

L'articulation labiale des voyelles nasales postérieures du français : comparaison entre locuteurs français et anglo-américains

Julie MONTAGU

Institut de Linguistique et de Phonétique Générales et Appliquées,
Université Paris 3&UMR7018/CNRS – 19, rue des Bernardins – 75005 Paris

Tel.: ++33 (0)143 26 37 80 – Fax: ++33 (0)144 32 05 78

Mèl : titj@club-internet.fr

ABSTRACT

This paper presents data analysis about the relationships between the lip shapes and the acoustic cues of French oral, nasal and nasalized vowels. The comparison of the productions of French and American English Speakers evidences the necessity of a labial adjustment to distinguish the French oral and nasal vowels. The required labial adjustment is specified by two distinct gestures: the rounding and the protrusion. The acoustic consequences of these gestures as cues are predicted from acoustic theory and are observed in the vowel spectra.

1. INTRODUCTION

Le français qui utilise le trait de nasalité de façon distinctive pour ses voyelles est souvent pris comme point de départ dans le domaine de recherche consacré à l'étude de l'implémentation phonétique du trait de nasalité. Les deux voyelles nasales postérieures du français sont décrites par la phonologie des traits en termes d'opposition par le trait [\pm round], qui fait référence au point de vue articulatoire. Le trait [-round] est attribué à la voyelle / $\bar{\alpha}$ / qui serait non-arrondie et distincte de la voyelle arrondie / $\bar{\omega}$ / par ce trait de labialité. Cette description phonologique est d'ailleurs reprise et utilisée à des fins didactiques pour l'apprentissage de la prononciation du français [Tra92]. Cependant, l'hypothèse selon laquelle les voyelles nasales postérieures [$\bar{\alpha}$] et [$\bar{\omega}$] seraient distinguées par une articulation "surlabialisée" du [$\bar{\omega}$] par rapport à [$\bar{\alpha}$], voyelle qui serait également arrondie, a été confirmée par des données cinéradiographiques prises sur deux locuteurs [Zer84]. Dans cet article, nous présentons les résultats de l'étude géométrique de la labialité comparant les voyelles nasales avec les voyelles orales et nasalisées du français. L'objectif principal étant de vérifier d'une part, l'articulation des voyelles nasales postérieures [$\bar{\alpha}$] et [$\bar{\omega}$] au niveau labial, à travers la production d'un groupe de locuteurs français. D'autre part, l'approche contrastive de cette étude permettra d'observer la stratégie articulatoire au niveau labial d'un groupe de locuteurs anglo-américains pour produire ces voyelles qui sont absentes de leur phonétisme maternel, et de proposer d'éventuels conseils de prononciation.

Du point de vue acoustique, l'étude de la nasalité vocalique ([Del66], [Mae82]) est un sujet complexe. En effet, alors que les voyelles orales sont caractérisées par

leurs formants aisément détectables ; le couplage du conduit nasal au conduit oral pour la production des voyelles nasales introduit dans le signal acoustique des paires de formants/ anti-formants supplémentaires qui produisent des effets différents suivant la voyelle et le degré de couplage entre les deux conduits [Fen96]. La première paire apparaît dans les basses fréquences et le principal effet provoqué est un aplatissement du spectre dans cette zone. La détection et l'identification des formants résultants deviennent alors bien plus complexes. Cependant, une analyse acoustique complémentaire tentera de dégager les indices acoustiques liés à la nasalisation, d'une part, à travers la partie nasalisée des voyelles orales en contexte nasal ; et d'autre part de rechercher les indices liés à la labialisation (caractérisés par l'abaissement des formants) à travers les voyelles nasales postérieures.

Nous présenterons pour terminer ce travail les résultats du calcul du pourcentage de nasalisation des voyelles phonétiquement nasalisées, qui est représentatif des phénomènes de nasalisation, pour chacun des deux groupes.

2. METHODE

2.1. Corpus

Le corpus a été enregistré dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique de l'ILPGA à Paris auprès de 11 sujets français parisiens et 11 sujets américains, tous des hommes (moy. d'âge : 27 ans). Il était constitué des deux voyelles nasales [$\bar{\alpha}$, $\bar{\omega}$] et des deux voyelles orales [a, o] dans deux contextes CV ou CVN pour former des mots monosyllabiques du lexique français C = [p], N = [n] ou [m] Soit les 6 mots suivants : « pan » [p $\bar{\alpha}$], « pont » [p $\bar{\omega}$], « pas » [pa], « pot » [po], « panne » [pan], « paume » [pom]. La tâche demandée aux locuteurs était de répéter les phrases cadre « Je répète ___ deux fois » contenant les mots cibles.

2.2. Paramètres de l'analyse labiale

Les paramètres les plus déterminants pour mesurer les différences d'articulation labiale correspondent aux trois degrés de liberté physiologique des lèvres : l'écartement horizontal, l'espace vertical et la protrusion ([Fro64], [Lad79], [Zer80]) ; l'aire de l'ouverture labiale, exprimée en cm² peut être déduite des deux premiers paramètres, qui sont calculés en cm, sans prendre en compte

l'épaisseur des lèvres. L'arrondissement des lèvres correspond aux gestes de rétrécissement de l'espace et/ou de l'écartement inter-labial, qui peut directement être observé par la mesure de l'aire inter-labiale. Cet arrondissement peut être accompagné d'un mouvement de protrusion c'est-à-dire une projection des lèvres vers l'avant. La mesure de la protrusion (z) sur les images de profil correspond à la distance en cm, entre la verticale automatiquement calculée à partir du point relevé au nasion et l'extrémité de la lèvre inférieure.

2.3. Description du dispositif expérimental et du traitement des données

Pour les mesures de la labialité, deux caméras numériques ont été placées à un mètre de distance du visage de chaque locuteur, de manière à enregistrer simultanément les mouvements labiaux de face et de profil. Les supports utilisés étant déjà de type numérique, l'acquisition a été effectuée sur le logiciel professionnel de montage Final Cut Pro, au format de 24 images par seconde. Une image au centre de chaque voyelle a ensuite été extraite, importée pour la prise de coordonnées automatiquement converties en cm grâce à un script de Matlab. Les paramètres étudiés ont été calculés d'après les coordonnées obtenues, par type de voyelle, dans des classeurs Excel pour être enfin traitées statistiquement sous le logiciel Statview.

Pour l'analyse acoustique, nous nous sommes inspirés d'une méthode d'enregistrement pour tracer la nasalité, qui permet, de visualiser et de segmenter efficacement entre la partie orale et la partie nasalisée d'une voyelle orale en contexte nasal [Tro95]. L'enregistrement du signal nasal par un transducteur ferromagnétique (placé dans la narine gauche de chaque locuteur, à l'aide d'une olive nasale) et du signal de parole (oral) par un microphone (placé à 10 cm de la bouche de chaque locuteur) ont été effectués simultanément sur un support mini-disque. Les deux vidéo étant déjà synchrones, nous avons dû synchroniser le son enregistré par la caméra de face (pris à la même distance que le signal de parole) avec les deux pistes audio du dispositif pour le traçage de la nasalité, afin d'analyser les spectres correspondants aux images sélectionnées. La synchronisation des pistes audio et vidéo a été effectuée sur le logiciel Pro Tools.

3. ANALYSE DES RESULTATS

3.1. Labialité

La table 1 présente les résultats pour les 11 locuteurs français : les moyennes et l'écart type (noté σ) de l'aire inter-labiale (A) en cm^2 , les moyennes et l'écart type de la protrusion en cm, les différences de protrusion (Δ) entre la voyelle orale et la voyelle nasalisée, et entre la voyelle orale et la voyelle nasale. La table 2 présente les résultats sous la même forme pour les locuteurs anglo-américains.

Les deux tables montrent que les différences entre les voyelles orales et nasalisées sont très faibles, pour les

deux paramètres étudiés. L'ANOVA (Analyse de Variance) réalisée sur les mesures de ces voyelles orales et nasalisées confirme une différence non significative.

Table 1 : Résultats de l'analyse de la labialisation dans la production des locuteurs français

	Aire (cm^2)		Protrusion (cm)		
	Moy.	σ	Moy.	σ	Δ
[a]	3,99	1,54	-0,18	0,66	
[a] nas	4,18	1,65	-0,39	0,98	-0,2
[ã]	1,73	0,86	0,34	0,83	0,52
[o]	0,87	0,18	0,34	0,62	
[o] nas	0,87	0,23	0,21	0,67	-0,13
[õ]	0,39	0,1	0,25	0,61	-0,09

Table 2 : Résultats de l'analyse de la labialisation dans la production des locuteurs anglo-américains

	Aire (cm^2)		Protrusion (cm)		
	Moy.	σ	Moy.	σ	Δ
[a]	3,77	1,06	0,02	0,86	
[a] nas	4,40	1,24	-0,04	0,87	-0,06
[ã]	1,64	0,3	0,53	0,94	0,51
[o]	0,83	0,3	0,40	0,76	
[o] nas	0,97	0,3	0,38	0,84	-0,02
[õ]	0,83	0,37	0,40	0,9	0,00

Les tables 1 et 2 montrent : que l'aire inter-labiale de la voyelle nasale [ã] est bien plus faible que celle de la voyelle orale [a], et que la protrusion de la nasale [ã] est plus importante que celle de l'orale. Ces différences sont significatives (confirmées par une ANOVA). On observe dans la table 1 pour la production des locuteurs français que l'aire inter-labiale de la voyelle nasale [õ] est de moitié plus faible que celle de la voyelle orale [o]. La protrusion de la nasale et celle de l'orale sont pratiquement identiques, il n'y a pas de différence de protrusion entre les deux voyelles. Par contre, la table 2, pour les locuteurs américains, montre qu'il n'y a de différence entre la voyelle orale [o] et la voyelle nasale [õ] ni dans l'aire inter-labiale, ni dans la protrusion.

En résumé, la voyelle nasale [ã] est caractérisée par l'arrondissement et la protrusion, pour les deux groupes de locuteurs. Le « sur-arrondissement » sans protrusion caractérise la voyelle nasale [õ] dans la production des locuteurs français. Par contre, dans la production des locuteurs anglo-américains, on constate une absence de « sur-arrondissement ». La significativité statistique de cette tendance a été confirmée par une ANOVA.

Ces deux paramètres labiaux, arrondissement et protrusion vont inscrire des traces acoustiques sur le spectre de ces voyelles nasales, en plus des effets de la nasalité. Ce sont ces traces que nous allons tenter de retrouver, pour prédire les modifications spectrales de chacune de ces voyelles nasales. L'arrondissement des lèvres est caractérisé acoustiquement par l'abaissement des formants. Dans le cas de la voyelle nasale [ã] le premier formant (F1) ainsi abaissé va se positionner dans la même zone de fréquences que l'anti-formant nasal qui peut l'affaiblir. La protrusion de [ã], mouvement de projection des lèvres vers l'avant, produit un allongement du conduit buccal. La première résonance de la cavité

buccale correspond à F2, le plus souvent pour les locuteurs masculins. La protrusion labiale manifeste donc un abaissement sélectif de F2. Dans le cas de la voyelle nasale [ɔ̃], le sur-arrondissement produit un abaissement des formants encore plus prononcé par rapport à [ɑ̃]. En conséquences, soit F1, soit F2 peut être affaibli en fonction du degré de couplage nasal.

Dans le spectre de la voyelle nasale [ɑ̃], F1 devrait être affaibli et accompagné par un formant nasal et F2 devrait être décalé vers les basses fréquences. Dans le spectre de la voyelle nasale [ɔ̃], un seul pic dominant, correspondant, soit à F1 soit à F2, devrait apparaître dans les très basses fréquences.

3.2. Résultats acoustiques

La table 3 présente les résultats de l'analyse spectrale pour les locuteurs français et anglo-américains : les moyennes des fréquences (en Hz) des deux premiers pics (P1 et P2) et l'écart type (noté σ) pour les voyelles orales, nasalisées et nasales. Figurent également les moyennes de l'amplitude (en dB) relative aux fréquences et l'écart type. Pour les voyelles orales et nasales, les spectres analysés proviennent du centre de la voyelle. Pour les voyelles nasalisées, les spectres ont été pris dans la partie nasalisée, grâce à la présentation en parallèle du signal nasal et du signal oral (voir figures 1 et 2).

Pour la voyelle nasale [ɑ̃], les fréquences de P1 et de P2 sont abaissées par rapport à ceux de la voyelle orale [ɑ], respectivement de 250 Hz et de 350 Hz pour les locuteurs français et de 150Hz et 350Hz pour les locuteurs anglo-américains. L'amplitude de P1 est affaiblie de 4 dB, alors que celle de P2 reste constante entre la voyelle orale et la nasale, pour les locuteurs français. Pour les locuteurs anglo-américains, P1 semble moins touché en intensité et l'amplitude de P2 semble être légèrement élevée.

Pour la voyelle nasale [ɔ̃] dans les résultats des locuteurs français, P1 et P2 sont abaissés par rapport à la voyelle orale [o], respectivement de 60 et 70Hz, environ, différence donc beaucoup moins grande entre deux voyelles labiales que la différence entre [ɑ] et [ɑ̃]. Cette différence témoigne du sur-arrondissement de la nasale. L'amplitude de P1 est affaiblie de 7dB et reste constante pour P2. Les moyennes des amplitudes ne permettent pas de déterminer si un des deux pics est plus systématiquement touché par l'anti-formant nasal présent dans les basses fréquences. En réalité, les spectres individuels montrent que l'anti-formant nasal touche tantôt l'amplitude de P1, tantôt celle de P2, ce fait est probablement dû à sa dépendance au degré de couplage nasal. Par contre, pour les locuteurs anglo-américains, P1 conserve la même fréquence et P2 n'est abaissé que très légèrement. Ceci confirme que la voyelle nasale [ɔ̃] n'a pas été sur-arrondie par les locuteurs anglo-américains.

Cette analyse spectrale des voyelles semble en accord avec les prédictions formulées et elle corrobore donc les résultats obtenus pour l'analyse des paramètres labiaux.

Pour les voyelles nasalisées, les fréquences restent proches de ceux des voyelles orales pour les deux groupes de locuteurs. On peut observer la même tendance entre les amplitudes respectives des deux premiers pics, P1 semble plus intense que P2, comme pour les voyelles orales. Seulement, la présence du premier anti-formant nasal dans les basses fréquences vient affaiblir P1 et réduire l'écart d'intensité entre les deux pics, surtout dans le cas de la voyelle [o] nasalisée. Pour la voyelle [ɑ] nasalisée, P2 également semble être touché en fréquences et en amplitude ; sa fréquence est plus élevée que P2 de l'orale dans tous les cas, son amplitude diminue de 5 dB dans la production des locuteurs français et augmente de 2 dB dans celle des anglo-américains. La corrélation entre P2 et la position de la langue pourrait influencer l'interprétation de cet indice acoustique, l'articulation de la voyelle [ɑ] nasalisée semblerait plus antérieure en contexte nasal (CVN) qu'en contexte oral (CV), mais cet effet peut également être dû à la position de la voyelle dans la syllabe, ouverte ou fermée.

Table 3 : Fréquences et amplitude des deux premiers pics spectraux proéminents pour les 11 locuteurs français à gauche, et les 11 anglo-américains à droite.

	Fréq. (Hz)		Ampl. (dB)			Fréq. (Hz)		Ampl. (dB)	
[ɑ]	Moy.	σ	Moy.	σ	[ɑ]	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	680	63,9	58	8,3	P1	671	44,1	56	7,2
P2	1210	89,7	55	10	P2	1164	113,3	51	6,2
[ɑ] nas	Moy.	σ	Moy.	σ	[ɑ] nas	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	686	79,9	53	8,8	P1	700	85,3	51	4,3
P2	1307	150,4	50	6,3	P2	1380	137,7	53	6,1
[ɑ̃]	Moy.	σ	Moy.	σ	[ɑ̃]	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	425	107,1	52	7,2	P1	523	189,1	54	6,8
P2	760	131,4	55	6,1	P2	808	116,5	53	5,7
[o]	Moy.	σ	Moy.	σ	[o]	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	371	23,0	57	5,4	P1	395	30,1	55	3,7
P2	773	93,2	50	7,7	P2	792	30,1	49	5,3
[o] nas	Moy.	σ	Moy.	σ	[o] nas	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	381	44,9	53	6,1	P1	412	51,5	52	3,8
P2	765	107,1	51	7,1	P2	803	54,6	48	3,8
[ɔ̃]	Moy.	σ	Moy.	σ	[ɔ̃]	Moy.	σ	Moy.	σ
P1	310	52,2	50	6,0	P1	396	64,6	52	3,4
P2	603	104,7	50	7,3	P2	771	94,6	50	5,4

3.3. Aspects temporels de la nasalisation

Nous avons calculé le pourcentage de la durée du segment nasalisé sur la totalité des voyelles phonétiquement nasalisées. En effet, la présentation en parallèle du signal oral (en dessous) et du signal nasal (au-dessus) nous a permis de visualiser indirectement le moment (anticipé) à partir duquel le voile du palais s'abaisse pour produire la consonne nasale, dans une syllabe CVN. La figure 1 est un exemple représentatif de la production d'une telle syllabe par un locuteur français. La figure 2 montre le cas de la production d'un locuteur américain, tout aussi représentatif des moyennes qui sont les suivantes : pour les locuteurs français : 50% de la

voyelle [a] est nasalisée, contre seulement 21% de la voyelle [o]. Les voyelles orales en contexte nasal semblent d'autant plus nasalisées suivant leur degré d'ouverture [Str79]. Pour les locuteurs américains, 100% des deux voyelles sont nasalisées, ils reproduisent la même articulation que dans leur langue maternelle.

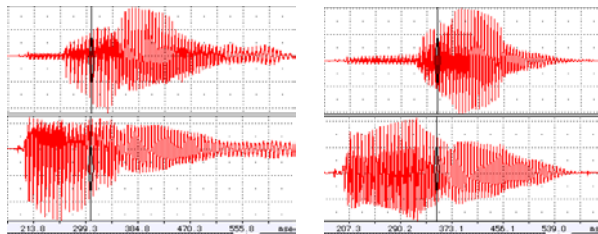


Figure 1 : Signal nasal, en haut et signal oral, en bas, du mot « panne », à gauche, et « paume », à droite, prononcés par un locuteur français

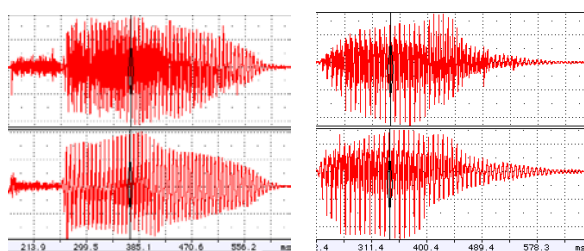


Figure 2 : Signal nasal, en haut et signal oral, en bas, du mot « panne », à gauche, et « paume », à droite, prononcés par un locuteur américain

4. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont une double portée et viennent confirmer des recherches antérieures ([Zer84], [Zer92]). Du point de vue phonétique, l'articulation des voyelles nasales postérieures du français nécessitent un ajustement labial qui pourrait remettre en cause la notation de l'API (Alphabet Phonétique International) pour ces voyelles. On pourrait proposer une notation à l'aide d'un diacritique exprimant l'articulation arrondie et protruse, plutôt que d'invertir une notation déjà existante de l'API, ce qui risquerait d'entraîner trop de confusions. Du point de vue phonologique, la description en termes de traits d'arrondissement, par l'opposition [\pm round] ne semble pas être adaptée au français qui distingue non pas deux mais trois degrés de labialité. Dans une étude comparative des voyelles du français et de l'anglo-américain, [Zer92] propose 3 degrés de labialité pour celles du français [-lab] pour [i, e, ɛ, a, ɛ̃] [+lab] pour [œ, ɔ, ɑ̃, œ̃] et [++lab] pour [y, ø, u, o, ɔ̃].

De plus, du point de vue didactique, les résultats de cette étude contrastive ont montré d'une part, que pour éviter la confusion entre voyelles nasalisées et voyelles nasales, l'articulation des premières nécessitent un certain contrôle de l'abaissement anticipé du voile du palais. D'autre part, l'articulation des voyelles nasales postérieures du français, qui requière un ajustement labial pour les différencier, n'est pas réalisée dans la production des locuteurs anglo-américains. Les méthodes

d'apprentissage de la prononciation des voyelles nasales du français, pour des locuteurs américains apprenants, devraient tenir compte de ces résultats au niveau labial, la pédagogie devrait être davantage adaptée (la voyelle nasale [ɑ̃] étant communément décrite comme non-arrondie.) et insister sur le caractère labial nécessaire à l'articulation de ces deux voyelles nasales postérieures du français.

BIBLIOGRAPHIE

- [Del66] DELATTRE P., 1966. *Studies in French and Comparative Phonetics*. Mouton & co, p. 243-275
- [Fen96] FENG G. et CASTELLI E., 1996. Some acoustic features of nasal and nasalized vowels: A target for vowel nasalisation. *J. Acoust. Soc. Am*, 99 (6), p. 3694-3706.
- [Fro64] FROMKIN V., 1964. Lip positions in American English Vowels. *Language and Speech*, 7, p. 215-225.
- [Lad79] LADEFOGED P., 1979. Articulatory parameters. Status Report in Proceeding of the Ninth International Congress of Phonetic Sciences, Copenhagen, p.41-47.
- [Mae82] MAEDA S., 1982. Acoustic cues of vowel nasalization: A simulation study, *J. Acoust. Soc. Am*, Suppl. 1 72, S102.
- [Str79] STRAKA G., 1979. Remarques sur les voyelles nasales du français, leur origine et leur évolution en français, *Les sons et les mots. Choix d'études de phonétique et de linguistique*. Paris, Klincksieck, p. 501-531.
- [Tra92] TRANEL B., 1992. *The Sound of French, an introduction*. Cambridge University Press.
- [Tro95] TRONNIER M., 1995. A method for tracing nasality. *ICPhS*, Stockholm.
- [Zer84] ZERLING J-P., 1984. Phénomènes de nasalité et de nasalisation vocaliques : étude cinéradiographique pour deux locuteurs ; *Travaux d l'Institut de Phonétique de Grenoble*, n°16-pp. 241 à 266.
- [Zer92] ZERLING J-P., 1992. Frontal lip shape for French and English vowels. *Journal of phonetics*, 20, p.3-14.