

Nasalité consonantique et coarticulation : étude perceptive

Tiphaine Ouvaroff, Solange Rossato

Institut de la Communication Parlée
Université Stendhal - 1180, Avenue Centrale, BP 25, 38040 GRENOBLE CEDEX 9
Tél. +33 (0)4 76 82 43 37
Tiphaine.Ouvaroff@icp.inpg.fr, Solange.Rossato@icp.inpg.fr

ABSTRACT

This paper investigates the coarticulation of consonantal nasality from a perceptive point of view. The aim of this study is to determine in CV utterances to which extent the consonant is perceived in the following vowel and compare these perceptual boundaries between oral and nasal consonants. Results show that, although the vowel is actually nasalized (low velum and consistent nasal air flow), the listeners don't attribute the nasalization of the vowel to the presence of a nasal consonant. After the release, the nasal feature of the consonant is lost, only the place of articulation is perceived until 60 ms after the release.

1. INTRODUCTION

De nombreuses études se sont intéressées au phénomène de coarticulation de la nasalité (entre autres Krakow & Beddor [4], Krakow et al. [5], Abramson et al. [1]) : il est avéré que les voyelles en contexte de consonne nasale sont nasalisées par effet de propagation du trait nasal de la consonne. Des enregistrements réalisés au sein de l'ICP nous ont permis d'observer le phénomène de coarticulation de la nasalité d'un point de vue articulatoire et aérodynamique, et cette étude perceptive se place dans la continuité de ces travaux.

Des mesures EMA (Articulographie Electro-Magnétique) réalisées en 2002 nous ont permis d'évaluer d'un point de vue articulatoire le phénomène de coarticulation consonantique de la nasalité, grâce à des données quantitatives quant à l'abaissement vélaire (Rossato et al. [8]). Dans des séquences de type NV, nous avons pu observer une coarticulation progressive de la consonne nasale sur la voyelle orale. La figure 1 montre la trajectoire vélaire durant un segment VNV : le velum reste abaissé au même niveau que la consonne nasale durant toute la durée de la voyelle, cette hauteur étant dépendante de la hauteur de la voyelle.

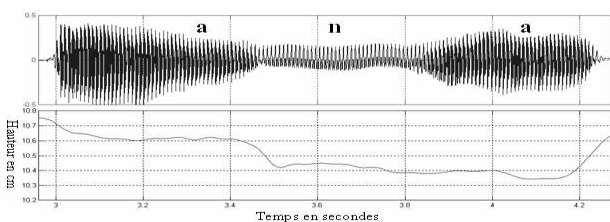


Figure 1 : Trajectoire du velum dans l'axe des Y (en bas) synchronisée au signal acoustique pour un segment [ana].

Des enregistrements aérodynamiques EVA réalisés en 2003 sur le même corpus et pour le même locuteur, ont permis l'observation d'un débit nasal important dans la voyelle suivant la consonne nasale (Ouvaroff [6]). Ce débit nasal n'est pas réservé exclusivement au [a] : les voyelles fermées [i], [y] et [u] attestent un débit nasal élevé (Figure 2), d'ailleurs supérieur à celui des voyelles nasales.

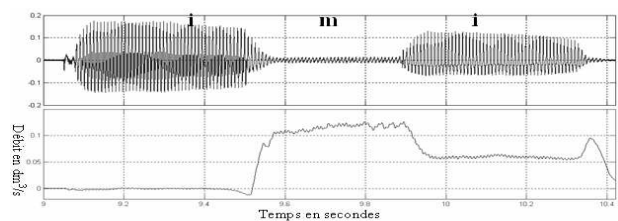


Figure 2 : Débit nasal en dm^3/s (en bas) synchronisé au signal acoustique pour un segment [imi].

Plusieurs travaux ont étudié d'un point de vue perceptif le rapport entre la consonne nasale et la voyelle en contexte. Krakow & Beddor [4] observent que la voyelle orale [ɛ], nasalisée car placée en contexte consonantique nasal [mɛn], est perçue nasale même placée en contexte CVC ou #V#. Cette voyelle est même perçue plus nasalisée qu'en contexte approprié. La nasalisation de la voyelle modifie la perception de sa hauteur : les voyelles hautes sont perçues plus basses tandis que les voyelles basses sont perçues plus hautes (Wright [11]). Krakow et al. [5] ont montré pour des locuteurs américains que ce couplage nasal n'amène pas nécessairement à une mauvaise perception de la hauteur de la voyelle quand la nasalisation de cette voyelle provient d'un phénomène de coarticulation. D'autre part, la hauteur intrinsèque du velum dépend de la hauteur de la voyelle. Abramson et al. [1] a montré que cette hauteur vélaire de la voyelle affecte les frontières perceptives de la nasalité dans un continuum acoustique [d-n]. Il existe un rapport étroit en termes de perception entre la consonne et la voyelle, et c'est sur ce rapport que s'appuie notre test de perception de la nasalité consonantique.

Il s'agit de définir, dans des séquences de type CV, les 'frontières perceptives' de la coarticulation. En Français qui oppose voyelle orale et voyelle nasale, la nasalisation par contexte de la voyelle est-elle attribuée à un phénomène de coarticulation ? Peut-on retrouver ainsi le trait nasal de la consonne précédente ? Pour cela, nous comparons les frontières perceptives de la coarticulation des consonnes [b d] versus [m n].

2. MÉTHODE

Nous avons donc réalisé un test perceptif comportant des stimuli de type 'backward gating', utilisé précédemment par Smits [9] et Pols & Schouten [7] dans leur étude sur la perception des consonnes.

2.1. Stimuli

Les signaux utilisés proviennent d'enregistrements EMA réalisés en 2002 au sein du laboratoire (dispositif EMA Carstens AG100) pour lesquels nous disposons des trajectoires des articulateurs (y compris le velum). Dans ce corpus, des séquences de la forme CV ont été sélectionnées, où C = [b d m n] et V = [a i u]. La sélection des séquences s'est faite sur la qualité acoustique du signal et sur sa régularité. Les stimuli ont été extraits par technique de gating, procédé consistant à dévoiler le signal par étapes, grâce au logiciel PRAAT. La découpe s'est faite par rapport à l'instant de relâchement acoustique de la consonne (noté '(0)'), et ce par tranches de 20 ms environ (les stimuli sont découpés au passage par zéro le plus proche). 10 stimuli ont été ainsi extraits pour chaque séquence CV : le premier a son onset 60 ms avant le relâchement de la consonne (un pré-test nous a montré que nous avons une bonne identification de la consonne) et le dernier 120 ms après le relâchement (fin des transitions formantiques). Un exemple de ce découpage est donné en Figure 3. L'offset est fixe et se situe à la fin de la partie stable de la voyelle. Nous avons des stimuli de durée variable. Notre test comporte au final (10 tranches x 4 consonnes x 3 voyelles) = 120 stimuli CV. Des stimuli de la forme VC ont également été découpés et utilisés dans le test de perception, mais sont pour l'instant en cours d'analyse.

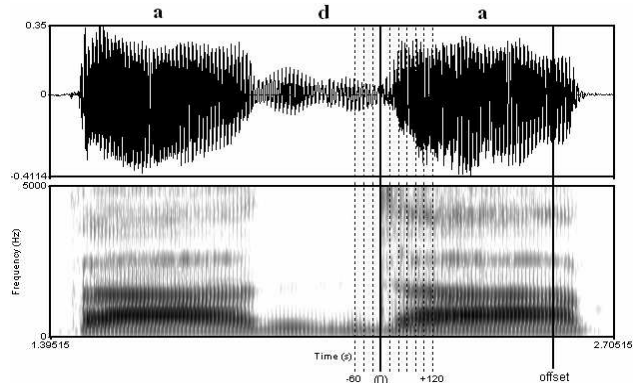


Figure 3 : Exemple de découpe des stimuli d'une séquence [ada] par technique de 'backward gating' : 10 pas de gating à offset fixe et à onset variable, de 60 ms avant jusqu'à 120 ms après le relâchement de la consonne (0).

2.2. Procédure

Le test perceptif a été implémenté grâce au logiciel Dreamcard Revolution et se divise en trois parties correspondant aux trois voyelles [a i u]. La consigne donnée au sujet est la suivante : « Déterminer la consonne que vous entendez avant la voyelle, sachant qu'elle a été coupée. » Le sujet a le choix entre 5 réponses fermées : [b] [d] [m] [n] et {aucune consonne} dans le cas où la consonne n'est pas perçue par le sujet.

2.3. Sujets

16 sujets ont participé au test perceptif, mené au sein du laboratoire de l'ICP. Tous les sujets sont des français natifs, exceptés deux, de nationalité américaine et syrienne : leurs résultats ont été exploités étant donné que leur langue comporte les oppositions consonantiques labiale/dentale et orale/nasale.

3. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'analyse des résultats des tests de perception se fait en termes de taux d'identification correcte des consonnes [b d m n], et des éventuelles différences selon le mode et le lieu de la consonne. Les taux d'identification correcte en fonction du gating sont modélisés par une régression logistique binaire 'logit' (obtenue grâce à SPSS), qui permet de déterminer la 'frontière perceptive' (seuil de 50 % de la courbe 'logit').

3.1. Identification correcte de la consonne dans la voyelle : mode et lieu

Les taux d'identification correcte des consonnes en fonction du pas de gating sont représentés Figure 4 pour les quatre consonnes.

Contraste de mode

Les courbes d'identification correcte sont significativement différentes entre les consonnes orales et nasales ($p < 0,001$). Les frontières perceptives des consonnes nasales se situent au niveau du relâchement de l'occlusion (+4,8 ms pour [m], +2,2 ms pour [n]). Concernant les consonnes orales, les frontières perceptives se situent 42,2 ms après le relâchement pour le [b] et 54,3 ms pour le [d]. L'interaction entre le mode et le pas de gating n'est pas significative : les courbes d'identification correcte des consonnes orales vs nasales ont des pentes similaires et sont décalées en fonction du gating.

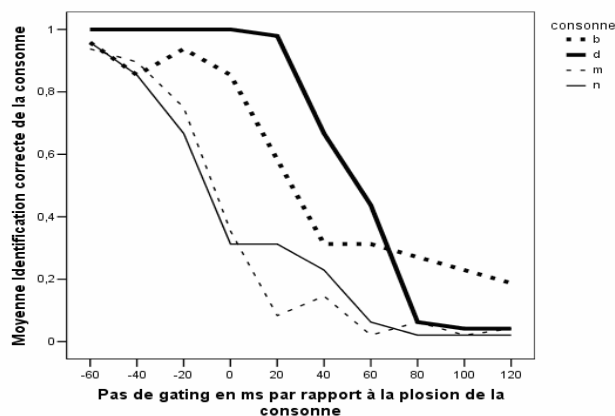


Figure 4 : Pourcentage d'identification correcte des consonnes [b d m n], en fonction du pas de gating (temps en ms par rapport au relâchement de la consonne (0)).

Nous pouvons donc dire au vu de nos résultats que les effets de coarticulation, en termes d'abaissement du velum et de débit nasal, ne permettent pas aux sujets d'attribuer la nasalisation de la voyelle à la présence d'une consonne nasale en contexte gauche.

Contraste de lieu

Le lieu d'articulation des consonnes est pertinent : les courbes d'identification correcte sont significativement différentes selon le lieu d'articulation de la consonne, et il y a une interaction significative entre le mode oral/nasal et le lieu labial/coronal ($p < 0,001$). En effet, cette différence de lieu n'est significative qu'en contexte de consonne orale [b d] ($p < 0,001$) : la frontière perceptive de la consonne coronale [d] est située environ 12,1 ms plus tard que celle de la consonne labiale [b]. Il existe pour les consonnes orales une interaction entre le lieu et le pas de gating : la courbe 'logit' qui modélise le taux d'identification correcte des coronales a une pente plus raide que celle des labiales. Aucun différence significative n'est trouvé entre les taux d'identification correcte du [m] et du [n] : le lieu n'est pas pertinent dans la perception de la consonne nasale précédente, contrairement au cas des consonnes orales.

3.2. Perception de la présence d'une consonne : les confusions en termes de traits d'articulation

En plus de l'identification correcte de la consonne, nous nous sommes intéressés à la perception d'une consonne quelle qu'elle soit (toutes réponses sauf [aucune consonne]). La Table 1 indique pour chaque consonne [b], [d], [m] et [n] les frontières perceptives des courbes d'identifications correctes et celles des courbes de la perception d'une consonne. Il y a un laps de temps de 20 ms à 30 ms durant lequel une consonne est perçue, mais les traits de mode ou de lieu d'articulation ne sont plus correctement identifiés. Quelles sont les types de confusions opérées durant cet intervalle ?

Table 1 : Frontières d'identification correcte et de perception d'une consonne quelconque pour les consonnes [b d m n] (par rapport au burst).

	[b]	[d]	[m]	[n]
Identification correcte de la consonne	42,2 ms	54,3 ms	4,8 ms	2,2 ms
Perception d'une consonne quelconque	62,9 ms	77,9 ms	26,4 ms	35,1 ms

Notons tout d'abord que cet intervalle ne correspond pas au même pas de gating suivant la consonne : pour un pas de gating 0 ms, nous sommes proches du seuil de 50% d'identification correcte pour les consonnes nasales tandis que les consonnes orales [b] et [d] sont correctement identifiées. Ainsi, une analyse des confusions au pas de gating 0 ms permet d'observer les confusions des consonnes [m] et [n] tandis qu'une analyse au pas de gating +40 ms nous renseigne sur les confusions des consonnes orales. La Table 2 présente les consonnes perçues à ces deux pas de gating : 0 ms et +40 ms.

Nous observons les consonnes nasales que le lieu est correctement identifié, les principales erreurs concernant le mode : la consonne [m] a tendance à être perçue [b] (35,4 % des réponses), le [n] perçu [d] (39.6 % des réponses) au pas de gating 0 ms, tandis que les consonnes orales montrent peu voire pas de confusion. On observe donc principalement une confusion de mode pour les consonnes nasales.

Au pas de gating de +40 ms, les consonnes nasales ne sont plus perçues dans la majorité des cas. Pour les consonnes orales, la consonne identifiée reste le plus souvent orale (pour le [d] notamment) ou bien aucune consonne n'est perçue (52.1 % des réponses pour le [b]). Les confusions portent plutôt sur une mauvaise perception du lieu d'articulation des consonnes orales.

Table 2 : Réponses en pourcentage données au pas de gating 0 ms et +40 ms

Gating		[b]	[d]	[m]	[n]	vide
0 ms	[b]	85.4	4.2	6.2	0	4.2
	[d]	0	100	0	0	0
	[m]	35.4	2.1	35.4	4.1	23
	[n]	0	39.6	0	31.2	29.2
40 ms	[b]	31.2	10.4	6.3	0	52.1
	[d]	27.0	66.7	0	2.1	4.2
	[m]	6.2	0	14.6	2.1	77.1
	[n]	10.4	4.2	2.1	22.9	60.4

Les résultats en terme de reconnaissance du lieu sont explicables simplement par le fait que l'intervalle de confusion pour les consonnes nasales se situe en début de la transition formantique (Figure 5) : comme l'ont montré, entre autres, Stevens & Blumstein [10], les premières 26 ms de la transition formantique permettent d'identifier le lieu d'articulation de la consonne. L'intervalle de confusion des consonnes orales se situe trop loin dans la transition pour que le lieu soit encore clairement identifiable, notamment pour le [d].

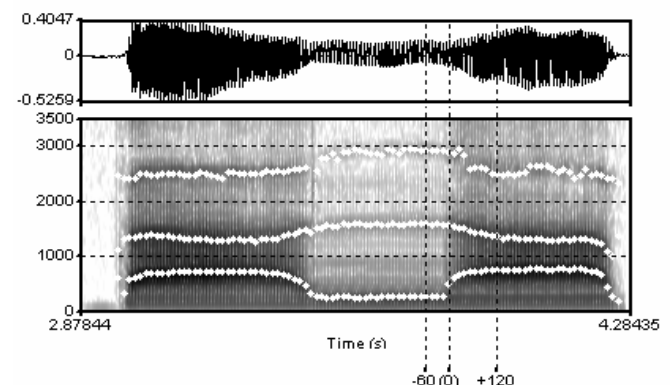


Figure 5 : Spectrogramme et contours formantiques de la séquence [ana] avec les pas de gating de -60ms et +120ms par rapport au relâchement du [n] (0).

Un fait des plus intéressants est que les consonnes nasales, avant de ne plus être perçues du tout, sont confondues avec leur consonne homorganique orale dès la disparition du murmure nasal. La nasalisation seule de la voyelle n'est pas suffisante pour identifier la nasalité de la consonne précédente : dès que la consonne est relâchée, la nasalisation de la voyelle n'est plus attribuée à un phénomène de coarticulation. Le même type de résultat a été montré par Beddor & Onsuwan [2] sur la perception des consonnes pré-nasalisées. Ils observent que dans une séquence [mbV] où le [b] inséré dure environ 27 ms, même si la voyelle est nasalisée à 100% les sujets perçoivent en majorité [mb] au lieu de [m] : la nasalisation de la voyelle n'est pas suffisante pour contrer une absence de murmure nasal. Entre 0 et 20 ms après le burst, l'indice de nasalité n'est pas suffisant pour identifier clairement la consonne nasale et l'indice de présence d'une consonne – matérialisé par les transitions formantiques – indique d'après nos résultats le lieu d'articulation de la consonne : le trait de lieu est alors maintenu, le [m] peut être perçu [b] et le [n] perçu [d].

4. CONCLUSION

La nasalisation de la voyelle n'est pas suffisante pour identifier le trait nasal de la consonne précédente une fois le murmure nasal disparu, tandis que le lieu d'articulation, porté par les transitions formantiques, reste perçu. Nous ne pouvons pas dire au vu de ce seul test que la voyelle n'est pas perçue nasalisée, seulement que cette nasalisation n'est pas attribuée à la consonne adjacente. La perception de la nasalisation serait donc à tester indépendamment de la consonne, d'autant plus que la langue française comporte l'opposition voyelle orale/voyelle nasale. Il serait intéressant d'extraire la voyelle nasalisée et l'observer dans d'autres contextes, à l'instar de Krakow & Beddor [4] : elles notent, de la même façon que Kawasaki [3], que la perception de la nasalité de la voyelle n'est pas favorisée par la présence adjacente de la consonne nasale. Une prochaine étape sera également d'observer la perception de la nasalité en fonction de la qualité de la voyelle.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Pierre Badin, notre locuteur pour les corpus aérodynamique et articulatoire, ainsi que Christophe Savariaux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. S. Abramson, P.W. Nye, J. Henderson and C.W. Marshall. Vowel height and the perception of consonantal nasality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70:329-339, 1981.
- [2] P.S. Beddor and C. Onsuwan. Perception of prenasalized stops. *Proceedings of 15th ICPHS*, Barcelona, Spain, 2003.
- [3] H. Kawasaki. Phonetic explanation for phonological universals: the case of distinctive vowel nasalization. In *Experimental Phonology*, Edited by J.J. Ohala, J.J. Jaeger, New York Academic Press, New York, NY, pages 81-103, 1986.
- [4] R.A. Krakow and P.S. Beddor. Coarticulation and the perception of nasality. In *Proceedings of 12th ICPHS*, Aix-en-Provence, France, volume 4, pages 38-41, 1991.
- [5] R.A. Krakow, P.S. Beddor, L.M. Goldstein and C. Fowler. Coarticulatory influences on the perceived height of nasal vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83:1146-1158, 1988.
- [6] T. Ouvaroff. Mesures aérodynamiques de la parole dans le cas des nasales. *Rapport de stage de maîtrise*, 2004.
- [7] L.C.W. Pols and M.E.H. Schouten. Identification of deleted consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64:1333-1337, 1978.
- [8] S. Rossato, P. Badin and F. Bouaouni. Velar movements in French: An articulatory and acoustical analysis of coarticulation. In *Proceedings of 15th ICPHS*, Barcelona, Spain, pages 3141-3144, 2003.
- [9] R. Smits. Human consonant recognition for initial and final segments of VCV utterances. In *Speech Hearing and Language*, Work in process 10, Department of Phonetics and Linguistics, University College London, UK, pages 115-136, 1998.
- [10] K.N. Stevens and S.E. Blumstein. Invariant cues for place of articulation in stop consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64:1358-1368, 1978.
- [11] J.T. Wright. Effects of vowel nasalization on the perception of vowel height. In *Nasalfest : Papers from a Symposium on Nasals and Nasalization*. Edited by C.A. Ferguson, L.M. Hyman and J.J. Ohala, Language Universals Project, Stanford University, Stanford, CA, pages 373-388, 1975.