

## Effets aérodynamiques du mouvement du velum : le cas des voyelles nasales du français

Angélique Amelot et Alexis Michaud

Laboratoire de Phonétique et de Phonologie, UMR 7018 CNRS/Sorbonne Nouvelle  
 19 rue des Bernardins, 75005 Paris  
 angelique.amelot@univ-paris3.fr, alexis.michaud@univ-paris3.fr

### ABSTRACT

Hitherto unpublished data on oral airflow, nasal airflow and velum movement during logatoms read by two French speakers allow for the investigation of the relationships between these three phenomena. There is no straightforward relationship between velar movements and nasal airflow, the latter depending on the relative impedance of both tracts, reflected in the ratio of nasal airflow to oral airflow. The structure of the 168 logatoms is  $C_1V_1C_1V_1C_1V_1$ , where  $C_1 = /t/, /d/, /l/, /n/, /s/$  or  $/z/$ ,  $V_1 = /a/, /i/, /u/$  or  $/y/$ , and  $V_i = /ɛ/, /ā/, /ɔ/, /a/, /i/, /u/$  or  $/y/$ , allowing for a characterisation of the effect of these consonantal and vocalic contexts on airflow and velum movement. In particular, a hypothesis is put forward concerning the frequent dip below zero of nasal airflow after stop consonants, and its effect on oral airflow.

### 1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la phonétique expérimentale, il existe généralement plusieurs instruments pour aborder un même phénomène ; chacune des méthodes exploratoires possède ses avantages et ses limites, de sorte que les méthodes se complètent mutuellement. Dans le domaine de l'étude des phénomènes linguistiques de nasalité, les limites de l'observation spectrographique ont très tôt conduit à recourir à des mesures aérodynamiques, ainsi qu'à des techniques d'observation du port vélo-pharyngé. Plusieurs études combinent ces deux méthodes exploratoires (notamment Delvaux [7], Amelot [1]), mais sans nécessairement les mettre en regard de façon systématique. Débit d'air nasal et degré d'abaissement du velum ne sont pas déductibles l'un de l'autre, dans la mesure où le débit nasal dépend de l'impédance relative du conduit oral et du conduit nasal (Baken [3, page 408], Ohala [12]). Au-delà de ce constat, il paraît intéressant de mettre en regard le mouvement vélaire avec le rapport entre débit d'air nasal et débit d'air oral. Pour des segments qui comportent à la fois un flux d'air nasal et un flux d'air oral, tels que les voyelles nasales du français, il paraît raisonnable de faire l'hypothèse selon laquelle ces deux ensembles de données seraient fortement corrélés. La présente étude doit permettre d'affiner le constat selon lequel le

mouvement vélaire serait anticipatoire, tandis que le débit d'air nasal serait tardif et se prolongerait au-delà du segment nasal (Delvaux [6], Basset *et al.* [4]).

### 2. METHODE

#### 2.1. Corpus et locuteurs

L'étude porte sur 168 logatomes de structure  $C_1V_1C_1V_1C_1V_1$ , où  $C_1 = /t/, /d/, /l/, /n/, /s/$  ou  $/z/$ ,  $V_1 = /a/, /i/, /u/$  ou  $/y/$ , et  $V_i = /ɛ/, /ā/, /ɔ/, /a/, /i/, /u/$  ou  $/y/$  (exemple : /tatɛ̃ta/). Les logatomes, placés dans une phrase cadre (« Dites \_\_ trois fois »), ont été répétés deux fois (pour plus de détails, voir Amelot [1]) ; en l'absence de problème technique, c'est la première répétition qui est étudiée ici. Les locuteurs étaient une femme de 29 ans et un homme de 25 ans, locuteurs natifs du français et résidant actuellement en région parisienne.

#### 2.2. Acquisition des données

Les données aérodynamiques ont été enregistrées à l'Hôpital Tenon (par Bernard Roubeau) à l'aide de la station EVA2 (Teston *et al.* [9]). Les données fibroscopiques ont été prises à l'Hôpital Européen Georges Pompidou (par le Dr. Lise Crevier-Buchman) au moyen de la station ATMOS ([www.atmosmed.de](http://www.atmosmed.de)), qui recueille une image fibroscopique toutes les 40 ms.

#### 2.3. Alignement et mesures

**Segmentation et alignement :** Des frontières entre segments ont été placées d'après l'examen du signal acoustique et de spectrogrammes ; c'est à cette segmentation que renvoient les expressions telles que « le début de  $V_1$  » employées ci-après. Les données enregistrées séparément ont dans un premier temps été alignées par le début acoustique de  $V_1$  (voir figure 1) ; dans un second temps, elles ont été alignées par la fin de cette voyelle. Cette procédure repose sur l'hypothèse d'une régularité du comportement du locuteur (en termes de débit de parole, et d'articulation des logatomes) d'un protocole expérimental à l'autre ; cette hypothèse se trouve vérifiée dans une étude comparant des données ainsi alignées à des données prises simultanément (Amelot *et al.* [2]).

**Estimation de la hauteur vélaire, Ht :** La hauteur du velum a été calculée sur chaque image, par comparaison avec une position d'abaissement maximum (en phase de respiration). Il s'agit d'une mesure relative, en pixels.

**Calcul d'un rapport entre débit d'air oral et débit d'air nasal :** le débit d'air nasal a été rapporté au débit total d'air égressif (débit oral+débit nasal), suivant la méthode proposée par Krakow [11, page 34].

**Calcul d'une hauteur vélaire moyenne au cours de  $V_t$  et de la consonne qui suit :** la moyenne de Ht a été calculée sur la durée de  $V_t$ , à partir des données alignées par le début de  $V_t$ , et sur la durée de la consonne suivante à partir des données alignées par la fin de  $V_t$ . Il va de soi que ce paramètre à lui seul ne résume pas la courbe de hauteur vélaire, courbe qui elle-même fournit une vue simplifiée du mouvement vélaire. Il a néanmoins été tenté de normaliser ces valeurs, en les transformant en pourcentage de la valeur observée pendant la tenue des occlusives orales (donc pendant une fermeture totale du port vélo-pharyngé).

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Analyse qualitative

Les résultats sont très différents selon le contexte consonantique. Les résultats pour les occlusives, plus complexes, seront présentés en détail, suivis de remarques sur les fricatives, la nasale et la liquide.

Les tracés en début de  $V_t$  (nasale) en contexte occlusif (/t/, /d/) paraissent s'organiser selon un continuum entre deux pôles, selon le degré de réalisation de l'occlusion de la consonne qui précède  $V_t$  (nasale) (occlusion à l'intérieur du conduit oral, et fermeture du port vélo-pharyngé).

Pôle 1 : le débit d'air nasal commence après le début acoustique de la voyelle. Un pic de débit oral ressort nettement ; il correspond au relâchement de la consonne (du fait du temps que prend le déplacement de l'air, ce pic se situe dans le premier cinquième de la voyelle). Sa position temporelle coïncide avec un bref passage sous zéro de la courbe de débit nasal, que nous interprétons (à la suite de Benguerel [5, page 109]) comme un effet de l'abaissement du velum juste avant que la cavité nasale n'entre en communication avec la cavité orale. (Voir figure 2.) Dans les cas où ce passage sous zéro coïncide avec le pic de débit d'air oral (par exemple sur la figure 1), il paraît raisonnable de penser que le même mécanisme est à l'œuvre, et qu'il explique l'amplitude plus forte du pic de débit d'air oral.

Pôle 2 : le débit d'air nasal commence avant le relâchement de la consonne ; notre interprétation est que l'occlusion nasale est incomplète. Le débit d'air oral, soit ne comporte pas de pic en début de voyelle

(indice de l'absence de l'augmentation de pression orale, derrière une occlusion orale, attendue pour une occlusive canonique), soit comporte un pic peu marqué, signe d'une faible explosion. (Ce cas de figure ne peut être présenté visuellement ici faute de place.)

Au plan aérodynamique, la transition entre  $V_t$  (nasale) et la consonne occlusive suivante se caractérise par une chute du débit oral (chute qui se prolonge durant la consonne suivante), et d'un prolongement du débit nasal (avec souvent un second pic, légèrement plus élevé que le premier). Ceci rejoint l'observation de Durand [8, page 210] selon laquelle la nasalité d'une voyelle tend à se propager vers l'occlusive qui suit, et s'arrête avant le relâchement de la consonne.

En contexte fricatif,  $V_t$  (nasale) présente des courbes de débit d'air globalement plus lisses qu'entre occlusives, et doublement symétriques : la courbe de débit nasal et celle de débit oral présentent une allure inverse l'une de l'autre ; et les courbes en début de syllabe (augmentation du débit nasal, baisse du débit oral) sont relativement symétriques de celles en fin de syllabe (baisse du débit nasal, augmentation du débit oral).

En contexte nasal ou liquide, la variabilité est considérable. Le seul fait qui ressorte avec régularité est que le débit nasal est plus élevé pendant les consonnes nasales que pendant les voyelles nasales, tandis que le débit oral épouse le schéma inverse.

#### 3.2. Analyse quantitative

Les données des deux locuteurs sont présentées séparément, du fait que les valeurs absolues de débit de la locutrice sont très différentes de celles du locuteur ; en théorie, les mesures adimensionnelles (relatives) proposées ici sont directement comparables entre locuteurs, mais il paraît prudent de réserver cette analyse pour un stade auquel un plus grand nombre de locuteurs sera pris en compte.

La proportion de débit d'air nasal pendant  $V_t$  est indiquée sur les graphiques 1 (valeurs triées par voyelle) et 2 (par consonne ; les graphiques 2, 3, 5 et 6 présentent seulement les données des logatomes contenant des voyelles nasales). Le graphique 3 représente ce même paramètre pendant la consonne qui suit  $V_t$ . Les graphiques 4 et 5 montrent les valeurs de Ht au cours de  $V_t$  ; valeurs triées par voyelle sur le graphique 4, par consonne sur le graphique 5. (Rappel : des valeurs élevées de Ht indiquent une position haute du velum.). Le graphique 6 présente les valeurs de Ht pendant la consonne qui suit  $V_t$ .

La voyelle /ɔ/ a le débit nasal le plus élevé, par rapport au débit oral ; à l'opposé, /ɛ/ présente les valeurs les plus basses de ce rapport, alors que son degré d'abaissement du velum est le plus important des sept voyelles. Cette différence aérodynamique paraît due à la différence d'impédance du conduit oral entre ces voyelles. D'autres observations seront évoquées au fil de la discussion.

#### 4. DISCUSSION

La prise en compte du débit oral dans l'analyse des voyelles nasales permet de parvenir à une compréhension affinée de la propagation du débit nasal. La position du velum ne détermine pas à elle seule la répartition de l'air égressif en un flux oral et un flux nasal : cette répartition dépend de l'impédance relative des deux conduits, oral et nasal.

La réalisation canonique des occlusives requiert que le velum soit entièrement remonté, afin que s'établisse une pression intra-orale élevée (Ohala [11]) ; nos données montrent qu'après une voyelle nasale, le velum n'est pas encore tout à fait remonté au moment de l'occlusion orale : tandis que le débit oral devient faible ou nul, une quantité accrue d'air passe par le nez, d'où une augmentation considérable du rapport *débit nasal/débit total*. Le fait est particulièrement net pour les occlusives voisées (voir figure 2) ; le mouvement vélaire aurait ainsi partie liée avec le voisement de la consonne. Hayes [10] indique qu'une légère ouverture du port vélo-pharyngé peut favoriser le voisement d'une consonne, ce qui expliquerait que les consonnes voisées soient plus perméables à la nasalité que les non voisées. Devant  $V_t$ , les courbes de débit montrent qu'en cas de forte anticipation de nasalité, une occlusive voisée peut perdre sa phase d'occlusion, et son relâchement (ce que confirment les spectrogrammes).

Les fricatives sont plus perméables à la nasalité que les occlusives, cela bien que la position du velum soit comparable pour ces deux ensembles de consonnes ; le fait s'explique vraisemblablement par le débit d'air élevé au cours des fricatives.

#### 5. CONCLUSIONS

Les principales conclusions sont les suivantes, par ordre croissant d'originalité :

1) Lors de la réalisation d'une occlusive, lorsqu'un pic de débit d'air oral est présent, le débit nasal apparaît après celui-ci ; autrement dit, le pic de débit oral est le signe d'un relâchement de l'occlusion orale précédant l'ouverture du port vélo-pharyngé. A l'inverse, lorsqu'un débit nasal positif est présent dès le début de  $V_t$ , il n'est pas observé de pic de débit d'air oral ; ce cas correspond à une réalisation co-articulée, affaiblie, de l'occlusive précédant  $V_t$ .

2) Lors de la transition entre une voyelle nasale et une occlusive, le débit d'air oral baisse (signe d'occlusion orale) avant que le port vélo-pharyngé ne soit fermé, d'où un surcroît de débit d'air nasal pendant la consonne (avant qu'intervienne le relâchement de celle-ci).

3) Les voyelles / $\bar{e}$ / et / $\bar{a}$ / sont produites avec moins de débit d'air nasal que de débit d'air oral ; le phénomène

inverse est observé pour / $\bar{s}$ /, bien que cette dernière possède une *hauteur vélaire intrinsèque* plus élevée.

4) L'apparition du débit nasal s'accompagne d'une diminution du débit oral ; cela est particulièrement net pendant / $n$ /, ce qui suggère que la pression sous-glottique est relativement constante au cours du logatome.

5) En contexte consonantique fricatif (/s/, /z/), débit oral et débit nasal sont inversement corrélés ; en contexte /l/, une telle relation ne ressort pas nettement, vraisemblablement du fait que l'articulation de la consonne latérale /l/ (et, partant, l'impédance du conduit vocal et le débit oral) est fortement influencée par le degré d'arrondissement des voyelles adjacentes.

#### REMERCIEMENTS

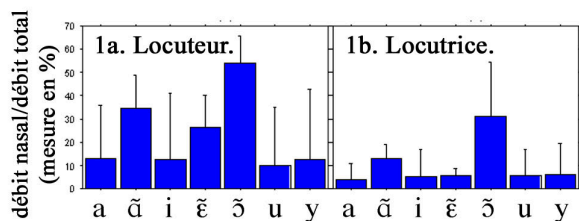
Vifs remerciements à Jacqueline Vaissière, qui a dirigé cette étude, ainsi qu'à Lise Crevier-Buchman et Bernard Roubeau pour la prise des données.

#### BIBLIOGRAPHIE

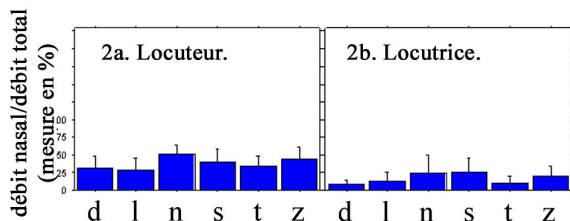
- [1] A. Amelot. *Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français*, thèse, Univ. Paris 3, 2004.
- [2] A. Amelot, B. Roubeau, L. Crevier-Buchman et S. Maeda. Prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques durant les voyelles nasales : comparaison avec des données prises séparément. *Actes des XXI<sup>e</sup> JEP*, 2004.
- [3] R.J. Baken. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Taylor & Francis, Londres, 1987.
- [4] P. Basset, A. Amelot, J. Vaissière et B. Roubeau. Nasal airflow in French spontaneous speech, *J. of the IPA*. 31(1):87-100, 2001.
- [5] A.-P. Benguerel. Nasal airflow patterns and velar coarticulation in French. In *Speech Wave Processing and Transmission*, dir. par G. Fant, Almqvist & Wiksell, Stockholm, 105-112, 1974.
- [6] V. Delvaux. Etude aérodynamique de la nasalité en français. *Actes des XXIII<sup>e</sup> JEP*, 2000.
- [7] V. Delvaux. *Contrôle et connaissance phonétique : Les voyelles nasales du français*, thèse, Univ. Libre de Bruxelles, 2003.
- [8] M. Durand. *Le genre grammatical en français parlé à Paris et dans la région parisienne*. D'Artrey, Paris, 1936.
- [9] A. Ghio et B. Teston. Caractéristiques de la dynamique d'un pneumotachographe pour l'étude de la production de la parole : aspects acoustique et aérodynamique. *Actes des XXIV<sup>e</sup> JEP*, 2002.
- [10] B. Hayes et T. Stivers. A phonetic account of postnasal voicing, ms., Univ. de Californie, 2000.
- [11] R. Krakow. Nonsegmental influences on velum movement patterns: syllables, sentences, stress

and speaking rate. In *Phonetics and phonology, Volume 5*, dir. par M. Huffman et R. Krakow, Academic Press, San Diego, 87-116, 1993.

- [12] J. Ohala. Phonetic explanations for nasal sound patterns. In *Nasálfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization*, dir. par C.A. Ferguson et al., Stanford, 289-316, 1975.



Graphique 1. Proportion de débit oral et nasal pendant Vt, en fonction de la voyelle concernée.



Graphique 2. Proportion de débit nasal et oral pendant Vt en fonction du contexte consonantique. Ces données correspondent uniquement aux trois voyelles nasales.

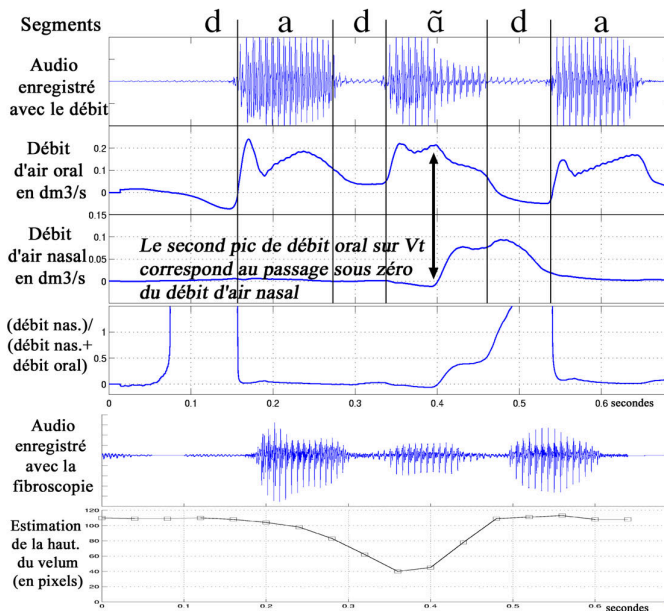
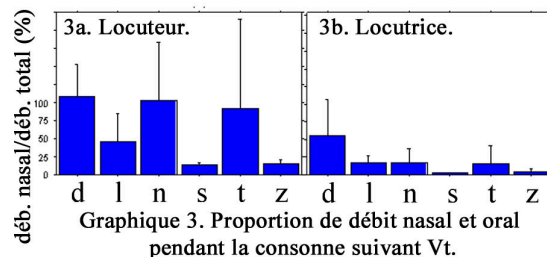


Fig. 2. Signaux audio, débit oral et nasal, et Ht, logatome dadada, locuteur masculin.



Graphique 3. Proportion de débit nasal et oral pendant la consonne suivant Vt.

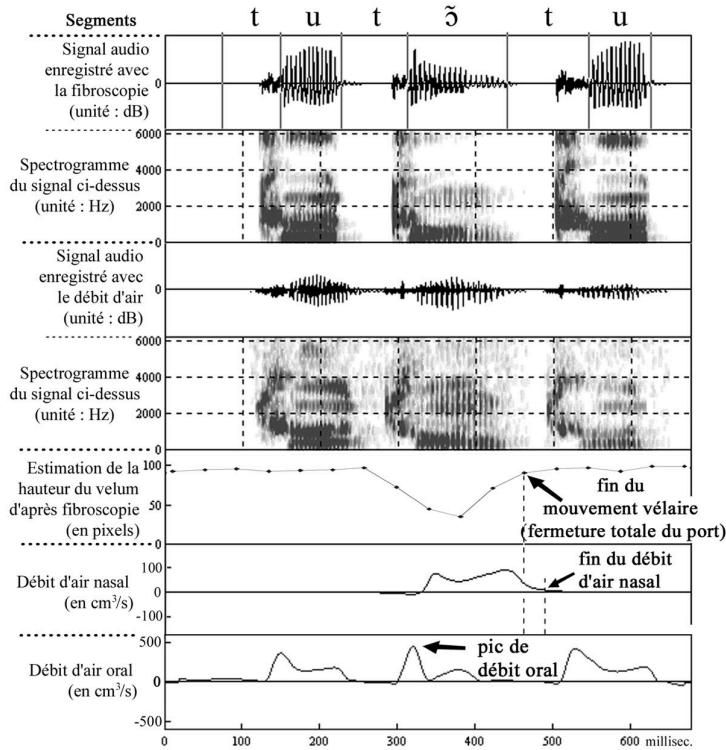
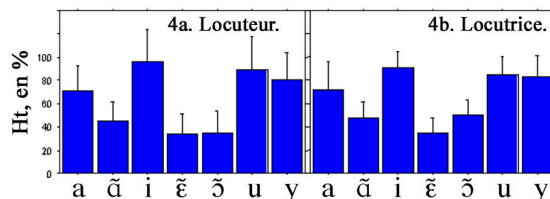
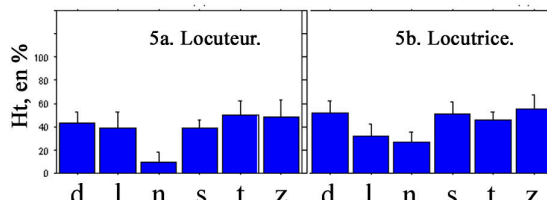


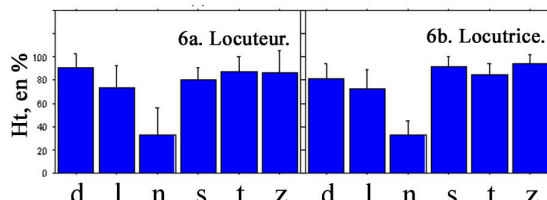
Fig. 1. Exemple d'alignement des données audio, aérodynamiques (débit oral et nasal) et fibroscopiques. Logatome /tutõtu/, locuteur M.



Gr. 4. Valeurs de Ht (hauteur vélaire) pendant Vt, en % de la hauteur observée pendant la tenue d'une occlusion.



Gr. 5. Valeurs de Ht (hauteur vélaire) pendant Vt, en % de la hauteur observée pendant la tenue d'une occlusion.



Gr. 6. Valeurs de Ht pendant la C suivant Vt, en % de la hauteur observée pendant la tenue d'une occlusion.