

Etude simultanée des mouvements du voile du palais et de l'ouverture du port vélopharyngé

Angélique Amelot¹, Patricia Basset¹, Shinji Maeda², Kiyoshi Honda¹, Lise Crevier-Buchman^{1,3}

¹Laboratoire de Phonétique et de Phonologie de Paris (LPP), CNRS/Univ. Paris 3
19 rue des Bernardins, 75005 Paris

²TELECOM ParisTech, 46 rue Barrault, 75634 Paris Cedex 13

³HEGP, service de phoniatrie, 20 rue Leblanc, 75015 Paris

angelique.amelot@univ-paris3.fr

ABSTRACT

Simultaneous photoelectric (photonasography) and video-fiberscopic technique was used to evaluate the difference in the temporal patterns of French nasal vowels among acoustics (Vn), velopharyngeal port opening/closing (OV), and velar movements (MV) for two speakers. As expected MV starts before OV and it also starts before the vowel acoustic onset Vn for the two speakers. The opening phase of the velopharyngeal port is longer than the closing phase. The velum position (height) necessary to open the velopharyngeal port appears to be constant regardless of the identity of the nasal vowels and phonetic contexts.

Keywords: fiberscopic data, photoelectric technique, nasal vowels, velopharyngeal port, velar movement.

1. INTRODUCTION

La réalisation articulatoire du trait nasal a été largement étudiée. Le timing, l'amplitude du mouvement du voile du palais et le degré d'ouverture du port vélo-pharyngé sont des paramètres à prendre en compte dans un modèle de coarticulation nasal. Il existe différents modèles de coarticulation, principalement le modèle *look-ahead* et le modèle *time-blocked*. Dans le modèle *look-ahead*, dit aussi modèle de Henke, le voile du palais s'abaisserait aussitôt que possible (« as soon as it can ») et l'empan de l'articulatoire vélaire augmenterait avec l'intervalle entre le début de la nasale et le phonème précédent qui ne nécessite pas un voile du palais hermétiquement fermé. Selon le modèle *time-locked*, proposé par (Bell-Berti [7]), l'anticipation du mouvement d'abaissement du velum intervient à une durée temporelle fixe par rapport au début du phonème nasal. Les différences de durées observées seraient dues à la hauteur intrinsèque ou co-intrinsèque du voile du palais. Les consonnes non obstruées (comme /r/) et les voyelles basses, comme /a/, ont respectivement un voile du palais plus bas que les consonnes obstruées et les voyelles hautes comme /i/ (Bell-Berti, [6]). La hauteur intrinsèque et/ou co-intrinsèque semble dépendre de plusieurs facteurs. Le voile du palais tend à être plus élevé à l'initiale de mot et de syllabe (Ohala, [13]), il

existe une hauteur vélaire différente entre les consonnes nasales et les voyelles nasales (Rossato et al. [12]). La hauteur du voile du palais est la plus basse pour N en coda dans CVN sous l'accent (Vaissière, [16]). Le voile du palais a une position plus haute pour les syllabes accentuées (Krakow [10]). Par ailleurs, l'ouverture vélaire joue un rôle important dans la perception de la nasalité. Maeda [11], à partir de données issues de synthèse articulatoire, a montré l'importance du degré d'ouverture du port vélopharyngé pour la perception de la nasalité. Une petite ouverture vélopharyngée est suffisante pour percevoir la voyelle /i/ nasalisée alors qu'une grande ouverture est nécessaire pour percevoir un /a/ nasalisé. Il semble que l'abaissement du voile du palais soit une condition nécessaire mais non suffisante à l'ouverture du port vélopharyngé. Des données simultanées combinant une instrumentation vidéo-fibrosopique donnant des indications sur les mouvements du voile du palais (MV) et une instrumentation photo-électronique donnant une indication sur l'ouverture du port vélopharyngé (OV) ont été recueillies (i) pour établir le timing entre mouvement et ouverture vélaire et (ii) pour estimer une position vélaire suffisante pour que le port vélopharyngé soit ouvert.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Instrumentations

L'ouverture du port vélopharyngé (OV) a été observée à l'aide d'un photonasodétecteur inspiré du nasograph de Ohala [13]. Un photodétecteur (*cf.* figure 1) est placé dans le pharynx, sous le voile du palais, via la narine du locuteur. Un fibroscope, inséré dans l'autre narine, pointé vers la paroi pharyngée postérieure illumine la cavité nasale. Le photodétecteur (PND) capte la lumière lorsque le port vélopharyngé est ouvert. Le signal acoustique a été enregistré par un microphone cravate (Sony ECMT15). Les deux signaux ont été acquis simultanément par un système d'acquisition multipistes (voir Amelot et al. [3] pour une description technique).

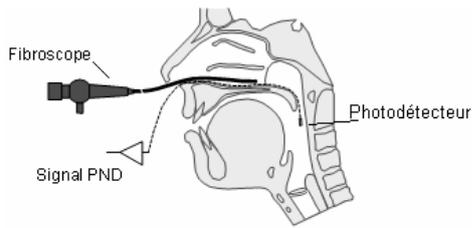


Figure 1 : Illustration du fonctionnement du photonasodétecteur (PND).

Les mouvements du voile du palais (MV) ont été recueillis par la caméra du fibroscope. Les données ont été prises à l'Hôpital Européen Georges Pompidou (par le 5^{ème} auteur) au moyen de la station ATMOS (www.atmosmed.de), qui recueille une image toutes les 40 ms, le mouvement du voile du palais a été estimé manuellement image par image. Le signal acoustique associé à la fibroscopie est enregistré par un microphone placé sur le fibroscope (Sony ECMT15), (voir Amelot et al. [1] et Amelot [2] pour une description complète).

Les données fibroscopiques et les données issues du PND sont alignées à partir des deux signaux acoustiques respectifs.

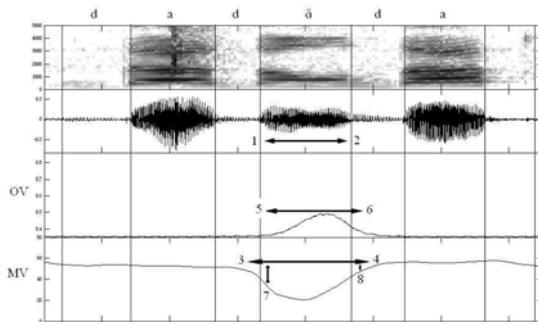


Figure 2 : Exemple de données obtenues. Du haut vers le bas : Signal acoustique (issu du microphone), ouverture du port vélopharyngé OV (données du PND) et mouvements du velum MV (données vidéo-fibroscopiques).

2.2. Corpus et locuteurs

L'étude porte sur 30 logatomes de structure C1V1C1VnC1V1, où C1 = /t/, /d/, /l/, /s/ ou /z/, V1 = /a/ ou /i/, et Vn = /ā/, /ɔ/, ou /ē/. Les logatomes sont enchâssés dans une phrase cadre (« Dites /tatāta/ trois fois »). Les données ont été segmentées, étiquetées phonétiquement à l'aide de spectrogrammes et annotées pour permettre de mesurer : (cf. figure 2)

1. La durée acoustique de la voyelle nasale = 2-1
2. la durée MV = 4-3
3. la durée de OV = 6-5
4. La différence de durée entre le début de l'ouverture du port vélopharyngé (5) et le début du mouvement vélaire (3)
5. La différence de durée entre la fin de OV (6) et la fin du mouvement d'abaissement du voile du palais MV (4)
6. La hauteur vélaire au début (7) et à la fin (8) de l'ouverture du port vélopharyngé

3. RÉSULTATS

3.1. Comparaison des durées

La durée acoustique de la voyelle nasale Vn, la durée MV et la durée OV ont été mesurées et comparées pour chaque locuteur (cf. tableau 1). Un test t (apparié) montre qu'il existe une différence significative des durées en fonction des locuteurs ($F(1,62)=49,101$, $p<0,001$). Cette différence peut s'expliquer par une différence de débit (117 ms par phonèmes pour le loc1 versus 156 ms par phonèmes pour le loc 2) et/ou par une différence de stratégie de fermeture du port vélopharyngé entre les deux locuteurs (Amelot, [3]).

Table 1 : Moyennes des durées (ms) et écart type (σ) des durées acoustique (Vn), durées d'ouverture du port vélopharyngé (OV) et mouvement vélaire (MV) pour les deux locuteurs.

	Durées Acoustique		OV		MV	
	ms	σ	ms	σ	ms	σ
(n=32)						
Loc1	137	(19)	161	(55)	216	(67)
Loc 2	190	(39)	199	(35)	275	(35)

Pour ces deux locuteurs et pour cette variété du français, les durées peuvent s'ordonner de la façon suivante :

$$\text{Durée acoustique VN} < \text{Durée OV} < \text{Durée MV}$$

Il est intéressant de constater qu'il existe une différence significative de durée entre OV et MV pour les deux locuteurs. Par ailleurs, la durée du mouvement du voile du palais et la durée de l'ouverture du port vélopharyngé semblent liées à la durée de la voyelle nasale. Ainsi le locuteur 2, qui a produit des voyelles nasales plus longues, a des durées MV et OV plus longues que le locuteur 1.

3.2. Durée entre début de l'ouverture (5) et début du mouvement d'abaissement (3)

La différence moyenne de durée entre le début de l'ouverture du port vélopharyngé OV (5) et le début de l'abaissement du velum MV (3) est de 30 ms ($\sigma=64$) pour le locuteur 1 et de 40 ms ($\sigma=37$) pour le locuteur 2. Une ANOVA montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les locuteurs ($F(1,62)=0,567$, $p=0,4542$), suggérant que cette distance n'est pas liée à la durée de la voyelle nasale. L'écart type important indique une grande variabilité probablement due à l'entourage phonétique différent (Amelot, [2]).

3.3. Durée entre fin de la remontée du velum (4) et fin de l'ouverture du port (6)

La différence moyenne de durée entre la fin de l'ouverture du port vélopharyngé OV (6) et la fin du mouvement de relèvement du voile MV (4) est de 6

ms ($\sigma=18,28$) pour le locuteur 1 et de 31 ms ($\sigma=20,55$) pour le locuteur 2. Comme précédemment, l'écart type est important.

Une ANOVA montre qu'il existe une différence significative entre les deux locuteurs ($F(1,62)=27,125$, $p<0,001$). Il n'existe néanmoins pas de différence significative (test t apparié : $p=0,0692$) pour le locuteur 1 entre la fin de l'ouverture du port vélopharyngé OV (6) et la fin du mouvement de relèvement du voile MV (4), elle est significative pour le locuteur 2 (test t apparié : $p<0,005$).

Il est intéressant de noter que le locuteur 1, qui a la durée de Vn la plus courte, est aussi le locuteur qui a la durée la plus courte entre la fermeture du port vélopharyngé et la fin du mouvement d'abaissement du voile du palais. Il est difficile cependant d'en conclure que la durée de Vn joue un rôle dans le mouvement de fermeture.

L'ouverture et la fermeture du port vélopharyngé sont deux mécanismes différents du point de vue physiologique. Ces données confirment que les gestes d'abaissement du voile du palais (dus principalement à la cessation de l'activité du levator palatini) et de remontée (reprise d'activité du levator palatini) ne sont pas symétriques. Une des possibilités serait que durant la phase de descente, le voile du palais reste longtemps plaqué à la paroi pharyngée postérieure avant l'ouverture du port.

L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre durée d'abaissement et durée de remontée du voile pour les deux locuteurs mais une différence significative entre durée d'ouverture et fermeture du port vélopharyngé uniquement pour le loc1 ($p<0,001$).

Table 2 : Moyenne (ms) et écart type (σ) des durées d'abaissement/remontée (MV) et d'ouverture/fermeture (OV) pour les deux locuteurs.

Durée en ms	Loc1	Loc2
Abaissement MV	102 ($\sigma=32$)	136 ($\sigma=34$)
Remontée MV	114 ($\sigma=36$)	140 ($\sigma=29$)
Ouverture OV	92 ($\sigma=37$)	105 ($\sigma=25$)
Fermeture OV	70 ($\sigma=21$)	94 ($\sigma=21$)

La courbe de MV (cf. figure 2), semble indiquer que le mouvement d'abaissement est plus rapide que le mouvement de remontée. La tendance est inversée pour la courbe OV : le port vélopharyngé s'ouvre plus lentement qu'il ne se ferme.

3.4. Hauteur du velum (7) en début d'ouverture du port vélopharyngé (5)

La hauteur vélaire normalisée a été mesurée au début de l'ouverture du port vélopharyngé (7). En moyenne, le port vélopharyngé est ouvert quand le voile du palais atteint la hauteur relative de 42 pixels ($\sigma=8$) pour le locuteur 1 et de 46 pixels ($\sigma=11$) pour le locuteur 2.

L'analyse statistique (ANOVA) de la hauteur du velum au moment de l'ouverture du port vélopharyngé montre :

- qu'il n'y a pas de différences significatives entre les locuteurs ($(F(1,62)=2,469$, $p=0,1212)$)

- qu'il n'y a pas de différence significative en fonction des voyelles nasales ($F(2,61)=0,34$, $p=0,7133$)

- qu'il n'y a pas de différence significative en fonction de l'entourage consonantique ($F(2,61)=0,262$, $p=0,7702$)

Le seuil de hauteur vélaire pour lequel il est possible de dire que le port vélopharyngé est ouvert ne dépend ni de l'identité de la voyelle nasale ni de son entourage phonétique.

3.5. Hauteur du velum (8) à la fermeture du port vélopharyngé (6)

La hauteur vélaire normalisée mesurée à la fermeture du port vélopharyngé indique que le port vélopharyngé est fermé pour une hauteur vélaire de 62 pixel ($\sigma=4,834$) pour le locuteur 1 et de 44 ($\sigma=12,412$) pour le locuteur 2.

L'analyse statistique (ANOVA) de la hauteur du velum au moment de la fermeture du port vélopharyngé montre :

- qu'il existe une différence significative entre les deux locuteurs ($F(1,62)=60,731$, $p<0,001$).

- qu'il n'existe pas de différence significative en fonction de la voyelle nasale pour les deux locuteurs (loc1 : $F(1,29)=0,104$, $p=0,9012$ et loc2 : $F(1,29)=0,827$, $p=0,4475$).

- qu'il existe une différence significative en fonction de l'entourage consonantique pour les deux locuteurs (loc1 : $F(1,29)=11,338$, $p=0,0002$ et loc2 : $F(1,29)=8,368$, $p=0,0014$).

Le port vélopharyngé se ferme à une hauteur vélaire moins haute pour les liquides et les fricatives que pour les occlusives. La phase de fermeture semble donc plus contrainte par l'entourage phonétique que la phase d'ouverture. La pression intra-orale devient élevée quand le port vélopharyngé est fermé (Ohala [14]).

4. CONCLUSION

La durée du mouvement complet du voile du palais est plus longue que la phase d'ouverture du port vélopharyngé et que la durée acoustique de la voyelle nasale chez nos deux locuteurs. La durée d'activité articulatoire est plus longue que la durée acoustique de la voyelle (Straka [15]). Comme attendu, le mouvement articulatoire d'un événement précède la réalisation acoustique et se termine bien après celle-ci Bell-Berti [7]. Il existe plusieurs étapes articulatoires pour la réalisation acoustique d'une voyelle nasale : i) une phase d'abaissement (Benguerel [9]) ii) un abaissement vélaire suffisant qui implique une dépression du flux d'air nasal et une phase d'ouverture une hauteur vélaire (Benguerel [8] ; Basset et al. [5]), iii) une ouverture du port vélopharyngé et une pression intra-orale suffisante pour que l'air contenu dans la cavité orale passe dans la cavité nasale (Amelot et al. [4]). Il serait intéressant de comparer la courbe de

flux d'air nasal et l'ouverture du port vélopharyngé pour voir comment les deux sont corrélées et de voir les conséquences perceptives de ces phénomènes. Nos résultats ne sont pas en accord avec l'hypothèse de Vaxelaire [17], qui choisit à partir de données cinéradiographiques, de confondre les termes début d'abaissement du velum et début d'ouverture du port vélopharyngé.

Il existe une asymétrie entre les mécanismes d'abaissement du voile/ouverture du port et remontée du voile/fermeture du port et l'absence de différence significative entre les deux locuteurs amènerait d'ailleurs à penser qu'ils utilisent tous les deux le même mécanisme d'ouverture/fermeture vélopharyngée. Le trait [+nasal] est le seul trait qui est essentiellement implémenté quand un muscle n'est plus activé. La réactivation du levator palatini pour le phonème oral qui suit le phonème nasal implique probablement une différence dans le geste d'abaissement et celui de remontée. Lorsque que le voile s'abaisse il reste collé un certain temps contre la paroi pharyngée postérieure, alors que lorsqu'il se relève il entre en contact plus tardivement avec cette paroi. Plus le geste de remontée est long et plus le voile du palais entre rapidement en contact avec la paroi pharyngée postérieure (cas des liquides). Enfin, la hauteur vélaire à partir de laquelle le port vélopharyngé est ouvert est assez stable et n'est influencée ni par le type de voyelle nasale, ni par l'entourage phonétique.

REMERCIEMENTS

Vifs remerciements à Madame Jacqueline Vaissière, pour ses conseils et ses corrections.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Amelot, L. Crevier-Buchman and S. Maeda Observations of the Velopharyngeal Closure Mechanism in Horizontal and Lateral Directions from Fiberscopic Data. *The 15th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, 2003.
- [2] A. Amelot, *Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français*. Paris, Sorbonne Nouvelle: 202, 2004.
- [3] A. Amelot, K. Honda, S. Maeda, L. Crevier-Buchman and P. Basset, "Evaluation of a photonasography". *Journal of the Acoustical Society of America*: 120, p. 3353, 2006.
- [4] Amelot A., Michaud A., "Effets aérodynamiques du mouvement du velum : le cas des voyelles nasales du français", *Journées d'Etude sur la Parole (JEP)* p.247-250, 2006.
- [5] P. Basset, A. Amelot, L. Crevier-Buchman, Etude multiparamétrique des consonnes nasales du français : prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques, *Revue Parole*,

2006.

- [6] F. Bell-Berti. Velopharyngeal function: a spatial-temporal model. In N.J. Lass, (Ed.), *Speech and Language: Advances in Basic Research and Practice*, Academic Press, New York, pages 291-316, 1980.
- [7] F. Bell-Berti, and K. Harris A Temporal Model of Speech Production. *Phonetica* 38: 9-20, 1981.
- [8] A. Benguerel, Nasal Airflow Patterns and Velar Coarticulation in French. *Speech Wave Processing and Transmission*, Stockholm, Almqvist & Wiksell, 1974.
- [9] A. Benguerel, H. Hirose, M. Sawashima and T. Ushijima. Velar Height and its Timing in French: a Fiberscopic Study. *Annual Bulletin, Research Institute of Logopedics and Phoniatrics* 9: 67-78, 1975.
- [10] R.A. Krakow, and M. K. Huffman. Instruments and Techniques for Investigating Nasalization and Velopharyngeal Function in the Laboratory: an Introduction. *Phonetics and phonology, Volume 5, Nasals, nasalization and the velum*. M. K. Huffman, Rena. San Diego, Academic Press. 5: 3-59, 1993.
- [11] S. Maeda. Acoustics of Vowel Nasalization and Articulatory Shifts in French Nasal Vowels. *Phonetics and phonology, Volume 5, Nasals, nasalization and the velum*. M. K. Huffman, Rena. San Diego, Academic Press. 5: 174-167, 1993.
- [12] S. Rossato, P. Badin and F. Bouaouni (2003). Velar Movements in French: An Articulatory and Acoustical Analysis of Coarticulation. *The 15th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, 2003.
- [13] J. Ohala, Monitoring Soft Palate Movements in Speech. *Journal of the Acoustical Society of America*: 50(1): 140, 1971.
- [14] Ohala, J. J. (1975). Phonetic Explanations for Nasal Sound Patterns. *Nasálfest: Papers from a symposium on nasals and nasalization. Language Universals Project*. Stanford: 289-316.
- [15] G. Staka, *Album Phonétique*, Les presses de l'université Laval, Quebec, 1965
- [16] J. Vaissière, J. Prediction of Velum Movement from Phonological Specifications. *Phonetica* 45: 122-139, 1988.
- [17] B. Vaxelaire, Contrôle du velum et nasalité en français. *Scolia* 10: 39-60, 1997.