

UNIVERSITÉ PARIS III – SORBONNE NOUVELLE

UFR Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées

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

Doctorat

Discipline : Phonétique

Résumé :

**ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE, FIBROSCOPIQUE,
ACOUSTIQUE ET PERCEPTIVE DES VOYELLES NASALES
DU FRANÇAIS (242 p.)**

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

Résumé :

Cette étude est une recherche pluri-paramétrique portant sur les voyelles nasales du français, comprenant des données aérodynamiques, fibroscopiques, une analyse acoustique et des tests de perception. Nous étudions en détail la corrélation entre les mesures de débit, la position du velum, les indices acoustiques et leur perception. La nasalité a déjà fait l'objet de nombreuses études antérieures, un certain nombre de connaissances en la matière sont déjà établies :

Du point de vue physiologique : le corrélat universel de la nasalité est l'abaissement du voile du palais.

Du point de vue acoustique : i) l'ouverture du port vélo-pharyngé met en dérivation la cavité nasale sur le conduit oral, ce qui contribue à la création de formants supplémentaires et d'anti-formants, ii) le rétrécissement du conduit buccal au niveau vélaire a pour conséquence une modification des résonances naturelles du conduit buccal et iii) l'articulation des voyelles nasales, différente des voyelles orales, leur confère des formants qui leur sont propres.

Du point de vue phonologique, il est généralement admis que le trait nasal est binaire : une voyelle ou une consonne est soit orale, soit nasale. Chomsky *et al.* (1968) décrivent le trait de nasalité en termes articulatoires : les sons nasals sont produits avec le voile du palais abaissé et la distinction [+nasal] [-nasal] reprend la distinction fondamentale d'abaissement et d'élévation du voile du palais. Les relations entre ouverture et débit ne sont pas linéaires :

- D'une part, Warren (1967) a montré qu'il y avait une corrélation entre le degré d'ouverture du passage vélo-pharyngé et le débit d'air nasal.
- D'autre part, l'ouverture du port vélo-pharyngé n'est pas toujours suffisante à la production de débit d'air nasal. Baken (1987) a montré l'importance de l'impédance ; le velum peut très bien être abaissé sans qu'il y ait du débit d'air nasal significatif (exemple de la voyelle /a/).
- Enfin, Benguerel (1974) indique qu'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.

Nous nous sommes plus particulièrement intéressée à cinq axes de recherche dans cette étude :

- i) La relation temporelle entre l'aperture du velum et l'**apparition** d'un débit nasal.

- ii) La relation entre le degré d'aperture du conduit nasal et la **quantité** du débit d'air nasal sortant.
- iii) Les rapports entre les mesures acoustiques et physiologiques, d'une part, et la perception, d'autre part.
- iv) Les rapports entre l'ouverture de la bouche, l'aperture du port vélo-pharyngé, l'impédance dans le conduit vocal et le débit d'air nasal sortant.
- v) Et les conséquences de nos résultats sur les descriptions phonologiques.

I. Intérêts d'une étude sur la nasalité vocalique en français

Le français langue privilégiée.- Les voyelles nasales sont particulièrement intéressantes à étudier en français : le français est une des 71 langues du monde sur les 451 référencées dans la base de données UPSID¹ (Maddieson, 1984) qui possède dans son inventaire phonologique, des voyelles nasales en opposition avec des voyelles orales.

Les voyelles font intervenir deux conduits.- Un second intérêt est que du point de vue articulaire, la nasalité vocalique fait intervenir à la fois le conduit nasal et conduit buccal, avec des interactions non linéaires. On peut donc aborder un des problèmes majeurs de la phonétique, et qui concerne la préséance de l'articulaire sur l'acoustique ou de l'acoustique sur l'articulaire dans la production de la parole.

La facilité pour observer les mouvements vélares.- Un troisième avantage est que les mouvements du voile du palais sont observables à l'aide de moyens relativement peu invasifs.

II. Matériel et méthodes

- **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** vont permettre d'avoir une indication sur le rapport entre l'ouverture vélo-pharyngée et le débit d'air nasal.

¹ Est un acronyme de UCLA Phonological Segment Inventory Database, base de données créée au laboratoire de Phonétique de UCLA.

- **Des données acoustiques** nous permettront de connaître la corrélation entre les mouvements vélaire 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.

Lors d'une étude préliminaire sur quatre locuteurs, nous avons confirmé qu'il existe au moins deux stratégies différentes pour fermer le port vélo-pharyngé. Nous avons sélectionné deux locuteurs, un homme et une femme, qui ont tous les deux une même stratégie de fermeture du velum de type sphincter.

III. Le corpus

Le corpus comprend trois parties:

1. 108 logatomes :

"Dites $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$ trois fois $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$, $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$, $C_1V_1C_1V_tC_1V_1$ " où V_1 : [a, i, u, y], V_t : [ʌ, ɛ, ø] où les consonnes s'opposent par le mode d'articulation, le lieu d'articulation et le voisement C_1 : [p, t, k, b, d, g, s, z, l], (exemple : "dites bababa trois fois").

Chaque phrase a été répétée deux fois lors des mesures des débits d'air. Ces mêmes phrases ont ensuite été enregistrées avec les instrumentations fibroscopiques. 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.

2. A cela se rajoutent 24 phrases pour chaque locuteur, enregistrées avec les mêmes instrumentations. Elles s'opposent entre-elles du fait de l'emphase ou de la situation prosodique (exemple : cet homme est énorme et m'embête~cet homme est énormément bête).

3. Et finalement, nous avons réussi à obtenir de courtes séquences de parole non lue tant en fibroscopie qu'en aérodynamique (au total : 5 minutes et 43 sec pour les deux locuteurs). Le but de ces phrases est d'étudier ce qui se passe en parole plus "naturelle", pour pouvoir comparer avec nos séquences de parole lue.

IV. Résultats

Résultats aérodynamiques :

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 /ø/.
- La moyenne de débit d'air nasal confirme que la voyelle nasale /ø/ 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 /ø/.

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 est 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.

B) Résultats fibroscopiques :

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 articuloire 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 articuloire. 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 quelle que 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 **ø**. 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 articuloire plus long.

Nous pouvons conclure qu'en ce qui concerne les mouvements articulatoires 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.

C) Résultats aérodynamiques et fibroscopiques :

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 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 /ɔ̃/.
- 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 /ɔ̃/ 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 articulatoire 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.

D) Résultats acoustiques :

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 maximalelement 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.

E) Résultats des tests de perception :

Nous avons construit quatre tests de perception (A, B, C, D). Ils ont consisté à faire du découvrément progressif (gating) sur la voyelle nasale. Pour les tests A et B, le découvrément progressif a été établi à partir du début de la voyelle nasale, toutes les 20 ms. Pour les tests C et D, le découvrément 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 découverture 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.

V. Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire qu'il existe des différences inter et intra-locuteurs pour les données aérodynamiques et fibroscopiques. Le débit d'air nasal et l'ouverture du port vélo-pharyngé sont fortement dépendants du contexte consonantique immédiat.

Les réponses que nous pouvons amener aux questions que nous nous posons au début de l'étude :

Relation temporelle entre l'aperture du velum et l'apparition d'un débit nasal.- L'ouverture du velum a lieu bien avant l'apparition du débit d'air nasal. Il n'existe pas un temps t fixe où le velum a atteint une ouverture suffisante pour que le débit d'air puisse passer par le conduit nasal. Ce temps sera différent selon l'entourage et la voyelle nasale elle-même. Et aussi contradictoire que cela puisse paraître, moins l'aperture du velum est importante plus le débit d'air nasal arrive tôt.

Relation entre le degré d'aperture du conduit nasal et la quantité du débit d'air nasal sortant.- Il n'existe pas de rapport direct entre le degré d'aperture et la quantité d'air nasal sortant. Le maximum d'aperture vélaire correspond essentiellement au début de l'air nasal sortant.

Rapports entre les mesures acoustiques et physiologiques, d'une part, et la perception, d'autre part.- Ces rapports sont très complexes. Il est assez facile de voir la corrélation entre le débit d'air nasal et/ou le débit d'air oral, et le signal acoustique. La corrélation entre les mouvements vélaire et le signal acoustique est plus difficile à voir (si elle existe vraiment).

Indices perceptifs de la nasalité.- Le débit d'air nasal n'est pas le seul indice pour percevoir la nasalité (il y a probablement une implication de l'articulation de la voyelle elle-même et de l'ouverture maximum du velum).

Rapports entre l'ouverture de la bouche, l'aperture du port vélo-pharyngé, l'impédance dans le conduit vocal et le débit d'air nasal sortant.- Il apparaît qu'il y a un rapport direct entre l'impédance dans le conduit oral et le débit d'air nasal sortant. Cette impédance sera donc fonction de l'ouverture de la bouche et de la résistance du conduit vocal. Si nous reprenons l'hypothèse de Moll en 1962, cette ouverture buccale aura une influence sur l'aperture du velum. Les implications d'un mouvement articulaire ne sont pas linéaires, elles vont faire intervenir d'autres articulateurs. Une étude complète nécessite d'avoir une indication de la position de tous les articulateurs au moment de la production du phonème.

Conséquences de nos résultats sur les descriptions phonologiques.- Nous voulions savoir si les descriptions phonologiques de la nasalité pouvaient se baser sur les seuls mouvements du velum, en particulier son abaissement. Nous pensons au vu de nos résultats, que décrire la nasalité en terme de débits d'air apporterait des informations supplémentaires pour les descriptions phonologiques. Ajouter à la description articulaire de départ une indication de [±DAB] (présence ou non de débit d'air oral) et [±DAN] (présence ou non de débit d'air nasal), permet de donner une indication de la coarticulation nasale, la règle principale étant que [+DAB] implique [-DAN] et inversement.