvent être couplées avec d'autres données, acoustiques ou aérodynamiques. La vidéo donne des informations en pixels ; il n'est pas possible d'avoir des valeurs absolues. L'image en sortie tient compte de la taille de la cavité de chaque locuteur, de l'endroit où est positionné la caméra, etc.,.... Ce qui fait que l'information sur la hauteur du voile du palais, et la taille de l'ouverture vélo-pharyngée reste relative. La comparaison des locuteurs entre-eux n'est pas possible. La distorsion d'optique ne donne pas forcément des données très précises (si la lentille optique bouge, la différence ne se voit pas forcément à l'écran). Pour résoudre en partie ce problème, l'endoscope peut être fixé à la narine. Pour les données sur la nasalité, la fibroscopie donne une vue frontale d'un demi voile (pour la plupart des locuteurs), ce qui peut occasionner des difficultés pour savoir avec exactitude à quel moment le voile du palais est fermé. Echantillonner les enregistrements vidéo permet d'analyser la sortie audio en correspondance avec la sortie vidéo, mais cela peut diminuer le nombre d'images par seconde.

Quand le fibroscope est inséré par le nez, il ne donne pas les mouvements d'abaissement et d'élévation du velum, mais il informe sur l'ouverture et la fermeture du port vélo-pharyngé. Si nous comparons les données IRM aux données fibroscopiques, avec l'IRM il est possible de dire si le velum est plus ou moins haut ; avec le fibroscope il est possible de dire si le velum est plus ou moins éloigné de la paroi postérieure.

II.A. Méthodologie

II.A.1. La prise de données

Les mesures fibroscopiques ont été faites à l'hôpital Européen Georges Pompidou, sous le contrôle du docteur Crevier-Buchman. L'expérimentation a consisté à insérer un nasofibroscope de type Olympus Enf-P3, relié à une source de lumière froide Olympus CLH-

250, dans la narine gauche des sujets sans anesthésie locale. Le fibroscope est relié à une micro-caméra, modèle Olympus OTV-SF, prenant 25 images par seconde. Un transducteur (ATMOS) permet d'enregistrer la vidéo directement sur un ordinateur (PC). Un microphone, Sony fixé sur le fibroscope, est relié directement à l'ordinateur. La capture du son est à 16 bits et la fréquence d'échantillonnage est à 22050 Hz. Pour être sûr que le fibroscope ne bouge pas, il est maintenu au niveau de la narine par l'expérimentateur.

II.A.2. Les corpus et les locuteurs

Le corpus concernant les voyelles isolées, les logatomes et les phrases avec des différences prosodiques, est exactement le même que le corpus utilisé en aérodynamique (cf. I.A.4. p.65). Le corpus "spontané" est différent, mais la méthodologie pour obtenir les séquences de parole non lue est la même. Malheureusement, nous ne parlerons pas beaucoup des mesures concernant le locuteur 1, car la durée de son corpus est réduite (24 sec 56), et avec seulement dix voyelles nasales.

Les deux locuteurs sont les mêmes que pour l'expérimentation aérodynamique.

II.A.3. Les critères d'élimination

Ils sont moins nombreux que pour les données aérodynamiques. Nous avons éliminé les séquences où le locuteur a mal prononcé les occurrences (pause, erreur dans le phonème, cf. I.A.5. p.66) et les séquences où le surplus de mucus empêche de bien voir les mouvements vélares. Comme pour les données aérodynamiques, nous avons conservé une séquence pour tous les logatomes et toutes les phrases lues.

II.A.4. Passage de la vidéo à une courbe interprétable

Le fibroscope a été positionné à la position c pour les deux locuteurs (cf. Figure 106).

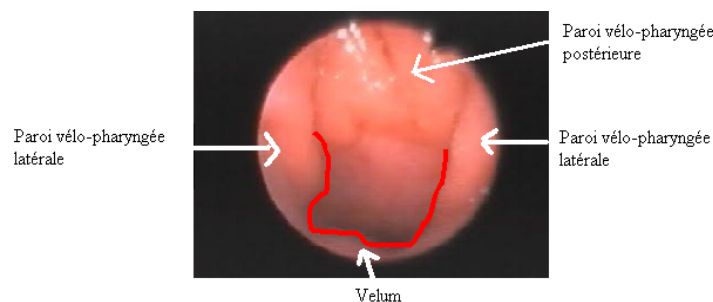


Figure 107 : Vue du dessus du port vélo-pharyngé durant une phase de respiration (loc 1).

Pour pouvoir interpréter les données, il a fallu passer des images vidéos à une courbe. Nous avons, dans un premier temps, isolé les séquences vidéo du signal acoustique. Puis une fois toutes les images extraites, nous sommes partie d'une ouverture maximum du velum (cf. Figure 107), cette image est devenue notre point de référence pour tous les fichiers d'un même locuteur. Nous avons mesuré le mouvement du velum image par image. En terme d'ouverture et de fermeture : plus la mesure est faible plus le velum est ouvert et plus la mesure est grande, plus le velum est fermé.

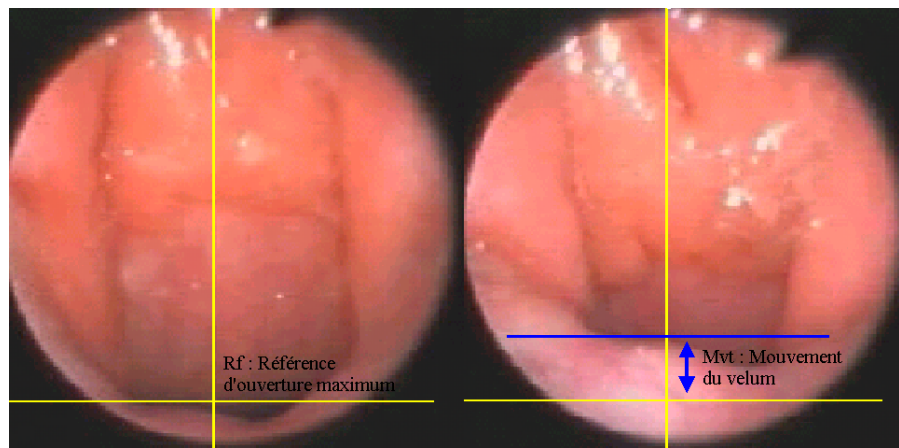


Figure 108 : Exemple de mesure des mouvements vélaire, le point de départ est l'image de référence où le velum est le plus ouvert (phase de respiration).

La caméra ne prend que 25 images par secondes, pour palier à l'échantillonnage, nous avons interpolé les courbes toutes les 10 ms. Au final, nous obtenons un fichier texte, ouvrable sur Phonedit 3.2 avec le fichier acoustique correspondant.

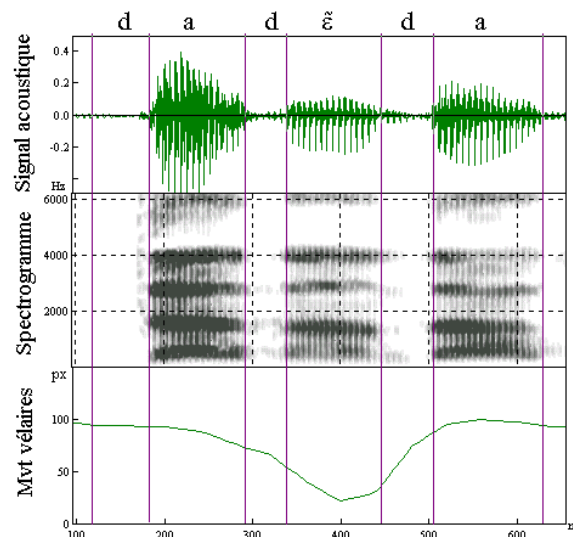


Figure 109 : Exemple de courbe obtenue après séquençage des images vidéos, logatome /dadɛla/ (loc 2).

II.B. Pré-étude : mesures des mouvements du velum en parallèle avec les mouvements des parois vélo-pharyngées

Nous avons réalisé une pré-étude pour savoir dans quelle mesure les mouvements des parois vélo-pharyngées participent à la production des phonèmes. Cette étude a fait l'objet d'une publication (Amelot *et al.*, 2003).

En enregistrant quatre locuteurs, nous nous sommes rendu compte, que leurs parois vélo-pharyngées ne bougeaient pas forcément avec la même intensité. Nous avons pu grouper nos quatre locuteurs en deux groupes : (1) les parois vélo-pharyngées ne bougent pas ou presque pas, (2) les parois bougent fortement jusqu'à faire une sorte de sphincter (Skolnick *et al.*, 1973). Nous avons vu dans la partie VI.C.1. p.50 que le velum n'est pas le seul acteur dans la fermeture du port vélo-pharyngé. La revue de la littérature montre que les mouvements vélo-pharyngés ont été étudiés en priorité en terme de mouvement du velum, les premiers étant (Delattre, 1965 ; Kaplan, 1960 ; Moll *et al.*, 1971). Certains auteurs ont étudié la vitesse de

mouvement du velum (Hoopes *et al.*, 1970 ; Kuehn, 1976 ; Ohala, 1975). D'autres auteurs se sont intéressés à la force de fermeture ou la pression, pour cela ils ont regardé la force de fermeture de port vélo-pharyngé en tenant compte du velum, et de la paroi pharyngée postérieure (Moon *et al.*, 1994). Les études concernant les mouvements des parois vélo-pharyngées sont peu nombreuses et les résultats semblent influencés par le type de matériel (Kelsey *et al.*, 1969 ; Parush *et al.*, 1986 ; Poppelreuter *et al.*, 1999 ; Ryan *et al.*, 1976 ; Skolnick *et al.*, 1973). Selon Poppelreuter, même quand le sphincter vélo-pharyngé est fermé, plusieurs mouvements du velum ou des parois pharyngées apparaissent, lesquels suggèrent l'addition de plusieurs activités musculaires (surcompensation) (Poppelreuter *et al.*, 1999 p.159). Pour Kelsey :

"...there is more displacement of the LPW during the low vowel /a/ than during the high vowel /i/..." (Kelsey *et al.*, 1969 p.1018).

Et pour Ryan (1976) :

"The pharyngeal wall moves medially during low vowels such as /a/ and laterally during consonant production in all cases." (Ryan *et al.*, 1976 p.156)

Selon Ryan, la différence entre les résultats trouvés avec Kelsey serait due à la position de mesure des capteurs ultrasons.

Nous avons fait le type de spéculation suivante : si le velum s'abaisse (s'ouvre) pour /a/ mais que cet abaissement (ouverture) est compensé par le rétrécissement des parois cela pourrait expliquer qu'il n'y a pas d'air durant la production du phonème oral. Cette théorie, nous est en partie venue de (Bell-Berti, 1976 p.238) qui trouve à la suite d'une expérience électromyographiques que le muscle pharyngo-staphylin affecte la qualité de la voyelle, et que l'activité la plus grande, se retrouve pour les voyelles ouvertes.

Le corpus utilisé pour cette étude est le corpus des voyelles isolées et des logatomes (cf. I.A.4. p.65). Cependant, nous n'avons pas utilisé toutes les C₁. Par contre, nous avons ajouté la consonne /n/.

Pour nos mesures, nous avons rajouté la mesure de la distance entre les deux parois latérales.

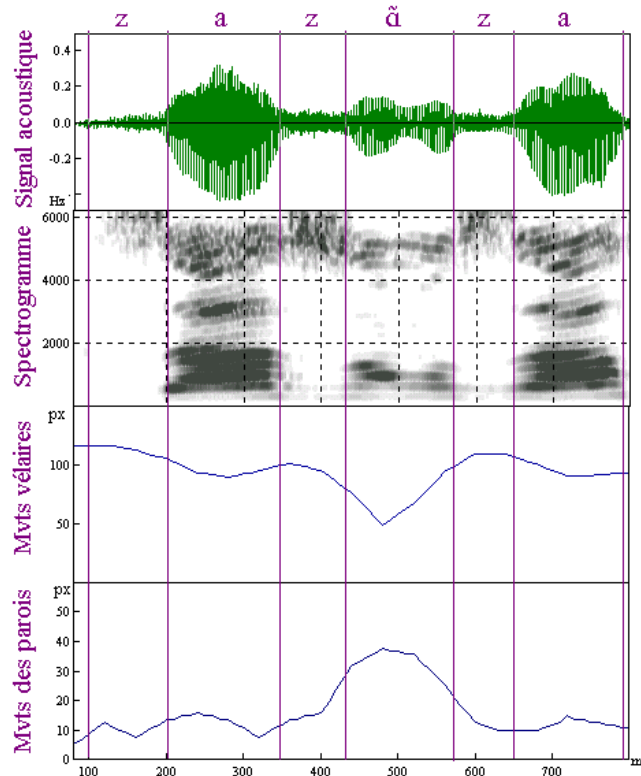


Figure 110 : Exemple d'alignement de deux courbes (velum & parois) obtenues à partir des vidéos fibroscopiques, logatome /zazãza/ (loc 1).

II.B.1. Coordination spatiale

Nous entendons par coordination spatiale, la variation de la mesure des mouvements du velum par rapport à la variation de la distance entre les parois.

Les voyelles isolées :

Nous avons mesuré l'ouverture moyenne du velum et la distance entre les parois. Les deux mesures sont exprimées en pixels.

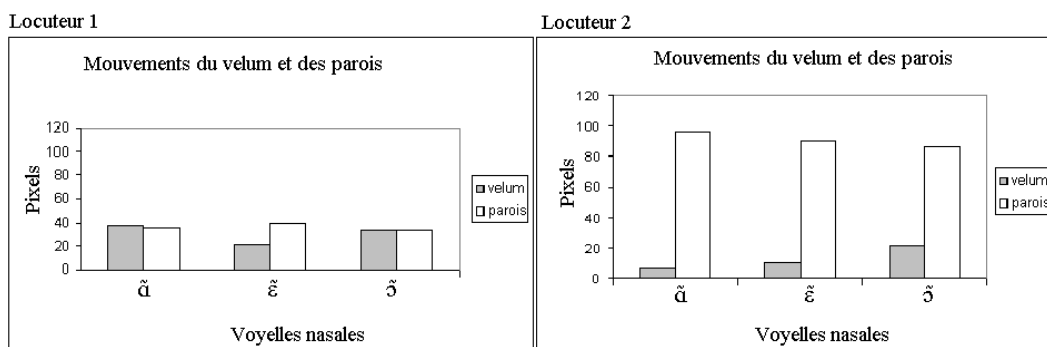


Figure 111 : Graphiques récapitulant les mesures de la hauteur du velum et la distance entre les parois pour les voyelles nasales (2 loc, n=1).

Nous constatons que la distance entre les parois est différente selon les deux sujets. Le sujet 2 a visiblement un plus grand cavum que le sujet 1. Ceci se traduit par une distance entre les parois bien plus importante pour le sujet 2 que pour le sujet 1. En ce qui concerne l'ouverture

du velum, le peu de données ne nous permet pas de faire des conclusions définitives mais nous pouvons tout de même dire qu'il y a une variabilité inter et intra-locuteur ; l'ouverture du velum n'étant pas la même à voyelle égale entre les locuteurs et n'est pas la même non plus entre les voyelles pour un même locuteur.

Les logatomes :

	Locuteur 1		Locuteur 2	
	Ouverture vélaire	Distance entre les parois	Ouverture vélaire	Distance entre les parois
a	85,4	15,28	74,752	50,9
u	104,2	17,46	86,57	46,19
i	101,98	18,38	86,34	46,59
y	102,54	19,21	83,7	50,35
Moyenne	98,53	17,58	82,84	48,51
ǣ	55,62	37,31	42,6	85,28
ɛ	44,74	44,52	38,47	82,57
œ	61,11	41,83	40,2	80,98
Moyenne	53,82	41,22	40,42	82,94

Tableau 26 : Moyenne de l'ouverture du velum et la distance entre les parois pour les voyelles orales et les voyelles nasales pour les logatomes.

Nous constatons que l'ouverture du velum est moins importante pour les voyelles nasales par rapport aux voyelles orales. Ce qui confirme les données trouvées sur les voyelles à l'isolée. Nous retrouvons le phénomène inverse pour la distance entre les parois : la distance entre les parois est deux fois plus grande pour les voyelles nasales par rapport aux voyelles orales. De façon générale, plus le velum est fermé (cas des voyelles orales) plus la distance est petite. Et inversement, plus le velum est ouvert (cas des voyelles nasales) plus la distance entre les parois est importante, et ceci pour les deux locuteurs. Pour confirmer l'hypothèse selon laquelle la fermeture, ou l'ouverture du port vélo-pharyngé se fait au travers de mouvements symétriques du velum et des parois, nous avons étudié la corrélation temporelle entre les deux mouvements.

II.B.2. Corrélation temporelle de la hauteur du velum et des mouvements des parois

II.B.2.i. Mouvements du velum et des parois par rapport à la voyelle nasale

La voyelle nasale a été segmentée acoustiquement et nous avons regardé à quel moment le velum commence à s'abaisser, et à quel moment les parois commencent à s'ouvrir par rapport à la voyelle nasale.

Nous avons mesuré le décalage entre le début du mouvement du velum et le début acoustique de la voyelle (D4, cf. II.D.2.iii. p.136). De la même façon, nous avons mesuré le décalage entre début du mouvement des parois par rapport au début acoustique de la voyelle (P4). De plus, nous avons mesuré le décalage entre la fin du mouvement du velum et la fin acoustique de la voyelle (D11, cf. II.D.2.iv. p.139), le décalage entre la fin des mouvements des parois et la fin acoustique de la voyelle. Voir la partie II.D.2. p.130, pour savoir à quel moment nous avons estimé que le velum amorce son mouvement d'ouverture.

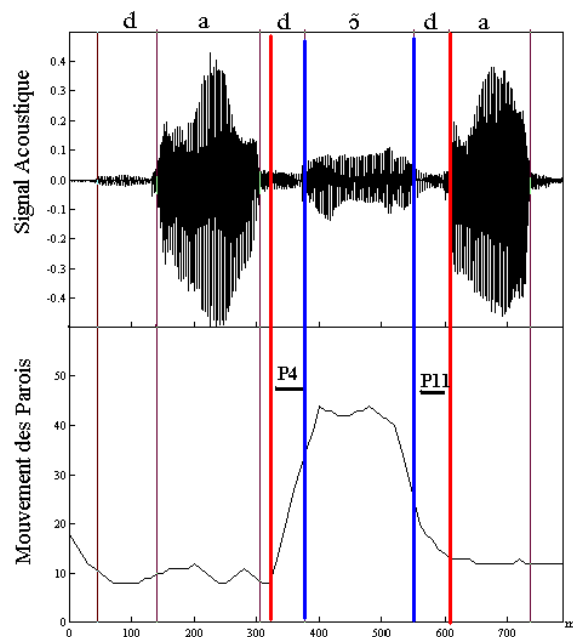


Figure 112 : Illustration de la mesure du décalage entre le début du phonème et le début du mouvement des parois (P4), en ms, et de la mesure du décalage entre la fin du phonème et la fin du mouvement des parois (P11), en ms, sur le logatome /dadada/ (loc 1).

Les logatomes :

Dans ce cas, nous n'avons mesuré que les voyelles nasales. Il n'y a pas de mouvements visibles pour le velum pour les voyelles orales.

		Locuteur1				Locuteur2			
		Velum		Parois		Velum		Parois	
		D4 (ms)	D11 (ms)	P4 (ms)	P11(ms)	D4 (ms)	D11 (ms)	P4 (ms)	P11(ms)
C ₁	d	35	50	38	52	54	45	55	51
	l	110	100	200	100	100	90	100	90
	n	190	210	250	210	200	160	330	150
	s	78	67	84	65	82	58	75	55
	t	54	68	52	60	55	59	63	62
	z	46	37	51	43	71	38	82	42
	Moyenne Générale	85,5	88,66	112,5	88,33	93,66	75	117,5	75

Tableau 27 : Moyenne de l'anticipation et de la persévérance des mouvements du velum et des parois (D4, D11, P4 et P11), en ms moyenne pour les trois voyelles nasales (2 loc, n=15).

Les mouvements du velum commencent avant la voyelle cible et se terminent après, tout comme les mouvements des parois.

Les moyennes montrent que les mouvements des parois se terminent en même temps que les mouvements du velum. Il n'y a que quand C₁ est un /l/ ou un /n/ pour lesquels les mouvements des parois commencent avant les mouvements du velum. D'ailleurs quand la voyelle est dans l'entourage de ces deux consonnes, les mesures de D4 et P4 sont les plus importantes. Ensuite, nous trouvons les fricatives puis les occlusives, l'ordre est le même pour D4 et P4 :

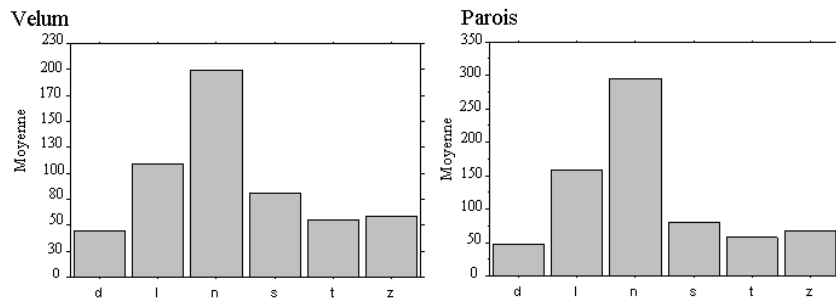


Figure 113 : Mesure de la distance entre le début du phonème et le début de l'ouverture vélaire (D4), en ms, et mesure de la distance entre le début du phonème et le début du mouvement des parois (P4), en ms, (2 loc, n=15).

Nous constatons les mêmes tendances pour les mesures de la mesure entre la fin du mouvement vélaire et la fin du phonème, et la fin du mouvement des parois et la fin de la voyelle :

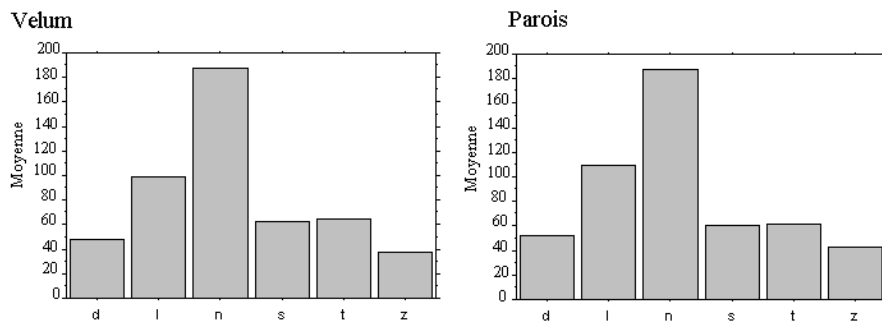


Figure 114 : Mesure de la distance entre la fin du phonème et la fin de l'ouverture vélaire (D4), en ms, et mesure de la distance entre la fin du phonème et la fin du mouvement des parois (P4), en ms, (2 loc, n=15).

Les moyennes montrent qu'il existe une assez bonne synchronisation entre les mouvements du velum et les mouvements des parois. Nous avons voulu savoir quel était le pourcentage de cas où le mouvement du velum est synchronisé au mouvement des parois.

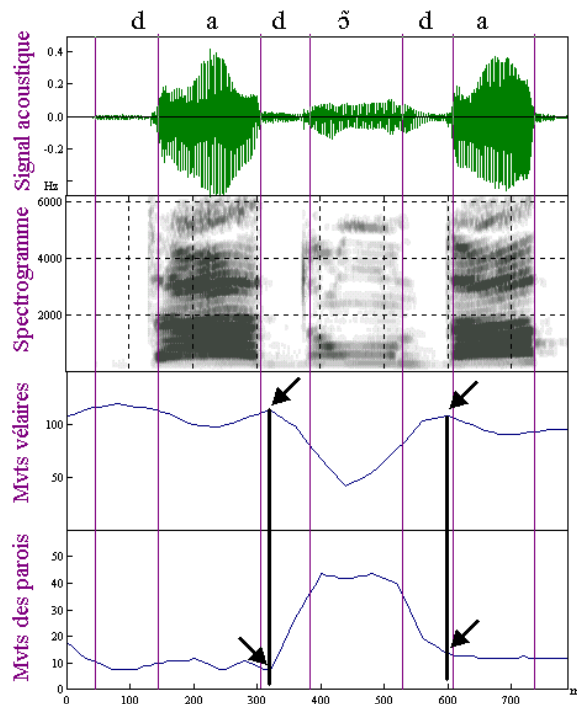


Figure 115 : Exemple de synchronie des mouvements du velum et des parois pour le logatome /dada/ (loc 1). Les débuts et les fin des mouvements sont indiqués par les flèches.

	Le velum s'ouvre en même temps que les parois (%)	Le velum se ferme en même temps que les parois (%)	Le velum et les parois s'ouvrent et se ferment au même moment (%)
Locuteur1	61 %	58 %	44 %
Locuteur2	58 %	75 %	58 %

Tableau 28 : Synchronisation des mouvements du velum et des parois en % (2 loc, n=90).

Nous constatons que dans plus de 50% des cas, le mouvement du velum est synchronisé avec le mouvement des parois. Il s'agit soit du mouvement d'ouverture, soit du mouvement de fermeture.

II.C. Discussion

L'ouverture du velum implique une grande distance entre les parois et inversement. Cette stratégie, qui consiste à impliquer également l'action du pharyngo-staphylin, ne modifie pas les résultats de hauteur de velum admis dans la littérature. A savoir, le velum est plus bas pour les voyelles nasales par rapport aux voyelles orales et le velum est plus bas pour les voyelles ouvertes par rapport aux voyelles fermées. En ce qui concerne la variabilité intra-locuteur, nous sommes d'accord avec les résultats de McKern *et al.* qui trouvaient que la variabilité sur la force de fermeture du port vélo-pharyngé était due au sexe du sujet (McKerns *et al.*, 1970). Malheureusement, nous n'avons que deux locuteurs, il nous est impossible dès lors de savoir si la différence observée est due au sexe de la personne, ou à la taille de son cavum. Plus le cavum sera petit, plus la force de fermeture sera importante (les parois pharyngées étant plus proche l'une de l'autre, le mouvement est intensifié). Bien que dans une certaine mesure, la taille du cavum dépende aussi du sexe du locuteur.

Niimi *et al.* (1982) trouvent que les mouvements des parois sont parallèles aux mouvements du velum (Niimi *et al.*, 1982). Il semble évident que les parois bougent de façon symétrique aux mouvements du velum (*cf.* Figure 115, loc 2). Cette figure montre une parfaite synchronie entre les mouvements du velum et les mouvements des parois.

En ce qui concerne les données à l'isolée comparées aux données en contexte, nous aurions tendance à être en désaccord avec Moll & Daniloff qui trouve des différences (Moll *et al.*, 1971) par contre cela rejoindrait les résultats de (Moon *et al.*, 1994). Dans cette expérience les données pour chaque locuteur sont relativement semblables à l'isolée et en contexte.

Nous confirmons qu'il existe de l'anticipation et de la propagation des mouvements vélaires et des parois. Il existe une différence de mouvements d'ouverture et de fermeture qui dépendent de l'entourage consonantique. Ceci devra être confirmé ou non avec les autres consonnes.

Il est admis que la fermeture sphinctérique dépend autant de la dynamique du langage que du système musculaire du locuteur, et ceci en accord avec la plupart des personnes ayant étudié ce phénomène (Croft *et al.*, 1981 ; Poppelreuter *et al.*, 1999 ; Skolnick *et al.*, 1973). Quand le velum est ouvert, la distance entre les parois est importante (cas des voyelles nasales), quand le velum est fermé, la distance entre les parois est petite (cas des voyelles orales). En moyenne, la mesure de D4 est généralement égale à la moyenne de P4, même chose pour la fin du mouvement du velum et la fin de la voyelle et la fin du mouvement des parois et la fin de la voyelle. De plus les mouvements ont une synchronie parfaite dans plus de la moitié des cas. Nous rejoignons en cela l'étude de Niimi *et al.* (1982) qui trouvaient que les mouvements du velum étaient parallèles aux mouvements des parois (Niimi *et al.*, 1982).

Au vu de nos données, nous ne trouvons pas que les mouvements des parois soient essentiels à la description des mouvements de fermeture et d'ouverture du port vélo-pharyngé. Nous rejoignons plutôt l'avis de Skolnick *et al.* (1973) qui veut que les parois sont complémentaires des mouvements du velum et ne font qu'amplifier ceux-ci (Skolnick *et al.*, 1973). Cependant, nous pensons comme Poppelreuter *et al.* (1999) que les parois ont une utilité très importante en ce qui concerne les pathologies, notamment les cas d'hyper-nasalité, la déficience du velum pourrait très bien être compensée par les mouvements pharyngés (Poppelreuter *et al.*, 1999).

Malheureusement, nous avons volontairement écarté deux locuteurs qui n'avaient pas la même stratégie de fermeture, spéculant que cela pouvait avoir une influence sur la coarticulation nasale.

II.D. Etude Principale : mesures des mouvements d'ouverture et de fermeture du velum

II.D.1. Résultats

II.D.1.i. Analyse des tracés vélares

Comme pour les mesures aérodynamiques, nous avons observé les tracés des mouvements vélares.

Les logatomes :

En ce qui concerne les logatomes, nous avons regardé dans un premier temps ce qui se passait pour les voyelles orales. Le velum subit des petites variations de mouvements, même pour les voyelles orales. Le mouvement est assez continu. La différence entre les voyelles basses (/a/) et les voyelles hautes est observée dans nos données : l'ouverture intrinsèque du velum est plus importante pour la voyelle /a/. Cette différence touche aussi les phonèmes adjacents.

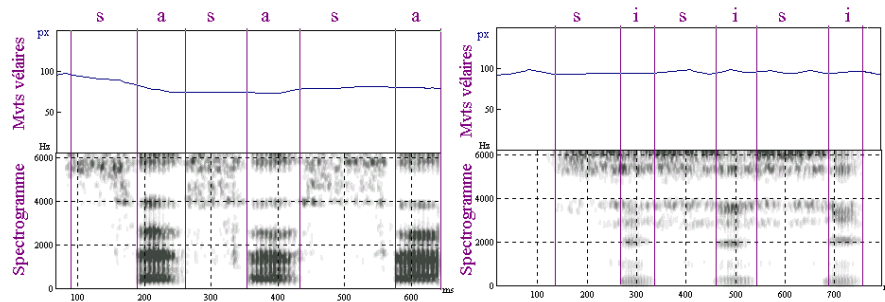


Figure 116 : Exemple du tracé des mouvements vélares pour les logatomes /sasasa/ et /sisisi/ (loc 2).

La Figure 116 montre que le velum est plus bas durant toute la production du logatome contenant la voyelle /a/.

Pour les voyelles nasales, le mouvement d'ouverture est bien visible :

Ce mouvement est régulier et peut être décrit en trois temps : 1) une phase d'ouverture, 2) une ouverture maximale et 3) une phase de fermeture.

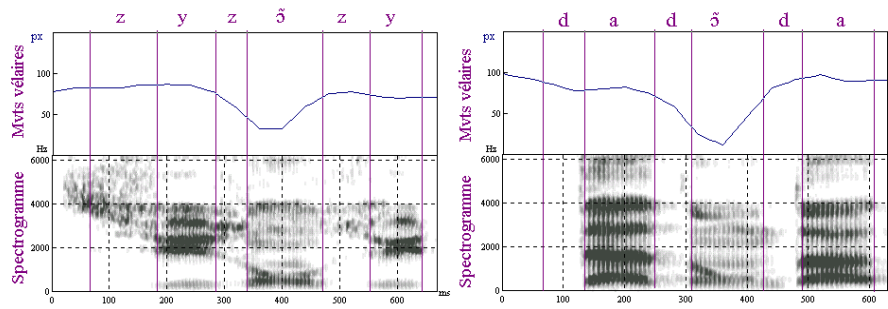


Figure 117 : Exemple du tracé des mouvements vélares pour les logatomes /zyzy/ et /dadada/ (loc 2).

Pour le début du mouvement d'ouverture et la fin du mouvement, nous avons observé trois différences. Nous avons simplifié les cas avec seulement le début du mouvement mais comme nous pouvons le voir sur la Figure 118, nous retrouvons le même phénomène à la fin du mouvement.

- ?? Cas 1 : le velum se maintient en plateau avant le mouvement vélaire, puis il s'ouvre brusquement. Le mouvement commence à la fin du plateau.
- ?? Cas 2 : le velum oscille avec des petits mouvements d'ouverture et de fermeture, puis il y a un mouvement de fermeture plus important avant une forte ouverture. Le mouvement commence au sommet de la fermeture.
- ?? Cas 3 : le velum oscille avec des petits mouvements d'ouverture et de fermeture, il se maintient légèrement, puis s'ouvre brusquement. Le mouvement commence après le léger maintien.

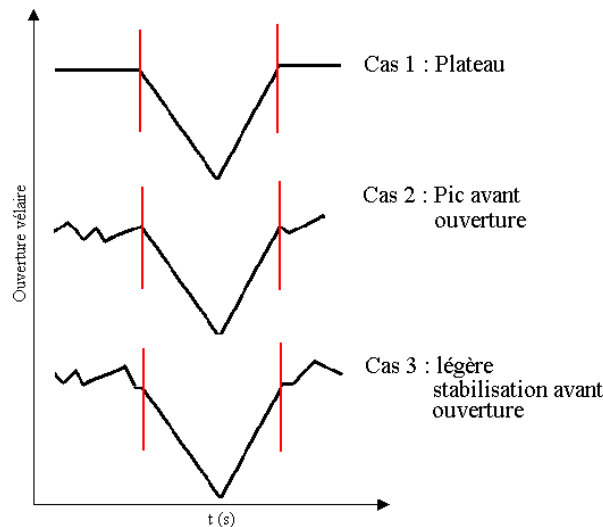


Figure 118 : Schématisation de trois cas possibles pour segmenter le début et la fin du mouvement d'ouverture du velum.

Les traits sur la Figure 118 marquent le moment où nous avons considéré qu'il s'agissait du début du mouvement. Il se peut que le début du mouvement commence avec le cas 1 et qu'il se termine avec le cas 2 ou 3.

En ce qui concerne l'ouverture maximale, il y a deux cas possibles, (1) soit l'ouverture atteint son maximum puis entame aussitôt la phase de fermeture, (2) soit l'ouverture atteint un maximum et se maintient durant quelques instants puis se ferme (*cf.* la différence d'ouverture maximum entre les deux logatomes dans la Figure 118). Le cas le plus fréquent est le cas (1).

Les phrases lues et le corpus "spontané" :

Les mouvements vélaires concernant les phrases lues et le corpus "spontané" confirment un certain nombre de résultats trouvés avec les données aérodynamiques. Le velum est maximale-ment ouvert pour les phases de respirations. Le velum a beaucoup de variations d'ouverture :

Les pauses sont marquées par une ouverture du velum, cette ouverture est bien plus importante que pour les phonèmes nasals.

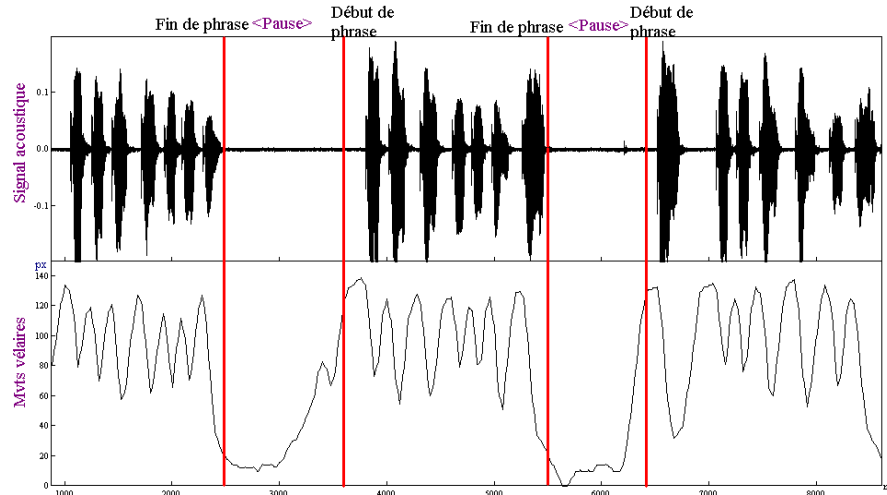


Figure 119 : Exemple du tracé du mouvement vélaire durant les pauses, les phrases "ton tonton tond ton tonton. Tonton tond ton tonton Thon. Thon, ton tonton tond tonton." (loc 1).

En ce qui concerne, les mouvements du velum en début de phrase. Nous trouvons les mêmes distinctions que Vaissière (1988). Le velum peut être haut avant le début de phonation (cas le plus rare). Dans la majorité des cas, le velum est ouvert avant le premier phonème de la phrase, il continue à se fermer et atteint sa fermeture maximum au milieu, ou à la fin du phonème (Vaissière, 1988), sauf si le premier phonème est une nasale ou une voyelle orale, alors sa fermeture n'est effective que pour le phonème oral suivant.

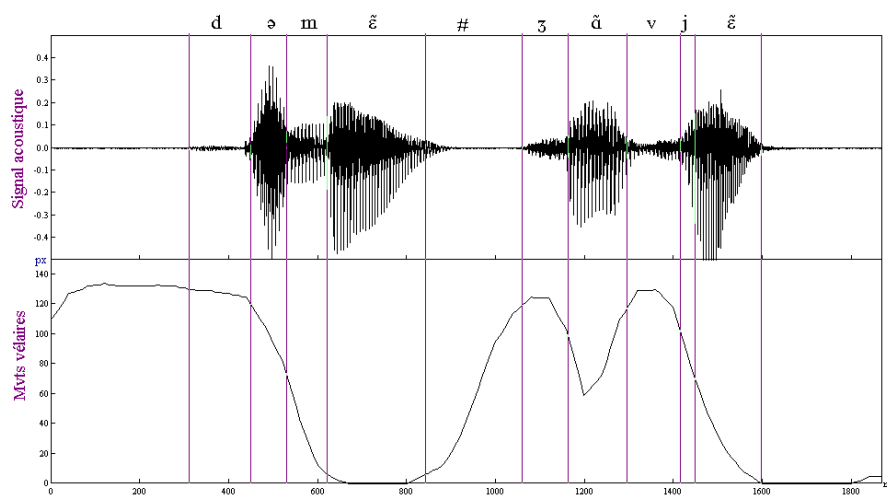


Figure 120 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum est fermé avant le premier phonème de la phrase : "Demain, Jean vient." (loc 2).

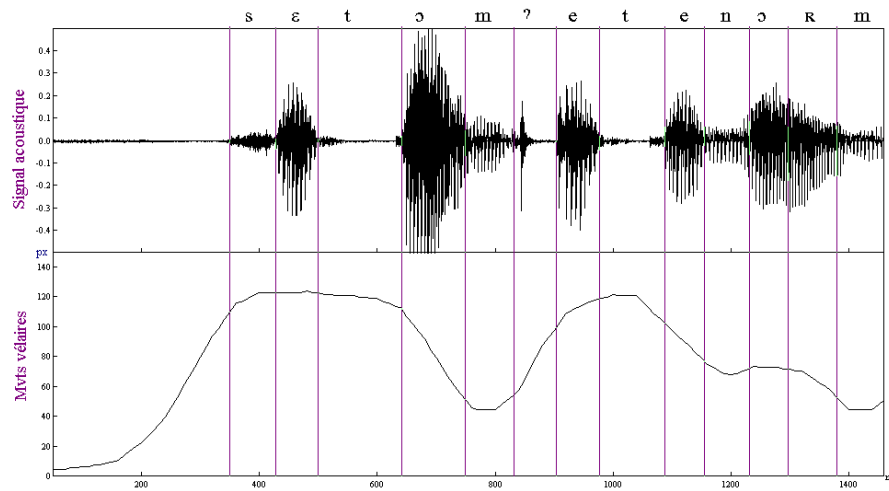


Figure 121 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum se ferme durant le premier phonème de la phrase : "Cet homme est énorme." 🗣️ (loc 2).

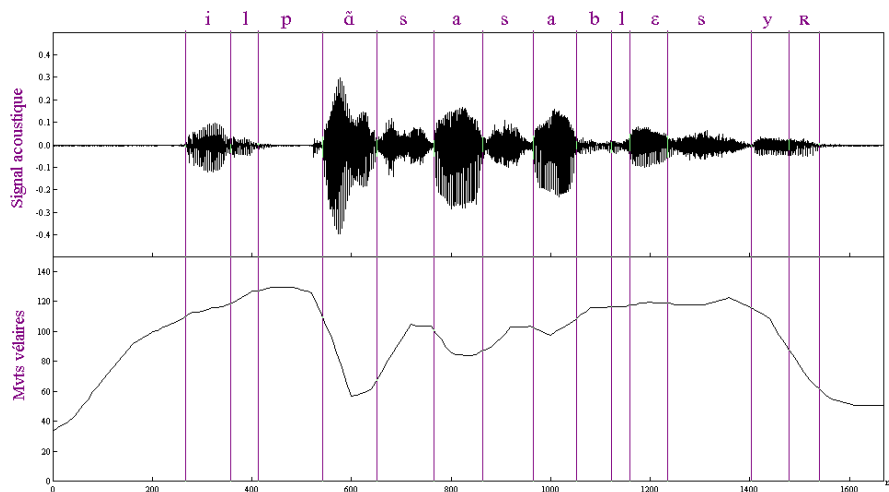


Figure 122 : Mouvement du velum en début de phonation : le velum est ouvert durant le premier phonème de la phrase et se ferme pour le phonème suivant : "Il pense à sa blessure." 🗣️ (loc 1).

En ce qui concerne la fin de la phrase, le velum commence à s'abaisser avant la fin acoustique du dernier phonème. Le velum reprend sa position d'origine et permet au locuteur de reprendre sa respiration.

Le velum est parfois ouvert pour la voyelle /a/, cela dépend de l'entourage. Nous avons trouvé des séquences où le velum ne s'ouvre pas pour la voyelle /a/. Autant, il est possible de trouver une voyelle nasale sans débit d'air nasal, autant il est plus difficile de trouver une voyelle nasale sans ouverture du velum. Le seul cas recensé est pour le locuteur 2 pour le mot de fonction "ben", mot que nous avons trouvé en aérodynamique sans débit d'air nasal :

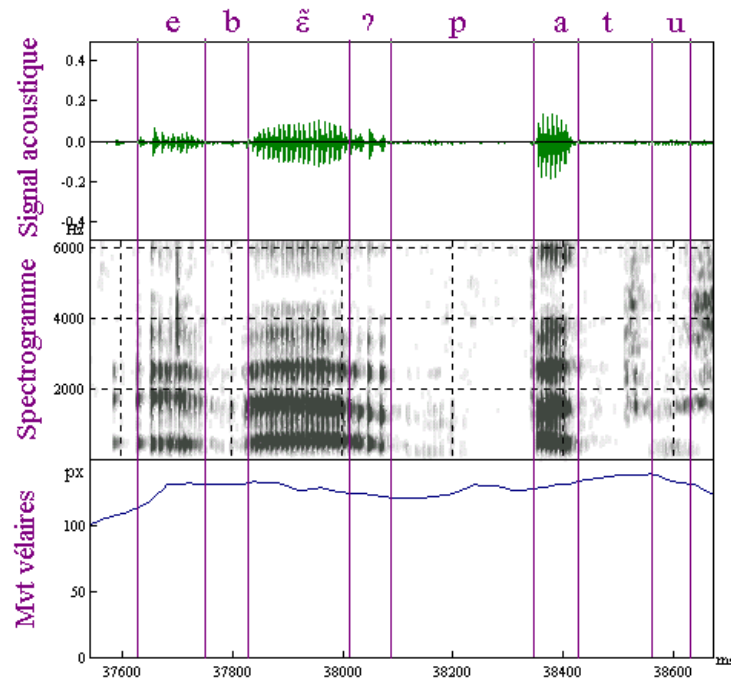


Figure 123 : Production d'une voyelle nasale sans mouvement d'ouverture vélaire, "... et **ben** pas tous..." (loc 2).

Le mouvement du velum ne se propage pas autant que le débit d'air nasal. L'ouverture du velum correspond soit à un phonème nasal, une période de respiration, soit à une hésitation. Nous n'avons trouvé qu'un cas de /a/ pour lequel le velum s'ouvre autant que pour un phonème nasal :

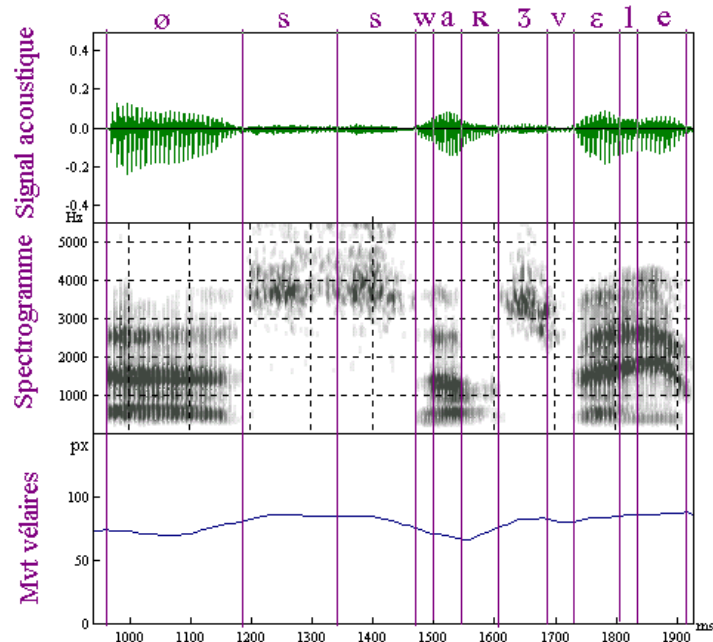


Figure 124 : Mouvements d'ouverture pour la voyelle /a/ dans l'entourage /1/, "...ce soir je vais aller..." (loc 2).

Le velum s'abaisse durant les phases d'hésitation marquées par l'allongement d'une voyelle.

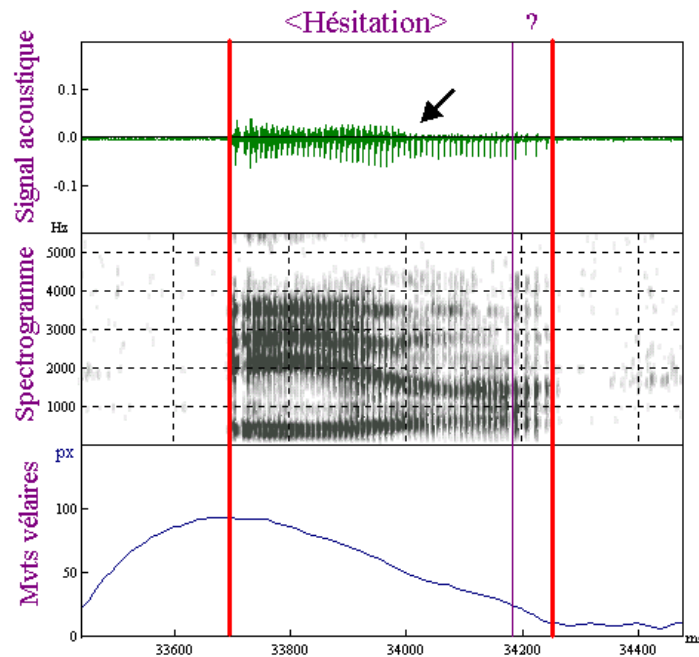


Figure 125 : Tracé du mouvement vélaire durant une hésitation (loc 2).

Sur la Figure 125, l'ouverture du velum commence au début du phonème d'hésitation ("euh"), la flèche sur le signal acoustique montre la modification de l'enveloppe qui est traduit sur le spectrogramme par un affaiblissement des formants. Les formants trois et quatre ont disparu. A l'écoute, la seconde partie de l'hésitation est très nettement perçue nasalisée. Ce mouvement d'ouverture durant une hésitation confirme les résultats que nous avons trouvés pour les données de débit d'air nasal. Le velum en position ouverte permet à l'air de passer par le conduit nasal.

II.D.2. Mesures temporelles

II.D.2.i. Mesure de la durée du phonème (D1)

Comme pour les mesures aérodynamiques, nous avons mesuré la durée du phonème nasal. Voir le chapitre (I.B.2.i. p.76) pour voir la mesure acoustique de la durée du phonème.

Les voyelles isolées :

En ce qui concerne les voyelles à l'isolée, nous trouvons les résultats suivants :

	D1 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
a	123	122
u	109	158
i	110	116
y	144	117
Moyenne	121,5	128,25
ɶ	128	146
ɷ	153	158
ø	143	165
Moyenne	141,33	156,33
Moyenne générale	130	140,28

Tableau 29 : Moyennes de la durée du phonème (D1), en ms pour 4 voyelles orales et 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

La différence interlocuteur n'est pas très marquée en ce qui concerne les voyelles prononcées à l'isolée. Nous confirmons que les voyelles nasales sont plus longues que les voyelles orales.

Les logatomes :

Comme pour les données aérodynamiques, nous avons voulu savoir s'il existait une différence de durée des phonèmes entre les différentes répétitions. Le test Anova donne un p à 0,4604 pour le locuteur 1, nous pouvons donc dire que pour le locuteur 1, il n'existe pas de différence significative entre les répétitions. Par contre pour le locuteur 2, le même test donne un $p < 0,0001$. Il y a pour ce locuteur une différence significative pour les quatre répétitions avec notamment la quatrième répétition pour laquelle, les phonèmes cibles sont plus courts.

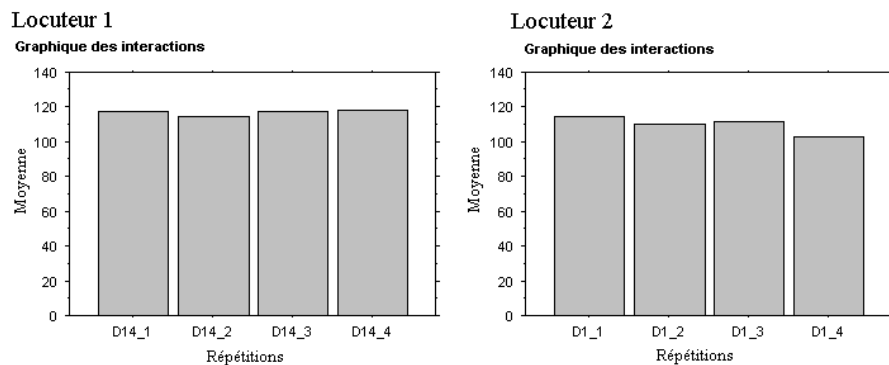


Figure 126 : Moyenne de la durée du phonème nasal (D1), en ms, en fonction des 4 répétitions des logatomes pour les mesures fibroscopiques (2 loc, n=108).

Pour le locuteur 2, il n'y a pas de différence pour trois répétitions sur quatre. Il n'y a pas plus de 12 ms de différence entre la répétition 4 et les trois autres. Nous avons donc estimé que comme pour les mesures aérodynamiques, la différence entre les répétitions est suffisamment faible pour que nous puissions regrouper les résultats des différentes répétitions.

Pour les voyelles orales, nous trouvons une moyenne générale de 93,89 ms (99,07 ms pour le locuteur 1 et 88,71 ms pour le locuteur 2) pour les deux locuteurs, et une moyenne de 122,78 ms pour les voyelles nasales pour les deux locuteurs (135,74 ms pour le locuteur 1 et 109,83 ms pour le locuteur 2). Les moyennes et les écarts types de la durée acoustique pour les deux locuteurs sont très proches de celles trouvées pour les données aérodynamiques (*cf.* I.B.2.i. p.76). Nous retrouvons la même distinction entre les deux locuteurs, ce qui signifie qu'ils ont parlé avec à peu près le même débit pour les deux expérimentations.

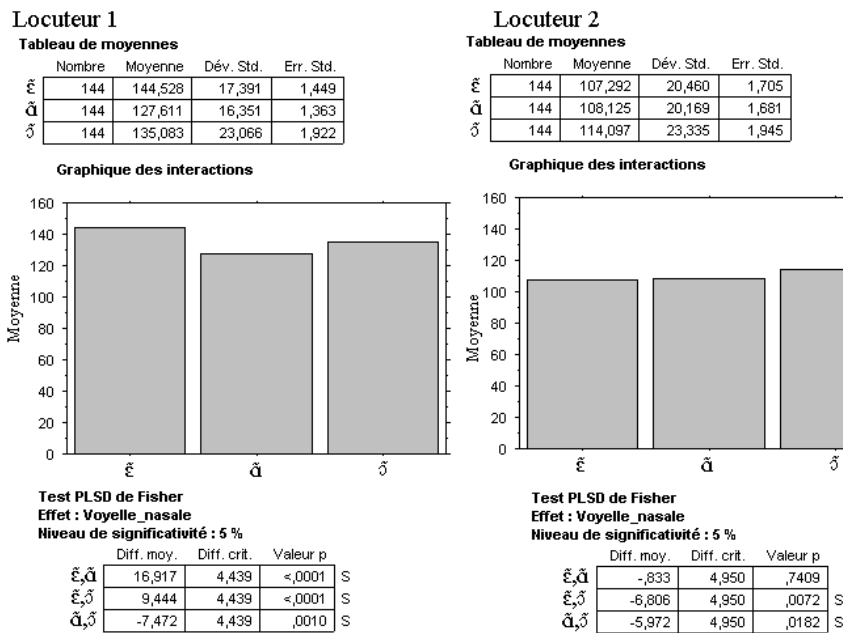


Figure 127 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes pour les mesures fibroscopiques (2 loc, n=144).

Contrairement aux résultats aérodynamiques, la voyelle /*œ*/ n'est pas la voyelle la plus courte. Il apparaît qu'il existe une variabilité en ce qui concerne la durée des voyelles nasales.

La mesure de la durée du phonème nasal en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne les mêmes résultats que ceux observés pour les mesures aérodynamiques. La voyelle nasale sera moins longue si elle est entourée de phonèmes sourds, et elle sera plus longue si elle est entourée par un /l/.

La mesure de la durée de la voyelle nasale en fonction de l'entourage vocalique (V_1) donne également les mêmes résultats que pour les données aérodynamiques. La durée du phonème nasal sera plus courte si V_1 est un /a/. La différence est plus marquée pour le locuteur 1 que pour le locuteur 2.

Les phrases lues :

Avec une moyenne de la durée acoustique des voyelles nasales de 118,77 ms pour le locuteur 1, de 115,68 ms pour le locuteur 2 et des écarts types respectifs de 31,91 pour le locuteur 1, de 34,26 pour le locuteur 2, nous constatons que les deux locuteurs ont eu quasiment le même débit de parole. La moyenne de la durée acoustique est plus courte pour les phrases lues que pour les logatomes.

Le corpus "spontané" :

Avec une moyenne de la durée acoustique des voyelles nasales de 86,5 ms pour le locuteur 1 et de 93,36 ms pour le locuteur 2. nous constatons que comme pour les données aérodynamiques, la durée moyenne du phonème nasal est plus courte en parole non lue qu'en parole lue. Le locuteur 2 a un débit plus rapide que le locuteur 1. L'écart type pour le locuteur 1 (38,43) est moins important que pour le locuteur 2 (45,97). Cependant, il est difficile de comparer les deux locuteurs avec le peu de données pour le locuteur 1.

Nous n'avons pas mesuré la durée du phonème en fonction de la voyelle nasale pour le locuteur 1. Par contre pour le locuteur 2, nous obtenons les mesures suivantes :

	Locuteur 2
Moyenne pour ɛ	100
Ecart type pour ɛ	50,51
Moyenne pour ʌ	90,27
Ecart type pour ʌ	42,31
Moyenne pour œ	86,3
Ecart type pour œ	44,65

Tableau 30 : Moyenne de la durée du phonème (D1), en ms pour les 3 voyelles nasales, dans le corpus "spontané", pour les mesures fibroscopiques (loc 1, n=10 & loc2, n=47).

Nous constatons que la durée du phonème est un peu différente pour les voyelles nasales en parole non lue par rapport aux logatomes. La voyelle pour laquelle la durée est la moins importante est la voyelle **œ**, celle pour laquelle elle est la plus important est **ɛ**. Avec ces moyennes, nous sommes plus proche des moyennes trouvées en aérodynamique.

II.D.2.ii. Mesure de la durée du mouvement d'ouverture et de fermeture du velum

Nous avons mesuré la durée totale du mouvement vélaire (D2). La mesure commence au début du mouvement d'ouverture et se termine quand le velum est complètement fermé.

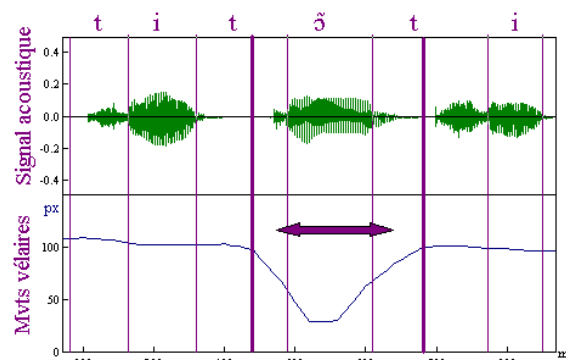


Figure 128 : Mesure de la durée totale du mouvement d'ouverture et de fermeture du velum (D2) pour le logatome /titœi/ (loc 1).

La difficulté est de savoir quand le velum commence à s'ouvrir et quand il est refermé. Pour déterminer à quel moment le velum s'ouvre ou se ferme, nous avons repris les critères exposés à la Figure 118.

Les voyelles isolées :

Les mesures de la durée totale du mouvement vélaire (D2) pour les voyelles nasales à l'isolée donnent :

	D2 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ʌ	601	478
ɛ	597	481
œ	481	474
Moyenne	559,66	477,66

Figure 129 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms, pour les voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Le locuteur 2 a à peu près la même durée totale du mouvement vélaire pour les trois voyelles nasales. Le locuteur 1 a une durée totale du mouvement vélaire moins importante pour la voyelle /ɛ/ par rapport aux deux autres nasales. Le mouvement est très important, ceci est dû au fait que les voyelles ne sont pas contraintes par l'entourage.

Les logatomes :

Nous trouvons pour les logatomes une moyenne générale de D2 de 236,04 ms pour le locuteur 1 et de 202,07 ms pour le locuteur 2 (écart type : 34,9 pour le locuteur 1 et de 34,77 pour le locuteur 2). Cette durée est nettement inférieure à la durée trouvée pour les voyelles prononcées à l'isolée. Ceci confirme que le contexte est important pour la propagation du mouvement vélaire. Le velum anticipe d'autant plus le mouvement que le phonème n'a pas de contexte phonémique immédiat. La durée du mouvement du velum est supérieure à la durée du phonème. Sur l'ensemble des répétitions, nous avons trouvé un seul cas pour lequel le mouvement vélaire est inférieur à la durée du phonème. Il s'agit du logatome /gugə/ prononcé par le locuteur 2. Pour les deux locuteurs nous trouvons que le mouvement du velum dure environ 100 ms de plus que la durée du phonème. Les écarts types sont plus élevés que pour la durée du phonème. La variabilité est plus importante pour cette mesure. La durée de D2 est supérieure en moyenne à la durée du débit d'air nasal (I.B.2.ii. p.82).

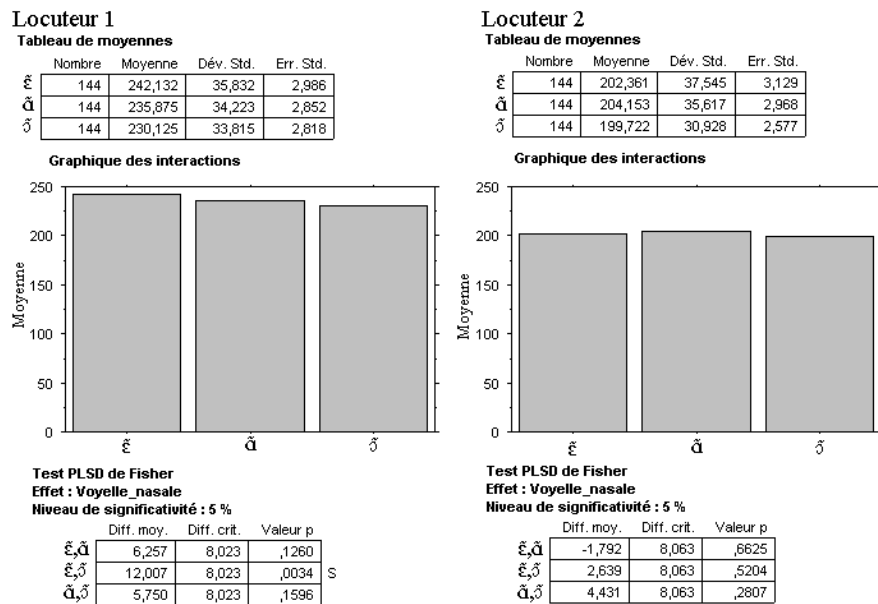


Figure 130 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Les mouvements vélaire ne sont pas le reflet de la durée du phonème en ce qui concerne les voyelles nasales. Le locuteur 2 n'a pas de différence significative de la durée du mouvement vélaire en fonction des voyelles nasales. Pour le locuteur 1, nous retrouvons une différence significative entre /ɛ/ et /ɑ/. La différence entre les voyelles n'est pas très importante pour les deux locuteurs. La voyelle /ɑ/ est celle dont le mouvement vélaire est le plus court, comme pour les voyelles à l'isolée pour le locuteur 1. La différence entre les voyelles nasales est moins marquée pour la mesure du mouvement vélaire que pour la mesure de la durée totale du débit d'air nasal.

La mesure de la durée totale du mouvement vélaire en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

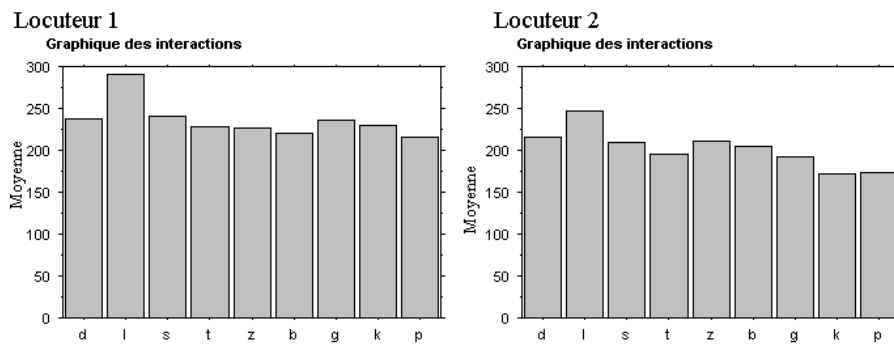


Figure 131 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D2), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=48).

La durée du mouvement vélaire sera plus importante quand la voyelle nasale est entourée par la consonne /l/ se détache des autres consonnes pour les deux locuteurs. Pour les autres consonnes, la différence est moins nette que pour la mesure de durée du débit d'air nasal, notamment pour le locuteur 1. La différence consonne voisée/consonne non voisée que nous avons trouvé pour la durée acoustique du phonème et pour la mesure de durée totale du débit d'air nasal (D3), n'est pas effective ici. Les mouvements vélares ne semblent pas moins contraints par l'entourage consonantique que le débit d'air nasal. Ceci tend à confirmer les résultats de Crouse *et al.* (1999) pour lesquels, les mouvements ont à peu près la même amplitude mais la force mise en jeu implique une pression de flux d'air différente pour les hommes et les femmes (Crouse *et al.*, 1999).

Les mesures de la durée du mouvement vélaire en fonction de l'entourage vocalique confirment le peu de variation observé pour l'entourage consonantique. Il n'y a pas de différence significative pour trois voyelles sur les quatre. Bien que la différence soit significative pour le locuteur 2 entre /a/ et les trois autres voyelles, l'écart le plus grand n'est que de 15 ms entre les différentes voyelles. L'entourage vocalique ne joue pas un rôle déterminant dans le mouvement du velum.

Les phrases lues :

La difficulté pour mesurer la durée du mouvement vélaire pour les phrases lues est comme nous l'avons indiqué dans la partie II.D.1.i. p.125. Dès que la voyelle nasale est suivie d'une pause respiratoire, le velum prend sa position de repos et nous n'avons pas le mouvement d'élévation du velum, excepté quand celui-ci se remet en position pour le début de la phonation. Nous n'avons donc pas pu mesurer l'ensemble des données. La moyenne du mouvement vélaire pour le locuteur 1 est de 286,02 ms et de 296,87 pour le locuteur 2. Ces moyennes sont supérieures à celles des logatomes. Les écarts types avec 114,88 pour le locuteur 1 et 153,58 sont très importants, ce qui indique une forte variabilité pour D2. Dans tous les cas, pour les deux locuteurs du mouvement du velum est supérieur à la durée acoustique. Nous constatons que pour les deux locuteurs, la moyenne de D2 est supérieure quand la nasale est en position finale de mot.

Le corpus "spontané" :

La moyenne de la durée du mouvement vélaire trouvée pour le locuteur 1 est de 245 ms et de 268,72 pour le locuteur 2 (écart type du locuteur 1 : 26,64, écart type du locuteur 2 : 89,84). Les écarts types sont plus importants que pour les logatomes mais cela s'explique aisément par les différences de contexte. Il est intéressant de constater que cette durée est supérieure à

la durée du mouvement vélaire trouvée pour les logatomes, bien que la durée du phonème soit inférieure. La différence est d'autant plus nette pour le locuteur 2. Ici nous n'avons pas mesuré les phonèmes suivis d'une pause. Moins la parole est contrôlée, plus il semble que le mouvement articulaire soit ample. La moyenne de la durée du mouvement vélaire en fonction des différentes voyelles nasales donne :

	Locuteur 2
Moyenne pour ɛ	254
Ecart type pour ɛ	94,55
Moyenne pour ʌ	282,93
Ecart type pour ʌ	88,57
Moyenne pour ɔ	263,3
Ecart type pour ɔ	87,54

Figure 132 : Moyenne de la durée totale du mouvement vélaire (D12) (en ms) pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 2, n=47).

Nous constatons ici que la voyelle nasale ʌ est celle pour laquelle la durée du mouvement vélaire est la plus importante et ɛ la moins grande. Ces résultats sont supérieurs en parole spontanée était plus ou moins prévisible du fait que la mesure de débit d'air nasal est supérieure en parole spontanée par rapport aux logatomes. Les contextes ne sont pas les mêmes entre les mesures aérodynamiques et fibroscopiques, mais il est important de noter que la moyenne de la durée du débit d'air nasal (D3) est nettement supérieure à la mesure du mouvement vélaire. Il est fort probable que les fuites d'air nasales soient importantes en parole spontanée, et qu'une faible ouverture vélaire permet à l'air de passer par le conduit nasal.

II.D.2.iii. Mesure du décalage entre le début de l'ouverture du velum et le début du phonème (D4)

Nous avons mesuré l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire : le décalage entre le début du mouvement et le début acoustique du phonème nasal (D4).

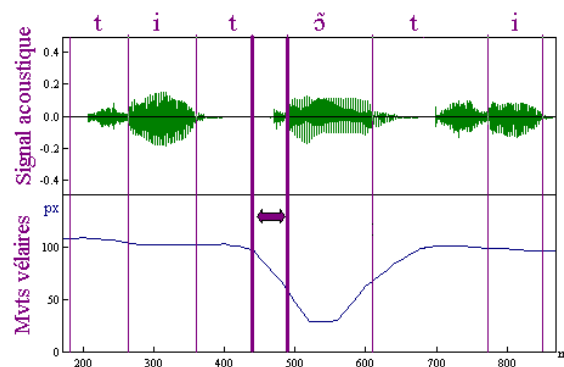


Figure 133 : Mesure du décalage entre le début du mouvement du velum et le début acoustique du phonème (D4) pour le logatome /titʌi/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

	D4 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ɛ̃	272	248
ɛ̃̃	333	233
ɔ̃	281	263
Moyenne	295,33	248

Tableau 31 : Moyenne de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Le locuteur 1 anticipe plus le mouvement d'ouverture que le locuteur 2. Pour les deux locuteurs, le mouvement sera moins anticipé pour la voyelle /ɛ̃̃/.

Les logatomes :

La moyenne générale pour la mesure de l'anticipation du mouvement vélaire est de 59,6 ms pour le locuteur 1 et de 59 ms pour le locuteur 2 (écart type, locuteur 1 : 28,37, locuteur 2 : 28,99). La mesure de l'anticipation vélaire montre que pour la plupart des données, le mouvement du velum commence avant le début du phonème nasal. Nous n'avons trouvé que deux cas pour lesquels le mouvement du velum commence après le début du phonème. Il s'agit dans les deux cas du logatome /gugɛ̃̃gu/ pour le locuteur 2. Il semble que les mouvements vélaire soient plus contraints lorsqu'ils sont dans l'entourage /g/, la langue est haute et postérieure et contraint les mouvements du velum. Il est intéressant de constater que bien que les deux locuteurs n'ont pas prononcé les logatomes à la même vitesse. Ils ont exactement la même moyenne en ce qui concerne le décalage entre le début du mouvement et le début du phonème.

La mesure de l'anticipation en fonction des voyelles nasales donne :

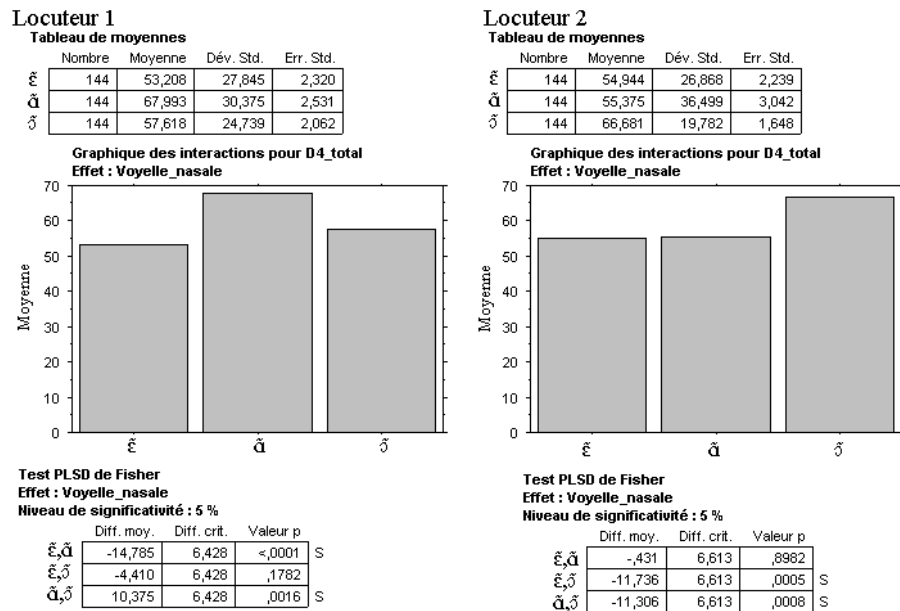


Figure 134 : Moyenne de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

La mesure de D4 en fonction des voyelles montre une différence interlocuteur. Pour le locuteur 1, l'anticipation du mouvement est plus importante pour la voyelle nasale /ɛ̃̃/, alors que pour le locuteur 2, il s'agit de la voyelle /ɔ̃/. Cette différence d'anticipation ne correspond pas à la différence que nous observons pour la mesure de l'anticipation du débit d'air nasal. Il

n'y a pas de rapport entre l'anticipation de l'ouverture du velum, et l'anticipation du débit d'air nasal.

La mesure de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne :

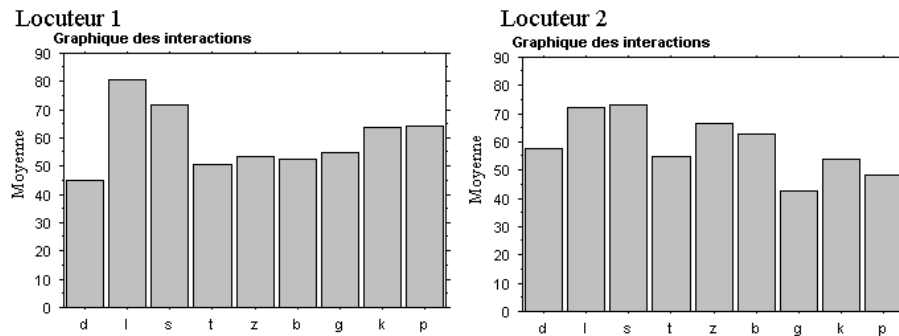


Figure 135 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=48).

Deux consonnes se détachent pour les deux locuteurs. Le velum commence à s'abaisser plutôt si la consonne qui précède la voyelle nasale est un phonème /l/ ou /s/. En ce qui concerne la consonne /s/, c'est aussi celle pour laquelle la voyelle nasale aura le moins de retard de débit d'air nasal. Il serait alors possible d'expliquer le début du débit d'air nasal par rapport à l'anticipation du mouvement vélaire. Cependant cette explication ne fonctionne pas pour la consonne /l/. De plus, la voyelle nasale a un maximum de retard de débit d'air nasal quand elle est précédée de la consonne /p/. Ce qui semble confirmer qu'il n'y a pas de rapport direct entre le début du mouvement d'ouverture du velum et le début du débit d'air nasal. Il est important de signaler que les mesures faites sur les quatre répétitions donnent une grande différence certaine. La variabilité est très marquée pour les deux locuteurs et notamment le locuteur 2.

La mesure de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture en fonction de l'entourage vocalique (V₁) donne :

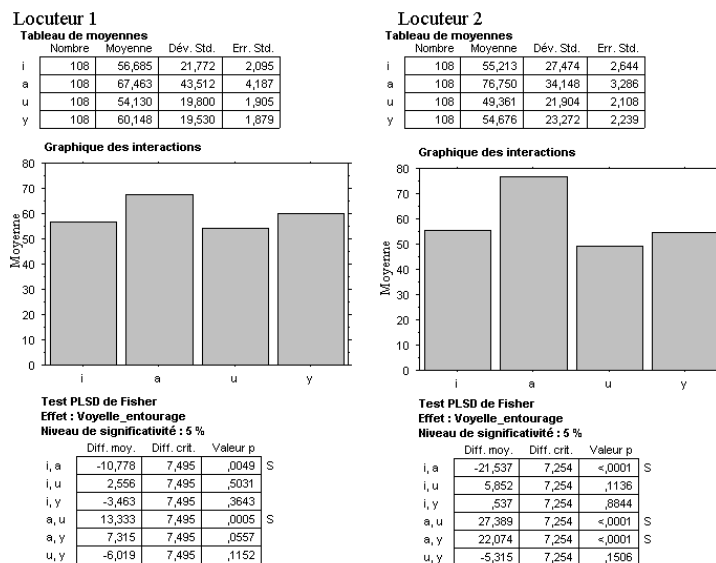


Figure 136 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V₁) (2 loc, n=108).

Les deux locuteurs ont exactement le même schéma. L'anticipation du mouvement sera plus importante quand la voyelle nasale à dans son entourage vocalique (V₁), la voyelle /a/. Nous pouvons donc dire que la coarticulation en ce qui concerne les mouvements du velum est longue distance car elle tient compte de V₁. Pour les deux locuteurs, la voyelle /u/ est celle qui bloque le plus l'anticipation du mouvement vélaire. La voyelle /u/ est une voyelle postérieure, il semble que la langue interfère le mouvement d'ouverture du velum, ce qui confirme les résultats du logatome /gugɔgu/. Comme précédemment ces mesures d'ouverture ne sont pas en correspondance avec les mesures d'anticipation du flux d'air nasal.

Les phrases lues :

Nous constatons que le mouvement du velum commence toujours avant le début du phonème. Avec une moyenne de 75,41 ms pour le locuteur 1, et 82,47 ms pour le locuteur 2, l'anticipation du mouvement vélaire est plus importante que pour les logatomes. Pour l'ensemble des données, le mouvement du velum commence avant le phonème nasal. Nous ne trouvons pas de différence de mesure de l'anticipation du mouvement pour le locuteur 1 en fonction de la position de la voyelle nasale dans le mot. Par contre, nous trouvons pour le locuteur 2 que le mouvement vélaire sera plus anticipé si la voyelle est en position finale de mot. Les résultats du locuteur 1 sont en correspondance avec les mesures de débit d'air nasal.

Le corpus "spontané" :

La moyenne de la mesure de l'anticipation vélaire donne pour le locuteur 1, 94,77 ms et 118,45 ms pour le locuteur 2 (les écarts types sont de 43,57 pour le locuteur 1 et de 65,49 pour le locuteur 2). L'anticipation du mouvement est vraiment très importante, notamment pour le locuteur 2 qui a doublé sa moyenne par rapport aux logatomes. Pour l'ensemble des données, le mouvement commence avant la voyelle nasale. En ce qui concerne la moyenne en fonction des différentes voyelles nasales, nous trouvons :

	Locuteur 2
Moyenne pour <u>ɛ</u>	101,5
Ecart type pour <u>ɛ</u>	58,84
Moyenne pour <u>ɔ</u>	131,33
Ecart type pour <u>ɔ</u>	61,85
Moyenne pour <u>ə</u>	122,4
Ecart type pour <u>ə</u>	46,7

Figure 137 : Moyenne de la durée de l'anticipation du mouvement d'ouverture vélaire (D4), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans le corpus "spontané" (loc 2, n=47).

La voyelle /ɛ/ est la voyelle pour laquelle, il y a le moins d'anticipation du mouvement ; la voyelle /ɔ/ celle pour laquelle il y a le plus d'anticipation. Tout comme pour le corpus phrases lues, l'anticipation du mouvement est plus importante pour les voyelles en fin de mot, que pour les voyelles à l'intérieur du mot pour le locuteur 2. Nous n'avons pas d'explication à ce phénomène, car pourquoi la voyelle serait moins contrainte par la consonne qui la précède quand la nasale est en position finale ? Nous pensons que la variabilité est très importante et que ceci explique ces résultats. Les mouvements vélaire, comme le débit d'air nasal sont d'autant plus anticipés que la parole est relâchée.

II.D.2.iv. Mesure du décalage entre la fin de l'ouverture du velum et la fin du phonème (D11)

Nous avons mesuré la persévérance du mouvement vélaire : la mesure du décalage entre la fin du mouvement du velum et la fin du phonème (D11).

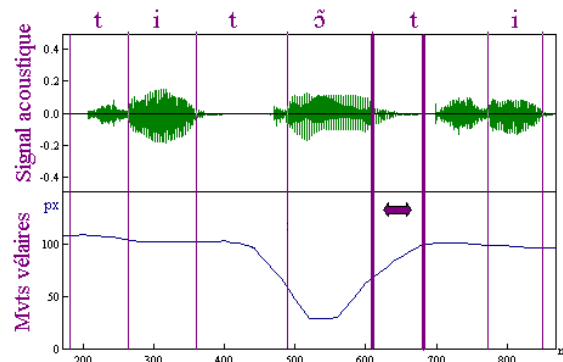


Figure 138 : Mesure de la persévération du mouvement vélaire (D11) pour le logatome /tititi/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

	D11 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ɛ̃	86	76
ɛ	124	94
ø	101	63
Moyenne	103,66	77,66

Tableau 32 : Moyenne de la durée de persévération du mouvement (D11), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Pour les deux locuteurs, la mesure de persévération du mouvement est nettement moins importante que la mesure d'anticipation. Pour les deux locuteurs, la voyelle nasale /**ɛ̃**/ a le plus de persévération par rapport aux deux autres.

Les logatomes :

La moyenne générale de persévération du mouvement est de 40,69 ms pour le locuteur 1, et de 33,33 ms pour le locuteur 2. L'écart type est de 18,82 pour le locuteur 1, de 25,8 pour le locuteur 2. Cette mesure est inférieure à la mesure de l'anticipation du mouvement vélaire. Le mouvement de persévération est moins important que le mouvement anticipatoire, ce qui confirme que le mouvement vélaire est anticipant (Passy, 1890). La mesure de la persévération est aussi très nettement inférieure à la mesure de persévération du débit d'air nasal. Ceci confirme les résultats de Benguerel 1974, qui trouve du débit d'air nasal alors que le velum est complètement remonté (Benguerel, 1974). Nos résultats montrent que la persévération du mouvement est quasi systématiquement inférieure à la persévération du débit d'air nasal. Il y a 5% des cas pour les lesquels le velum se ferme avant la fin acoustique du velum ; les cas sont plus nombreux pour le locuteur 2. Dans la majorité des cas, il s'agit des logatomes contenant la voyelle nasale /**ø̃**/ . La position de la langue pour cette voyelle favorise la remontée du velum.

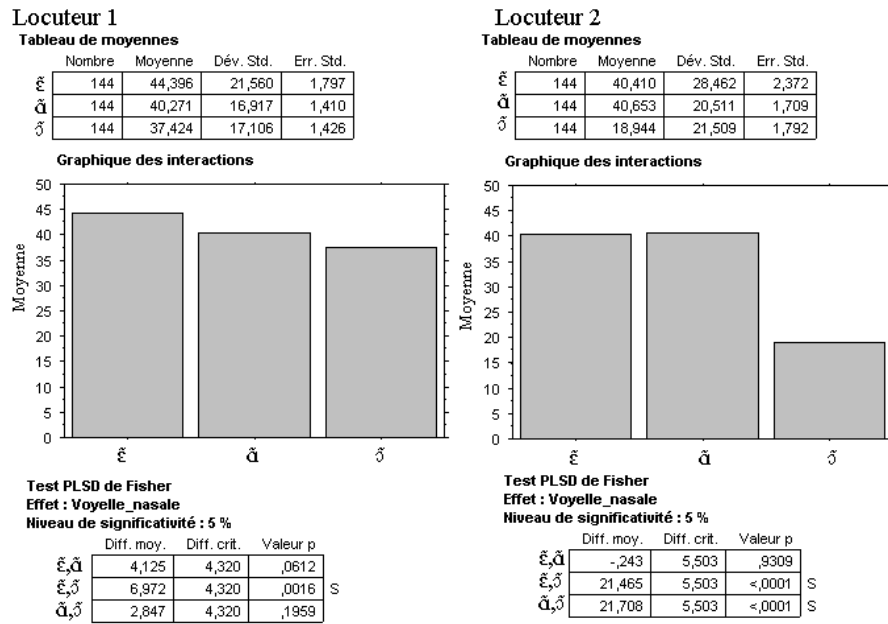


Figure 139 : Moyenne de la durée de la persévération du mouvement (D11), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=144).

Nous retrouvons la même tendance pour les deux locuteurs. La voyelle nasale /ɑ̃/ est la voyelle pour laquelle la persévération du débit d'air nasal est le plus faible. Il n'y a pas de différence significative entre les deux autres voyelles.

La mesure de la durée de la persévération du mouvement en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne :

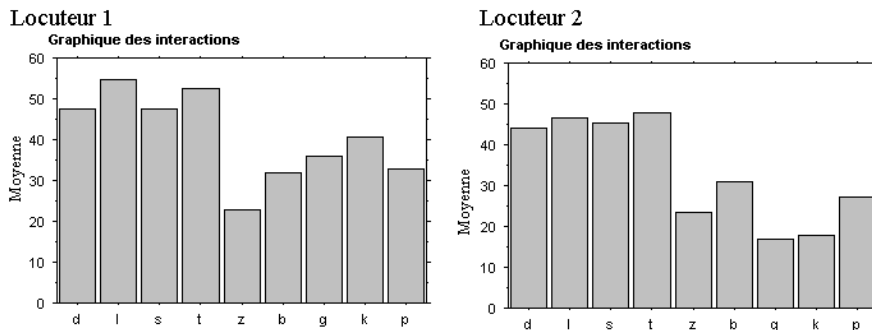


Figure 140 : Moyenne de la durée de la persévération du mouvement (D11), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=48).

Nous constatons les mêmes tendances pour les deux locuteurs. L'entourage consonantique peut être séparé en deux groupes de consonnes :

?? Groupe 1 : z, b, g, k, p

?? Groupe 2 : d, l, s, t.

Le groupe 2 ayant une plus grande persévération du mouvement vélaire. Il est intéressant de constater que pour les deux locuteurs les occlusives vont par paire voisée/non voisée : les dentales, les labiales et les vélares. Dans le groupe 2, les vélares ont le plus de persévération pour le locuteur 1, et le moins de persévération pour le locuteur 2. Ces résultats suggèrent que le velum ne se referme pas forcément plus tôt dans le cas d'une occlusive sourde, ni même pour une fricative. La revue de la littérature nous a montré que les consonnes non voisées sont les phonèmes pour lesquels le mouvement vélaire est le plus contraint, nos données ne vont

pas dans ce sens en ce qui concerne la persévération du mouvement vélaire. Comme précédemment, cette mesure ne correspond pas à la mesure de la persévération du débit d'air nasal. Ce n'est pas parce que le velum mettra plus de temps à se refermer qu'il y aura plus de persévération du débit d'air nasal et inversement.

Pour les deux locuteurs, la mesure de la persévération du débit d'air nasal en fonction de l'entourage vocalique montre une différence significative pour une seule voyelle avec les trois autres, celle-ci est différente pour les deux locuteurs. Pour le locuteur 1, la mesure de la persévération sera plus importante si $V_1 = /y/$, pour le locuteur 2 il s'agit de la voyelle $/a/$.

Les phrases lues :

Avec une moyenne de 87,7 ms pour le locuteur 1 et de 89,7 ms pour le locuteur 2 (écart type : 55,8 pour le locuteur 1 et 100,07 pour le locuteur 2). Nous constatons une grande variabilité pour le locuteur 2. La persévération du mouvement vélaire est plus importante pour les phrases lues que pour les logatomes. Pour le locuteur 2, le velum met deux fois plus de temps à se refermer pour une voyelle nasale lorsqu'elle est en finale de mot que quand elle est à l'intérieur du mot. Le locuteur 1 a une différence beaucoup moins marquée. Le mouvement est plus contraint pour les voyelles en position intervocalique.

Le corpus "spontané" :

Nous trouvons une mesure de la persévération du mouvement vélaire de 59,52 ms pour le locuteur 1, et de 60,74 ms pour le locuteur 2. Cette mesure est moins importante que pour la parole lue. L'écart type pour le locuteur 2 (66,38) est plus important que la moyenne elle-même. Cette moyenne est cependant toujours plus importante que celle des logatomes. Avec une moyenne de 50,16 ms pour les voyelles à l'intérieur du mot et une moyenne de 54,18 ms, il n'est pas possible de dire qu'il existe une différence en fonction de la position de la voyelle nasale dans le mot pour le locuteur 2 en parole "spontanée". La mesure de la persévération du débit d'air nasal en parole spontanée montre qu'il y a des phonèmes dont le mouvement vélaire se termine avant la fin acoustique du phonème (4 cas sur les 46 recensés).

II.D.2.v. Distance entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème (D8)

La mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème donne le décalage entre l'ouverture maximum du velum et le début du phonème. Nous sommes partie de l'hypothèse que l'ouverture maximum a lieu durant le phonème nasal. Les résultats négatifs indiquent que l'ouverture maximum a lieu avant le début acoustique du phonème nasal.

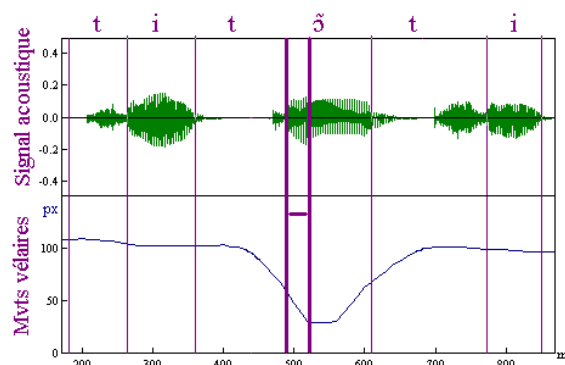


Figure 141 : Mesure du décalage entre l'ouverture maximum du velum et le début acoustique du phonème (D8) pour le logatome /tititi/ (loc 1).

Les voyelles isolées :

	D8 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2
ɛ̃	-69	-57
ɛ̃	30	-17
œ̃	-15	-66
Moyenne	-18	-46,66

Tableau 33 : Mesure du décalage entre l'ouverture maximum et le début du phonème (D8), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Pour cinq voyelles sur six, l'ouverture maximum du velum a lieu avant le phonème nasal. Seule la voyelle /ɛ̃/ pour le locuteur 1 a une ouverture maximum à l'intérieur du phonème.

Les logatomes :

La moyenne générale du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème est de 59,51 ms pour le locuteur 1 et de 43,23 ms pour le locuteur 2. La tendance que nous avons trouvée pour les phonèmes à l'isolée ne se retrouve pas pour les logatomes. Avec 23,67 pour le locuteur 1 et 21,97 pour le locuteur 2, l'écart type indique une faible variation. Nous avons recensé 8 cas pour le locuteur 2, pour lesquels l'ouverture vélaire maximum se trouve avant la voyelle nasale. Les trois voyelles sont touchées, principalement la voyelle /œ̃/ avec quatre cas, en majorité dans le contexte consonnes sourdes (7 cas sur 8) et un cas dans le contexte /l/. Cette ouverture vélaire maximum se produit environ à la moitié acoustique du phonème nasal. La mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème en fonction des voyelles nasales donne :

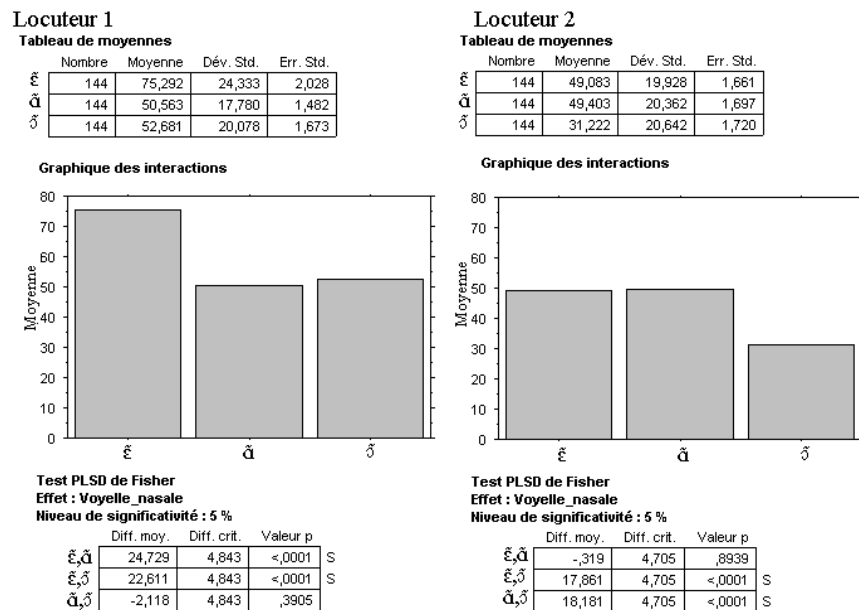


Figure 142 : Moyenne du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème (D8), en ms, en fonction des voyelles nasales pour les logatomes (2 loc, n=144).

Nous constatons une différence interlocuteur. Pour le locuteur 1, la voyelle nasale /ɛ̃/ est la voyelle pour laquelle la mesure de D8 est la plus faible, alors que pour le locuteur 2, c'est la voyelle /œ̃/. La distance est assez importante en ce qui concerne la voyelle /ɛ̃/ pour les deux locuteurs.

La mesure du décalage entre l'ouverture maximum et le début du phonème en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

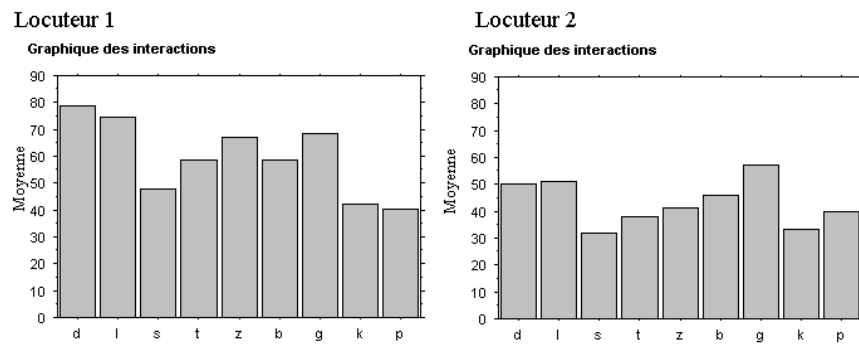


Figure 143 : Moyenne du décalage entre le début du mouvement et l'ouverture maximum (D8), en ms, pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=48).

Nous retrouvons ici la distinction entre consonnes voisées et consonnes non voisées. Les consonnes voisées autorisent un décalage plus important entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème. La différence en fonction des différentes répétitions est nettement moins marquée que pour la mesure de l'anticipation du mouvement vélaire. Pour le locuteur 2, le test Anova à mesures répétées, indique, qui plus est qu'il n'existe pas de différence significative entre les répétitions.

Pour les quatre répétitions et les deux locuteurs, nous retrouvons systématiquement la distinction entre les consonnes voisées et les consonnes non voisées. La plupart des études s'intéresse au début du mouvement en ce qui concerne les mouvements vélaire, et pourtant nos données indiquent que la mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème est beaucoup plus stable que la mesure du décalage entre le début du mouvement vélaire et le début du phonème. La différence interlocuteur est peu marquée. Cette mesure reflète la différence attestée dans la littérature entre les consonnes voisées et les consonnes non voisées. Les données de la mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème en fonction des voyelles orales (V_1) montrent que pour les deux locuteurs le décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème est plus courte quand V_1 est un /a/. Il n'y a pas de différence pour les voyelles orales entre-elles pour le locuteur 1. Pour le locuteur 2, la voyelle /u/ sera celle qui permettra une plus grande distance entre le début du mouvement et l'ouverture maximum.

Les phrases lues :

La moyenne de la mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème donne pour le locuteur 1 67,11 ms et 64,77 ms pour le locuteur 2. La durée est presque la même pour les deux locuteurs. Les écarts types de 46,16 et 43,59 pour le locuteur 1 et le locuteur 2 sont moins importants par rapport aux mesures d'anticipation et de persévérance du mouvement. Cette mesure ne semble pas être contrainte par le style de parole.

Le corpus "spontané" :

La mesure de la mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème en parole spontanée montre que le mouvement vélaire est bien plus anticipé qu'en parole lue. En effet, sur les 46 voyelles nasales trouvées pour le locuteur 2, 15 ont l'ouverture maximum du velum avant le phonème nasal. Nous retrouvons ici la tendance trouvée pour les voyelles à l'isolée. Ceci peut en partie expliquer pourquoi nous trouvons de l'anticipation de

débit d'air nasal en parole spontanée. Ceci confirme également que les mouvements vélares sont plus anticipants que persévérants.

II.D.2.vi. Mouvement d'ouverture et mouvement de fermeture du velum (D13&D14)

Nous avons mesuré les mouvements d'ouverture (D13) et fermeture (D14) pour vérifier l'hypothèse selon laquelle le velum met plus de temps à s'ouvrir qu'à se fermer (*cf.* Introduction). Le mouvement d'ouverture consiste à mesurer la distance entre le début du phonème et l'ouverture vélaire maximum. Le mouvement de fermeture consiste à mesurer la distance entre la fin du phonème et l'ouverture vélaire maximum.

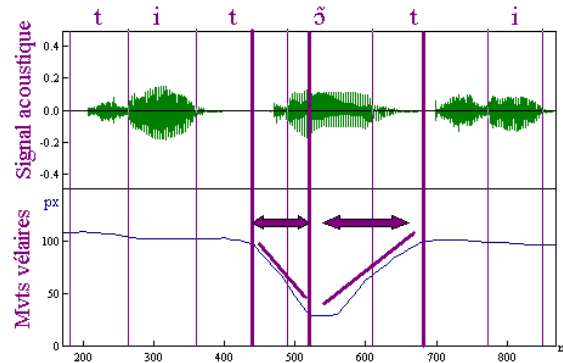


Figure 144 : Mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13) et mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14) pour le logatome /tititi/ (loc 1).

La Figure 144, par exemple montre que le velum met moins de temps pour s'ouvrir que pour se refermer.

Les voyelles isolées :

	D13 (ms)		D14 (ms)	
	Locuteur 1	Locuteur 2	Locuteur 1	Locuteur 2
ɪ	233	199	294	280
ʊ	357	230	244	250
ə	265	199	289	280
Moyenne	285	209,33	275,66	270

Tableau 34 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, pour les voyelles prononcées à l'isolée (2 loc, n=1).

Nous constatons que pour le locuteur 1, le mouvement d'ouverture est plus long que le mouvement de fermeture. Pour le locuteur 2, les mouvements d'ouverture et de fermeture sont sensiblement les mêmes.

Les logatomes :

Les moyennes des mouvements d'ouverture et de fermeture pour les deux locuteurs donnent :

Locuteur 1		Locuteur 2	
D13 (ms)	D14 (ms)	D13 (ms)	D14 (ms)
119,11	116,92	102,23	99,93

Tableau 35 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, pour les logatomes (2 loc, n=432).

Le temps d'ouverture est le même que le temps de fermeture pour les deux locuteurs. Les écarts types se situent tous entre 20 et 30 ms, ce qui montre qu'il n'y a pas une grande

variabilité entre les répétitions. Si nous regardons les mouvements d'ouverture et de fermeture en fonction des voyelles nasales, nous voyons qu'il y a un phénomène de compensation qui explique que D13 et D14 sont similaires :

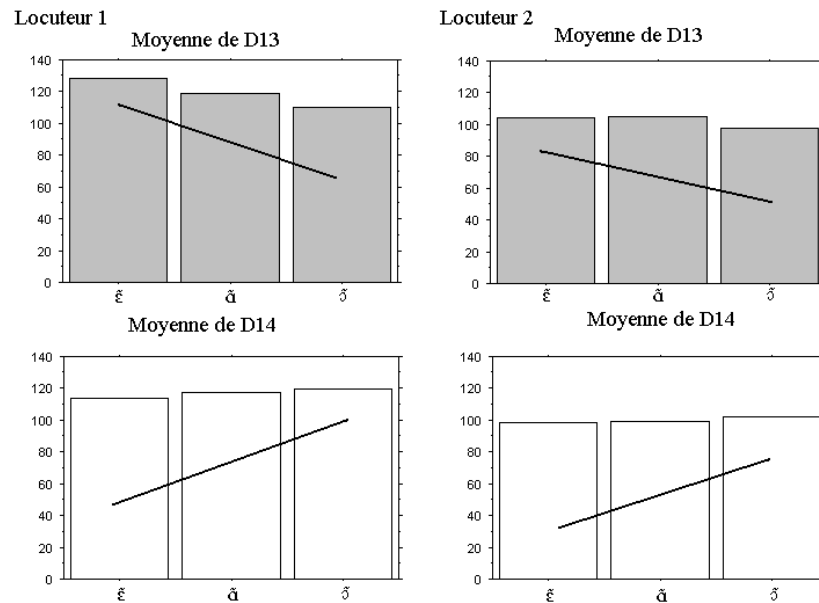


Figure 145 : Moyennes de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13) et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14) pour les 3 voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Les mesures des mouvements d'ouverture et de fermeture vélares par rapport à l'entourage consonantique confirment que les mouvements d'ouverture et de fermeture sont plus longs quand $C_1=l/$.

Les phrases lues :

Les moyennes des deux mesures d'ouverture et de fermeture du velum pour les deux locuteurs confirment que le temps d'ouverture est le même que le temps de fermeture :

Locuteur 1		Locuteur 2	
D13 (ms)	D14 (ms)	D13 (ms)	D14 (ms)
145	147,1	148,7	156

Tableau 36 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, en fonction des voyelles nasales prononcées dans le corpus phrases lues (2 loc, n=48).

Le corpus "spontané" :

Les moyennes des deux mesures d'ouverture et de fermeture du velum, en ce qui concerne le corpus "spontané" pour les deux locuteurs, confirment les données trouvées pour les logatomes et le corpus phrases lues.

Locuteur 1		Locuteur 2	
D13 (ms)	D14 (ms)	D13 (ms)	D14 (ms)
134,44	128,85	137,8	139,9

Tableau 37 : Moyenne de la mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et l'ouverture maximum (D13), en ms, et moyenne de la mesure du décalage entre la fin du mouvement et l'ouverture maximum (D14), en ms, en fonction des voyelles nasales pour le corpus "spontané" (loc 1, n=10, loc 2, n=47).

II.D.3. Les données quantitatives

II.D.3.i. Mesure de l'ouverture vélaire maximum (Q4)

Nous avons mesuré la hauteur vélaire au moment de l'ouverture maximum (en pixel).

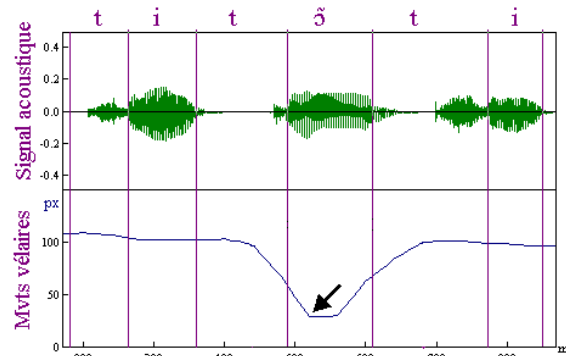


Figure 146 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum pour le logatome /titʔi/ (loc 1).

Comme nous l'avons évoqué dans la partie (II.A. p.116), il ne nous est pas possible de comparer les locuteurs entre-eux. Plus la mesure est proche de zéro pixel, plus l'ouverture vélaire est importante.

Les voyelles isolées :

Pour les deux locuteurs, les trois voyelles nasales ont une ouverture maximum à 0 pixel, ce qui signifie que l'ouverture du velum durant la production de la voyelle est la même que l'image de référence choisie. Les voyelles à l'isolée sont prononcées avec une ouverture vélaire équivalente à la position du velum durant une phase de respiration.

Les Logatomes :

La moyenne générale de l'ouverture maximum est de 38,26 pixels pour le locuteur 1, et de 40,9 pixels pour le locuteur 2. La mesure de l'ouverture vélaire maximum en fonction des voyelles nasales donne :

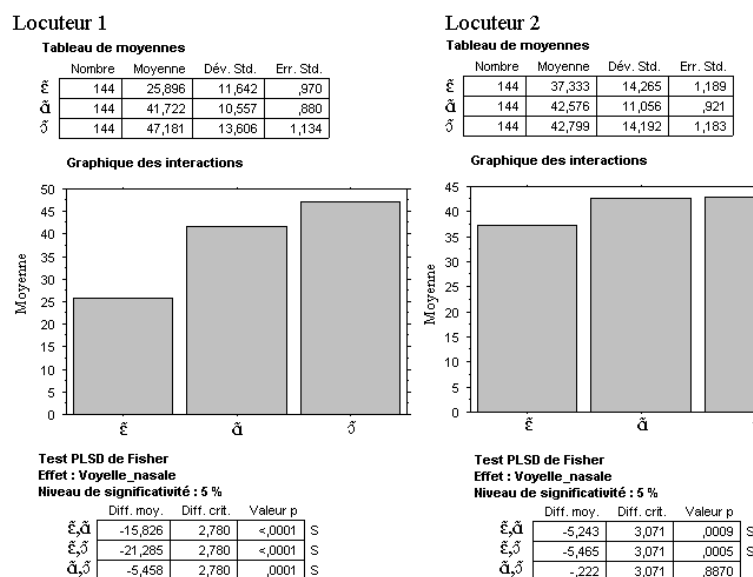


Figure 147 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum (Q4), en pixels, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=144).

Pour les deux locuteurs l'ouverture maximum est obtenue pour la voyelle nasale /ɛ/, et l'ouverture minimum pour la voyelle /œ/.

La mesure de l'ouverture vélaire maximum pour les voyelles nasales en fonction de l'entourage consonantique (C₁) donne la même tendance pour les deux locuteurs : les fricatives et les occlusives sourdes impliquent une ouverture moins importante du velum pour la voyelle nasale. Le velum aura une ouverture vélaire maximum dans l'entourage consonantique /l/.

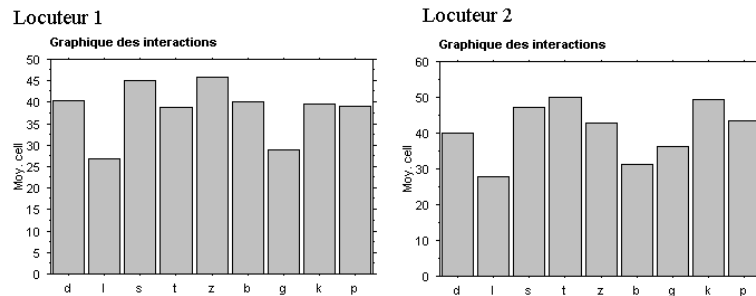


Figure 148 : Mesure de l'ouverture vélaire maximum (Q4), en pixels, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (2 loc, n=144).

Nous confirmons les résultats de Amelot *et al.* trouvés en 2003, l'ouverture vélaire est influencée par l'entourage vocalique (V₁) (Amelot *et al.*, 2003). L'ouverture vélaire maximum sera d'autant plus importante qu'elle a comme entourage vocalique une voyelle /a/.

Les phrases lues :

La moyenne de l'ouverture vélaire maximum pour le locuteur 1 donne 38,77 pixels et 37,02 pixels pour le locuteur 2. Nous constatons que cette moyenne n'est pas tellement différente de celle des logatomes. Il est intéressant de constater que le velum est plus abaissé quand le phonème est en position finale de mot (35,03 pixels contre 48 pixels pour le locuteur 1 et 31,62 pixels contre 51,53 pixels pour le locuteur 2).

Le corpus "spontané" :

La moyenne de l'ouverture vélaire maximum pour le locuteur 1 est de 42 pixels et de 49,56 pixels pour le locuteur 2. Le velum s'abaisse moins que pour la parole lue. La hauteur moins importante est compensée par un mouvement plus long.

II.E. Discussion

Le "speech ready gesture" se réalise avant ou pendant le premier phonème de la phrase.- Ce mouvement reflète le débit d'air nasal sur le premier phonème. Vaissière (1986) trouve que le geste d'élévation a lieu même si le premier segment est nasal ; dans notre corpus nous n'avons trouvé qu'un cas de /m/ en début de phrase, en parole spontanée. Le velum est ouvert pendant la production de la consonne nasale ; nous n'avons pas assez de données pour confirmer ou non les résultats de (Vaissière, 1986). La fin de la phrase est généralement marquée par une ouverture du voile du palais qui peut être interprétée comme une relaxation de la tension du levator palatini, ou comme un geste d'anticipation de l'ouverture du port nasal pour la prise de respiration (Vaissière, 1986).

Les mouvements vélaire commencent avant le début du phonème.- Nous confirmons que le velum commence à s'ouvrir avant le début de la voyelle nasale. En accord avec les données de Ohala (1975), le velum met environ 50 ms pour arriver à une ouverture vélaire maximum

(Ohala, 1975). Le phénomène d'anticipation pour les voyelles nasales est plus un phénomène articulaire qu'aérodynamique, notamment pour la parole contrôlée

L'activité du levator palatini est influencée par l'impédance dans le conduit vocal : il y a une activité plus importante pour les occlusives orales, l'activité diminue pour les fricatives, ensuite les voyelles hautes, puis les voyelles basses et enfin les consonnes nasales (Bell-Berti, 1975 ; Dixit, 1981). Au vu de nos données, cette activité ne joue pas un rôle très important pour l'anticipation du mouvement. Seules les deux consonnes /s/ et /l/ se détachent des autres avec un mouvement d'anticipation plus important. Par contre, ces contraintes articulaires influencées par la position de la langue. Nous voyons sur la figure ci-dessous que la langue est très haute pour la production de la vélaire.

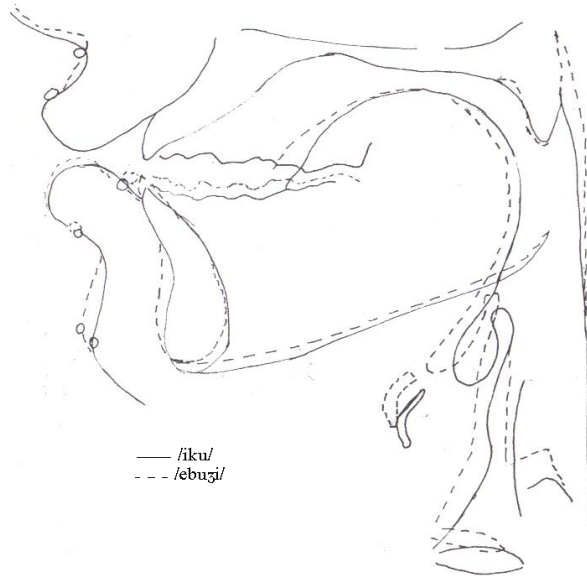


Figure 149 : Coupe sagittale montrant la production de la vélaire /k/ (trait plein) pour la séquence /iku/ et /b/ (trait pointillé) dans la séquence /ebuZi/, images extraites au milieu de la consonne (Bothorel *et al.*, 1986 p.79).

Les mouvements vélares sont moins progressifs que régressifs.- La persévérance est moins importante que l'anticipation du mouvement du velum. Benguerel (1977) indique que le velum se relève plus vite qu'il ne s'abaisse (Benguerel *et al.*, 1977a). Cependant, nous trouvons que l'ouverture vélaire maximum arrive avant le milieu de la voyelle. En accord avec (Condax, 1982), le mouvement d'ouverture n'est pas très différent du mouvement de fermeture. En moyenne, le débit d'air nasal continue environ 80 ms après la fin du phonème alors que le mouvement vélaire lui continue environ 37 ms après la fin de la voyelle. Nous confirmons l'observation de Benguerel (1974) : le débit d'air nasal continue après la fin du phonème nasal alors que le velum est complètement fermé (Benguerel *et al.*, 1974). Nous trouvons des cas pour lesquels les mouvements vélares s'arrêtent avant la fin du phonème en parole spontanée. Il s'agit des voyelles nasales qui suivent une consonne nasale, le velum commence à s'ouvrir avant la consonne nasale et commence à se refermer pendant la voyelle nasale, et se retrouve complètement refermé avant la fin de la voyelle nasale.

L'ouverture vélaire n'est pas la même pour les trois voyelles nasales.- Nous trouvons une plus grande ouverture vélaire pour la voyelle /ɛ/, et une plus petite ouverture vélaire pour la voyelle nasale /ɛ̃/. Le mouvement d'abaissement du velum est contraint par la position de la langue. Si l'hypothèse de l'activité du muscle palato-glosse est effective pour les voyelles nasales (Benguerel *et al.*, 1977b), cela signifie que la voyelle /ɛ̃/ est produite avec une plus grande ouverture buccale que les deux autres nasales. Nous avons vu qu'elle est produite avec une résistance labiale moins importante, il se peut qu'elle soit liée à l'ouverture buccale. Nous confirmons également les données de (Moll, 1962), les voyelles nasales ont une ouverture

vélaire plus importante quand elles sont prononcées à l'isolée. Ce qui confirme l'importance de l'entourage consonantique.

Le rapport entre aérodynamique et articulatoire pour la nasalisation spontanée est due à l'anticipation du mouvement.- Les données aérodynamiques montrent que la plupart des cas de nasalisation spontanée concernent les fricatives. Les données fibroscopiques, pour la parole lue et la parole spontanée, montrent que l'anticipation du mouvement est plus importante quand une voyelle est susceptible d'être produite avec une ouverture vélaire est dans l'environnement d'une fricative ou d'une liquide. Il existe également des cas de nasalisation dite "spontanée" pour certaines voyelles en contexte aspiré ou suivi d'un coup de glotte. Certaines nasalisations, dans certains mots, sont créées par analogie avec d'autres mots, ou sont introduites par des emprunts (Vaissière, 1995). Nous avons trouvé des cas de nasalisation spontanée sur les allongements marquant une hésitation, qui parfois est glottalisée.

La présence ou non de frontière de mot n'affecte pas les mouvements du velum (Moll et al., 1971).- Nos données montrent que le mouvement du velum sera plus long pour les voyelles nasales en fin de mot, confirmant du même coup les résultats des données aérodynamiques.

Les mouvements articulatoires semblent moins contraints par l'entourage que le débit d'air nasal. Ceci confirmerait notre hypothèse selon laquelle la force articulatoire est la même pour les différents phonèmes, et que c'est l'impédance à l'intérieur du conduit vocal qui va permettre ou non à l'air de passer par le conduit nasal. Cette hypothèse va dans le sens des résultats trouvés par (Moll, 1962 ; Ushijima *et al.*, 1972) pour lesquels il n'y a pas de différence de fermeture pour les différentes consonnes occlusives. Bien que les logatomes n'aient pas été prononcés à la même vitesse pour les deux locuteurs, les données temporelles des mouvements vélaire sont très proches pour les deux locuteurs.

Tout comme pour les données aérodynamiques, le mouvement articulatoire est d'autant plus ample que la parole est relâchée.- Cela concerne surtout l'anticipation du mouvement, pas la persévération. Le trait [+nasal] définit sur une base articulatoire reflète les mouvements articulatoires pour les voyelles nasales mais pas leur résultante aérodynamique. Le schéma ci-dessous résume ce que nous avons trouvé pour les mouvements articulatoires :

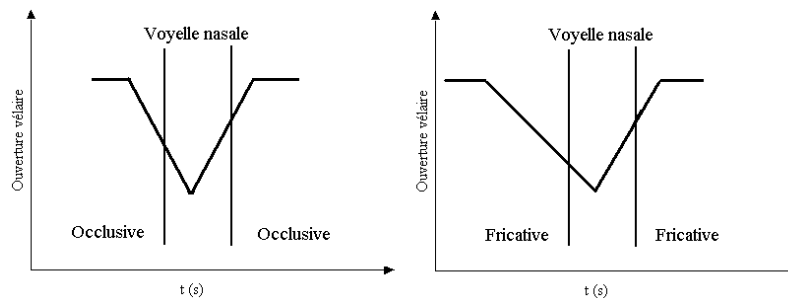


Figure 150 : Schéma idéalisé résumant les mouvements d'ouverture et de fermeture du velum.

III. Alignement des données aérodynamiques et fibroscopiques

Résumé :

Une pré-étude nous a permis de conclure qu'il est possible de faire un alignement de ce type. En effet, des données aérodynamiques prises simultanément avec des données fibroscopiques ont révélé les mêmes tendances que les données alignées.

Les résultats de l'étude principale sont :

Les mesures temporelles :

- Le début du débit d'air nasal commence toujours après le début du mouvement vélaire. Il existe pour cette mesure, une forte différence inter-locuteur.

- Pour les deux locuteurs, la mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum est la moins importante pour la voyelle nasale /œ/.

- Il n'y a pas de corrélation entre l'ouverture vélaire maximum et le pic de débit d'air nasal.

Les mesures quantitatives :

- La moyenne de débit d'air nasal durant la phase d'ouverture et de fermeture du velum montre les mêmes tendances que pour les mesures prises sur la voyelle nasale. A savoir, la voyelle nasale /œ/ est produite avec un débit d'air nasal plus important.

- 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.

Nous pouvons conclure qu'il n'existe pas de corrélation entre les mouvements du voile du palais et le débit d'air nasal sortant, pour les voyelles nasales. Alors que nous pensions qu'une ouverture vélaire maximum correspondrait à une quantité importante de débit d'air nasal, il s'avère que nos données montrent que cette ouverture vélaire correspond d'avantage au début du débit d'air nasal. Ces données confirment l'importance de l'ouverture vélaire maximum. Le débit d'air négatif observé avant l'apparition du débit d'air nasal ne correspond pas au début du mouvement vélaire, il correspond au moment où le velum est suffisamment ouvert pour que les deux conduits (buccal et nasal) soient en connexion. Ceci confirme qu'il faut une ouverture vélaire minimum pour que l'air passe par le conduit nasal. Ces données et les données trouvées précédemment suggèrent que l'ouverture du velum semble mieux contrôlée par le locuteur que les paramètres physiologiques permettant la production de flux d'air nasal. Le mouvement articulaire commence avant la voyelle nasale et donne la possibilité à l'air qui vient de la glotte de passer par le conduit nasal, ensuite en fonction de l'impédance à l'intérieur du conduit vocal cet air passera soit par la bouche soit par le nez ou par les deux.

Nous avons voulu aligner les données aérodynamiques et fibroscopiques pour connaître le rapport entre le mouvement articulaire et la sortie aérodynamique. Nos résultats précédents suggèrent qu'il n'y a pas réellement de rapport entre les deux. Pourtant, il serait intéressant de voir s'il n'existe pas un temps et/ou un degré d'ouverture vélaire pour lesquels l'air passe par le conduit nasal. Trouver un rapport entre les deux mesures pourrait permettre d'étudier la nasalité à un seul paramètre articulaire ou aérodynamique, et d'interpréter les autres résultats.

III.A. Méthodologie

Il s'agit d'aligner les données aérodynamiques avec les données fibroscopiques. Pour cela, nous avons pris comme référence le début acoustique de la voyelle nasale. La méthode consiste à isoler les fichiers audio pour chaque instrumentation, ensuite nous les alignons tous

les deux à partir de la voyelle cible. Il suffit ensuite d'aligner le fichier des mouvements vélares et le fichier du débit d'air nasal par rapport aux deux fichiers acoustiques résultants.

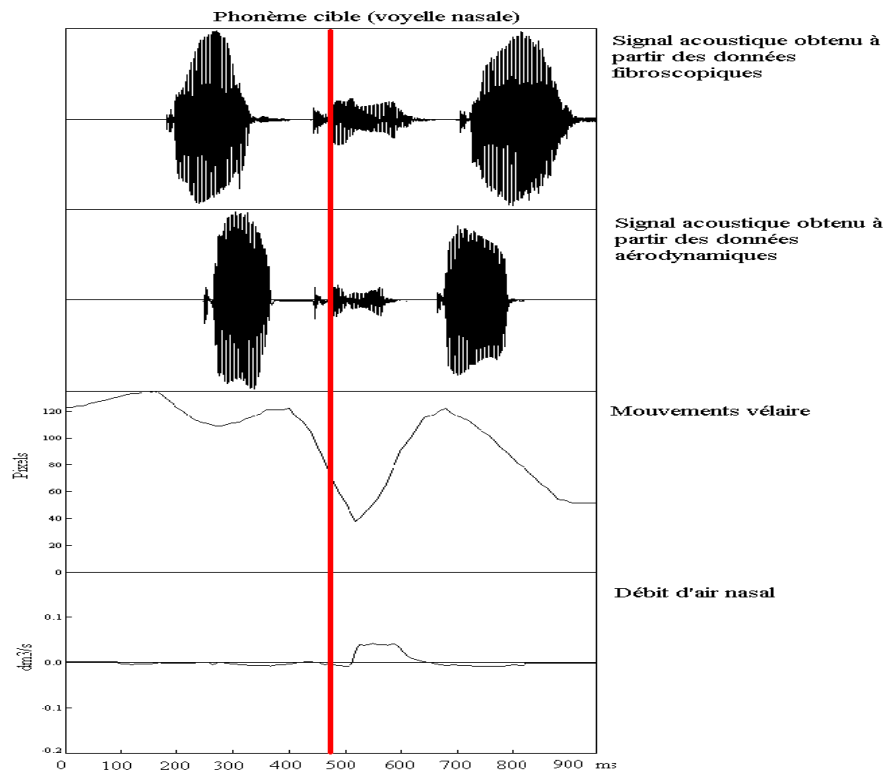


Figure 151 : Alignement des fichiers aérodynamiques et fibroscopiques, pour le logatome /tatə/ (loc 2).

III.A.1.i. Corpus et locuteurs

Pour cette expérimentation, nous avons extrait des données des mesures aérodynamiques et fibroscopiques. Pour aligner nos données, nous avons besoin de séquences fixes et régulières. Nous avons choisi une partie du corpus des logatomes : "Dites C₁V₁C₁V₁C₁V₁ trois fois", V₁, V_t et C₁ sont les mêmes que pour les autres expérimentations. Les deux locuteurs sont les mêmes que lors des expérimentations précédentes.

III.B. Pré-étude : données simultanées comparées aux données alignées

Nous avons fait une pré-étude pour estimer s'il est possible d'aligner statiquement (en opposition à alignement dynamique segment par segment) des données fibroscopiques avec des données aérodynamiques prises séparément. Pour vérifier la validité de notre expérimentation, nous avons comparé deux corpus similaires ; un corpus où les données aérodynamiques et fibroscopiques ont été prises simultanément, et un corpus où les données ont été prises indépendamment puis alignées. Seul le locuteur 1 a participé à cette expérimentation. Le corpus est composé de 9 phrases, chacune ayant fait l'objet de deux répétitions. Les items sont placés dans la phrase support : "Dites C₁V₁C₁V₁C₁V₁ trois fois" ; V_t = [ʔʔʔ], C₁ = [t, l, z] et V₁ = [i].

Pour les données alignées, nous avons extrait ce mini corpus des données aérodynamiques et des données fibroscopiques.

Pour les données prises ensembles, nous avons refait une séance d'enregistrement. La prise de données aérodynamiques avec les données fibroscopique a été effectuée à l'hôpital Tenon sous la direction de Bernard Roubeau, orthophoniste. L'appareillage est le même que pour les

données prises isolément. Le sujet est relié à la station de prise de données aérodynamiques EVA2. Un seul embout nasal est introduit dans la narine. Le second embout a été obstrué pour qu'il n'y ait pas de perte de débit d'air. Le nasofibroscope est inséré dans l'autre narine. Pour éviter une fuite d'air nasal, une fois le fibroscope inséré dans la narine, celle-ci a été bouchée avec du coton ce qui a permis également de maintenir le fibroscope en position fixe.

Les méthodes d'alignements sont les mêmes que pour l'étude principale (cf. III.A. p.151)

III.B.1. Les mesures :

Nous avons retenu 11 mesures dont 9 temporelles: D1 : Durée du phonème (ms), D2 : Durée de l'abaissement du Velum (ms), D3 : Durée du débit nasal (ms), D4 : Décalage entre le début de l'abaissement du velum et le début du phonème (ms), D5 : Décalage entre le début du débit d'air nasal et le début de l'abaissement (ms), D6 : Décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du phonème (ms), D7 : Décalage entre l'ouverture maximum vélaire et le début du débit d'air nasal (ms), D8 : Décalage entre le minimum d'abaissement du velum et le début du phonème, D9 : Décalage entre le maximum d'air nasal et le début du phonème ; et 2 quantitatives : Q8 : %débit d'air nasal = $D_{an}/(D_{an}+D_{ab})$, Q1 : Maximum de Débit d'air nasal (dm^3/s). (Voir les différentes mesures dans les parties précédentes)

III.B.2. Résultats

III.B.2.i. Comparaison des données alignées et simultanées (mesures temporelles) :

Nous avons comparé les données alignées et simultanées pour les mêmes consonnes ($n=3 \times 2$ répétitions) et les mêmes voyelles ($n=6$). Nous avons constaté qu'il n'y avait pas de différence statistique significative entre les deux répétitions pour les 9 mesures temporelles et pour les deux méthodes (test t-apparié, $p>0,05$). En ce qui concerne les consonnes ([t, l, z]), D7, D4, D3 ne montrent pas de différences significatives entre les données aérodynamiques et fibroscopiques (test t-apparié, $p>0,05$). Pour les voyelles nasales, D2, D3, D7, D9 n'ont pas de différence significative entre les deux différentes sessions (test t-apparié, $p>0,05$).

Ces résultats nous permettent de ressortir six tendances similaires pour les deux expérimentations. Dans 100% des cas pour les données alignées et 100% des cas pour les données simultanées. 1) La durée de l'abaissement du voile du palais est plus importante que la durée du phonème. 2) La durée de l'abaissement est plus importante que le temps où le débit d'air nasal est positif. 3) L'abaissement du velum commence avant le début de l'air nasal. 4) L'abaissement du velum commence avant le début du phonème. 5) L'abaissement minimum du velum se produit après le début du phonème.

6) Le débit d'air nasal commence avant le minimum de la hauteur du velum : 100% des cas pour les données alignées et 94% des cas pour les données simultanées (seul [li] a un début de débit d'air nasal après le minimum de hauteur vélaire, mais en observant le fichier, il s'avère que le velum reste longtemps en position minimum égale à la position de respiration). Sur 8 mesures temporelles (la durée du phonème n'est pas traitée ici), 6 ont la même tendance pour les données alignées et les données simultanées. Reste maintenant à voir ce qu'il en est de la durée du phonème pour voir s'il est possible d'effectuer des mesures sur l'ensemble des données ; en effet, si la durée du phonème est sensiblement la même dans les deux expériences, nous pouvons faire des mesures sur les données dans leur ensemble.

III.B.2.ii. Comparaison D1 alignée et D1 simultanée :

Nous avons mesuré la moyenne et l'écart type de D1 pour les consonnes, et les voyelles pour les données alignées et les données simultanées :

Aligné		Simultané	
Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart Type
146	17	172	29

Tableau 38 : Moyenne et Ecart type de la durée des voyelles (D1), en ms) (loc 1, n=6).

Les deux acquisitions ont été faites à des moments séparés, et visiblement le taux de parole n'a pas été le même pour les deux expériences. En effet, nous retrouvons systématiquement la même différence de 26 ms entre les deux méthodes. La durée du phonème pour les deux méthodes varie de 119 ms à 215 ms, il est donc raisonnable de penser que 26 ms de différence n'est pas significative, qu'il est possible de combiner les deux méthodes pour faire des mesures.

III.B.2.iii. Mesures temporelles pour l'ensemble des données

Nous avons comparé la moyenne et l'écart type pour chaque mesure temporelle :

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Moyenne.	159	290	193	68	104	-35	47	82	92
Ecart type	27	60	51	34	58	48	47	26	70

Tableau 39 : Moyenne et Ecart type des mesures temporelles en ms, (loc 1, n=36).

Nous constatons que l'écart type n'est pas le même partout, qu'il est parfois faible (D8) et parfois plus important (D9). Certaines de ces mesures concernent le flux d'air nasal, d'autres les mouvements vélares et d'autres les deux. Si nous faisons la moyenne de l'écart type des mouvements du velum, nous obtenons 40 et 56 pour les mesures aérodynamiques. Cela tend à montrer que les mouvements musculaires seraient plus facilement contrôlables par rapport aux mécanismes physiologiques, desquels résultent le débit d'air nasal. En comparant les mesures qui se combinent, nous obtenons :

?? $D4 < D6$ et $D8 < D9$

Ce qui confirmerait notre précédente observation. Différence entre les voyelles :

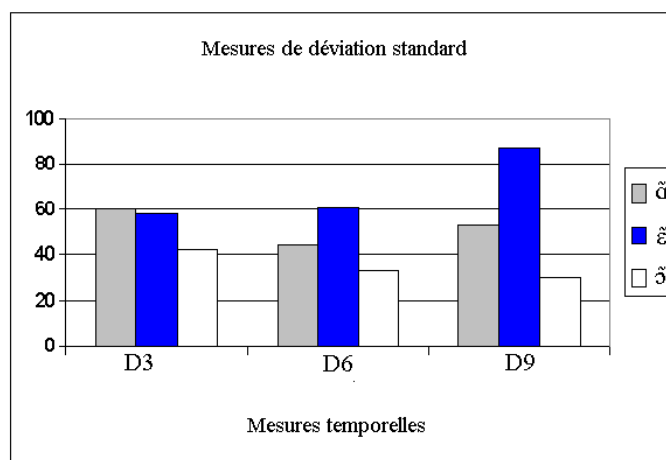


Figure 152 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D9) en fonction des trois voyelles nasales (loc 1).

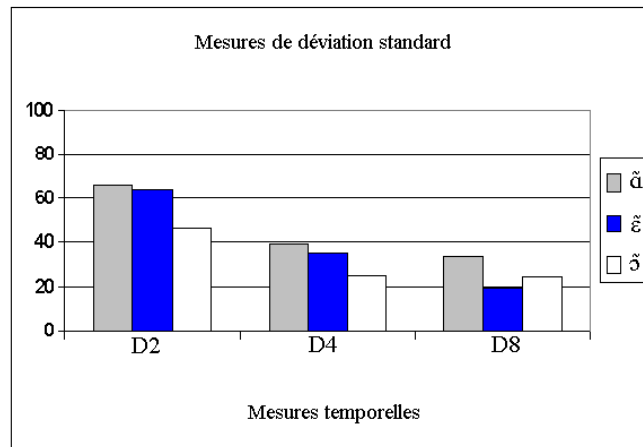


Figure 153 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélares (D2, D4, D8) en fonction des trois voyelles nasales (loc 1).

Nous constatons que pour l'ensemble des données la voyelle [a] est la voyelle la plus variable en ce qui concerne les mouvements vélares (elle serait donc la plus difficile à contrôler pour le locuteur), et que la voyelle [i] est la plus stable en ce qui concerne le flux d'air nasal et les mouvements vélares. Elle serait donc la voyelle la plus facile à contrôler pour le locuteur tant du point de vue des mouvements vélares que du débit d'air. Les voyelles plus fermées seraient plus faciles à contrôler. Différence entre les consonnes :

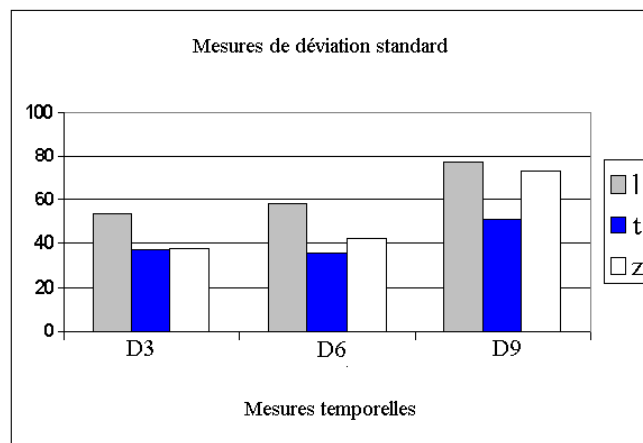


Figure 154 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D9) en fonction des trois consonnes orales (loc 1).

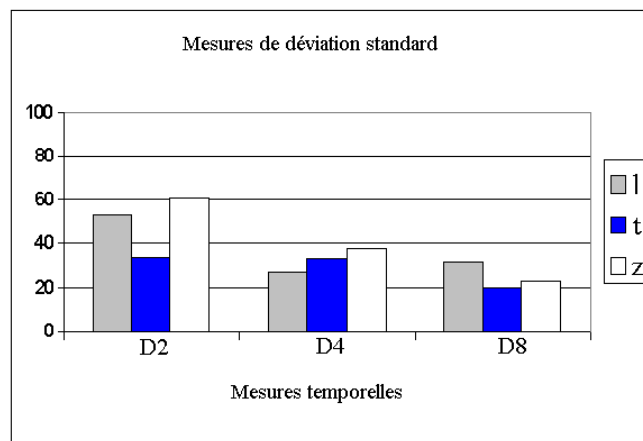


Figure 155 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélares (D2, D4, D8) en fonction des trois consonnes orales (loc 1).

Nous constatons qu'en ce qui concerne le flux d'air nasal /t/ est la consonne la plus stable. En ce qui concerne les mouvements vélaire aucune consonne ne se détache.

III.B.2.iv. Les mesures quantitatives pour l'ensemble des données

	Q8 (%)	Q1 (dm ³ /s)
Données simultanées	21,4	0,09
Données Alignées	12,76	0,02

Tableau 40 : Moyenne du flux d'air nasal proportionnel (Q8) et moyenne du maximum du débit d'air nasal (Q1) pour les deux méthodes (loc 1, n=18).

Le maximum de débit nasal (Q1) se retrouve systématiquement pour les données prises ensembles : l'autre narine étant obstruée, il y a donc probablement eu une augmentation de la pression dans la cavité nasale, ce qui a pu augmenter le débit d'air à la sortie.

En ce qui concerne le pourcentage de débit d'air nasal (Q8), nous retrouvons la même tendance sauf pour les trois occurrences construites avec la consonne [l]. En ce qui concerne les deux autres consonnes, le pourcentage de débit d'air nasal est très nettement supérieur pour les données prises en même temps. Il semble que la différence de pression soit aussi une explication à ce phénomène. Le pourcentage de débit d'air nasal tient compte, à la fois des débits d'air nasal et oral, or [l] est une liquide donc sans obstruction au passage de l'air dans la cavité buccale. Si la pression augmente dans une cavité du fait d'un obstacle à la sortie, le débit d'air va se rediriger dans les autres cavités ; si une autre est fermée ou sur le point de se fermer, la quasi-totalité de cet air va passer par la seule cavité restant ouverte. Si par contre, deux cavités sont ouvertes (/l/), l'air va se répartir dans les deux cavités ; de ce fait il se peut très bien qu'une plus grande quantité sorte par la bouche ce qui expliquerait un pourcentage de débit d'air nasal plus faible.

III.C. Discussion

Les mesures temporelles semblent montrer que nos données alignées sont semblables à celles prises simultanément. **Aligner statiquement les données aérodynamiques et fibroscopiques semble effectivement valide.** Il y a des avantages et des inconvénients à ces deux méthodes : i) nous ne pourrions observer que ce qui se passe au début du phonème cible et non à la fin de celui-ci ; ii) pour des raisons évidentes de confort du locuteur, il nous semble préférable de prendre les données fibroscopiques et aérodynamiques au cours de deux expérimentations permettant d'obtenir de plus longs corpus, iii) avec les données fibroscopiques prises en même temps que les données aérodynamiques, de nouveaux artéfacts font leur apparition : le médecin qui tient le fibroscope doit tenir compte de la position du patient qui est contrainte par le capteur nasal dans l'autre narine, le cavum n'est pas vu dans sa totalité et le débit nasal n'est mesuré que par un seul capteur.

Nous avons vu dans la partie résultat que cela n'est pas sans modifier le débit nasal total. Les mesures temporelles montrent une tendance à ce que le locuteur contrôle plus facilement les mouvements vélaire que le débit d'air nasal. Il est peu probable que le locuteur contrôle le débit d'air en tant que tel, mais plutôt les phénomènes physiologiques permettant l'apparition de l'air. Il semble notamment qu'il soit plus facile pour le locuteur de contrôler l'abaissement du velum avant la voyelle nasale, que le phénomène physiologique dont résulte l'apparition du débit d'air nasal. Il y aurait donc une différence importante entre les mouvements vélaire et les débits d'air nasal qui eux, ne dépendraient pas de la volonté du locuteur mais plutôt des différences d'ouverture des différents conduits et de l'impédance. La voyelle [a] serait la voyelle la plus facilement contrôlable par rapport aux deux autres, il s'agit de la voyelle la

plus fermée, celle pour laquelle l'impédance à l'intérieur du conduit est la plus élevée. Nous allons voir maintenant si l'étude principale confirme ces premiers résultats.

III.D. L'étude principale : Rapport entre les mouvements vélares et les débits d'air nasals

III.D.1. Résultats des mesures temporelles

III.D.1.i. Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le commencement du mouvement d'ouverture du velum (D5)

Nous avons mesuré le décalage entre le débit d'air nasal et le début de l'ouverture vélaire : si la mesure est positive cela signifie que le mouvement vélaire commence avant le débit d'air nasal, si elle est négative, le débit d'air nasal commence avant le début du mouvement d'ouverture du velum.

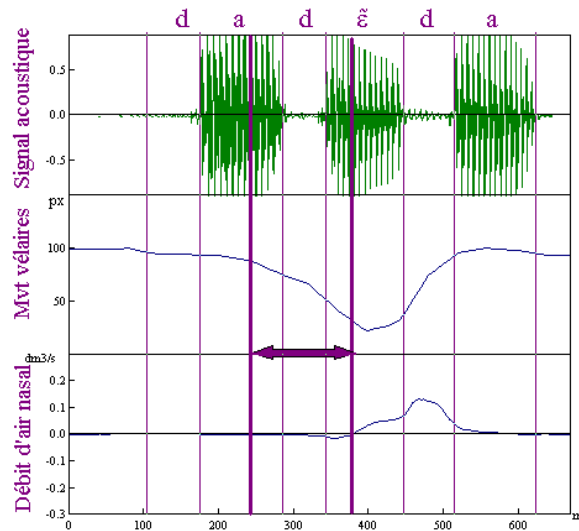


Figure 156 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), pour le logatome /da/ (loc 2).

La moyenne générale donne 95,88 ms pour le locuteur 1 et 88,74 ms pour le locuteur 2. Nous n'avons pas trouvé de cas où le débit d'air nasal commence avant le début du mouvement d'ouverture. Il y a un délai important entre le moment où le velum commence à s'ouvrir, et le moment où le débit d'air arrive. Avec des écarts types respectifs de 44,5 pour le locuteur 1 et de 43,03 pour le locuteur 2, la variabilité est assez importante. La moyenne du décalage entre le début du mouvement vélaire et le début du débit d'air nasal en fonction des voyelles nasales donne :

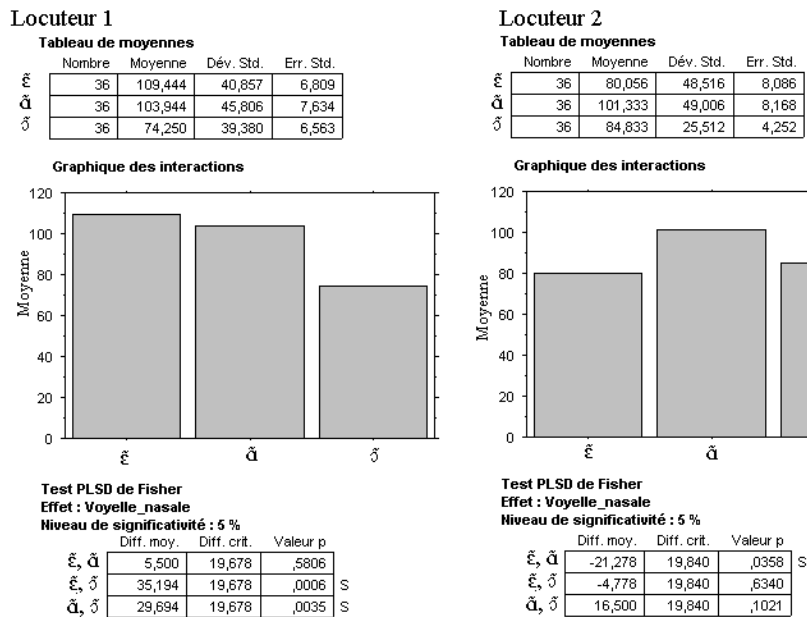


Figure 157 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).

Nous constatons une différence interlocuteur. Pour le locuteur 1, la durée entre le début du mouvement vélaire et le début du débit d'air nasal sera plus importante pour la voyelle / \tilde{e} /, et ce sera / \tilde{a} / pour le locuteur 2. Pour le locuteur 1, la mesure de D5 sera plus courte pour / \tilde{a} / alors que pour le locuteur 2, il s'agira de la voyelle / \tilde{e} / . La mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le commencement du mouvement vélaire (D5) en fonction de l'entourage consonantique (C_1) donne :

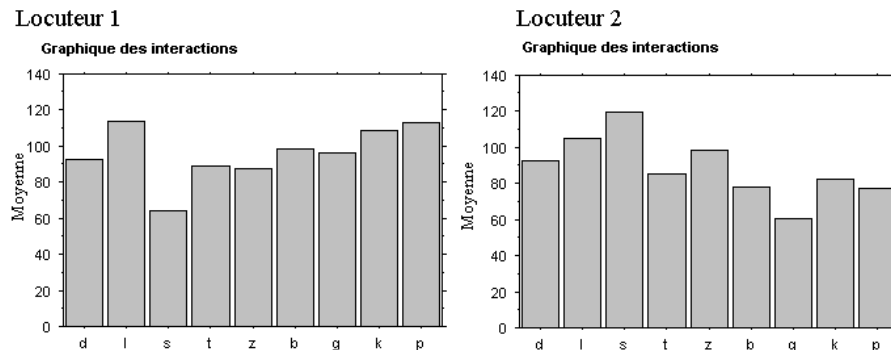


Figure 158 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C_1) (2 loc, n=12).

Nous constatons une forte différence interlocuteur en ce qui concerne la mesure du décalage entre le début du mouvement vélaire et le début du débit d'air nasal. Aucune consonne ne semble se distinguer des autres, et lorsqu'une mesure de D5 est importante pour l'un des locuteurs, elle est faible pour le second locuteur. Pour le locuteur 1, la durée entre le début du débit d'air nasal et le commencement du mouvement vélaire est moins importante quand C_1 est un /s/, au contraire pour le locuteur 2, elle est la plus importante avec cette consonne en entourage. La mesure de D5 est la plus faible pour le locuteur 2 quand C_1 est un /g/. Nous pouvons juste dire qu'en moyenne, le velum s'abaisse plutôt pour /l/ et l'air arrive aussi plus tard pour cette consonne.

Nous trouvons exactement la même tendance pour la mesure de D5 en fonction de l'entourage vocalique (V_1), quand elle est faible pour le locuteur 1 elle sera forte pour le locuteur 2 :

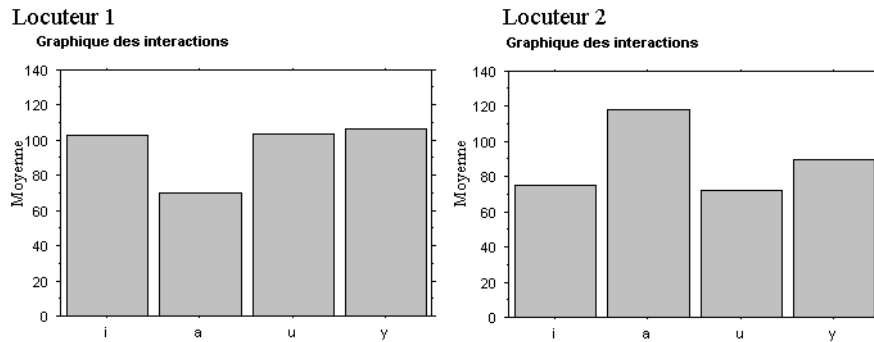


Figure 159 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement d'ouverture du velum (D5), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V_1) (2 loc, n=27).

Pour le locuteur 1, la durée entre le début du débit d'air nasal et le commencement du mouvement d'ouverture du velum est la plus faible quand V_1 est un /a/, et cette mesure est la plus faible pour le locuteur 2 quand V_1 est un /u/.

III.D.1.ii. Mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du débit d'air (D7)

Nous avons mesuré le décalage entre le débit d'air nasal et le maximum d'ouverture (D7). Lorsque D7 est négatif cela signifie que l'ouverture vélaire commence avant le début du débit d'air nasal. Sinon le débit d'air nasal commence avant l'ouverture vélaire maximum.

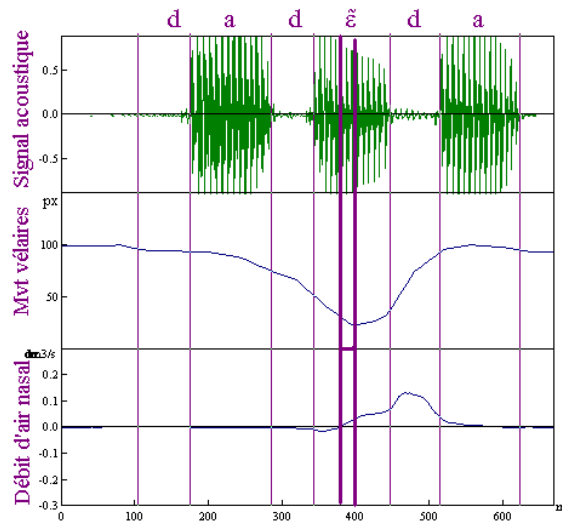


Figure 160 : Mesure du décalage entre le début du débit de l'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7) pour le logatome /dadɛla/ (loc 2).

La moyenne générale de D7 donne 16,77 ms pour le locuteur 1 et 21 ms pour le locuteur 2. Comme attendu, cette distance est moins importante que la distance entre le début du débit d'air nasal et le commencement du mouvement d'ouverture du velum. Pour 34 cas sur 108 (locuteur 1) et pour 23 cas sur 108 (locuteur 2), le débit d'air nasal commence avant l'ouverture vélaire maximum. Dans la majorité des cas le débit d'air nasal arrive après l'ouverture vélaire maximale.

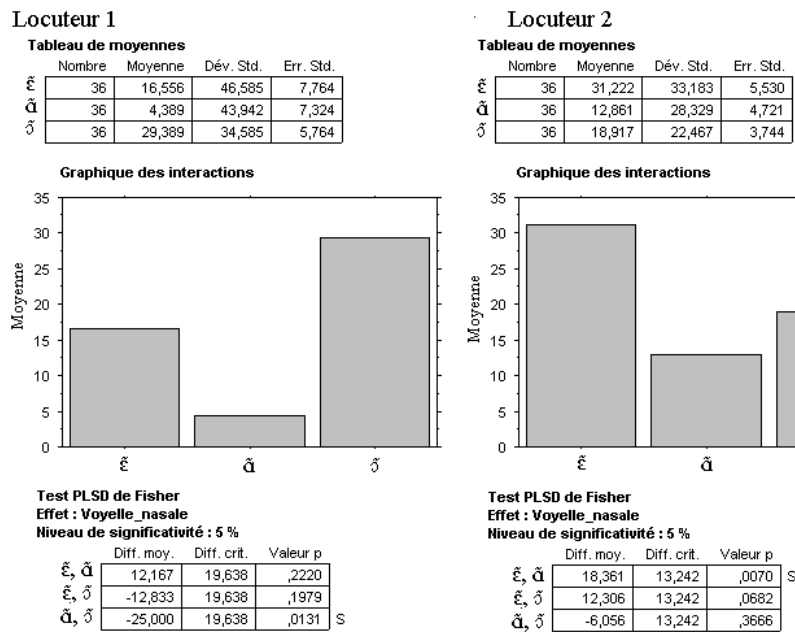


Figure 161 : Mesure du décalage entre le début du débit de l'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).

Il est intéressant de constater que pour les deux locuteurs, la voyelle ayant le décalage le plus faible entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum est la voyelle *ɑ*, ensuite il y a une différence importante entre les deux autres voyelles en fonction des locuteurs.

La mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du débit d'air nasal, en fonction de l'entourage consonantique donne :

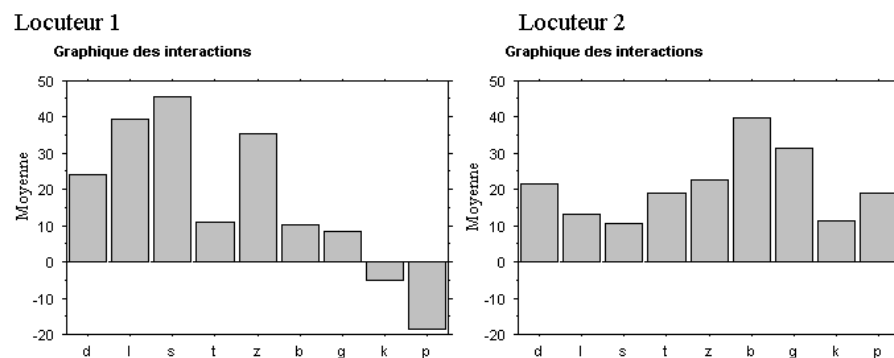


Figure 162 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7), en ms, pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage consonantique (C₁) (2 loc, n=12).

Nous constatons une différence interlocuteur. Pour le locuteur 1, la voyelle nasale a le décalage le plus important entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture maximum quand C₁ est une fricative, ensuite nous trouvons les occlusives sonores et enfin les occlusives sourdes. Quand C₁ est une occlusive sourde, type /p/ et /k/, nous constatons que l'ouverture maximum commence en moyenne avant l'apparition du débit d'air nasal. Pour le locuteur 2, la distinction est moins marquée : les consonnes sourdes et /l/ sont les consonnes pour lesquelles la distance entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum est la plus petite. Il n'y a pas pour le locuteur 2, d'entourage consonantique pour lequel le débit d'air nasal commence avant l'ouverture vélaire maximum. La distinction pour le locuteur 2 se

fait entre les consonnes sonores qui ont le décalage le plus important, et les consonnes sourdes, la distinction entre les fricatives et les occlusives n'est pas marquée pour ce locuteur.

La mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum en fonction de l'entourage vocalique donne :

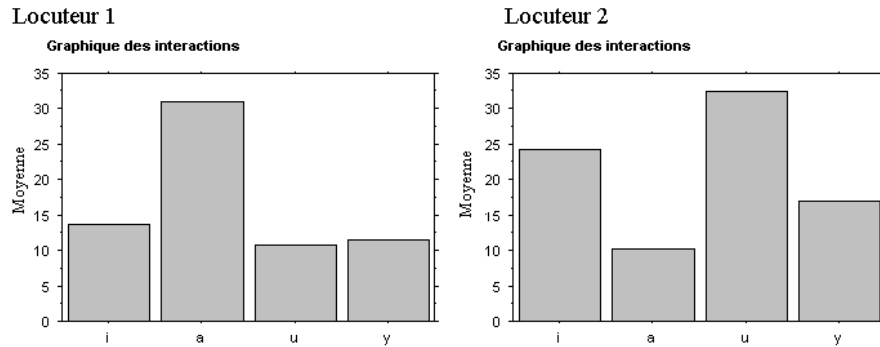


Figure 163 : Mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et l'ouverture vélaire maximum (D7) pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes, en fonction de l'entourage vocalique (V_1) (2 loc, n=27).

Comme pour les mesures précédentes, nous constatons une forte différence interlocuteur.

III.D.1.iii. Mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le maximum de débit d'air nasal (D10).

Si l'hypothèse selon laquelle l'ouverture du port vélo-pharyngé corrélée au débit d'air nasal est juste, nous devrions avoir un décalage minimum entre les deux. Nous avons vu avec la mesure précédente que l'ouverture vélaire maximum est plutôt corrélée au début du débit d'air nasal.

La mesure est la suivante :

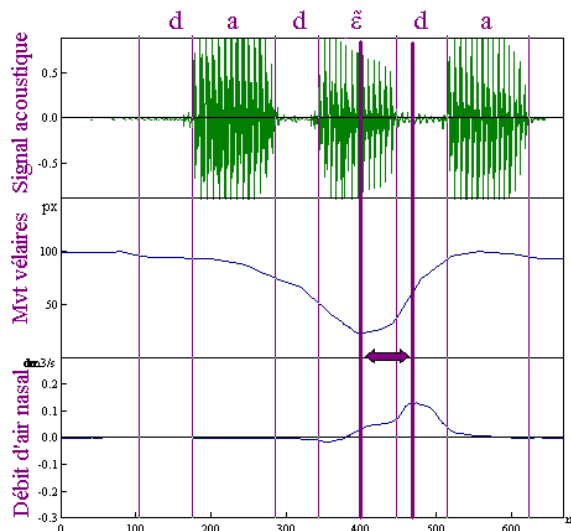


Figure 164 : Mesure du décalage entre le maximum d'ouverture du velum et le pic maximum de débit d'air nasal (D10) pour le logatome /dadada/ (loc 2).

La moyenne de D10 donne $-54,75$ ms pour le locuteur 1 et $-50,7$ ms pour le locuteur 2. La première constatation est que le pic de débit d'air nasal arrive après le maximum d'ouverture vélaire. Nous confirmons que l'ouverture vélaire n'est pas corrélée au pic de débit d'air.

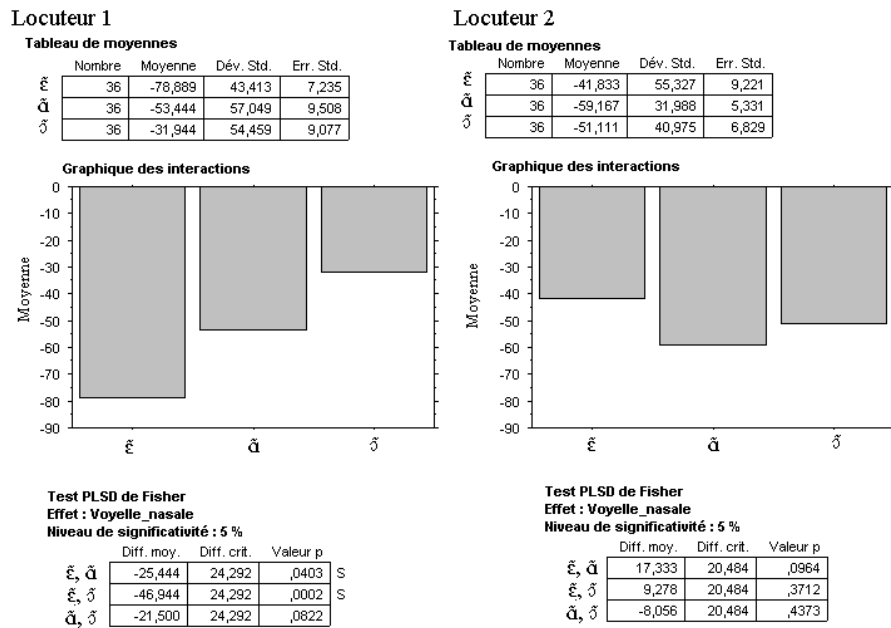


Figure 165 : Moyenne de la distance entre le maximum d'ouverture vélaire et le maximum de débit d'air nasal pour les voyelles nasales prononcées dans les logatomes (2 loc, n=36).

Nous trouvons toujours une différence interlocuteur, qui se retrouve pour les voyelles nasales entre-elles et pour les voyelles nasales, en fonction de l'entourage consonantique.

III.D.2. Résultats des mesures quantitatives

III.D.2.i. Moyenne de débit d'air nasal pendant le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum (Q7)

Comme pour les données aérodynamiques, nous avons mesuré la moyenne du débit d'air nasal ; nous ne l'avons pas mesuré pour la voyelle nasale mais pour le mouvement complet d'ouverture et de fermeture du velum.

Avec une moyenne de 11,61 cm³/s pour le locuteur 1 et de 71,27 cm³/s pour le locuteur 2, nous pouvons dire que le débit d'air nasal moyen est inférieur quand il porte sur l'ensemble du mouvement vélaire, et supérieur quand il porte sur la voyelle nasale. Ce qui signifie qu'il existe des parties sans débit d'air nasal durant le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum. La tendance reste cependant la même : la voyelle /ɑ/ est la voyelle qui a le plus de débit d'air nasal, et la voyelle /ɛ/ celle qui en a le moins. En ce qui concerne l'entourage consonantique, nous retrouvons les mêmes tendances quand la mesure est effectuée sur la voyelle nasale et sur le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum : quand la voyelle nasale est dans l'entourage consonne fricative, le débit d'air nasal moyen est plus important.

III.D.2.ii. Mesure du flux d'air nasal proportionnel pendant le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum (Q8)

Les mesures du flux d'air proportionnel ont les mêmes tendances que les mesures de la moyenne du flux d'air nasal. Nous confirmons que la voyelle /ɑ/ est la plus nasale des trois.

III.E. Discussion

Le début du débit d'air nasal est corrélé à l'ouverture vélaire maximum.- Il n'existe pas de corrélation entre le début de l'ouverture vélaire et le début du débit d'air nasal. Le début du débit d'air nasal pour les voyelles nasales ne commence pas lorsque le velum commence à s'ouvrir. L'ouverture maximum du velum ne correspond pas au pic de débit d'air nasal. Par contre, le début du débit d'air nasal correspond mieux avec l'ouverture maximum. C'est pour cette mesure que nous observons le moins de différence interlocuteur. Elle sera moins importante pour la voyelle nasale /ɔ/ et dans l'entourage consonantique occlusive dévoisée.

L'appel d'air observé avant l'apparition du débit d'air nasal correspond à la mise en connexion des deux cavités.- Quand le velum commence à s'ouvrir, il faut un certain temps pour que l'air nasal arrive. Dans la majorité des cas, nous trouvons le débit d'air nasal négatif entre le début du mouvement du velum et l'ouverture maximum. Il n'y a que très peu de cas pour lesquels cette partie se situe au début du mouvement vélaire. Il y a donc une période où le velum commence à s'ouvrir sans que cela ne modifie la configuration du conduit vocal. Cette modification est effective quand le débit d'air nasal devient négatif, signifiant que les deux conduits sont en connexion.

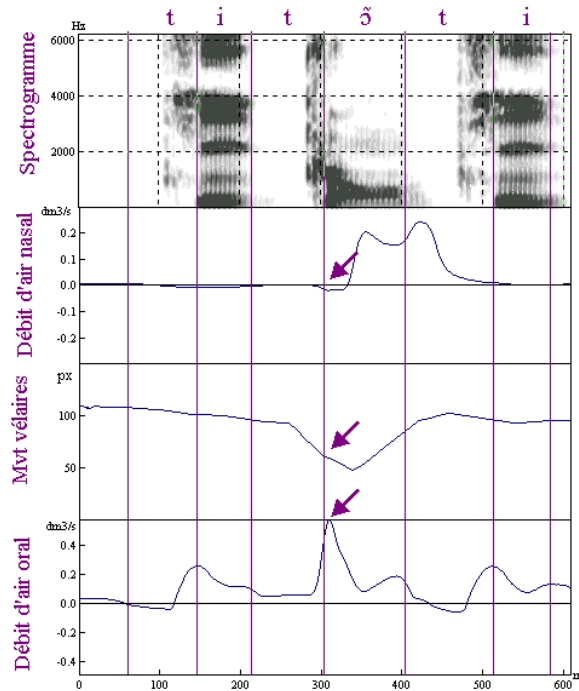


Figure 166 : Exemple de mise en connexion des conduits oral et nasal, logatome /titɔi/ (loc 2).

Le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum permet au débit d'air de passer par le nez et de diminuer l'air qui passe par le conduit oral.- Nos données confirment que le débit d'air oral diminue proportionnellement au débit d'air nasal, cet échange se fait pendant le mouvement d'ouverture du velum.

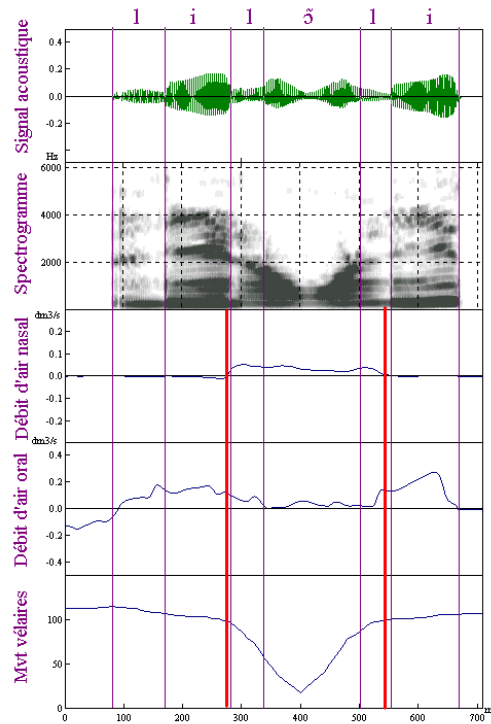


Figure 167 : Illustration de la fonction inverse entre le débit d'air nasal et le débit d'air oral pendant le mouvement d'ouverture et de fermeture du velum, logatome /li102i/ (loc 1).

Les rapports ne sont pas toujours aussi parfaits, notamment pour une majorité de cas, le velum se ferme avant la fin du débit d'air nasal.

Cette étude en parallèle avec les études précédentes nous permet de conclure que les mouvements articulatoires vélares sont mieux contrôlés par le locuteur que les résultantes aérodynamiques, qui dépendent des paramètres physiologiques, et qui elles sont directement liées non seulement aux mouvements du velum mais aussi à l'impédance à l'intérieur du conduit nasal.

Ces données confirment que le flux d'air nasal proportionnel garde les mêmes tendances que le débit d'air nasal moyen.

Il existe deux limites à cette expérimentation :

1. Il faudrait poursuivre l'expérimentation en alignant les fichiers aérodynamiques et fibroscopiques par la fin acoustique de la voyelle nasale, afin d'avoir une indication de ce qui se passe à la fin du mouvement du velum.
2. Nous ne sommes pas en mesure de savoir à quel point notre méthode d'alignement est fiable.

IV. Analyse acoustique

Résumé :

L'analyse acoustique a été effectuée en deux temps :

- Dans un premier temps, nous avons regardé s'il existe une corrélation entre les mouvements vélaire et le signal acoustique.*
- Dans un second temps, nous avons cherché la corrélation entre le débit d'air nasal et le signal acoustique.*

Nous avons observé l'enveloppe spectrale du signal acoustique de la voyelle nasale et en présence d'un changement d'amplitude au niveau de celle-ci, nous avons regardé si ce changement était en correspondance avec une période du mouvement vélaire ou du débit d'air nasal.

L'hypothèse de départ est qu'une modification de l'enveloppe spectrale correspond au moment où le velum remonte, ce qui doit impliquer une modification dans l'affiliation des cavités orales et buccales qui doit être visible sur le signal acoustique.

- Pour les mouvements vélaire, nous avons observé trois positions : 1) le velum commence à s'ouvrir, 2) le velum est complètement refermé et 3) le velum est maximale ouvert.*

Nos données indiquent qu'il n'y a pas de correspondance entre le début du mouvement d'ouverture et le signal acoustique. Il n'y a pas non plus de corrélation entre la fin du mouvement d'ouverture vélaire et le signal acoustique. Par contre, dans 42% des cas, nous avons trouvé une corrélation entre l'ouverture maximum et le signal acoustique.

- En ce qui concerne les données aérodynamiques, nous avons observé le début du débit d'air nasal. Nos données montrent que dans 78% des cas, le début du débit d'air nasal implique une modification de l'enveloppe spectrale. Ces cas regroupent principalement les voyelles nasales /*ʌ*/ et /*ɛ*/. D'ailleurs pour les 42% de cas trouvés précédemment, 34% ont le début du débit d'air nasal qui commence au moment de l'ouverture vélaire maximum. Le débit d'air nasal n'est pas le seul indice visible sur le signal acoustique. En effet, pour la plupart des voyelles /*ɔ*/, la modification d'amplitude de l'enveloppe spectrale ne correspond pas au début du débit d'air nasal mais à une diminution du débit d'air oral.*

L'analyse acoustique que nous avons menée ici, n'est pas une analyse formantique. Ceci pose des problème dans le cadre des voyelles nasales. Nous avons voulu savoir s'il existe une corrélation entre le signal acoustique, les mouvements du velum et les données aérodynamiques. Pour cela nous avons observé l'enveloppe spectrale du signal acoustique.

IV.A. Méthodologie

IV.A.1. Locuteurs et corpus

Les locuteurs sont les mêmes que pour les analyses précédentes. Le corpus est le même que celui utilisé dans la partie concernant les données aérodynamiques couplées aux données fibroscopiques (cf. I.A.3. p.65)

IV.A.2. Méthode d'analyse

Sur le signal acoustique, nous avons parfois observé des différences d'enveloppe spectrale. Il s'agit la plupart du temps d'un affaiblissement du signal acoustique. Nous avons observé trois cas différents.

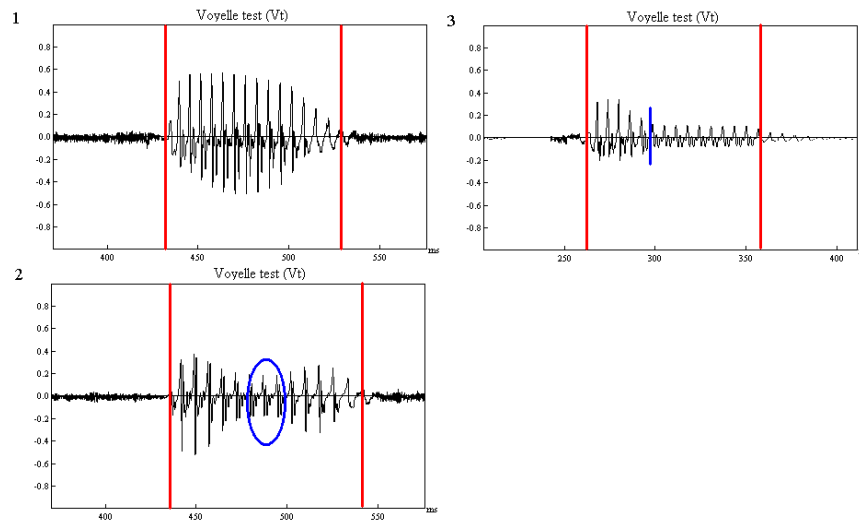


Figure 168 : Exemples des observations faites sur le signal acoustique sur trois voyelles nasales. Cas 1 : [ɛ̃] pas de modification d'amplitude observée sur le signal acoustique, Cas 2 : [œ̃] enveloppe découpée en deux, Figure 3 : [œ̃] enveloppe découpée en trois.

IV.B. Résultats

IV.B.1. Corrélation entre l'acoustique et les mouvements du velum

L'hypothèse de départ est qu'il est possible d'observer une enveloppe spectrale découpée en trois quand une voyelle nasale est suivie d'une occlusive sourde du type /t/, ceci serait dû à la montée du velum. Le cas 2 pourrait alors être observé quand la consonne qui suit la voyelle nasale est sensible à la propagation de la nasalité, la propagation nasale implique que le velum n'est pas entièrement fermé.

Nous avons donc observé le signal acoustique par rapport à l'ouverture vélaire dans trois positions :

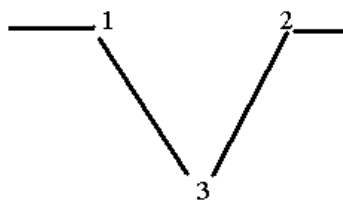


Figure 169 : Les trois positions du velum observées par rapport au signal acoustique. 1) début du mouvement d'ouverture, 2) fin du mouvement d'ouverture et 3) ouverture maximale.

Nous avons regardé si l'une de ces trois positions correspondait au cas 2 ou 3 sur le signal acoustique (cf. Figure 168). Pour les positions 1 et 2, nous avons élargi notre observation sur l'entourage consonantique, nous n'avons pas trouvé d'un cas pour les logatomes où le velum commence à s'ouvrir durant la voyelle nasale. Nous n'avons pas trouvé dans notre corpus de modifications acoustiques pour les positions 1 et 2. Les modifications acoustiques sont plus facilement visibles sur les voyelles. Dans le cas des positions 1 et 2, l'indice acoustique s'il existe apparaît sur les consonnes. Nous ne sommes pas en mesure d'affirmer qu'il n'y a pas de corrélation entre le début et la fin du mouvement vélaire, mais que ceux-ci ne sont pas visibles sur le signal acoustique. En ce qui concerne la séquence 3, 42% des logatomes ont une corrélation entre l'ouverture vélaire maximum et le signal acoustique. La voyelle nasale pour laquelle la corrélation entre les deux mouvements est la meilleure, est la voyelle /œ̃/.

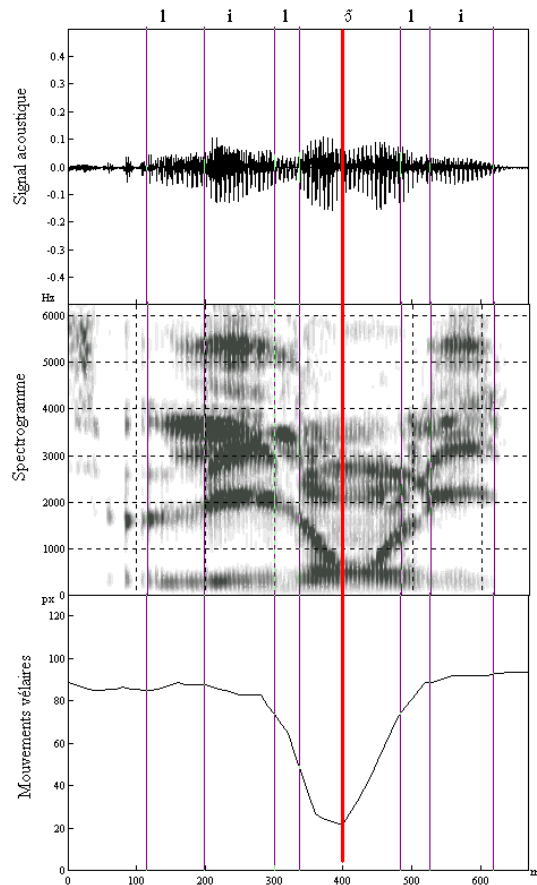


Figure 170 : Exemple de corrélation entre l'ouverture vélaire maximale et le signal acoustique pour le logatome /lilili/ (loc 2).

Au vu du nombre de cas, il serait hasardeux de dire qu'il existe une bonne corrélation entre l'ouverture vélaire maximale et le signal acoustique. Ces données confirment cependant les résultats précédents, qui suggèrent que l'ouverture maximum du velum est une bonne indication de la nasalité vocalique ; en tout cas meilleure que les débuts et la fin du mouvement d'ouverture du voile du palais.

IV.B.2. Corrélation entre l'acoustique et les débits d'air

Dans un deuxième temps, nous avons observé la corrélation entre les données aérodynamiques et le signal acoustique sortant. Nous avons regardé si le début du débit d'air nasal a une incidence sur le signal acoustique. Les résultats sont plus probants que pour les mouvements vélares. Dans 78% des cas, le début de l'air nasal implique un changement notable sur le signal acoustique. Nous avons d'ailleurs remarqué que pour les 42% de cas pour lesquels nous avons trouvé une corrélation entre l'ouverture maximum du velum et le signal acoustique, 34% d'entre eux ont un débit d'air nasal qui commence au même moment que l'ouverture maximum. Selon toute vraisemblance, il y a une meilleure corrélation entre le débit d'air nasal et le signal acoustique qu'entre les mouvements articulatoires et le signal acoustique.

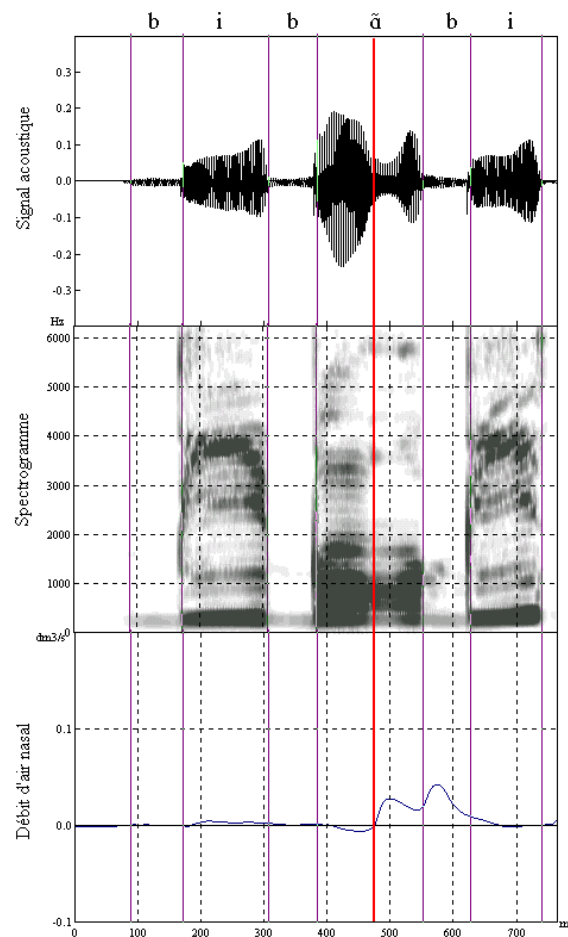


Figure 171 : Exemple de corrélation entre le début du débit d'air nasal et le signal acoustique pour logatome /bibibi/ (loc 1).

Les deux voyelles nasales pour lesquelles nous trouvons une meilleure corrélation sont [ɛ̃] et [ɔ̃]. Nous trouvons très peu de cas avec la nasale [ɑ̃]. Pourtant, nous avons constaté que le signal acoustique est généralement moins canonique pour cette voyelle. Nous nous sommes rendue compte que le signal acoustique en ce qui concerne [ɑ̃] est plutôt corrélé au débit d'air oral. L'indice récurrent est la chute du débit d'air oral. C'est elle qui modifie l'enveloppe du signal acoustique.

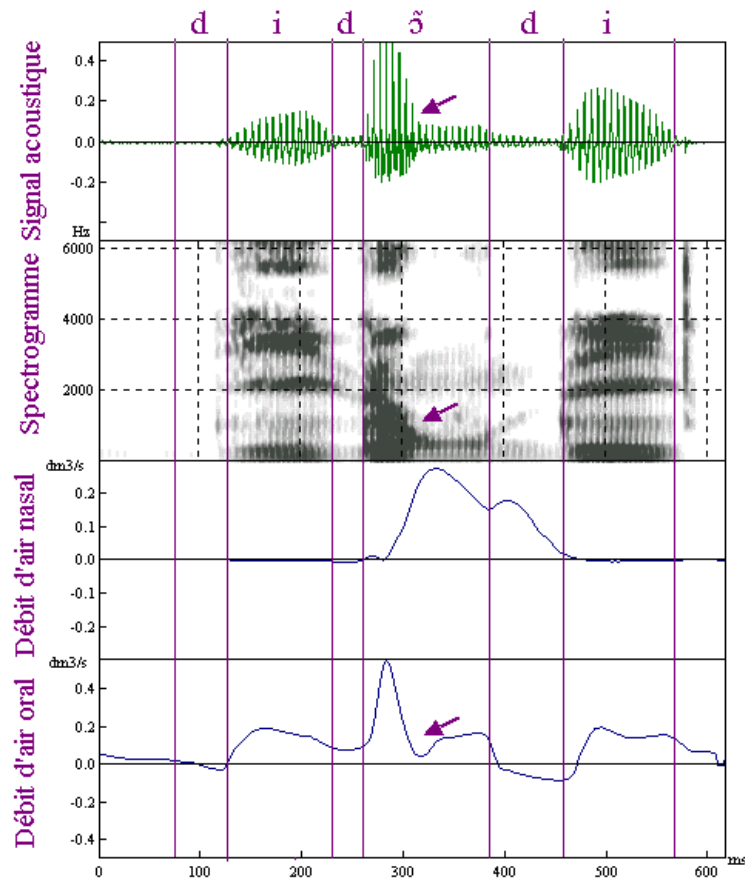


Figure 172 : L'enveloppe du signal acoustique est modifiée quand le débit d'air oral diminue, logatome /dididi/ (loc 2).

IV.C. Discussion

L'hypothèse de départ selon laquelle, l'enveloppe spectrale indique la remontée du velum n'est pas valide.- En effet, nous ne trouvons pas de corrélation directe entre les mouvements vélaux et le signal acoustique.

Les débits d'air oral et nasal ont une incidence directe sur le signal acoustique.- Au vu de nos résultats, les mouvements articulatoires, en se combinant entre-eux, impliquent une modifications des contraintes physiologiques nécessaires à la production de l'aérodynamique. Elles ont une répercussion directe sur le signal acoustique. Les mouvements articulatoires ont une incidence sur la forme du conduit vocal, et c'est cette modification qui va changer l'aérodynamique et du même coup la forme d'onde.

Les études récentes comme celle de Rossato *et al.* (2003) qui s'intéressent à l'inversion de parole, qui à partir du signal acoustique cherchent à reconstruire les mouvements articulatoires, se heurtent à des problèmes qui pourraient être résolus en utilisant les données aérodynamiques en complément des données articulatoires (Rossato *et al.*, 2003).

V. Analyse perceptive

Résumé :

Nous avons construit quatre tests de perception (A, B, C, D). Ils ont consisté à faire du découvrement progressif (gating) sur la voyelle nasale. Pour les tests A et B, le découvrement progressif a été établi à partir du début de la voyelle nasale, toutes les 20 ms. Pour les tests C et D, le découvrement progressif a été fait à partir de la fin de la voyelle nasale, toutes les 20 ms. Les items sont extraits du corpus contenant les logatomes. Notre choix s'est porté sur des voyelles nasales ayant un maximum de retard de débit d'air nasal et d'autres ayant un maximum d'anticipation.

Nos résultats suggèrent :

- Il faut un certain temps pour percevoir la nasalité vocalique, la plupart des items ont été identifiés après la première moitié de la voyelle.*
- Le débit d'air nasal n'est pas un indice pertinent pour la discrimination de la voyelle nasale; une voyelle nasale avec une anticipation maximum de débit d'air nasal ne sera pas perçue plus rapidement qu'une voyelle avec du retard de débit d'air nasal.*
- Les voyelles nasales sont mieux identifiées et plus rapidement quand le découvrement progressif commence par la fin acoustique de celles-ci. Elles ne sont pas pour autant identifiées dès la première séquence, ce qui confirme que le débit d'air nasal n'est pas un indice pertinent pour discriminer la voyelle.*
- Les voyelles nasales qui n'ont pas été identifiées ont été remplacées par des voyelles postérieures et principalement par la voyelle /a/.*

Les tests de perception nous permettent de conclure que l'indice qui permet de percevoir la nasalité se situe dans la seconde moitié acoustique de la voyelle. Il doit exister un rapport idéal entre l'articulatoire et la connexion du conduit oral avec le conduit nasal qui permet une meilleure discrimination de la nasalité vocalique. L'ouverture vélaire maximum semble importante pour la discrimination de la nasalité vocalique.

Pour l'analyse perceptive, nous nous sommes inspirée des articles de Lahiri & Marslen-Wilson (1991) et de Ohala & Ohala (1995) (Lahiri *et al.*, 1991 ; Ohala *et al.*, 1995). Ces deux expérimentations ont consisté à faire du découvrement progressif (gating) (Cohen *et al.*, 1964; Grosjean, 1980) sur une partie d'une syllabe CVC. La consonne finale et une grande partie de la voyelle ont été masquées, puis dévoilées petit à petit jusqu'à la dernière séquence où l'ensemble de la syllabe est restauré.

V.A. Méthodologie

Nos tests de perception portent sur la voyelle nasale contenue dans les logatomes. Les logatomes ont été extraits des données aérodynamiques. Nous avons isolé 40 logatomes qui avaient soit un maximum de retard de débit d'air nasal, soit un maximum d'anticipation (20 pour le locuteur 1 et 20 pour le locuteur 2). A partir de ces logatomes nous avons créé quatre tests.

V.A.1. Tests A et B : découvrement progressif à partir du début de la voyelle

Le test A regroupe les logatomes prononcés par le locuteur 2, le test B regroupe les logatomes prononcés par le locuteur 1. Ils ont consisté à découper la voyelle toutes les 20 ms. Dans les

articles qui nous ont servi de référence, les auteurs découpent le phonème cible toutes les 40 ms. Nous avons choisi de découper plus finement la voyelle, car nous voulions avoir des parties de voyelle sans débit d'air nasal. Nous avons commencé à découper la voyelle à partir de la deuxième vibration glottique du début de la voyelle (deuxième période). Nous avons utilisé le logiciel Sound Forge 5 pour découper l'ensemble des stimuli.

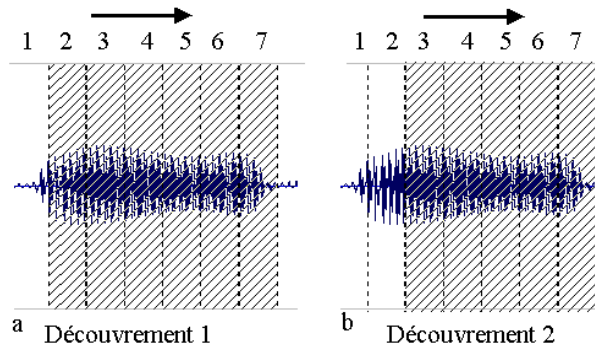


Figure 173 : a : voyelle nasale découpée à partir de la second période, le reste de la voyelle qui est hachuré est progressivement présenté à l'auditeur, b: les deux vibrations glottiques et 20 ms de la voyelle nasale sont présentées à l'auditeur.

Nous avons ainsi obtenu plusieurs séquences d'un même logatome avec une voyelle nasale de plus en plus longue, jusqu'à la dernière séquence, qui redonne le fichier de départ. Au moment de la création des tests, nous avons rajouté quatre distracteurs, c'est-à-dire des mots ne contenant pas de voyelle nasale, mais découpés sur le même principe. Cinq logatomes ont été ajoutés deux fois. Au total, chaque test (A & B) contient 29 items, chacun des ces items pouvant être répété jusqu'à 10 fois. Les tests durent en moyenne 25 minutes.

V.A.2. Tests C et D : découvement progressif à partir de la fin de la voyelle

Les tests C et D ont été créés avec les mêmes logatomes que pour les tests A et B ; mais au lieu de découper la voyelle en commençant par le début de celle-ci, nous avons découpé la voyelle en partant de son "offset". De la même façon, nous avons découpé la voyelle à partir des deux dernières vibrations glottiques (deux dernières périodes) de celle-ci. Ensuite le découpage s'est fait toutes les 20 ms. De la même façon, des distracteurs et des répétitions ont été rajoutés pour obtenir un total de 29 items.

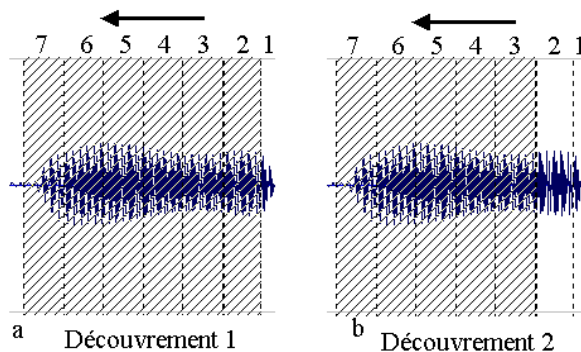


Figure 174 : a : découpage de la voyelle nasale qui commence par la fin de celle-ci, b : dévoilement des 20 ms suivants la première découpe.

V.A.3. Présentation des tests aux auditeurs

Au final, nous avons en notre possession quatre tests (A, B, C et D). 40 personnes ont participé à l'expérimentation. Ils devaient choisir entre l'un des quatre tests. 15 personnes ont fait un test et son contraire ; les autres n'ont fait qu'un test. Pour les auditeurs ayant fait les deux tests, certains ont commencé par les tests A ou B et d'autres par les tests C ou D. Seulement cinq auditeurs ont fait les deux tests le même jour. Nous avons choisi une population de langue maternelle française et n'ayant jamais fait de phonétique. Chacun des tests était sur un CD audio, les auditeurs devaient écouter le test avec un casque et transcrire orthographiquement sur une feuille préparée par nos soins (*cf.* Annexe) les sons qu'ils entendaient. Ils pouvaient s'ils entendaient le même son, ne pas le réécrire et mettre des guillemets. Les personnes ayant des réponses erronées sur plus de trois distracteurs ont été retirées. Au final, nous avons conservé 12 auditeurs pour chacun des quatre tests.

V.A.4. Dépouillement des tests

Pour la relecture des réponses aux tests de perception, nous avons uniquement recherché un indice de nasalité, dès que un "n" ou un "m" apparaissait sur les feuilles, nous avons considéré que l'auditeur a perçu un indice de la nasalité. La première apparition de la voyelle correspond à la séquence 1, la seconde apparition avec 20 ms correspond à la séquence 2, etc... Il s'agissait de relever à quelle séquence, l'auditeur identifie l'indice nasal. Comme les voyelles nasales n'ont pas toutes la même longueur, nous n'avons pas le même nombre de séquences pour tous les logatomes. Nous avons donc fait le rapport entre le numéro de la séquence perçue et le nombre total de séquences.

De plus, les séquences sont identifiées en pourcentage : 10% signifie que la nasalité est perçue dès la première séquence découpée, entre 10 et 50% l'indice nasal est perçu dans la première moitié des séquences, entre 50 et 100% l'indice nasal de la nasalité est perçu dans la seconde moitié des séquences et 100% l'indice nasal de la nasalité est perçu quand l'ensemble des séquences a été dévoilé. Par exemple, une voyelle nasale a été perçue comme nasale au bout de la cinquième séquence, la voyelle est découpée en 10 séquences, donc la perception de l'indice nasal a eu lieu au bout de 50% de présentation de séquences.

V.B. Résultats

V.B.1. Tests A et B

Les voyelles nasales ne sont pas toujours perçues comme nasales. En moyenne pour le test A, 6 personnes sur 12 ont perçu la nasalité pour chaque logatome, et 5 personnes sur 12 pour le test B. Plus de la moitié des auditeurs n'ont pas perçu ou su transcrire la nasalité. Quand la nasalité n'est pas perçue, l'auditeur transcrit la voyelle comme étant une voyelle postérieure : /o/ ou /a/. La voyelle /a/ est la plus représentée.

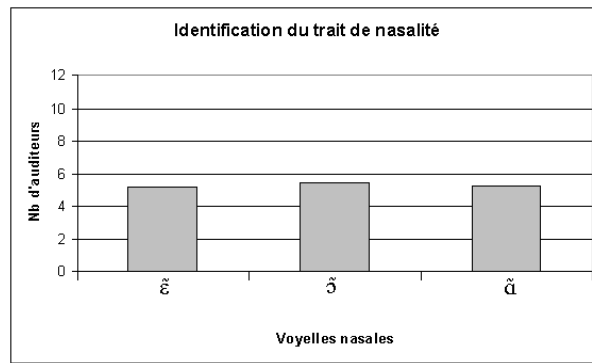


Figure 175 : Nombre de personnes ayant perçu la nasalité en fonction de la voyelle nasale, pour l'ensemble du test 1.

Nous constatons qu'il n'y a pas de différence de perception en fonction de la nature de la voyelle. Trois des logatomes, prononcés par le locuteur 1 (test b) ont été perçus par les 12 auditeurs comme ne contenant pas de phonème nasal. Les trois logatomes sont : /zizɛzi/, /kykɔky/ et /pypɔpy/. Ne pas repérer la voyelle /ɛ/ produite par le locuteur 1 pourrait s'expliquer du fait que c'est la voyelle produite avec le moins de débit d'air nasal ; par contre les choses sont plus étonnantes en ce qui concerne la voyelle /ɔ/. Nous avons donc regardé le débit d'air nasal proportionnel pour ces trois logatomes. Il est intéressant de constater que pour les trois logatomes, le degré de nasalité est nul ou quasi nul : /zizɛzi/ = 3%, /kykɔky/ = 0%, et /pypɔpy/ = 0%. Il pourrait paraître normal que les auditeurs ne perçoivent pas le phonème nasal si celui-ci est produit avec un % de nasalité trop faible. Pourtant les choses ne sont pas aussi simples. Trois logatomes (locuteur 1) avec 1% ou 0% de flux d'air nasal proportionnel sur la voyelle nasale ont tout de même été identifiés comme contenant un phonème nasal par au moins trois locuteurs. 11 auditeurs ont perçu de la nasalité dans le logatome /didɔdi/ qui a un flux d'air nasal proportionnel de 23% alors que 5 personnes ont identifié la nasalité dans le logatome /pypɔpy/ qui lui a un flux d'air nasal proportionnel de 84%. Il ne semble pas qu'il y ait de rapport entre la perception de la nasalité et le degré de nasalité.

En moyenne, la nasalité sera perçue dans la seconde moitié de la voyelle nasale (67%).

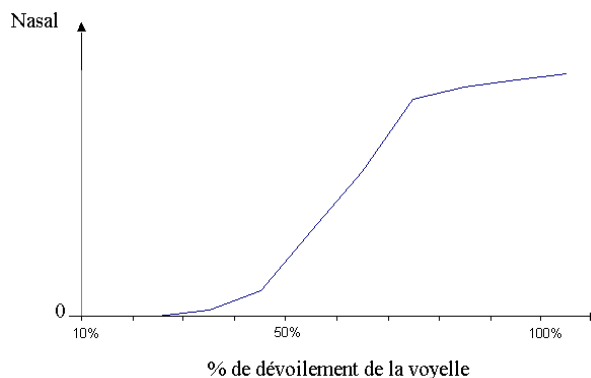


Figure 176 : Courbe d'identification de la nasalité pour le test 1 en fonction de la moyenne d'identification pour les 40 mots, pour l'ensemble du test 1.

La courbe indique que la voyelle nasale n'est pas identifiée comme nasale à son début acoustique. Il faut attendre environ la moitié de celle-ci pour commencer à percevoir un indice de la nasalité.

Nos résultats ne montrent pas de rapport entre la perception de la nasalité et l'apparition du débit d'air nasal. En effet, une voyelle nasale avec beaucoup d'anticipation de débit d'air nasal

ne sera pas perçue plus tôt comme nasale, qu'une voyelle avec beaucoup de retard de débit d'air nasal. La moyenne pour les voyelles nasales avec une anticipation de débit d'air nasal importante est de 63% et elle est de 62% pour les voyelles qui ont un retard de débit d'air nasal important.

V.B.2. Test C et D

Quand un locuteur a participé à l'un des tests A ou B et à son contraire test C ou D, il percevait beaucoup plus de logatomes contenant un phonème nasal dans les tests C ou D. Pour le test C, en moyenne 8 personnes sur 12 ont perçu un phonème nasal dans les logatomes, et pour le test D, 10 personnes sur 12. Ces moyennes sont nettement supérieures à celles des tests précédents. Les auditeurs perçoivent mieux la nasalité quand la voyelle est présentée d'abord par sa fin acoustique. Les trois logatomes /zizEzi/, /kykAkky/ et /pypEpy/, qui avaient été identifiés par aucun des auditeurs dans le test B, ont été identifiés respectivement par 7, 9 et 6 auditeurs sur les 12 personnes.

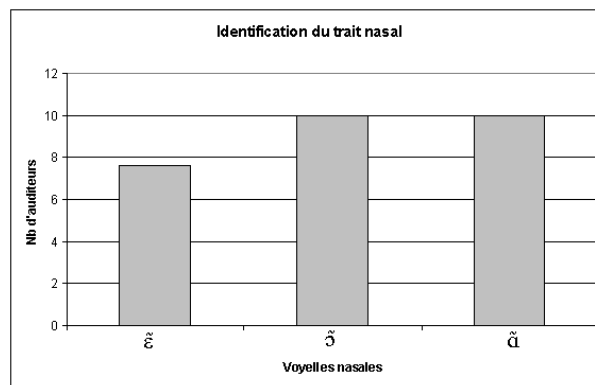


Figure 177 : Nombre de personnes ayant perçu la nasalité en fonction de la voyelle nasale, pour l'ensemble du test 2.

Pour les tests C et D, la voyelle nasale /E/ est en moyenne moins bien perçue que les deux autres. C'est aussi la voyelle qui en moyenne a le plus de persévérance du débit d'air nasal. Ceci tend à confirmer les résultats des premiers tests ; le débit d'air nasal n'est pas l'indice principal pour la perception de la nasalité. En moyenne, les auditeurs perçoivent l'indice de la nasalité au bout de 50% de dévoilement de la voyelle, ce qui signifie que la nasalité est perçue plus rapidement quand la voyelle nasale est présentée en commençant par sa fin acoustique.

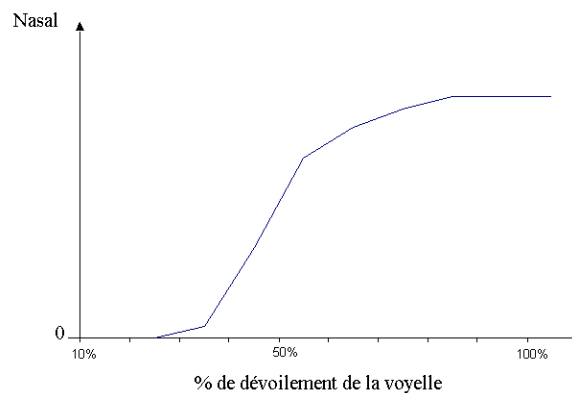


Figure 178 : Courbe d'identification de la nasalité pour le test 1 en fonction de la moyenne d'identification pour les 40 mots, pour l'ensemble du test 2.

La Figure 176 comparée à la Figure 178 montre qu'effectivement l'indice de la nasalité est repéré plus tôt quand la voyelle est dévoilée par sa fin acoustique. Les tests C et D confirment

les résultats des tests A et B. Les indices de la nasalité sont situés après la première moitié de la voyelle.

La voyelle n'est pas pour autant perçue immédiatement, alors qu'il y a généralement du débit d'air nasal sur la consonne qui suit, et sans forcément percevoir une voyelle, les auditeurs auraient pu percevoir l'indice de nasalité sur la consonne et transcrire un /m/ ou un /n/. Nous avons regardé s'il existe un lien entre la durée de la persévération du débit d'air nasal et la perception de la nasalité. Nos résultats ne montrent pas de relation entre les deux. Un logatome avec une persévération importante peut être perçu en moyenne plus tard qu'un logatome avec une persévération moins importante. Il n'apparaît pas de rapport entre les deux éléments. De plus, pour toutes les réponses, la consonne qui suit la voyelle nasale est perçue comme orale ; la persévération du débit d'air nasal après la voyelle nasale n'est pas suffisante pour modifier le statut phonologique de la consonne au niveau des logatomes.

V.C. Discussion

Le débit d'air nasal n'est pas l'indice principal pour la perception de la nasalité vocalique.- Feng (2004) a montré à l'aide d'enregistrements nez-bouche séparés, qu'il est possible de percevoir la nasalité vocalique sans le débit d'air nasal (Feng *et al.*, 2004). Nos données confirment que le débit d'air nasal ne permet pas à lui seul de percevoir la nasalité. Il est intéressant de constater que la nasalité est mieux perçue dans le test B, qui regroupe les logatomes prononcés par le locuteur 1. Ce sont les logatomes pour lesquels la quantité de débit d'air nasal est la moins importante.

La perception de la nasalité n'a pas la même efficacité dans le sens gauche-droite que dans le sens droite-gauche.- Les auditeurs perçoivent plus d'indices nasals qu'en les stimuli leur sont présentés en commençant par la fin de la voyelle. Nous avons regardé les écarts types pour les quatre tests (A et B ensembles) et (C et D ensembles), l'écart type des tests A et B est en moyenne plus élevé que l'écart type des tests C et D (moyenne de l'écart type pour les tests A et B : 1,45 et moyenne de l'écart type pour les tests C et D : 1,68). Il apparaît donc qu'il y a une plus grande variabilité dans les réponses données aux tests A et B. Alors que les conditions d'écoutes étaient les mêmes pour tout le monde, il est intéressant de constater que pour un même logatome, un locuteur percevra la nasalité dès la première séquence alors qu'un autre locuteur ne percevra la nasalité qu'à la dernière séquence. Ce phénomène est plus présent pour les tests A et B, ce qui explique que l'écart type soit plus élevé.

La première partie de la voyelle nasale a les caractéristiques d'une voyelle orale.- Nous confirmons les résultats de Montagu (2004), la première partie de la voyelle nasale est perçue comme orale (Montagu, 2004). Montagu indique que la voyelle nasale /ɛ/ est perçue comme un /a/ dans sa partie orale. Pour nos tests de perception, quand la voyelle nasale /ɛ/ n'est pas perçue, elle est effectivement interprétée comme étant un /a/. Quand ils ne percevaient pas la nasalité, les auditeurs ont réinterprété la voyelle comme étant une voyelle postérieure du type /a/ ou /o/, et cela pour les trois voyelles nasales, ce qui confirme que les voyelles nasales sont plus postérieures que leurs homologues orales.

La perception des voyelles nasales est différente de la perception des consonnes nasales.- Le trait de nasalité pour une consonne nasale est perçu dans la voyelle qui précède la consonne (Ali *et al.*, 1971). Les transitions formantiques jouent un rôle important. Il peut même être le corrélat acoustique majeur de la présence sous-jacente d'une consonne nasale (Malécot, 1960). Il n'est pas possible de tenir compte de ce corrélat pour identifier une voyelle nasale qui précède une consonne orale ; les transitions formantiques sont peu ou pas marquées sur la consonne.

La perception de la nasalité vocalique est corrélée à l'ouverture du velum.- Il existe une relation entre le jugement de la nasalité et le degré d'ouverture du velum (Benguerel *et al.*, 1981). Benguerel & Lafargue (1981) ont construit des tests de perception à partir de voyelles découpées en fonction de l'ouverture vélaire ; ils ont demandé à des auditeurs de juger du degré de nasalité de ces voyelles. Il apparaît qu'une large ouverture vélaire est nécessaire pour percevoir une voyelle ouverte ([A]) comme nasalisée alors qu'une plus petite ouverture est suffisante pour les voyelles [E] et [O].

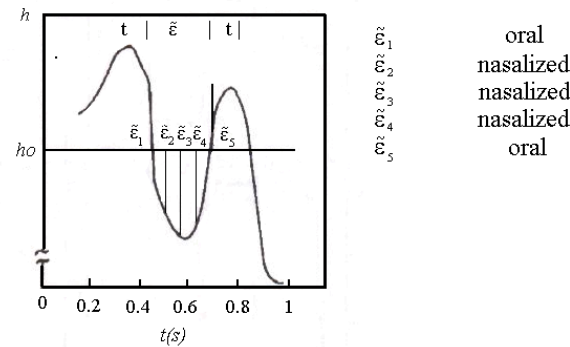


Figure 179 : Perception de la voyelle nasale en fonction de l'ouverture du port vélo-pharyngé (Benguerel *et al.*, 1981).

Ceci va dans le sens des données sur la perception de la nasalité pour les voyelles hautes de (House *et al.*, 1956 ; Maeda, 1993). Ils montrent aussi que la voyelle nasale n'est pas perçue immédiatement comme nasale du fait que le velum n'a pas atteint une ouverture vélaire suffisante.

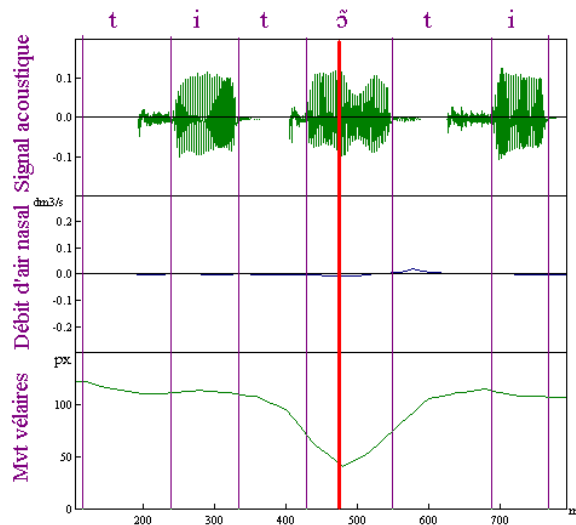


Figure 180 : Le logatome /tiŋi/ (loc 1), le trait indique l'instant où les auditeurs ont discriminé la nasalité.

La Figure 180 montre qu'il n'y a pas de rapport entre le débit d'air nasal et la perception de la nasalité ; par contre il semble que la perception de la nasalité soit corrélée à l'ouverture du velum. L'ouverture vélaire la plus importante apparaît la plupart du temps, dans la première moitié de la voyelle. Nous pensions en construisant nos tests de perception que le débit d'air nasal était l'indice principal, nous n'avons pas tenu compte de l'ouverture vélaire. Pourtant au vu de ces résultats, la perception de la nasalité sera optimum après que le velum ait atteint son ouverture maximum.

La voyelle /ɛ/ est la voyelle la moins bien perçue.- Des voyelles nasales, la moins bien perçue est celle qui a le velum maximale bas. Pour les voyelles orales, quand la voyelle n'est

pas une voyelle haute, il faut que le velum soit maximalelement bas pour qu'elle soit perçue comme nasale (Abramson *et al.*, 1981). Nous savons que la voyelle nasale /ɛ̃/ est la nasale qui a été la moins labialisée pour nos deux locuteurs ; il s'agit aussi de la voyelle la plus ouverte.

La discrimination entre les voyelles nasales est difficile.- Nous recherchions à identifier un indice de la nasalité. Nous n'avons pas tenu compte de la bonne identification. Il faut tout de même signaler que la voyelle nasale n'est pas toujours identifiée correctement. Le couplage du conduit oral/nasal influence la hauteur perçue des voyelles (Beddor *et al.*, 1982). La voyelle ouverte /a/ est perçue comme moins ouverte, et les voyelles fermées comme plus ouvertes. Cette perte de degré de hauteur perçue va dans le sens d'une moins grande discrimination entre les voyelles nasales qui ont un timbre moins clair. Le trait de nasalité n'est donc sans doute pas orthogonal aux autres traits des voyelles, d'aperture, d'antériorité et de labialisation, ce qui expliquerait les modifications du lieu d'articulation des nasales au cours du temps (Vaissière, 1995).

L'instrumentation a-t-elle modifié la perception de la nasalité ?- Les logatomes utilisés dans les tests de perception sont extraits des données aérodynamiques. Ils ont été prononcés avec un masque buccal et des olives nasales ; il ne nous est malheureusement pas possible de savoir si ces artefacts ont modifié la perception et si oui à quel point.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons montré dans ce travail que les rapports entre les mouvements articulatoires, le débit d'air nasal et la perception de la nasalité ne sont pas linéaires. Le mouvement d'ouverture du port vélo-pharyngé est une condition nécessaire mais pas suffisante à la production du débit d'air nasal. Le débit d'air nasal est une condition nécessaire, mais pas suffisante à la perception de la nasalité vocalique. Ces conclusions se fondent sur des observations qui montrent qu'il n'existe pas de relation temporelle entre le **début de l'ouverture** du velum, et l'**apparition** d'un débit nasal. Il n'existe pas non plus de rapport entre la **taille** de l'ouverture vélo-pharyngée, et la **quantité** d'air sortant. Tout comme il n'existe pas de **rapport entre l'anticipation** du débit d'air nasal, et le **temps nécessaire** à percevoir une voyelle nasale.

Aussi contradictoire que cela puisse paraître, pour les voyelles nasales, moins le velum est ouvert, plus le débit d'air nasal est important. Nous observons des **rapports antagonistes** entre les mouvements articulatoires et le débit d'air nasal : il existe une anticipation plus importante que la persévération en ce qui concerne les mouvements du velum et ainsi qu'une persévération plus importante que l'anticipation en ce qui concerne le débit d'air nasal. Le débit d'air nasal est directement lié à l'**impédance** dans le conduit vocal.

Cette étude confirme :

- i) Qu'il existe une **différence interlocuteur** pour le timing du mouvement vélaire (Vaissière, 1988), et suggère que cette même différence existe pour le débit d'air nasal. Pour les données quantitatives pour les mouvements vélaire, nous observons des différences en terme de valeurs absolues, mais la même tendance relative pour les deux locuteurs ressort : l'ouverture vélaire est la plus importante pour la voyelle nasale /œ/. Pour les données quantitatives sur débit d'air nasal, nous observons des différences en terme de valeurs absolues, mais la même tendance relative pour les deux locuteurs ressort : pour les et le débit d'air nasal est le plus grand pour la voyelle nasale /œ/.
- ii) Qu'il est possible d'obtenir de la parole spontanée avec des instrumentations utilisées pour les données physiologiques,
- iii) Que la propagation de la nasalité, du point vue articulatoire et aérodynamique, est **différente selon le style de parole**. Moins la parole est contrôlée, plus la propagation du geste est importante. Parallèlement les phonèmes sont plus courts, le débit d'air nasal peut se propager sur plus de phonèmes.

Les résultats de nos tests de perception suggèrent qu'il existe un **indice supplémentaire** dans la seconde moitié acoustique de la voyelle nasale, qui ajouté au débit d'air nasal, permet une meilleure discrimination de la voyelle nasale. Nous pensons que cet indice est l'instant où le velum a atteint une ouverture vélaire maximum, et que la connexion est la meilleure entre le conduit nasal et le conduit buccal ; le débit d'air oral étant inférieur au débit d'air nasal.

Nous avons soulevé plusieurs questions dans l'introduction. Suite à cette étude, nous sommes en mesure de répondre à certaines d'entre-elles :

?? Dans quelle mesure la coarticulation nasale est-elle un phénomène dépendant de la langue ?

Cette étude a montré qu'il existe des différences de coarticulation nasale entre les langues, notamment entre l'anglais et le français. Ces résultats sont à prendre avec précaution. Nous avons avant tout montré qu'il existe des différences entre les consonnes et les voyelles nasales. Seule une même étude sur la nasalité consonantique permettra de confirmer qu'il existe bien une différence de propagation nasale en fonction des langues. Les données de parole spontanée montrent que la coarticulation nasale peut être très importante en français malgré la nécessité de maintenir une opposition phonologique.

?? La coarticulation nasale est-elle dépendante des contraintes articulatoires ?

Les contraintes articulatoires jouent un rôle indirect dans la coarticulation nasale, il ne peut pas y avoir de coarticulation nasale sans ouverture du port vélo-pharyngé. Il existe des contraintes articulatoires pour le mouvement vélaire, comme la hauteur de la langue. L'ouverture du velum sera plus importante pour la voyelle /*ɐ̃*/ ou encore le velum commencera à s'ouvrir avant et à se refermer après quand la voyelle nasale sera entourée par des consonnes liquides. Le temps d'ouverture est différent selon les locuteurs, les répétitions, le débit et le style de parole, mais toutes ces contraintes n'impliquent pas directement une modification de la propagation nasale.

La coarticulation nasale implique une modification acoustique plus ou moins importante. Nous avons montré que l'aérodynamique a une meilleure corrélation que l'articulatoire avec le signal acoustique.

?? La coarticulation nasale est-elle dépendante des contraintes aérodynamiques ?

La coarticulation nasale est directement dépendante des contraintes aérodynamiques. Plus l'impédance est importante, plus la coarticulation nasale est forte. L'impédance dépend de l'ouverture buccale ; plus l'aperture est grande moins l'impédance est importante et inversement plus l'aperture est faible, plus l'impédance est forte. L'ouverture buccale peut être renforcée par l'ouverture labiale, à ouverture de la bouche équivalente, une labialisation d'un phonème, conduira à augmenter également l'impédance dans le conduit vocal.

Nous pouvons résumer les rapports qu'il existe entre les contraintes articulatoires et aérodynamiques avec l'exemple de la voyelle nasale /*ɐ̃*/ : cette voyelle est produite avec une ouverture de la buccale importante, par l'action du palato-glosse (ceci est confirmé dans nos données), plus la bouche est ouverte plus le velum est bas ; comme la bouche est ouverte, l'impédance dans le conduit vocal est faible et du même coup le débit d'air nasal est faible.

?? Comment est perçue la nasalité vocalique ?

La nasalité vocalique n'est pas facile à discriminer, même pour des auditeurs ayant une opposition phonologique voyelle orale, voyelle nasale dans leur langue. Le débit d'air nasal n'est pas l'indice principal pour la discrimination du trait nasal.

?? La description articulatoire du trait nasal convient-elle pour une description phonologique ou une description en termes acoustiques est-elle plus appropriée ?

La présence du trait [+nasal] dans la représentation de certains phonèmes sous-jacents ne suffit pas à expliquer le cours temporel des mouvements du voile du palais dans la parole continue, bien que ce soit naturellement le facteur principal qui commande aux mouvements du velum. Surtout le trait [+nasal] ne rend pas compte de la propagation du débit d'air nasal pour la voyelle nasale. En effet, en fonction de la voyelle nasale, du style de parole, et de l'entourage consonantique, la quantité et le timing du débit d'air nasal seront différents. Ces

différences ne peuvent pas être décrites seulement avec des descriptions articulatoires. De plus, les traits articulatoires ne permettent pas de rendre compte du débit d'air nasal quand le velum est fermé. Compléter le corrélat articulatoire avec une description en terme de débits d'air apporterait des informations nouvelles et enrichirait la description phonologique (([+DAB]~[-DAB] et [+ DAN]~[-DAN]).

Les mouvements articulatoires indiquent que les voyelles nasales sont des voyelles à part entière. Par contre, les données aérodynamiques et les tests de perception nous laissent penser qu'elles sont produites et perçues comme des diphtongues. Les données acoustiques, aérodynamiques et perceptives montrent que la voyelle nasale, en parole lue, a vraiment deux segments : un premier segment oral où il n'y a pas de débit d'air nasal, et un second où le débit d'air nasal apparaît. Ceci est d'autant plus marqué pour la voyelle /œ/.

Il existe des limites à ce travail et nous avons soulevé des questions qui restent sans réponse. Alors que nous pensions que limiter notre étude à des personnes ayant la même stratégie de fermeture du port vélo-pharyngé apporterait des informations nouvelles nous nous sommes heurtée au problème de différence de sexe des locuteurs. A quoi est due la différence interlocuteur que nous observons ? Doit-elle être attribuée à la différence de sexe ? La plupart des études ont montré qu'il existe une différence de quantité d'air sortant en fonction du sexe. Nous confirmons que les mesures absolues sont différentes. Pourtant, les mesures relatives ne donnent pas de différence significative entre les locuteurs. Par contre, à l'opposé de ce que trouve Zajac (1998), nous trouvons une forte différence de coarticulation nasale entre nos deux locuteurs (Zajac et al., 1998). Nous devons absolument reprendre des données avec d'autres locuteurs pour savoir si la différence de coarticulation observée est due ou non au sexe du locuteur. Malgré toutes ces différences, nous avons observé des tendances similaires pour les deux locuteurs.

Tout au long de cette étude, nous avons fait référence à l'impédance à l'intérieur du conduit vocal pour expliquer la propagation de la nasalité. Nous indiquons qu'il existe un rapport étroit entre l'impédance et l'aperture buccale. Il est nécessaire pour conduire une étude complète de la nasalité vocalique de reprendre des données avec la pression intra-orale et des films montrant l'aperture buccale. Comme nous l'avons montré dans les données acoustiques et les tests de perception, il existe pour la nasalité vocalique un rapport complexe entre l'articulatoire, aérodynamique et la perception. Comment expliquer que le signal acoustique semble directement lié à l'aérodynamique et que la perception semble quant à elle principalement liée à l'articulatoire ?

En conclusion, une étude de la nasalité ne peut pas se baser sur un seul paramètre, ni même deux paramètres. Pour faire avancer l'état de la recherche sur la nasalité, il faudra continuer à combiner les données articulatoires, physiologiques, aérodynamiques et perceptives. Avec si possible des données EMG, qui manquent dans cette étude, pour voir la synergie entre les différents muscles. Il sera intéressant d'étudier les mouvements de la langue, les lèvres et du voile du palais simultanément. Les tests de perceptions devront être complétés par des mesures psycho-acoustiques de la perception de l'amplitude relative des formants qui est souvent négligée dans la littérature. Deux propositions existent en ce qui concerne la reconstitution de la nasalité par l'auditeur. L'une traditionnelle veut qu'à partir du signal on découvre des indices acoustiques, à partir de ces indices on détecte des corrélats phonétiques, à partir de l'ensemble de ces corrélats, on récupère des traits phonologiques. L'autre suggère qu'on redécouvre la nasalité avec le sens et la pragmatique joue rôle essentiel.

Du point de vue acoustique on devra investiguer la part de la reconnaissance de la nasalité qui est due aux informations montantes et aux informations descendantes. A une époque où les dernières expériences montrent un éclatement des anciennes méthodes de linguistiques qui ne s'appliquent pas directement à la parole spontanée. Il serait vraiment intéressant de mieux enquêter ce style de parole étant donné la subtilité des corrélats acoustiques liés la nasalité, et surtout le temps nécessaire pour les percevoir. Quelle est la part due aux informations montantes et descendantes en parole spontanée ?

Bibliographie

Abréviations :

- ?? ICASSP : International Conference on Acoustics Speech, and Signal Processing
- ?? ICPHS : International Congress of Phonetic Sciences
- ?? JASA : Journal of the Acoustical Society of America
- ?? JEP : Journées d'Etudes sur la parole
- ?? JIPA : Journal of the International Phonetic Association
- ?? JSHD : Journal of Speech and Hearing Disorders
- ?? JSHR : Journal of Speech and Hearing Research
- ?? RILP : Research Institute of Logopedics and Phoniatrics

1. Abramson, A. S., Nye, P. W., Henderson, J., *et al*, (1981). Vowel height and the perception of consonantal nasality. *JASA*, **70**, 329-339.
2. Akoka, G., Akoka, A., Akoka, D., *et al*, (1972). Le médical du xx^e siècle. Bourges: Edilec. **Vol.5**.
3. Ali, L., Gallagher, T., Goldstein, J., *et al*, (1971). Perception of coarticulated nasality. *JASA*, **49**, 538-540.
4. Amelot, A., Crevier-Buchman, L. & Maeda, S., (2003). Observations of the velopharyngeal closure mechanism in horizontal and lateral directions from fiberoptic data. ICPHS, Barcelona, 3021-3024.
5. Ausseterre, D., Galindo, B., Teston, B., *et al*, (1989). Movement of the lips and velum in speech: Variations in aerodynamic parameters. Eurospeech, Paris, 437-440.
6. Avram, A., (1974). Voyelles nasales et diphtongues. *Estratto da Ricerche Linguistiche*, **VI**, 289-295.
7. Avram, A., (1989). Nasalité et vélarité. *Mélanges de phonétique générale et expérimentale*, **1**, 11-18.
8. Baken, R. J., (1987). Clinical measurement of speech and voice. London: Taylor and Francis.
9. Barry, W. & Kuenzel, H., (1975). Co-articulatory airflow characteristic of intervocalic voiceless plosives. *J. of Phonetics*, **3**, 263-281.
10. Basset, P., Amelot, A., Vaissière, J., *et al*, (2001). Nasal airflow in french spontaneous speech. *JIPA*, **31**, 87-100.
11. Beddor, P. S. & Strange, W., (1982). Cross-language study of perception of the oral-nasal distinction. *JASA*, **71**, 1551-1561.
12. Bell-Berti, F., (1975). Control of pharyngeal cavity size for english voiced and voiceless stops. *JASA*, **57**, 456-461.
13. Bell-Berti, F., (1976). An electromyographic study of velopharyngeal function in speech. *JSHR*, **19**, 225-240.
14. Bell-Berti, F. & Hirose, H., (1971). Velopharyngeal function in oral-nasal articulation and voicing gestures. *Speech Research*, **SR-28**, 143-156.
15. Bell-Berti, F. & Hirose, H., (1973). Patterns of palatoglossus activity and their implications for speech organization. *Speech Research*, **SR-30**, 203-209.
16. Bell-Berti, F. & Hirose, H., (1975a). Palatal activity in voicing distinctions: A simultaneous fiberoptic and electromyographic study. *J. of Phonetics*, **3**, 69-74.
17. Bell-Berti, F. & Niimi, S., (1975b). Electromyographic study of velopharyngeal function. *JASA*, **58**, (Suppl.1), S 41.
18. Benguerel, A. P., (1974). Nasal airflow patterns and velar coarticulation in french. *Speech Wave Processing and Transmission*, Stockholm, Publi:Almqvist & Wiksell, **2**, 105-112.

19. Benguerel, A. P. & Cowan, H. A., (1974). Coarticulation of upper lip protrusion in french. *Phonetica*, **30**, 41-55.
20. Benguerel, A. P., Hirose, H., Sawashima, M., *et al*, (1975). Velar height and its timing in french: A fiberoptic study. *Ann. Bull., RILP*, **6**, 67-78.
21. Benguerel, A. P., Hirose, H., Sawashima, M., *et al*, (1977a). Velar coarticulation in french: A fiberoptic study. *J. of Phonetics*, **5**, 149-158.
22. Benguerel, A. P., Hirose, H., Sawashima, M., *et al*, (1977b). Velar coarticulation in french: An electromyographic study. *J. of Phonetics*, **5**, 159-168.
23. Benguerel, A.-P. & Lafargue, A., (1981). Perception of vowel nasalization in french. *J. of Phonetics*, **9**, 309-321.
24. Bognar, E. & Fujisaki, H., (1986). Analysis, synthesis and perception of the french nasal vowels. *ICASSP*, **86**, 1601-1604.
25. Bothorel, A., Péla, S., Wioland, F., *et al*, (1986). Cinéradiographie des voyelles et des consonnes du français. Strasbourg, Institut de Phonétique.
26. Bourciez, E. & Bourciez, J., (1982). Phonétique française : Etude historique. Paris: Klincksiek.
27. Brichler-Labaeye, M., (1970). Les voyelles françaises. Mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie. Paris: Klincksiek.
28. Carton, F., (1974). Introduction à la phonétique du français. Paris: Bordas.
29. Chafcouloff, M. M. A., (1999). Velopharyngeal coarticulation. In Coarticulation Edited by Nigel, Hardcastle William & Hewlett Cambridge: Cambridge University Press. 69-79.
30. Chlumsky, J., (1938). Radiographie des voyelles et des semi-voyelles françaises. Prague.
31. Chomsky, N. & Halle, M., (1968). The sound pattern of english. New York: Harper and Row.
32. Clements, G. N. & Sylvester, O., (2001). Patterns of nasality and obstruence in ikwere, an african language with nasal harmony. Atas do 1º Encontro internacional do GTLI da ANPOLL/UFGA. Linguas Indigenas Brasileiras: Fonologia, gramática e história., Belem,
33. Clumeck, H., (1976). Patterns of soft palate movements in six languages. *J. of Phonetics*, **4**, 337-351.
34. Cohen, A. & Hart, J. T., (1964). Gating techniques as an aid in speech analysis. *Language and Speech*, **7**, 22-39.
35. Cohn, A., (1990). Phonetic and phonological rules of nasalization. *Working Papers of the University of California, Los Angeles*, **76**, (Working papers in Phonetics),
36. Cohn, A., (1993). A survey of the phonology of the feature [+nasal]. *Working Papers of the Cornell Phonetics Laboratory*, **8**, 141-203.
37. Condax, I. D., (1982). X-ray microbeam study of velic movement. *JASA*, **Suppl. 1**, **71**, (S32),
38. Coseriu, E., (1994). La "découverte" des voyelles nasales. *Communication & cognition*, **27**, (1-2), 7-20.
39. 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. *Laryngoscope*, **91**, 265-71.
40. Crouse, U. & Laine-Alava, M. T., (1999). Effects of age, body mass index, and gender on nasal airflow rate and pressures. *Laryngoscope*, **109**, 1503-8.
41. Daniloff, R. & Moll, K. L., (1968). Coarticulation of lip rounding. *JSHR*, **11**, 707-721.
42. Delattre, P., (1954). Les attributs acoustique de la nasalité vocalique et consonantique. *Studia Linguistica, Revue de linguistique générale et comparée*, **8**, 103-109.
43. Delattre, P., (1965). Comparing the phonetic features of english, french, german and spanish : An interim report. Heidelberg: Julius Groos Verlag.
44. Delattre, P., (1966). Studies in french and comparative phonetics. London: Mouton and co.

45. Delattre, P., (1968). La radiographie des voyelles françaises et sa corrélation acoustique. *The French Review*, **42**, 48-65.
46. Dell, F., (1986). Deux nasalisations en français. Actes du séminaire 'Lexique et Traitement automatiques des langages', Toulouse, Publi:Pérennou ed, 187-190.
47. Delvaux, V., (2003). Contrôle et connaissance phonétique : Les voyelles nasales du français, 288p., Th: Phonétique-Phonologie: Bruxelles.
48. Delvaux, V., Metens, T. & Soquet, A., (2002). Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du français. XXIV^{èmes} Journées d'Étude sur la Parole, Nancy,
49. Dickson, D. R., (1962). An acoustic study of nasality. *JSHR*, **5**, 103-111.
50. Dixit, R. P., (1981). Velar activity during speech: Electromyographic study. *JASA*, **Suppl. 1 69**, (S54),
51. Duez, D., (1995). On spontaneous french speech: Aspects of the reduction and contextual assimilation of voiced stops. *J. of Phonetics*, **23**, 407-427.
52. Duez, D., (1996). Quelques effets de l'hypoarticulation en parole conversationnelle : Du niveau acoustique au niveau perceptif. JEP, Avignon, Publi:Laboratoire Parole et Langage,
53. Duez, D., (2001). Manifestation phonétique de la réduction et de l'assimilation contextuelle des segments de la parole conversationnelle. *Parole*, **17-18-19**, 89-111.
54. Durand, J. & Lyche, C., (2000). La phonologie : Des règles à la théorie de l'optimalité. In La parole : Des modèles cognitifs aux machines communicantes, Edited by Hermès Paris: Escudier, P. et alii. 193-244.
55. Durand, M., (1936). Le genre grammatical en français parlé à paris et dans la région parisienne. Paris: Bibliothèque du français moderne.
56. Durand, M., (1946). Voyelles longues et voyelles brèves : Essai sur la nature de la quantité vocalique. Paris: Klincksiek. 193p.
57. Durand, M., (1953). De la formation des voyelles nasales. *Studia Linguistica*, **7**, 33-53.
58. Durand, M., (1955). Du rôle de l'auditeur dans la formation des sons du langage. *J. de Psychologie normale et pathologique*, (juillet-septembre), 347-355.
59. Fagyal, Z., (1995). Aspects phonostylistiques de la parole médiatisée lue et spontanée. Th: Phonétique: Paris.
60. Fant, G., (1960). Acoustic theory of speech production. 2^{ème} édition en 1970 ed, Mouton: The Hague.
61. Fant, G., (1973). Speech sound and features. Cambridge, Massachusetts, and London, England: The MIT Press. 227p.
62. Farnetani, E. & Recasens, D., (1999). Coarticulation models in recent speech production theories. In Coarticulation, theory, data and techniques, Edited by Hewlett, Hardcastle And Cambridge: University Press. 31-68.
63. Feng, G. & Kotenkoff, C., (2004). Vers un nouveau modèle acoustique des nasales basé sur l'enregistrement bouche - nez séparé. JEP (Journées d'Etude sur la Parole), Fez (Maroc),
64. Ferguson, C. A., (1975). Universal tendencies and 'normal' nasality. In Nasalfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization Edited by Ferguson, Hyman, Ohala Stanford University: Language Universal Project, Dept. of Linguistic. 175-196.
65. Flament, B., (1989). Traitement articulatoire -lingual et vélaire- des voyelles nasales en français sous l'effet de la valorisation. *Quelques problèmes de transcription et de terminologie en phonétique*, **1**, 373-391.
66. Fonagy, I. & Boulakia, G., (1989). Tendances de neutralisation des oppositions entre voyelles nasales dans la parole des jeunes parisiens. ICPHS, Budapest,
67. Fougeron, C., (1996). Variation de débit nasal en fonction de la position prosodique de [n] et [ã] en français. Proceeding of the XXI^{es} Journée d'Etude sur la Parole, June 10-14, Avignon, 215-218.,
68. Fougeron, C., (1998). Variations articulatoires en début de constituants prosodiques de différents niveaux en français. Th: Phonétique: Paris.

69. Fougeron, C. & Keating, P. A., (1996). Articulatory strengthening in prosodic domain-initial position. *University of California Working Papers in Phonetics*, **92**, (Aug), 61-87.
70. Fritzell, B., (1979). Electromyography in the study of the velopharyngeal function - a review. *Folia Phoniatrica*, **31**, 93-102.
71. Fujimura, O., (1962). Analysis of nasal consonants. *JASA*, **34**, 1865-1875.
72. Fujimura, O. & Lindqvist, J., (1971). Sweep-tone measurements of vocal-tract characteristics. *JASA*, **49**, 541-558.
73. Galindo, B. & Teston, B., (1989). Physiologia, une station de travail qui étudie des paramètres physiologiques de la parole. *Travaux interdisciplinaires du laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence*, **13**, 197-217.
74. Ghio, A. & Teston, B., (2002). Caractéristiques de la dynamique d'un pneumotachographe pour l'étude de la production de la parole : Aspects acoustique et aérodynamique. JEP, Nancy,
75. Gordon, M., (1996). The effect of stress and prosodic phrasing on duration, acoustic amplitude and oral flow of nasal consonants in estonian. *Working Papers of the University of California, Los Angeles*, **92**, 151-159.
76. Grammont, M., (1933). Traité de phonétique. Paris: Delagrave.
77. Grosjean, F., (1980). Spoken word recognition processes and the gating paradigm. *Perception & Psychophysics*, **28**, 267-283.
78. Guérin, B. & Mrayati, M., (1977). Nasal vowels study sensitive functions. Articulatory modeling symposium, Grenoble,
79. Hardcastle, W. J., (1976). Physiology of speech: An introduction for speech scientists. London, New York, San Francisco: Academic Press.
80. Hayes, B. & Stivers, T., (2000). A phonetic account of postnasal voicing. *in progress*, 1-34.
81. Henderson, J., (1984). Velopharyngeal function in oral and nasal vowels. Th: Doctoral dissertation: Storrs.
82. Hirano, M. & Ohala, J., (1969). Use of hooked-wire electrodes for electromyography of the intrinsic laryngeal muscles. *JSHR*, **12**, 362-373.
83. Hixon, T. J., (1970). An electromagnetic method for transducing jaw movements during speech. *JASA*, **49**, 603-606.
84. Hoopes, J., Dellon, A., Fabrikant, J., *et al*, (1970). Cineradiographic definition of the functional anatomy and pathophysiology of the velopharynx. *Cleft Palate J.*, **7**, 443-454.
85. House, D. & Fairbanks, G., (1953). The influence of consonant environment upon the secondary acoustical characteristics of vowels. *JASA*, **25**, 105-113.
86. House, D. & Stevens, K., (1956). Analog studies of the nasalization of vowels. *JSHD*, **22**, 218-232.
87. Hume, E. & Odden, D., (1996). Reconsidering [consonantal]. *Phonology*, **13**, 345-376.
88. Jakobson, R. & Halle, M., (1956). Fundamentals of language. The Hague: Mouton.
89. Kaplan, H. M., (1960). Anatomy and physiology of speech. New York, Toronto, London: Mc Graw-Hill.
90. Keating, A. P., (1985). Cv phonology, experimental phonetics, and coarticulation. *Working Papers of the University of California, Los Angeles*, **62**, 1-14.
91. Kelsey, C. A., Woodhouse, R. J. & Mixtfie, F. D., (1969). Ultrasonic observations in the pharynx. *JASA*, **46**, 1016-1018.
92. Kent, R. D. & Minifie, F. D., (1977). Coarticulation in recent speech production models. *J. of Phonetics*, **5**, 115-133.
93. Koopmans-Van Beinum, F. J. & Bergem, D. R., (1989). The role of 'given' and 'new' in the production and perception of vowel contrasts in read text and in spontaneous speech. Paris, Eurospeech, 285-288.
94. Krakow, R., (1993). Non segmental influences on velum movement patterns: Syllables, sentences, stress and speaking rate. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals,

- nasalization and the velum, 5, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 87-116.
95. Krakow, R. A., (1989). The articulatory organization of syllables: A kinematic analysis of labial and velar gestures. 203p., Th: Thèse.
 96. Krakow, R. A., (1999). Physiological organization of syllables: A review. *J. of Phonetics*, 27, 23-54.
 97. Krakow, R. A. & Huffman, M. K., (1993). Instruments and techniques for investigating nasalization and velopharyngeal function in the laboratory : An introduction. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals, nasalization and the velum, 5, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 3-59.
 98. Kuehn, D. P., (1976). A cineradiographic investigation of velar movement variables in two normals. *Cleft Palate J.*, 13, 88-103.
 99. Kuenzel, H., (1978). Reproducibility of electromyographic and velographic measurements of the velopharyngeal closure mechanism. *J. of Phonetics*, 6, 345-351.
 100. Kuenzel, H. J., (1977a). A photo-electric investigation of velar height during vowel articulation: First application of the velograph. *Arbeitsberichte*, 8, 111-131.
 101. Kuenzel, H. J., (1977b). Relative velar height and velar timing in orally and nasally released stops. *Arbeitsberichte*, 8, 132-153.
 102. Kühnert, B. & Nolan, F., (1997). The origin of coarticulation. *Institut für Phonetik und sprachliche Kommunikation der Universität München Forschungsberichte*, 35, 61-75.
 103. Kühnert, B. & Nolan, F., (1999). The origin of coarticulation. In Coarticulation, theory, data and techniques, Edited by Hewlett, Hardcastle And Cambridge: University Press. 7-30.
 104. Laborderie, N., (1994). Précis de phonétique historique. Paris: Nathan.
 105. Ladefoged, P., (1982). A course in phonetics. Second edition ed, New York: Harcourt, Brace, Jovanovich.
 106. Ladefoged, P., (1997a). Instrumental techniques for fieldwork. In The handbook of phonetic sciences, Edited by Hardcastle, W.J., Laver, J. Oxford: Blackwell. 137-166.
 107. Ladefoged, P., (1997b). Linguistic phonetic descriptions. In The handbook of phonetic sciences, Edited by Hardcastle, W.J., Laver, J. Oxford: Blackwell. 499-618.
 108. Ladefoged, P. & Maddieson, I., (1995). The sounds of the world's languages. Backwell Publishers.
 109. Lahiri, A. & Marslen-Wilson, W., (1991). The mental representation of lexical form: A phonological approach to the recognition lexicon. *Cognition*, 38, 245-294.
 110. Lass, N. J., (1995). Principles of experimental phonetics. St Louis: Mosby.
 111. Le Huche, F. & Allali, A., (2001). La voix. 3^{ème} Edition ed, **Vol.1**.
 112. Legent, F., Perlemuter, L. & Vandenbrouck, C., (1981). Cahiers d'anatomie o.R.L. troisième édition ed, Paris: Masson.
 113. Lerault, P., Chevallier, H., Attias, E., *et al*, (1993). Anatomie du voile. CCA ed, Les monographies du cca Wagram. **Vol.18**.
 114. Lindblom, B., (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *JASA*, 35, (11), 1773-1781.
 115. 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. Th: Phonétique: Nancy.
 116. Macneilage, P. F. & Declerk, J. L., (1967). On the motor control of coarticulation in cvc monosyllables. *Conf. Speech Commun. Process.*, 157-163.
 117. Maddieson, I., (1984). Patterns of sounds. Cambridge: Cambridge University Press.
 118. Maddieson, I. & Ladefoged, P., (1993). Phonetics of partially nasal consonants. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals, nasalization and the velum, 5, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 251-301.
 119. Maeda, S., (1982a). Acoustic cues of vowel nasalization: A simulation study. *JASA*, 72, (S 1), S 102.

120. Maeda, S., (1982b). A digital simulation method of the vocal-tract system. *Speech Communication*, **1**, (3-4), 199-229.
121. Maeda, S., (1982c). The role of the sinus cavities in the production of nasal vowels. *ICASSP*,
122. Maeda, S., (1993). Acoustics of vowel nasalization and articulatory shifts in french nasal vowels. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals, nasalization and the velum, **5**, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 174-167.
123. Malderez, I., (1991). Neutralisation des voyelles nasales chez des enfants d'île de france. XIIème congrès International des Sciences Phonetiques (ICPhS), Aix-En -Provence, France, Publi:Université de Provence Aix-Marseille I, **2**,174-177.
124. Malécot, A., (1960). Vowel nasality as a distinctive feature in american english. *Language*, **36**, 222-229.
125. Malécot, A. & Metz, G., (1972). Progressive nasal assimilation in french. *Phonetica*, **26**, 193-209.
126. Marichelle, H., (1902). La chronophotographie de la parole. Paris: Atelier Typographique de l'institution nationale des sourds et muets.
127. Martinet, A., (1945). La prononciation du français contemporain. Paris: Droz.
128. Martinet, A., (1955). Economie des changements phonétiques : Traité de phonologie diachronique. Berne: Francke SA.
129. Martinet, A., (1965). Les voyelles nasales du français. *La Linguistique*, **1**, 117-122.
130. Mckerns, D. & Bzoch, K., (1970). Variations in velopharyngeal valving: The factor of sex. *Cleft Palate J.*, **7**, 652-662.
131. Moll, K. L., (1962). Velopharyngeal closure on vowels. *JSHR*, **5**, 30-37.
132. Moll, K. L. & Daniloff, R. G., (1971). Investigation of the timing of velar movements during speech. *JASA*, **50**, 678-684.
133. Montagu, J., (2000). Analyse formantique des voyelles nasales et nasalisées en français standard prononcées en répétition par des locuteurs anglo-américains. Th: Maîtrise: Paris.
134. Montagu, J., (2004). Les sons sous-jacents aux voyelles nasales en français parisien : Indices perceptifs des changements. JEP, Fès, Maroc,
135. Moon, J., Kuehn, D. & Huisman, J., (1994). Measurement of velopharyngeal closure force during vowel production. *Cleft Palate-Craniofacial J.*, **31**, 356-363.
136. Niimi, S., Bell-Berti, F. & Harris, K. S., (1982). Dynamic aspect of velopharyngeal closure. *Folia Phoniatrica*, **34**, 246-257.
137. Ohala, J., (1971). Monitoring soft palate movements in speech. *JASA*, **50**, 140.
138. Ohala, J., (1983). The origin of sound patterns in vocal tract constraints. In The production of speech Edited by P.F., Mac Neilage New York: Springer-Verlag. 189-216.
139. Ohala, J. J., (1974). Phonetic explanations in phonology. In Papers from the parasession on natural phonology, Edited by Bruck, A., Fox, R. A., Lagaly, M. W. Chicago: Chicago Linguistic Society. 251-274.
140. Ohala, J. J., (1975). Phonetic explanations for nasal sound patterns. In Nasalfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization (1975), Edited by Ferguson, Charles A., Hyman, Larry M., Ohala, John J. Stanford: Language Universals Project. 289-316.
141. Ohala, J. J. & Ohala, M., (1993). The phonetics of nasal phonology: Theorems and data. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals, nasalization and the velum, **5**, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 225-249.
142. Ohala, J.-J. & Ohala, M., (1995). Speech perception and lexical representation: The role of vowel nasalization in hindi and english. In Phonology and phonetic evidence, Edited by Connell, Bruce, & Arvaniti Amalia: Cambridge U Press. 41-60.
143. Öhman, S. E. G., (1966). Coarticulation in vcv utterances: Spectrographic measurements. *JASA*, **39**, 151-168.
144. Parush, A. & Ostry, D. J., (1986). Superior lateral pharyngeal wall movements in speech. *JASA*, **80**, 749-56.

145. Passy, P., (1899). Les sons du français (leur formation leur combinaison leur représentation). Cinquième édition ed, Paris: Association Phonétique Internationale.
146. Passy, P. E., (1890). Etude sur les changements phonétiques et leurs caractères généraux. Paris: Firmin-Didot. **Vol.1**. 270p.
147. Pieri, P., (1997). Comparaison entre les phénomènes acoustiques de parole spontanée et de parole lue. Th: Maîtrise: Paris.
148. Pope, M. K., (1994). From latin to modern french Manchester.
149. Poppelreuter, S., Engelke, W. & Bruns, T., (1999). Quantitative analysis of the velopharyngeal sphincter function during speech. *The Cleft Palate-Craniofacial J.*, **37**, 212-213.
150. Rossato, S., Badin, P. & Bouaouni, F., (2003). Velar movements in french: An articulatory and acoustical analysis of coarticulation. ICPhS, Barcelona, Publi:University of Barcelona, 3141-3144.
151. Rothenberg, M., (1977). Measurement of airflow in speech. *JSHR*, **20**, 155-176.
152. Rousselot, A. P., (1891). Les modifications phonétiques du langage étudiées dans le patois d'une famille de cellefrouin. Paris: H. Welter.
153. Rousselot, P. J., (1897). Principe de phonétique expérimentale. Paris: Welter, H.
154. Ruhlen, M., (1975). Patterning of nasal vowels. In Nasalfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization Edited by Ferguson, Hyman, Ohala Stanford University: Language Universal Project, Dept. of Linguistic. 175-196.
155. Ryan, W. J. & Hawkins, C. F., (1976). Ultrasonic measurement of lateral pharyngeal wall movement at the velopharyngeal port. *Cleft Palate J.*, **13**, 156-164.
156. Sabatier, C., (1999). Quelle est la marque du féminin de "grande" ? : Un exemple d'assimilation progressive nasale en français. Th: DEA: Paris.
157. Schourup, L., (1973). A cross-language study of vowel nasalization. *Working Papers in Linguistics*, **15**, 190-221.
158. Skolnick, M. L., Mc, C. G. & Barnes, M., (1973). The sphincteric mechanism of velopharyngeal closure. *Cleft Palate J*, **10**, 286-305.
159. Solé, M. J. & Ohala, J. J., (1991). Differentiating between phonetic and phonological processes: The case of nasalization. Actes du XIIème Congrès International des Sciences Phonétiques, Aix en Provence, **3**, 110-113.
160. Stefanuto, M. & Vallée, N., (1999). Consonant systems: From universal trends to ontogenesis. ICPhS, San Francisco,
161. Stevens, K. N., Fant, G. & Hawkins, S., (1987). Some acoustical and perceptual correlates of nasal vowels. In Honor of Ilse Lehiste. Dordrecht, Holland, Foris Publications,
162. Straka, G., (1964). L'évolution phonétique du latin au français sous l'effet de l'énergie et de la faiblesse articuloires. *Travaux de linguistique et de littérature univ. de Strasbourg*,
163. Straka, G., (1965). Album phonétique. Québec, Les Presses de l'Université Laval.
164. Straka, G., (1979a). Durée et timbre vocalique : Observation de phonétique générale appliquées à la phonétique historique des langues romanes. In Les sons et les mots, choix d'études de phonétique et de linguistique, Edited by Straka, G. Strasbourg: Bibliothèque française et romane. Centre de Philologie et de littératures romanes de l'Université des Sciences Humaines de Strasbourg. Librairie C. Klincksieck. 167-192.
165. Straka, G., (1979b). Remarques sur les voyelles nasales leur origine et leur évolution en français. In Les sons et les mots, **Cap 13**, Paris: Klincksieck. 502-531.
166. Tronnier, M., (1998). Nasals and nasalisation in speech production. Lund University Press.
167. Ushijima, T. & Hirose, H., (1974). Electromyographic study of the velum during speech. *J. of Phonetics*, **2**, 315-326.
168. Ushijima, T. & Sawashima, M., (1972). Fiberscopic observation of velar movements during speech. *Annu. Bull., R.I.L.P.*, **6**, 25-38.

169. Vaissière, J., (1986). Comment on 'invariance and variability in speech production: A distinction between linguistic intent and its neuromotor implementation' by j.H. Abbs. In Invariance and variability in speech processes, Edited by Associates, Lawrence Erlbaum Perkill, J.
- Klatt, D.N. (Eds). 220-222.
170. Vaissière, J., (1988). Prediction of velum movement from phonological specifications. *Phonetica*, **45**, 122-139.
171. Vaissière, J., (1995). Nasalité et phonétique. Colloque sur le voile pathologique, Société française de phoniatry et groupe francophone de la communication parlée,
172. Vallée, N., (1994). Systèmes vocaliques : De la typologie aux prédictions. Th: Phonologie: Grenoble.
173. Van Bergem, D. R. & Koopmans-Van Beinum, F. J., (1989). Vowel reduction in natural speech. Paris, Eurospeech, 285-288.
174. Walter, H., (1994). Variétés actuelles des voyelles nasales du français. *Communication & cognition*, **27**, (1-2), 223-235.
175. Warren, D., Hinton, V., Pillsbury, H. C., *et al*, (1987). Effects of size of the nasal airway on nasal airflow rate. *Archives of Otolaryngology*, **113**, 405-408.
176. Warren, D. W., (1964). Velopharyngeal orifice size and upper pharyngeal pressure-flow patterns in normal speech. *Plast. Reconstr. Surg.*, **33**, 148-62.
177. Warren, D. W., (1967). Nasal emission of air and velopharyngeal function. *Cleft Palate J.*, **4**, 148-156.
178. Warren, D. W., Dalston, T. M. & Mayo, R., (1993). Aerodynamics of nasalization. In Phonetics and phonology, volume 5, nasals, nasalization and the velum, **5**, Edited by Huffman, Marie & Krakow, Rena San Diego: Academic Press. 119-146.
179. Warren, D. W. & Dubois, A. B., (1964). A pressure-flow technique for measuring velopharyngeal orifice area during continuous speech. *Cleft Palate J.*, **1**, 52-71.
180. Wioland, F., (1991). Prononcer les mots du français. Paris: Hachette.
181. Zajac, D. J. & Mayo, R., (1996). Aerodynamic and temporal aspects of velopharyngeal function in normal speakers. *JSHD*, **39**, 1199-207.
182. Zajac, D. J., Mayo, R. & Kataoka, R., (1998). Nasal coarticulation in normal speakers: A re-examination of the effects of gender. *JSLHR*, **41**, 503-10.
183. Zerling, J.-P., (1984). Phénomènes de nasalité et de nasalisation vocalique : Étude cinéradiographique pour deux locuteurs. *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg*, **16**, 241-266.
184. Zerling, J.-P., (1991). Articulation, coarticulation et contraintes, quelques points de vue d'auteurs. *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg*, **22**, 87-104.
185. Zwitman, H. D., Sonderman, C. J. & Ward, H. P., (1974). Variations in velopharyngeal closure assessed by endoscopy. *JSHD*, **39**, 366-372.

Annexe 1 : Corpus

Les voyelles à l'isolée :

1. Dites i trois fois.
2. Dites a trois fois.
3. Dites y trois fois.
4. Dites u trois fois.
5. Dites ɛ̃trois fois.
6. Dites ɛ̃trois fois.
7. Dites ɛ̃trois fois.

Les logatomes :

1. Dites tatɛ̃a trois fois, tatɛ̃a, tatɛ̃a, tatɛ̃a
2. Dites titɛ̃i trois fois, titɛ̃i, titɛ̃i, titɛ̃i
3. Dites tytɛ̃y trois fois, tytɛ̃y, tytɛ̃y, tytɛ̃y
4. Dites tutɛ̃u trois fois, tutɛ̃u, tutɛ̃u, tutɛ̃u
5. Dites dadɛ̃a trois fois, dadɛ̃a, dadɛ̃a, dadɛ̃a
6. Dites didɛ̃i trois fois, didɛ̃i, didɛ̃i, didɛ̃i
7. Dites dydɛ̃y trois fois, dydɛ̃y, dydɛ̃y, dydɛ̃y
8. Dites dudɛ̃u trois fois, dudɛ̃u, dudɛ̃u, dudɛ̃u
9. Dites sasɛ̃a trois fois, sasɛ̃a, sasɛ̃a, sasɛ̃a
10. Dites sisɛ̃i trois fois, sisɛ̃i, sisɛ̃i, sisɛ̃i
11. Dites sysɛ̃y trois fois, sysɛ̃y, sysɛ̃y, sysɛ̃y
12. Dites susɛ̃u trois fois, susɛ̃u, susɛ̃u, susɛ̃u
13. Dites zazɛ̃a trois fois, zazɛ̃a, zazɛ̃a, zazɛ̃a
14. Dites zizɛ̃i trois fois, zizɛ̃i, zizɛ̃i, zizɛ̃i
15. Dites zyzɛ̃y trois fois, zyzɛ̃y, zyzɛ̃y, zyzɛ̃y
16. Dites zuzɛ̃u trois fois, zuzɛ̃u, zuzɛ̃u, zuzɛ̃u
17. Dites laɛ̃a trois fois, laɛ̃a, laɛ̃a, laɛ̃a

18. Dites lilɛ̃i trois fois, lilɛ̃i, lilɛ̃i, lilɛ̃i
19. Dites lylɛ̃y trois fois, lylɛ̃y, lylɛ̃y, lylɛ̃y
20. Dites lulɛ̃u trois fois, lulɛ̃u, lulɛ̃u, lulɛ̃u
21. Dites nanɛ̃a trois fois, nanɛ̃a, nanɛ̃a, nanɛ̃a
22. Dites ninɛ̃i trois fois, ninɛ̃i, ninɛ̃i, ninɛ̃i
23. Dites nynɛ̃y trois fois, nynɛ̃y, nynɛ̃y, nynɛ̃y
24. Dites nunɛ̃u trois fois, nunɛ̃u, nunɛ̃u, nunɛ̃u
25. Dites tatɛ̃a trois fois, tatɛ̃a, tatɛ̃a, tatɛ̃a
26. Dites titɛ̃i trois fois, titɛ̃i, titɛ̃i, titɛ̃i
27. Dites tytɛ̃y trois fois, tytɛ̃y, tytɛ̃y, tytɛ̃y
28. Dites tutɛ̃u trois fois, tutɛ̃u, tutɛ̃u, tutɛ̃u
29. Dites dadɛ̃a trois fois, dadɛ̃a, dadɛ̃a, dadɛ̃a
30. Dites didɛ̃i trois fois, didɛ̃i, didɛ̃i, didɛ̃i
31. Dites dydɛ̃y trois fois, dydɛ̃y, dydɛ̃y, dydɛ̃y
32. Dites dudɛ̃u trois fois, dudɛ̃u, dudɛ̃u, dudɛ̃u
33. Dites sasɛ̃a trois fois, sasɛ̃a, sasɛ̃a, sasɛ̃a
34. Dites sisɛ̃i trois fois, sisɛ̃i, sisɛ̃i, sisɛ̃i

35. Dites sysŋŋy trois fois, sysŋŋy, sysŋŋy, sysŋŋy
 36. Dites susŋŋu trois fois, susŋŋu, susŋŋu, susŋŋu
 37. Dites zazŋŋa trois fois, zazŋŋa, zazŋŋa, zazŋŋa
 38. Dites zizŋŋi trois fois, zizŋŋi, zizŋŋi, zizŋŋi
 39. Dites zyzŋŋy trois fois, zyzŋŋy, zyzŋŋy, zyzŋŋy
 40. Dites zuzŋŋu trois fois, zuzŋŋu, zuzŋŋu, zuzŋŋu
 41. Dites laŋŋa trois fois, laŋŋa, laŋŋa, laŋŋa
 42. Dites lilŋŋi trois fois, lilŋŋi, lilŋŋi, lilŋŋi
 43. Dites lylŋŋy trois fois, lylŋŋy, lylŋŋy, lylŋŋy
 44. Dites lulŋŋu trois fois, lulŋŋu, lulŋŋu, lulŋŋu
 45. Dites nanŋŋa trois fois, nanŋŋa, nanŋŋa, nanŋŋa
 46. Dites ninŋŋi trois fois, ninŋŋi, ninŋŋi, ninŋŋi
 47. Dites nynŋŋy trois fois, nynŋŋy, nynŋŋy, nynŋŋy
 48. Dites nunŋŋu trois fois, nunŋŋu, nunŋŋu, nunŋŋu
 49. Dites nanŋŋa trois fois, nanŋŋa, nanŋŋa, nanŋŋa
 50. Dites tatŋŋa trois fois, tatŋŋa, tatŋŋa, tatŋŋa
 51. Dites titŋŋi trois fois, titŋŋi, titŋŋi, titŋŋi
 52. Dites tytŋŋy trois fois, tytŋŋy, tytŋŋy, tytŋŋy
 53. Dites tutŋŋu trois fois, tutŋŋu, tutŋŋu, tutŋŋu
 54. Dites dadŋŋa trois fois, dadŋŋa, dadŋŋa, dadŋŋa
 55. Dites didŋŋi trois fois, didŋŋi, didŋŋi, didŋŋi
 56. Dites dydŋŋy trois fois, dydŋŋy, dydŋŋy, dydŋŋy
 57. Dites dudŋŋu trois fois, dudŋŋu, dudŋŋu, dudŋŋu
 58. Dites sasŋŋa trois fois, sasŋŋa, sasŋŋa, sasŋŋa

59. Dites sisŋŋi trois fois, sisŋŋi, sisŋŋi, sisŋŋi
 60. Dites sysŋŋy trois fois, sysŋŋy, sysŋŋy, sysŋŋy
 61. Dites susŋŋu trois fois, susŋŋu, susŋŋu, susŋŋu
 62. Dites zazŋŋa trois fois, zazŋŋa, zazŋŋa, zazŋŋa
 63. Dites zizŋŋi trois fois, zizŋŋi, zizŋŋi, zizŋŋi
 64. Dites zyzŋŋy trois fois, zyzŋŋy, zyzŋŋy, zyzŋŋy
 65. Dites zuzŋŋu trois fois, zuzŋŋu, zuzŋŋu, zuzŋŋu
 66. Dites laŋŋa trois fois, laŋŋa, laŋŋa, laŋŋa
 67. Dites lilŋŋi trois fois, lilŋŋi, lilŋŋi, lilŋŋi
 68. Dites lylŋŋy trois fois, lylŋŋy, lylŋŋy, lylŋŋy
 69. Dites lulŋŋu trois fois, lulŋŋu, lulŋŋu, lulŋŋu
 70. Dites nanŋŋa trois fois, nanŋŋa, nanŋŋa, nanŋŋa
 71. Dites ninŋŋi trois fois, ninŋŋi, ninŋŋi, ninŋŋi
 72. Dites nynŋŋy trois fois, nynŋŋy, nynŋŋy, nynŋŋy
 73. Dites nunŋŋu trois fois, nunŋŋu, nunŋŋu, nunŋŋu
 74. Dites nanŋŋa trois fois, nanŋŋa, nanŋŋa, nanŋŋa
 75. Dites tititi trois fois, tititi, tititi, tititi
 76. Dites tututu trois fois, tututu, tututu, tututu
 77. Dites tatata trois fois, tatata, tatata, tatata
 78. Dites tytyty trois fois, tytyty, tytyty, tytyty
 79. Dites dididi trois fois, dididi, dididi, dididi
 80. Dites dududu trois fois, dududu, dududu, dududu
 81. Dites dadada trois fois, dadada, dadada, dadada
 82. Dites dydydy trois fois, dydydy, dydydy, dydydy

83. Dites sisisi trois fois, sisisi, sisisi, sisisi
 84. Dites sususu trois fois, sususu, sususu, sususu
 85. Dites sasasa trois fois, sasasa, sasasa, sasasa
 86. Dites sysysy trois fois, sysysy, sysysy, sysysy
 87. Dites zizizi trois fois, zizizi, zizizi, zizizi
 88. Dites zuzuzu trois fois, zuzuzu, zuzuzu, zuzuzu
 89. Dites zazaza trois fois, zazaza, zazaza, zazaza
 90. Dites zyzyzy trois fois, zyzyzy, zyzyzy, zyzyzy
 91. Dites lilili trois fois, lilili, lilili, lilili
 92. Dites lululu trois fois, lululu, lululu, lululu
 93. Dites lalala trois fois, lalala, lalala, lalala
 94. Dites lylyly trois fois, lylyly, lylyly, lylyly
 95. Dites ninini trois fois, ninini, ninini, ninini
 96. Dites nununu trois fois, nununu, nununu, nununu
 97. Dites nanana trois fois, nanana, nanana, nanana
 98. Dites nynyny trois fois, nynyny, nynyny, nynyny
 99. Dites papɪpa trois fois, papɪpa, papɪpa, papɪpa
 100. Dites pipɪpi trois fois, pipɪpi, pipɪpi, pipɪpi
 101. Dites pypɪpy trois fois, pypɪpy, pypɪpy, pypɪpy
 102. Dites pupɪpu trois fois, pupɪpu, pupɪpu, pupɪpu
 103. Dites kakɪka trois fois, kakɪka, kakɪka, kakɪka
 104. Dites kikɪki trois fois, kikɪki, kikɪki, kikɪki
 105. Dites kykɪky trois fois, kykɪky, kykɪky, kykɪky
 106. Dites kukɪku trois fois, kukɪku, kukɪku, kukɪku

107. Dites babɪba trois fois, babɪba, babɪba, babɪba
 108. Dites bibɪbi trois fois, bibɪbi, bibɪbi, bibɪbi
 109. Dites bybɪby trois fois, bybɪby, bybɪby, bybɪby
 110. Dites bubɪbu trois fois, bubɪbu, bubɪbu, bubɪbu
 111. Dites gagɪga trois fois, gagɪga, gagɪga, gagɪga
 112. Dites gigɪgi trois fois, gigɪgi, gigɪgi, gigɪgi
 113. Dites gygɪgy trois fois, gygɪgy, gygɪgy, gygɪgy
 114. Dites gugɪgu trois fois, gugɪgu, gugɪgu, gugɪgu
 115. Dites papɪpa trois fois, papɪpa, papɪpa, papɪpa
 116. Dites pipɪpi trois fois, pipɪpi, pipɪpi, pipɪpi
 117. Dites pypɪpy trois fois, pypɪpy, pypɪpy, pypɪpy
 118. Dites pupɪpu trois fois, pupɪpu, pupɪpu, pupɪpu
 119. Dites kakɪka trois fois, kakɪka, kakɪka, kakɪka
 120. Dites kikɪki trois fois, kikɪki, kikɪki, kikɪki
 121. Dites kykɪky trois fois, kykɪky, kykɪky, kykɪky
 122. Dites kukɪku trois fois, kukɪku, kukɪku, kukɪku
 123. Dites babɪba trois fois, babɪba, babɪba, babɪba
 124. Dites bibɪbi trois fois, bibɪbi, bibɪbi, bibɪbi
 125. Dites bybɪby trois fois, bybɪby, bybɪby, bybɪby
 126. Dites bubɪbu trois fois, bubɪbu, bubɪbu, bubɪbu
 127. Dites gagɪga trois fois, gagɪga, gagɪga, gagɪga
 128. Dites gigɪgi trois fois, gigɪgi, gigɪgi, gigɪgi
 129. Dites gygɪgy trois fois, gygɪgy, gygɪgy, gygɪgy

130. Dites gugŋgu trois fois, gugŋgu, gugŋgu, gugŋgu
131. Dites papŋpa trois fois, papŋpa, papŋpa, papŋpa
132. Dites pipŋpi trois fois, pipŋpi, pipŋpi, pipŋpi
133. Dites pypŋpy trois fois, pypŋpy, pypŋpy, pypŋpy
134. Dites pupŋpu trois fois, pupŋpu, pupŋpu, pupŋpu
135. Dites kakŋka trois fois, kakŋka, kakŋka, kakŋka
136. Dites kikŋki trois fois, kikŋki, kikŋki, kikŋki
137. Dites kykŋky trois fois, kykŋky, kykŋky, kykŋky
138. Dites kukŋku trois fois, kukŋku, kukŋku, kukŋku
139. Dites babŋba trois fois, babŋba, babŋba, babŋba
140. Dites bibŋbi trois fois, bibŋbi, bibŋbi, bibŋbi
141. Dites bybŋby trois fois, bybŋby, bybŋby, bybŋby
142. Dites bubŋbu trois fois, bubŋbu, bubŋbu, bubŋbu
143. Dites gagŋga trois fois, gagŋga, gagŋga, gagŋga
144. Dites gigŋgi trois fois, gigŋgi, gigŋgi, gigŋgi
145. Dites gygŋgy trois fois, gygŋgy, gygŋgy, gygŋgy
162. Dites kykyky trois fois, kykyky, kykyky, kykyky

146. Dites gugŋgu trois fois, gugŋgu, gugŋgu, gugŋgu
147. Dites bibibi trois fois, bibibi, bibibi, bibibi
148. Dites bububu trois fois, bububu, bububu, bububu
149. Dites bababa trois fois, bababa, bababa, bababa
150. Dites bybyby trois fois, bybyby, bybyby, bybyby
151. Dites pipipi trois fois, pipipi, pipipi, pipipi
152. Dites pupupu trois fois, pupupu, pupupu, pupupu
153. Dites papapa trois fois, papapa, papapa, papapa
154. Dites pypypy trois fois, pypypy, pypypy, pypypy
155. Dites gigigi trois fois, gigigi, gigigi, gigigi
156. Dites gugugu trois fois, gugugu, gugugu, gugugu
157. Dites gagaga trois fois, gagaga, gagaga, gagaga
158. Dites gygygy trois fois, gygygy, gygygy, gygygy
159. Dites kikiki trois fois, kikiki, kikiki, kikiki
160. Dites kukuku trois fois, kukuku, kukuku, kukuku
161. Dites kakaka trois fois, kakaka, kakaka, kakaka

Les phrases lues :

1. C'est lundi, c'est mardi
2. C'est pas mardi, c'est lundi
3. C'est pas le pont qu'il faut prendre, c'est la route
4. C'est pas la route qu'il faut prendre, c'est le pont
5. Allez, marchons !
6. Allez, marche on est arrivé !
7. Alors, lundi
8. Alors, l'un dit à l'autre
9. Ton tonton tond ton tonton
10. Tonton tond ton tonton Thon
11. Thon, ton tonton tond tonton
12. Ton tonton, Thon tond tonton
13. La moustache tomba
14. La mousse tache ton bas
15. Il pansa sa blessure
16. Il pense à sa blessure
17. Gal, amant de la reine, alla, tour magnanime
18. Galamment de l'arène à la Tour Magne, à Nîmes

19. Cet homme est énorme et m'embête
 20. Cet homme est énormément bête
 21. Demain, Jean, vient !

22. Demain, j'en viens
 23. Demain, Jean vient ?
 24. Jean vient.

Corpus spontané : Aérodynamique, locuteur 1 :

Ca y est. Ok. Je recommence. Je fais le corpus des consonnes ou celui des. J'ai encore le truc qui s'en va. Il y a pas de problème. Donc vous achetez votre zip surtout pas chez xxx. Pas de problème parce que. Non non non non pas de jugement <rire>. Oui oui <euh> pas sure parce que <ça> le zip deux cent cinquante va reconnaître les disquettes cent mais si vous installez un deux cent cinquante c'est pas évident après que le cent soit reconnu parce qu'il est le plus ancien. Oui on peut essayer oui mais après que vous rachetiez le zip deux cent cinquante de madame xxx. <Euh> oui faudrait essayer mais le problème c'est que vous votre zip c'est un cent et nous on a que les cd pour les zip deux cent cinquante donc ça va pas marcher. Non non non non il était déjà réinstallé <euh> quand vous installez le zip cent <il est re> le deux cent cinquante sera reconnu après. <Euh> avec un peu de chance le cd-rom ça va reconnaître votre zip sinon. Donc <euh> il suffit de mettre <un> un cd-rom. Ensuite vous ramenez votre zip chez vous et <euh> vous le branchez sur votre ordinateur et là au miracle une fois sur deux il est pas reconnu pas votre ordinateur. Pour le service après-vente, c'est vraiment pas génial. C'est pas plus spontané ça. Là vous voulez vraiment que je vous donne un avis sur la prise de parole spontanée. Je vous signale vous êtes en train de me tenir <rires> et je suis harnachée comme si j'étais une vache là.

Corpus spontané : Aérodynamique, locuteur 2 :

V₁ CV₂, je le dis deux fois donc. J'ai rien compris. D'accord et je varie pas les débits. Voilà. Mon sujet de DEA, c'était sur les émotions donc j'ai effectivement demandé à des gens de dire certaines phrases, parfois bizarres avec une certaine émotion. <Euh> j'ai pris <euh> j'ai pris par exemple des phrases qui avaient été identifiées comme complètement neutres, des phrases du style, je m'appelle Henri Dupont <euh> des phrases <euh> du style <euh> le bateau, le bateau est sur la mer. J'ai pas pris celle là non. Enfin des phrases qui avaient été identifiées comme neutres entre autre, par exemple et je leur ai demandé de simuler une émotion. Enfin j'ai demandé ça à des acteurs. Pourquoi <ben> pour donner une certaine validité scientifique <à> à mon étude. Le fait d'avoir fait appel à des acteurs à des acteurs <pi> pour simplifier la tâche. Comme ça <quand je leur dis> quand je leur disais, moi j'ai estimé parce que j'ai commencé <un pr> <un> une pré-étude <en> en me prenant. <Et> et autant la colère ou la tristesse sont des émotions très faciles à simuler <euh> par contre des émotions comme la joie. Enfin moi j'ai éprouvé beaucoup de difficulté à les simuler, donc <j'ai demandé> j'ai demandé à des acteurs qui ont effectivement eu moins de problème que moi. Comment <euh> moi j'étudiais spécifiquement la qualité de voix donc je leur ai aussi placé un petit collier comme celui que j'ai là en ce moment et <euh> et donc <j'ai fait> j'ai fait des études laryngographiques de <de> leur voix. J'ai notamment calculé le quotient d'ouverture des cordes vocales. Voilà. Je peux en faire une moitié de... Je m'arrête là. Oui c'est une race supérieure dans < ???> je n'en sais rien. Elle m'a fait plein de nourriture<et> et j'ai et elle m'avait préparé un sac et j'ai tout oublié dans le frigo. <Ben> <un s> un pochon avec les affaires et enfin la viande et tout. Non non non ça s'était. Oui évidemment, <ben> ils vont le manger mais c'était pour moi, évidemment avec un petit mot et tout sur la table. Oui oui oui <mais> mais ça me trompe parce qu'il y a un p à la fin. C'est pas ça que je devais prendre.

Corpus spontané : Fibroscopie, locuteur 1 :

C'est bon pour la première. Je vais pas y arriver. <mm> j'en connais une autre. Cet homme est éno <ah> celui là j'y arriverai jamais je crois. OK corpus sur l'accentuation. Dites sasansa deux fois. Ca pas bon, ça commence bien. C'est bon pour cette partie là. Merde j'ai oublié <euh> c'est fini là. Il y a une petite pause si tu veux. C'est la pause là. C'est la fin de celui-là. C'est bon, c'est là <c'est> c'est la première répétition.

Corpus spontané : Fibroscopie, locuteur 2 :

Je le fais en rapide, c'est ça. Donc il y a les tontons. Je refais un coup. <Euh> ce soir je vais aller boire un verre <euh> dans <dans> un pub. Parce que, parce que là je suis épuisé et on a besoin <d'al> d'aller se reposer quand même pour bien démarrer le week-end. <Euh> on va aller dans un pub que tu connais peut être et en tout cas que je vous conseille fortement enfin moi j'y suis allé qu'une fois mais il est très <très> bien. Il s'appelle xxx c'est à côté d'Odéon. En fait c'est un pub mi-parisien mi-irlandais un petit peu branché, <il y a> il y a des femmes très <très> sympa là-dedans. Et <et> donc <ben> on va aller boire quelque verres quelques pintes. Et <et> puis après évidemment je rentrerai chez moi pour faire la bibliographie xxx. Quand je veux ? Donc sans respirer entre les deux. Parce que moi à chaque fois je prends le temps de respirer. Je commence. Ca va, tu trouves mon velum très joli. <Je> on aurait du faire l'expérience pour la saint valentin ça aurait tout de suite était plus sexy. Je t'offre mon voile du palais pour la saint valentin. J'ai fait le cadeau plus original hier j'ai <j'ai> offert une <une> fleur en papier. Tu sais j'ai cherché sur Internet comment faire les origamis de fleur et <et> <ben> pas tous mais ceux que je suis arrivé ben j'ai toutes les femmes que j'ai croisées dans la journée je leur ai offert une fleur en papier. Elles ont trouvé ça charmant. Et maintenant c'est mon velum, c'est beaucoup moins charmant. Je commence. C'est quoi respiration. Je continue.

Annexe 2 : Protocole des mesures

Mesures Temporelles : toutes les mesures sont en ms

Mesures aérodynamiques :

- ?? D1 = mesure de la durée du phonème
- ?? D3 = mesure de la durée totale du débit d'air nasal
- ?? D6 = mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du phonème
- ?? D12 = mesure du décalage entre la fin du débit d'air nasal et la fin du phonème
- ?? D15 = mesure du décalage entre le pic de débit d'air nasal et la fin du phonème
- ?? D9 = mesure du décalage entre le pic de débit d'air nasal et le début du phonème

Mesures articulatoires :

- ?? D1 = mesure de la durée du phonème
- ?? D2= mesure de la durée totale du mouvement vélaire
- ?? D4 = mesure du décalage entre le début du mouvement d'ouverture et le début du phonème
- ?? D8 = mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du phonème
- ?? D11 = mesure du décalage entre la fin du mouvement d'ouverture vélaire et la fin du phonème
- ?? D13 = durée de la descente du voile
- ?? D14 = durée de remontée du voile

Mesures aérodynamiques couplées aux mesures articulatoires :

- ?? D5 = mesure du décalage entre le début du débit d'air nasal et le début du mouvement
- ?? D7= mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le début du débit d'air nasal
- ?? D10 = mesure du décalage entre l'ouverture vélaire maximum et le pic de débit d'air nasal

Mesures quantitatives : les mesures sont en cm³/s

Mesures aérodynamiques :

- ?? Q1 = pic de débit d'air nasal
- ?? Q2 = moyenne de débit d'air nasal durant la voyelle
- ?? Q3 = débit d'air nasal proportionnel durant la voyelle

Mesures articulatoires :

- ?? Q4 = ouverture vélaire maximum
- ?? Q5 = degré d'ouverture au début du mouvement d'ouverture
- ?? Q6 = degré d'ouverture à la fin du mouvement d'ouverture

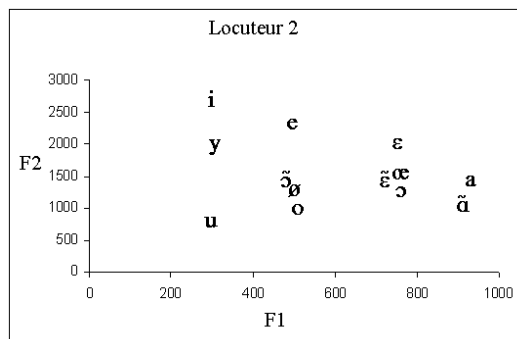
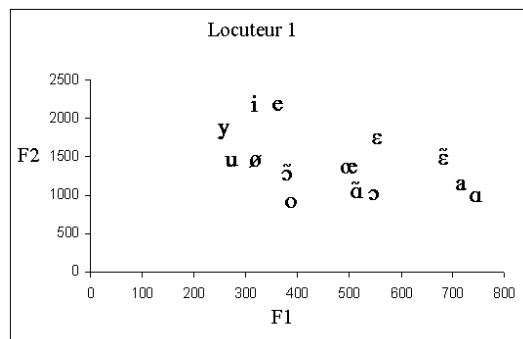
Mesures aérodynamiques combinées aux mesures articulatoires :

- ?? Q7 = moyenne de Dan pendant le mouvement d'ouverture complet du velum
- ?? Q8 = débit d'air nasal proportionnel pendant le mouvement d'ouverture complet

Annexe 3 : triangle vocalique des deux locuteurs

Nous avons enregistré toutes les voyelles du français à l'isolée et la phrase : L'âne brun, le paon et le pinson bleu sont dans un zoo infesté de sauterelles.

Les deux triangles vocaliques sont les suivants :



Annexe 4 : exemple de feuille pour répondre aux tests de perception

Test de Perception (A)

Initiales :

	Seq 1	Seq 2	Seq 3	Seq 4	Seq 5	Seq 6	Seq 7	Seq 8	Seq 9	Seq 10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										

INDEX DES AUTEURS

A

Abramson, 180
Ali, 179
Amelot, 14, 52, 56, 119, 149
Ausseterre, 14, 69
Avram, 38, 90

B

Baken, 17, 34-35, 61
Barry, 72-73
Basset, 14, 19, 66, 109
Beddor, 23, 180
Bell-Berti, 16, 40-41, 44, 51, 56, 104, 107-108, 120, 150
Benguerel, 14, 17-18, 20, 41, 69, 141, 150, 179
Bognar, 14
Bothorel, 111
Bourciez, 39, 40, 54
Brichler-Labaeye, 14, 42, 52, 53

C

Carton, 37, 39, 40, 54-55
Chifflet, 38
Chomsky, 15
Clements, 19, 35, 57
Clumeck, 15-16
Cohen, 173
Cohn, 14-15, 36, 56, 102, 112
Crevier-Buchman, 117
Croft, 51, 125
Crouse, 74

D

Daniloff, 56, 125
de Courcillon, 38
Delattre, 14, 27, 29, 38, 42, 52, 104, 119
Dell, 57
Delvaux, 14, 50, 52-53, 56, 62, 102
Desgranges, 37
Dickson, 56
Duez, 13-14, 104
Durand, 13, 23, 26, 39, 40, 104, 107

F

Fagyal, 66
Fairbank, 56
Fant, 15, 30, 54
Farnetani, 55
Feng, 178
Ferguson, 17, 19, 108
Flament, 14

Fonagy, 38
Fougeron, 20, 105, 111
Fritzell, 41
Fujimura, 15, 27, 28

G

Galindo, 63-64
Ghio, 65
Gordon, 20
Grammont, 26, 52
Grosjean, 173
Guérin, 30

H

Halle, 15
Hardcastle, 18, 49
Hayes, 108
Hirano, 41
Hixon, 44
Hoopes, 120
House, 29, 56
Hume, 19

J

Jakobson, 13

K

Keating, 54
Kelsey, 56, 120
Kent, 54
Koopmans, 104
Krakow, 20-21, 40, 41
Kuehn, 120
Kuenzel, 41, 46, 107
Kühnert, 55

L

Laborderie, 39
Ladefoged, 26
Lafargue, 179
Lahiri, 173
Lass, 40
Le Huche, 47, 49, 104
Legent, 47, 50
Lerault, 47
Lindblom, 13
Lonchamp, 14

M

MacNeilage, 56
Maddieson, 14, 35, 36
Maeda, 14-15, 22, 30, 34-35, 46
Malderez, 37-38
Malécot, 14, 35, 179
Martinet, 13, 16, 37, 81
McKern, 125

Moll, 16, 56, 119, 125, 150, 151

Montagu, 179

Moon, 120, 125

N

Niimi, 51, 125
Ohala, 13, 17-18, 20, 22, 45, 104, 106-107, 109, 110, 120, 149, 173

O

Öhman, 56

P

Panini, 13
Parush, 120
Passy, 22, 38, 39, 52, 56
Poppelreuter, 43, 117, 120, 125, 126

R

Rothenberg, 62
Roubeau, 63
Rousselot, 13, 104, 107, 109
Ruhlen, 36
Ryan, 43, 120

S

Sabatier, 57
Schourup, 19
Skolnick, 16, 51, 119, 125-126
Sphincter, 16
Stefanuto, 36
Straka, 13-14, 38-39, 42, 50, 52

T

Teston, 63
Tronnier, 46

U

Ushijima, 20, 41, 151

V

Vaissière, 21, 39, 128, 149, 151, 180-181
Vallée, 36
Van Beinum, 105
Van Bergem, 104

W

Walter, 38
Warren, 17, 33, 34
Wioland, 37

Z

Zajac, 74, 183
Zerling, 14, 42, 52, 53, 55
Zwitman, 51, 52

INDEX DES NOTIONS

A

Accent, 13, 21, 55
 Acoustique, 14-16, 19, 24, 26-27, 38, 56-57, 66-67, 69, 71, 73, 76, 79, 82, 89, 94, 104-105, 118-119, 122, 131, 137, 141, 143-144, 153, 166, 168-169, 170-172, 177-179, 182-183
 Aérodynamique, 13, 17, 18, 19, 23, 24, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 73, 104, 109, 113, 117, 118, 126, 128, 131, 132, 133, 134, 137, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 158, 164, 166, 168, 170, 172, 173, 181, 182, 183
 Aligné, 154-156, 158
 Anticipation, 13, 20, 23, 25, 39, 55-56, 89-94, 96, 105-108, 111, 125, 137-141, 145, 149-151, 173, 177, 181
 Aperture, 23, 35, 52, 56, 111, 150, 180, 182-183
 Articulateur, 13, 45, 50
 Articulaire, 13, 14, 15, 16, 19, 23-24, 26, 30, 34, 42-44, 50-56, 88, 105, 137, 150-151, 153, 170, 172, 181-183
 Assimilation, 15-19, 25, 35, 39, 54, 56-57, 106-107, 110, 112
 Assimilation régressive, 17
 Auditeur, 13, 175
 Auditif, 13

C

Calibration, 64, 66
 Capteur, 62-65, 120, 158
 Cavité nasale, 14, 17, 23, 27, 34, 51, 69, 158
 Cavité orale, 14, 17, 27, 28, 34, 49, 108
 Coarticulation nasale, 14-17, 19-21, 24, 93, 110, 126, 182-183
 Conduit nasal, 14, 16, 17, 26, 27, 32, 34, 68-69, 76, 88, 90-92, 104, 106-107, 117, 131, 137, 151, 153, 181
 Conduit vocal, 13, 18-19, 23, 26, 32-34, 42-43, 45-46, 56, 91, 93, 103-104, 106, 116-117, 150-151, 165, 172, 181-183
 Consonantique, 18, 37, 39, 56, 78, 80, 83, 86, 92-93, 95, 98, 101-102, 105, 107, 111-112, 125, 133, 136, 139, 142, 145, 147, 149, 151, 160, 162, 164, 165, 169, 182

D

Diphthongue, 38

F

Formant, 15, 27-31, 38, 46, 67
 français, 14, 16, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 37, 38, 39, 42, 45, 52, 56, 57, 65, 104, 109, 110, 182

G

Glottique, 61, 104, 108, 174
 Sous-glottique, 63, 108, 109

H

Hyper-articulée, 13

I

Impédance, 17, 19, 25, 27, 34, 68, 92, 104, 111, 150-151, 159, 181-183

Instrumentation

..... Aérodynamique, 14
 Cinéradiographie, 14, 42, 45, 56
 Electroglottographie, 63, 104
 Electromyographie, 40, 41, 44, 56
 Fibroscopie, 14, 24, 45, 48, 65-66, 69, 86, 116-117, 137, 151-155, 158, 166, 168
 Microbeam, 44
 Photodétection, 45
 Radiographique, 14
 Strain Gauge, 45
 Vélographe, 45-46
 Vélotrace, 21, 44-45

L

Langage, 13, 35, 39, 65, 107, 125
 Langue, 13, 15-17, 22-23, 25-26, 35, 39, 43-44, 49-53, 56, 90-91, 103, 110, 117, 140-141, 150, 175, 182
 Lingual, 50
 Levator palatini, 14, 16-17, 50-51, 149-150

M

Musculaire, 40-41, 49, 50-51, 74, 120, 125, 156
 Muscle, 14, 16-18, 40-41, 50-52, 55, 120, 150
 Nasal, 20, 38, 46, 71, 88, 109, 112, 128, 178
 Nasalisé, 15, 22-23, 26, 30, 35, 39, 40, 57, 102, 107, 110, 179

P

Paroi, 16, 25, 43, 45, 47, 50-53, 56, 116-117, 119-126
Perception, 14-15, 23-24, 38, 109, 173, 175-181, 183
 Perceptive, 13-14, 23-24, 26, 52, 57, 173, 183

Persévération, 20, 56, 93-96, 107-108, 110-111, 140-143, 145, 150-151, 178, 181
 Phonologique, 13-14, 16, 23, 26, 37, 39-40, 104, 178, 182-183
 Physiologique, 13
 Pic, 30-31, 70, 72, 74-75, 97-99, 101, 103, 163, 165
Pression, 13, 15-16, 18-19, 33-34, 46, 52, 61-64, 74, 90-91, 103-104, 106, 108-109, 111, 120, 158, 183
 Pression intra-orale, 18-19, 34, 103, 106, 183
 Propagation, 14, 17-19, 25, 39, 54, 56-57, 86, 109-110, 112, 114, 125, 135, 181-183
Prosodie, 21
 Prosodique, 13, 19, 20, 65, 81, 86, 118

R

Relâchée, 13, 104, 109, 140, 151
 Résistance, 17-19, 23, 34-35, 45, 63, 90-92, 104, 106-107, 111, 150

S

Signal, 13, 15, 24, 41, 46, 61, 62-63, 69, 118, 131, 168-172, 182-183
 Sphincter, 50-51, 119
 Spontané, 14, 17, 19, 65-66, 71, 81, 88-89, 99, 101, 104-105, 108-111, 118, 128, 137, 143, 145, 147, 149, 150-151, 181-182
 Syllabe, 13, 20-21, 39, 56, 173

T

Trait, 14-16, 21, 23, 25-26, 30, 54, 151, 179-180, 182

V

Vélo-pharyngé, 14, 16-19, 23-27, 30, 32-35, 40-46, 50-52, 69, 74, 90, 104, 108, 111, 117, 119, 122, 125, 126, 163, 181-182
Voile du palais, 15-17, 21, 23, 25-26, 39-40, 42-43, 45, 47, 49, 50, 53, 56, 108, 117, 149, 155, 170, 182
 Velum, 14-18, 20-24, 26-27, 35, 40, 43, 44-45, 49-56, 65, 68-70, 73, 86, 88-91, 104, 107-108, 116-131, 134-136, 138-146, 148-151, 155-156, 158-161, 164-166, 168-170, 179, 180-182
 Vocalique, 14-16, 22-23, 27, 29, 46, 55, 65, 67, 73, 77, 80-

81, 84, 86, 92, 96, 98, 101, 104,
133, 136, 139-140, 143, 149,
161, 163, 170, 178, 179, 181-
183
Voyelle nasale, 14-15, 20-21,
23, 26-30, 33-39, 46, 50, 52-53,

56-57, 65, 67-69, 73-74, 77-95,
98-102, 104, 106-107, 110-114,
118, 122-126, 129, 132-145,
147-151, 153-155, 158, 162,
164-166, 169, 171, 174-183

Voyelles basses, 16, 68, 126,
150
Voyelles fermées, 22
Voyelles hautes, 16, 68, 126,
150, 179