

Prise de données simultanées aérodynamiques et fibroscopiques durant la production des voyelles nasales : comparaison avec des données prises séparément

Amelot, A., Roubeau, B., Crevier-Buchman L., & Maeda, S.

Laboratoire de Phonétique et Phonologie (UMR7018)
CNRS/Sorbonne Nouvelle
19 rue des Bernardins - 75005 Paris, France
Mél : amelot@infonie.fr

ABSTRACT

This study investigates the variability of temporal and quantitative measurements derived from acoustic, aerodynamic, and articulatory data during nasal vowel production. In the first session, nasal airflow and velum motions are separately recorded using, EVA2 and a fiberoptic video camera, respectively, and aligned later. In the other session, these data are acquired simultaneously. Two observations: i) Variability patterns from these two sessions exhibit the same trends; ii) Velum motions show smaller variations than nasal flow suggesting that a speaker controls better the velum position than the nasal airflow.

1. INTRODUCTION

La nasalité en français est particulièrement intéressante à étudier car c'est l'une des 71 langues du monde sur les 451 référencées dans la base UPSID qui possède dans son inventaire phonologique, des voyelles nasales (Maddieson [1]). Plusieurs méthodes permettent d'étudier les phénomènes de nasalité. Elles donnent des indications différentes, certaines donnent une indication acoustique de la nasalité, d'autres fournissent des indications articulatoires, d'autres une indication aérodynamique. Chacune de ces méthodes nécessite un instrument de mesure particulier. Il existe très peu d'études qui ont combiné plusieurs instrumentations et celles qui l'ont fait, utilisent deux méthodes observant soit l'aérodynamique, ou soit l'articulatoire. Par exemple Skolnick, *et al.* [2] utilisent l'endoscope et la fluoradioscopie, étudiant uniquement les mouvements du velum. Baken [3] a montré que les propriétés aérodynamiques et anatomiques du conduit vocal interagissent entre-elles.

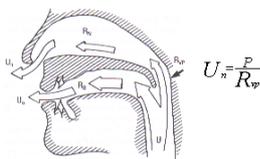


Figure 1 : Modèle montrant l'interactivité entre les propriétés aérodynamiques et anatomiques.

Le débit d'air nasal (U_n) dépendra de P_{io} (pression intra-orale) divisée par la résistance au niveau du port vélo-pharyngé (R_{vp}). Ainsi, U_n varie en fonction R_{vp} et

P_{io} . Pour un locuteur donné P_{io} dépendra de l'identité des phonèmes, de la pression sous-glottique et du degré de la constriction orale. Il est donc raisonnable de penser que ces facteurs auront une incidence sur le flux d'air nasal sortant. Seule la rhinomanométrie qui mesure la résistance au niveau des fosses nasales donne à la fois des données de débit d'air nasal (U_n) et de résistance nasale (R_{vp}). Cependant la pression nasale n'est qu'une indication indirecte de l'ouverture du port vélo-pharyngé. Il serait intéressant d'avoir en même temps une indication sur l'ouverture du velum et une indication sur la sortie d'air nasal.

Warren, *et al.* [4] ont montré qu'il y avait une corrélation entre le degré d'ouverture du passage vélo-pharyngé et le débit d'air nasal. Cependant, Baken [3] a fait la preuve qu'une petite ouverture vélo-pharyngée peut très bien fournir une grande quantité d'air nasal à la sortie en fonction de P_{io} . Cette distinction est d'autant plus importante pour les voyelles nasales où l'air sort à la fois par le conduit oral et le conduit buccal. Nous avons donc cherché à utiliser deux méthodes, la fibroscopie et la mesure de débit, nous permettant de comparer le mouvement du velum et le débit d'air nasal. Bien que ces deux méthodes soient non invasives, nous ne pensons pas qu'il soit possible de prendre une grande quantité de données de façon fiable en couplant les deux méthodes du fait que les deux instrumentations interfèrent l'une sur l'autre. De ce fait, nous avons voulu voir s'il était possible d'aligner statiquement (en opposition à l'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.

2. METHODOLOGIE

2.1. Corpus

Le corpus unique se compose de 9 phrases, chacune ayant fait l'objet de deux répétitions. Les items sont placés dans la phrase support : 'Dites CVCV̄CV trois fois' ; \tilde{v} : [ã õ ě], C : [t, l, z] et V : [i].

2.2. Locuteur

Un seul locuteur a subi les deux expérimentations. Il s'agit d'une femme de 30 ans parlant français.

2.3. Données aérodynamiques alignées aux données fibroscopiques

Prise de données aérodynamiques

Les données du débit d'air nasal, couplées avec les données de débit d'air oral ont été recueillies à l'aide de la station EVA2 et traitées à l'aide du logiciel Phonedit (Galindo et Teston [5]).

Prise de données fibroscopiques

Les mouvements du voile du palais ont été explorés à l'aide d'un nasofibroscopie, de type Olympus Enf-P3, relié à une source de lumière froide Olympus CLH 250. L'enregistrement a eu lieu avec une micro caméra Olympus OTV-SF et un magnétoscope Sony SVO-9500MDP. Un microphone, Sony ECMT15, était fixé sur la caméra. Le fibroscope a été introduit par la narine gauche, sans anesthésie locale. L'extrémité était maintenue à l'orifice postérieur de la fosse nasale juste au-dessus de la face supérieure du voile. Les séquences vidéo étaient de 25 images par secondes. Le déroulement des mesures temporelles a été obtenu en mesurant manuellement image par image la hauteur du velum en partant d'une image de référence où le velum était le plus ouvert (Amelot, *et al.* [6]).

Alignement

Le phonème nasal est entouré de deux syllabes. C'est à partir de la voyelle nasale que les données vont être alignées.

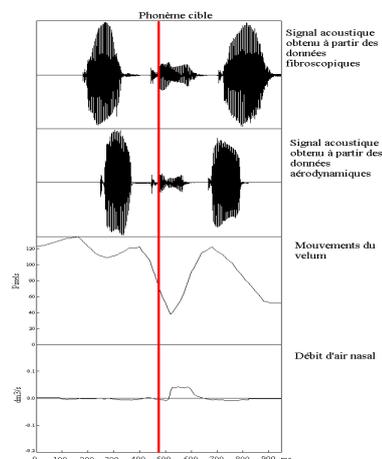


Figure 2 : Alignement de fichiers aérodynamiques et fibroscopiques, exemple de [tatõta].

Pour les deux expérimentations, nous isolons les deux occurrences (CVCõCV), et ajustons l'échelle de temps pour pouvoir superposer les données.

Une fois que nos deux fichiers ont la même longueur, nous repérons la voyelle nasale cible (õ), et nous superposons les deux fichiers, en ajoutant du silence au début ou à la fin d'un des fichiers.

2.4. Données aérodynamiques et données fibroscopiques prises simultanément

La prise de données fibroscopiques est la même que précédemment. Parallèlement, 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 nasal a été obstrué. Le nasofibroscopie 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 obstruée avec du coton ce qui a permis également de maintenir le fibroscope en position fixe. Dans cette expérimentation, l'alignement des données n'est pas nécessaire, étant donné que nous avons exactement le même signal sur les deux pistes son ; une piste pour les données fibroscopiques et une pour les données aérodynamiques.

Les mesures

Nous avons retenu 11 mesures dont 9 temporelles et 2 quantitatives :

Mesures 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 le min de Velum et le début du débit d'air nasal (ms)

D10 : Décalage entre le minimum d'abaissement du velum et le début du phonème

D11 : Décalage entre le maximum d'air nasal et le début du phonème

Mesures quantitatives :

D8 : %DAN = $\text{Dan}/(\text{Dan}+\text{Dab})$

D9 : Maximum de Débit d'air nasal (dm^3/s)

2.5. Résultats et discussion

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, D2, D3, D7, D11 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 toujours plus importante que la durée du phonème.

2. La durée de l'abaissement est toujours plus importante que le temps où le débit d'air nasal est positif.

3. L'abaissement du velum commence toujours avant le début de l'air nasal.
4. L'abaissement du velum commence toujours avant le début du phonème.
5. L'abaissement minimum du velum se produit toujours 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 [lilɛli] a un commencement 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 (D1 n'est pas traité ici), 6 ont la même tendance pour les données alignées et les données simultanées.

Reste maintenant à voir ce qu'il en est de D1 pour voir s'il est possible d'effectuer des mesures sur l'ensemble des données, en effet, si D1 est sensiblement le même dans les deux expériences, nous serons en mesure de faire des mesures sur les données dans leur ensemble.

Comparaison D1 alignée et D1 simultanée :

Nous avons mesuré la moyenne et l'Ecart type de D1 pour les consonnes et les voyelles pour les données alignées et les données simultanées :

Tableau 1 : Moyenne et Ecart type de D1 (ms) (n=6), durée des voyelles nasales.

Aligné		Simultané	
Moyenne	Dév. Std	Moyenne	Dév. Std
146	17	172	29

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. D1 pour les deux méthodes varie de 119 ms à 215 ms, il est donc raisonnable de penser qu'une différence de 26 ms ne donne pas de différence significative, qu'il est possible de combiner les deux méthodes et de faire des mesures.

Mesures temporelles pour l'ensemble des données

Nous avons comparé la moyenne et l'Ecart type pour chaque mesure temporelle.

Tableau 2 : Moyenne et Ecart type (des mesures temporelles (ms), (n=36)) :

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D10	D11
Moy.	159	290	193	68	104	-35	47	82	92
éc. t	27	60	51	34	58	48	47	26	70

Nous constatons que l'écart type n'est pas le même partout et qu'il est parfois faible (D10) et parfois plus important (D11). Certaines de ces mesures concernent le flux d'air nasal, d'autres les mouvements vélaire 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 D10 < D11

Ce qui confirmerait notre précédente observation.

Différence entre les voyelles

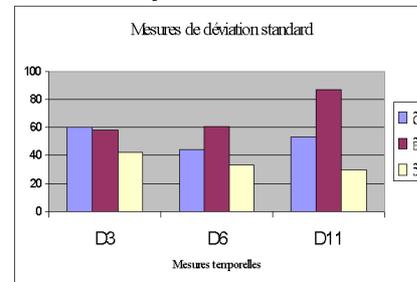


Figure 3 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D11) en fonction des trois voyelles nasales.

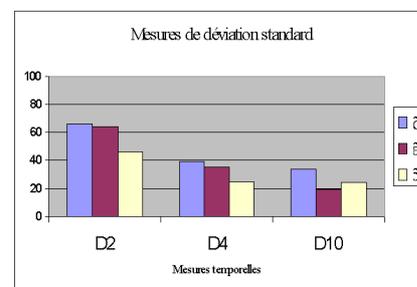


Figure 4 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélaire (D2, D4, D10) en fonction des trois voyelles nasales.

Nous constatons que pour l'ensemble des données la voyelle [ã] est la voyelle la plus variable en ce qui concerne les mouvements vélaire (elle serait donc la plus difficile à contrôler pour le locuteur) et que la voyelle [ɔ̃] est la plus stable en ce qui concerne le flux d'air nasal et les mouvements vélaire. Elle serait donc la voyelle la plus facile à contrôler pour le locuteur tant du point de vue des mouvements vélaire que du débit d'air. Les voyelles plus fermées seraient plus faciles à contrôler.

Différence entre les consonnes

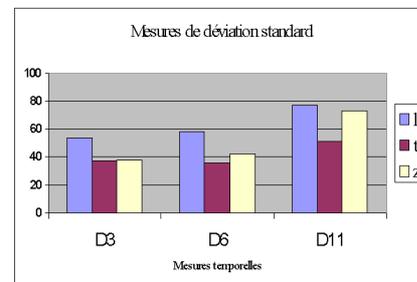


Figure 5 : Ecart type des mesures concernant le flux d'air nasal (D3, D6, D11) en fonction des trois consonnes orales.

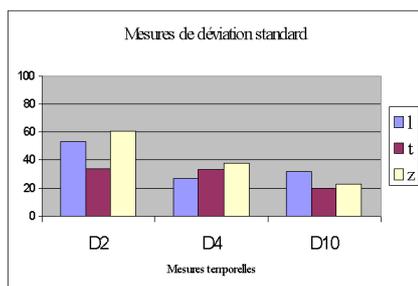


Figure 6 : Ecart type des mesures concernant les mouvements vélares (D2, D4, D10) en fonction des trois consonnes orales.

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 vélares aucune consonne ne se détache.

Les mesures quantitatives

Tableau 3 : Moyenne de D8 et D9 pour les deux méthodes (n=18) :

	D8 (%)	D9 (dm ³ /s)
Données simultanées	21,4	0,09
Données Alignées	12,76	0,02

Le maximum de débit nasal (D9) se retrouve systématiquement pour les données prises ensembles : l'autre narine est obstruée et donc il y a probablement eu une augmentation de la pression dans la cavité nasale, ce qui a probablement augmenté le débit d'air à la sortie.

En ce qui concerne le %DAN (D8), nous retrouvons la même tendance sauf pour les trois occurrences construites avec la consonne [l]. En ce qui concerne les deux autres consonnes, le %DAN 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 %DAN tient compte à la fois du débit d'air nasal et du débit d'air 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 %DAN plus faible.

3. CONCLUSION

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** et permettra d'apporter des informations jusque là méconnues comme le timing entre le début de l'abaissement du velum et le début du

débit d'air nasal. 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 artefacts 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 vélares 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. Notamment, il semble 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 vélares 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. La voyelle [ɔ] serait la voyelle la plus facilement contrôlable par rapport aux deux autres or il s'agit de la voyelle la plus fermée donc probablement celle pour laquelle la pression à l'intérieur du conduit est la plus élevée. Comme nous l'avons déjà évoqué dans l'introduction, la pression à l'intérieur du conduit vocal joue un rôle non négligeable en ce qui concerne le débit d'air nasal.

Bien évidemment, ces résultats préliminaires devront être confirmés ou non avec plus de locuteurs et un corpus plus conséquent.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] I. Maddieson. *Patterns of sounds*. Cambridge. U. Press, 1984.
- [2] M. L. Skolnick, C. G. Mc and M. Barnes. The sphincteric mechanism of velopharyngeal closure. *Cleft Palate J*, 10:286-305, 1973.
- [3] R. J. Baken. *Clinical Measurement of Speech and Voice*. Taylor and Francis, 1987.
- [4] D. Warren, V. Hinton, H. C. Pillsbury and W. M. Hairfield. Effects of size of the nasal airway on nasal airflow rate. *Archives of Otolaryngology*, 113:405-408, 1987.
- [5] B. Galindo et B. Teston. 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, 1989.
- [6] A. Amelot, P. Basset, L. Crevier-Buchman et B. Roubeau. Nasalité en français spontané : Mesures aérodynamiques et fibroscopiques, études préliminaires. In *XXIV^{èmes} Journées d'études sur la parole (JEP)*, 361-364, Nancy, 2002.