

La perception des voyelles nasales du français

Véronique Delvaux*, Didier Demolin[†], Alain Soquet[#], John Kingston[§]

*Laboratoire de Phonétique, Université de Mons-Hainaut, 18, Place du Parc, 7000 Mons, Belgique,

[#]Laboratoire de Phonologie, Université Libre de Bruxelles, [†]CNPQ/Universidade de São Paulo,

[§]Phonetics laboratory, Linguistics Department, University of Massachusetts, Amherst.

Mail: Veronique.Delvaux@umh.ac.be

ABSTRACT

The acoustic properties of French nasal vowels differ strongly from those of their oral counterpart. Nasal coupling induces a general damping of energy, and complementary articulations (lip rounding, tongue retraction) lead to the lowering of F2.

This study concerns identification and discrimination perceptual experiments that have been run (i) to test the relevance of these acoustic cues for the detection of the [nasal] contrast; (ii) to address the issue of the perceptual integration (vs independence) of the acoustic dimensions. Results show that the differences in the oral articulations are as much a part of the contrast as the soft palate lowering. Moreover, the covariation of nasal coupling and oral articulations largely increases the perceptual distance between vowels for French listeners.

1. INTRODUCTION

Production des voyelles nasales

Les propriétés articulatoires et acoustiques des voyelles nasales du français sont particulièrement complexes. Tout d'abord, les conséquences acoustiques du couplage nasal sont multiples, et varient entre autres avec le locuteur, la voyelle, et la taille du couplage. On peut néanmoins décrire acoustiquement la nasalité comme une diminution généralisée de l'énergie, en particulier sous 1000 Hz, et entre 2000 et 3000 Hz, c'est-à-dire dans les régions de F1 et F3. Ainsi, une voyelle nasale est *plus compacte* que l'orale correspondante [1]. Mais l'implémentation phonétique du trait phonologique de nasalité en français implique d'autres modifications articulatoires, telles que l'arrondissement des lèvres et le recul de la langue dans le pharynx. En conséquence, les voyelles nasales ont un F2 plus bas que leur contrepartie orale ; dans certains cas la fréquence de F2 est plus élevée, mais son énergie est si faible que la voyelle peut être décrite globalement comme *plus grave* que l'orale correspondante [1,2,3].

Expériences perceptuelles

Nous nous consacrons dans cette étude à la perception du contraste de nasalité pour les voyelles du français. En menant deux séries d'expériences perceptuelles, des expériences d'identification et de discrimination, nous poursuivons un double objectif. Tout d'abord, nous voulons tester la pertinence des indices acoustiques cités ci-dessus en tant qu'indices perceptuels de la nasalité. Une description adéquate des propriétés acoustiques des

nasales ne permet en effet pas de préjuger des indices effectivement utilisés par les auditeurs lorsqu'ils doivent juger de la nasalité d'une voyelle. La diminution fréquentielle de F2 est-elle une propriété acoustique négligeable ou nécessaire à la perception d'une nasale ? Ensuite, nous examinerons les relations entretenues par les différentes propriétés acoustiques au niveau perceptuel : sont-elles partiellement, totalement ou pas du tout intégrées perceptuellement ? La question de l'intégration des dimensions acoustiques, en perception, est liée à celle du rôle joué, en production, par la covariation du couplage nasal avec les articulations complémentaires.

Stimuli

Les stimuli sont communs aux deux séries d'expériences. Il s'agit d'items C1VC2, où C1 [m,t] et C2 [t] sont des consonnes prononcées en parole naturelle, et V [a/ã,ε/ẽ,ɔ/õ] est une voyelle synthétisée par nos soins [4]. La figure 1 illustre le principe de construction de nos continums orale/nasale :

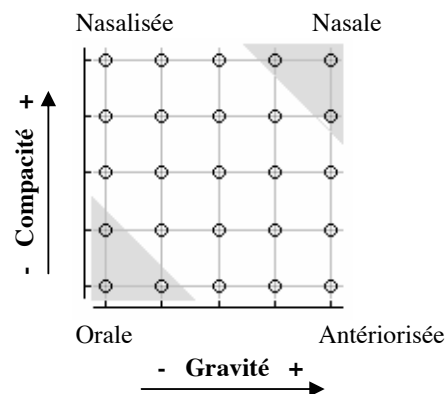


Figure 1. Espaces de stimuli à deux dimensions

Chaque voyelle synthétique appartient à un espace acoustique à deux dimensions de cinq pas chacune. Soient (x,y), les coordonnées de la voyelle dans l'espace cartésien ainsi défini. En fonction des résultats obtenus en production de la parole, et au cours d'une expérience pilote [3], nous avons sélectionné les deux dimensions suivantes : en abscisse, la Gravité, soit la fréquence de F2, qui varie entre la fréquence de l'orale (1,y) et celle de la nasale correspondante (5,y) ; en ordonnée, la Compacité : entre les orales (x,1) et les nasalisées (x,5), on procède à une augmentation de la bande passante en F1 (de 100 à 250 Hz), à une diminution en F2 (de 115 à 85 Hz) et à une augmentation de la bande passante en F3, d'une telle ampleur qu'il finit par disparaître (BF3=500 Hz).

2. EXPERIENCES D'IDENTIFICATION

Méthode

18 sujets ont participé à ces expériences, répartis en 3 groupes de 6 auditeurs par voyelle. La tâche d'identification consistait à répondre à une question du type : « Quel mot avez-vous entendu ? 'tâte' ou 'tante' ? ». Les mots sont donnés dans la table 1.

Table 1. Alternatives pour la tâche d'identification

	CVC		NVC	
a	“tâte”	/tat/	“mate”	/mat/
	“tante”	/tãt/	“menthe”	/mãt/
ɛ	“tête”	/tet/	“mette”	/mɛt/
	“teinte”	/tẽt/	“mainte”	/mẽt/
ɔ	“cote”	/kɔt/	“motte”	/mɔt/
	“compte”	/kõt/	“monte”	/mõt/

Au cours de la phase d'entraînement, les six stimuli situés aux deux extrémités du continuum (les stimuli sur fond gris dans la figure 1) ont été présentés chacun trois fois en ordre aléatoire. Un feedback avec la réponse attendue était donné. Durant la phase de test, chaque stimulus d'un continuum donné a été présenté 20 fois, le tout dans un ordre aléatoire et sans feed-back.

La figure 2 donne les fonctions d'identification, qui représentent l'évolution de la proportion de réponses 'nasale' chez les 6 sujets en fonction de la valeur du stimulus le long des deux dimensions acoustiques.

Résultats

Les fonctions d'identification obtenues montrent que les auditeurs utilisent l'information en provenance des deux dimensions acoustiques, de Gravitité et de Compacité, lorsqu'ils jugent de la nasalité d'une voyelle. Une voyelle très compacte uniquement (de Compacité 5 sur la courbe noire) n'atteint au mieux qu'un taux moyen de .65 de réponses « nasales ». L'augmentation de la Gravitité de la voyelle est une condition tout aussi nécessaire à l'identification correcte d'une nasale par nos auditeurs.

D'autre part, lorsque les deux dimensions sont combinées, les performances des auditeurs sont excellentes. Le taux d'identification nasale varie entre 0.0 et 1.0 dans cinq conditions sur six. Ceci signifie que nous avons identifié avec succès les dimensions acoustiques à la fois nécessaires et suffisantes à l'identification de la nasalité pour les voyelles du français.

Enfin, on remarque une différence dans les réponses des auditeurs selon que la voyelle à identifier est précédée d'une consonne orale [t,k] ou d'une nasale [m]. Dans les items NVC, les voyelles compactes uniquement sont moins souvent identifiées comme des nasales que dans les items CVC. Par contre, les voyelles très compactes et très graves sont ici aussi identifiées comme nasales dans presque 100% des cas. Ces deux observations signifient qu'en contexte nasal, l'identification de la nasalité repose plus sur la Gravitité de la voyelle qu'en contexte oral.

3. EXPERIENCES DE DISCRIMINATION

Méthode

Les sujets de l'expérience sont les mêmes que précédemment. Le paradigme utilisé est une adaptation [3] du paradigme développé par Macmillan et al. [5] pour étudier l'intégration perceptuelle de dimensions acoustiques covariantes. Il est schématisé dans la figure 3. Un sous-ensemble de 3*3 stimuli est sélectionné par continuum (uniquement pour les items CVC). A l'intérieur de ce sous-ensemble, toutes les paires de stimuli adjacents font l'objet d'une tâche de discrimination.

Au cours de la phase d'entraînement, l'auditeur apprend à assigner à l'un des stimulus la réponse '1' et à l'autre la réponse '2'. Les deux stimuli sont présentés dix fois chacun dans un ordre aléatoire, et un feedback est donné avec la réponse correcte. Au cours de la phase de test, les stimuli sont présentés 40 fois chacun, avec feedback.

Les performances sont converties en un index possédant des propriétés de distance, le d' . On introduit ensuite les différentes valeurs de d' obtenues pour les six paires d'un même quadrant (voir fig.3) dans une procédure de proportionnalisation multidimensionnelle (INDSCAL). Cette procédure permet de reconstruire géométriquement, à partir des données de l'expérience, l'espace perceptuel correspondant chez nos auditeurs à l'espace acoustique des stimuli. Dans cet espace perceptuel, nous mesurons l'angle θ comme indiqué sur la figure 3. L'angle θ donne une mesure de l'éventuelle intégration perceptuelle des dimensions acoustiques de Gravitité et de Compacité.

Résultats

Les moyennes des valeurs prises par θ (en degrés) pour les six sujets sont données dans la table 2.

Table 2. Moyennes des valeurs de θ . Stimuli CVC.

	Quadrant				Moyenne
	A	B	C	D	
a/ã	115.7	143	102	105	116.4
ɛ/ẽ	132.7	130.5	147.2	126.7	134.3
ɔ/õ	154.5	116.5	168.5	126.5	141.5
USA	127	99	78	127	108

Dans tous les cas, les moyennes des valeurs enregistrées pour l'angle θ sont supérieures à 90°, indiquant une tendance nette à l'intégration positive. Cela signifie que dans l'espace perceptuel correspondant à l'espace acoustique des stimuli, les dimensions de Compacité et de Gravitité ne sont pas orthogonales. La perception de la valeur d'un stimulus le long de l'une des dimensions influence automatiquement sa valeur perçue le long de l'autre dimension. En l'occurrence, les stimuli les plus compacts sont automatiquement perçus comme plus graves, et vice-versa. Ainsi, une voyelle postériorisée est automatiquement perçue comme plus nasalisée par les auditeurs francophones. La covariation des dimensions de

Gravité et de Compacité, observée en production de la parole, augmente la distance perceptuelle entre les voyelles qui s'opposent phonologiquement du point de vue de la nasalité.

4. DISCUSSION

Les résultats des expériences perceptuelles de discrimination et d'identification sont convergents ; ils sont également cohérents avec nos observations précédentes concernant la production des voyelles nasales du français [1,2,3].

En ce qui concerne la validité des indices acoustiques sélectionnés pour la perception de la nasalité, les expériences d'identification démontrent que tant la dimension acoustique de Compacité que celle de Gravité sont nécessaires pour qu'une voyelle soit considérée comme nasale. Le couplage nasal seul (Compacité) ne suffit pas à définir le contenu phonétique de la spécification [+nasale] pour une voyelle du français. Les modifications articulatoires complémentaires, pour variées qu'elles soient, partagent une caractéristique acoustique commune, l'abaissement fréquentiel de F2, qui fait partie de l'information recherchée par l'auditeur quant il a à juger si une voyelle est nasale ou pas.

Pourquoi les voyelles nasales du français ont-elles évolué dans cette direction ? Pourquoi abaisser la fréquence de F2 ? Il est peu crédible que les modifications articulatoires en cause soient une conséquence automatique de l'abaissement du voile du palais. Elles font donc partie du programme du locuteur lorsqu'il prononce une nasale. Faut-il dès lors situer ces modifications dans la phonologie du français, la spécification [+nasale] impliquant par exemple une spécification [+arrière] ? Nous ne le pensons pas. Même si / $\bar{\epsilon}$, $\bar{\alpha}$ / sont postériorisées par rapport à / ϵ , α /, elles n'en restent pas moins des antérieures au point de vue phonologique, et s'opposent par là à la postérieure / $\bar{\delta}$ /.

Nous pensons que ces phénomènes trouvent une description plus adéquate dans le cadre de l'hypothèse du contrôle phonétique développée par Kingston et Diehl [6]. Ces auteurs considèrent que l'implémentation phonétique des représentations phonologiques est une opération contrôlée, qui vise à optimiser les réalisations phonétiques, tant du point de vue de leur production par le locuteur que de leur réception par l'auditeur. Les contraintes phonétiques fournissent uniquement le cadre limitant le champ des productions possibles mais ne permettent pas de les prédire. Ainsi, la variation des voyelles le long de la dimension de Gravité, en plus de la variation en Compacité, pourrait être le fruit d'une stratégie contrôlée de la part des locuteurs francophones. De cette façon, les voyelles nasales seraient mieux différenciées de leurs homologues orales. Cela est notamment crucial dans le cas où les orales sont contextuellement nasalisées, comme dans les items NVC ci-dessus. Nous avons observé que pour ces items, les

auditeurs utilisent plus la dimension de Gravité pour choisir si une voyelle est nasale ou non.

Cependant, toute modification articulatoire (donc acoustique) commune aux nasales peut servir à les différencier des orales. Pour affirmer que l'hypothèse de Kingston et Diehl s'applique ici dans sa version la plus forte, il faut montrer que la Gravité a été sélectionnée parmi d'autres candidats *parce qu'elle aidait à une meilleure perception de la Compacité*. C'est ce que les résultats des expériences de discrimination démontrent pour les auditeurs francophones : en dehors de toute autre considération, un stimulus plus grave est automatiquement perçu comme plus compact, et vice versa. Mais s'agit-il ici d'une caractéristique préexistante du système auditif humain, dont les francophones tirent profit lorsqu'ils font covarier nasalité et postériorisation ? Ou bien est-ce au contraire l'expérience qu'ils ont de cette covariation dans leur propre langue qui a modelé le système perceptuel des francophones précisément dans cette direction ?

Afin de répondre à cette question, nous avons mené des expériences d'identification et de discrimination auprès de dix auditeurs anglophones américains, sur les continuums $\bar{\alpha}/\bar{\delta}$ (stimuli CVC). Les fonctions d'identification (voir fig. 4) montrent d'abord que la Compacité est un bon candidat dans la recherche d'une signature acoustique « universelle » du couplage nasal (indépendamment de la langue, de la voyelle, du locuteur, etc.). De plus, la Gravité aide à la perception de la nasalité pour les auditeurs anglophones, alors que les voyelles nasalisées de l'anglais américain ne sont pas plus postérieures que leurs équivalentes non nasalisées. Les résultats des expériences de discrimination, donnés dans la table 2, confirment l'existence d'une légère, mais réelle, intégration perceptuelle positive de la Gravité et de la Compacité pour les auditeurs américains ($\theta_{\text{moy}} = 108^\circ$).

Bien que ces résultats demandent à être confirmés pour d'autres voyelles et d'autres langues, nous concluons donc que la covariation, observée en français, entre couplage nasal et postériorisation (ou arrondissement), c'est-à-dire entre Compacité et Gravité, pourrait avoir été sélectionnée dans le cadre d'une stratégie d'implémentation phonétique contrôlée, parce qu'elle augmente la distance perceptuelle entre nasales et orales correspondantes.

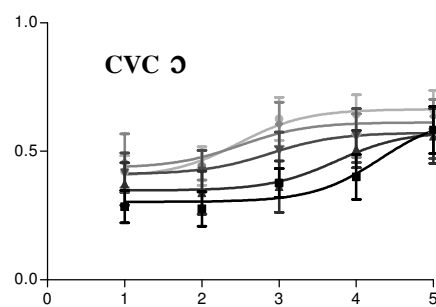


Figure 4. Fonctions d'identification pour les 10 auditeurs américains. Items CVC $\bar{\alpha}$. Légende : voir Fig.3.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] V. Delvaux, T. Metens, A. Soquet. French nasal vowels: articulatory and acoustic properties. Proceedings of the 7th ICSLP, Denver, 1, 53-56, 2002.
- [2] V. Delvaux, T. Metens, A. Soquet. Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du français. XXIV^{èmes} Journées d'étude sur la parole, Nancy, 2002, 1, 348-352.
- [3] V. Delvaux. Contrôle et connaissance phonétique : les voyelles nasales du français. Thèse de doctorat non publiée, Université Libre de Bruxelles, 2003.
- [4] D.H Klatt. Software for a Cascade/Parallel Formant Synthesizer. *Journal of the Acoustical Society of America*, 67, 971-995, 1980.
- [5] Macmillan, N.A., Kingston, J., Thorburn, R., Dickey, A.W. et Bartels, C. Integrality of nasalization and F1. II. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106,5, 2913-2932, 1999.
- [6] Kingston, J. et Diehl, R. L.. Phonetic Knowledge. *Language*, 70, 3, 419-453, 1994.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au soutien du FNRS.

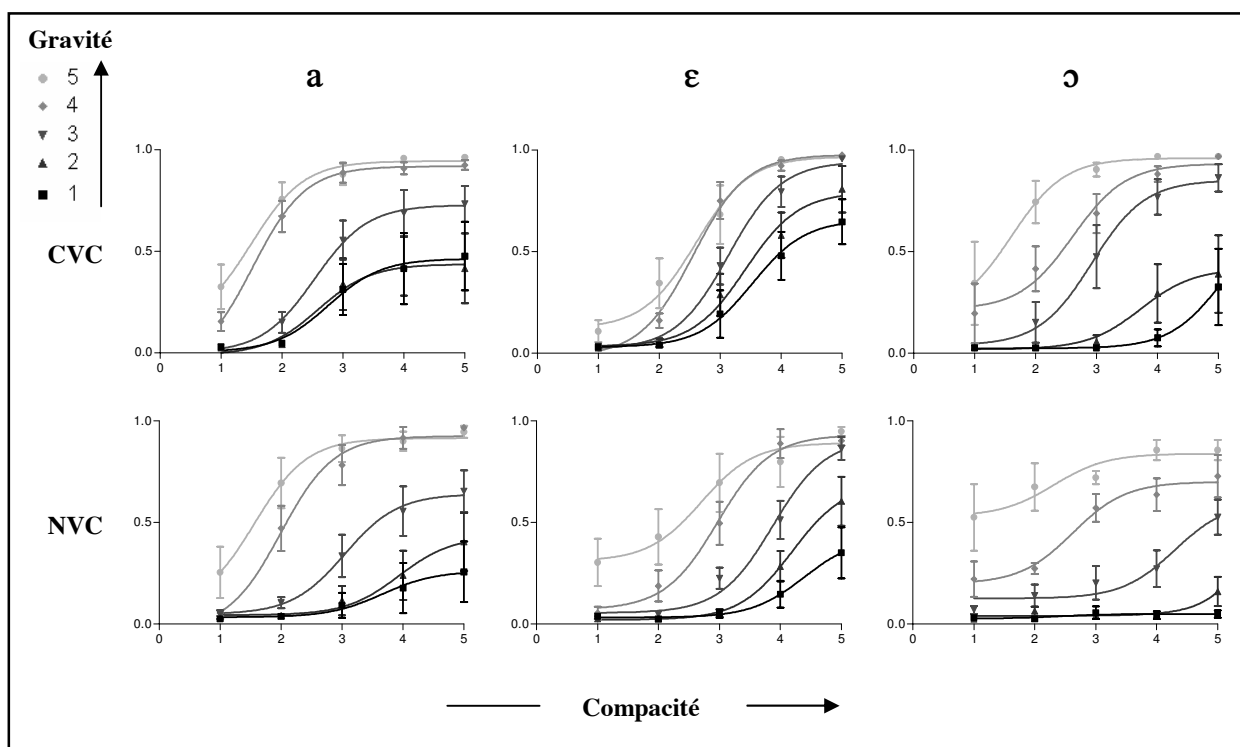


Figure 2. Fonctions d'identification pour 6 auditeurs par voyelle : proportion de réponses 'nasale' en fonction du degré de Compacité (en abscisse) et de Gravité (dégradés de gris) de la voyelle synthétique.

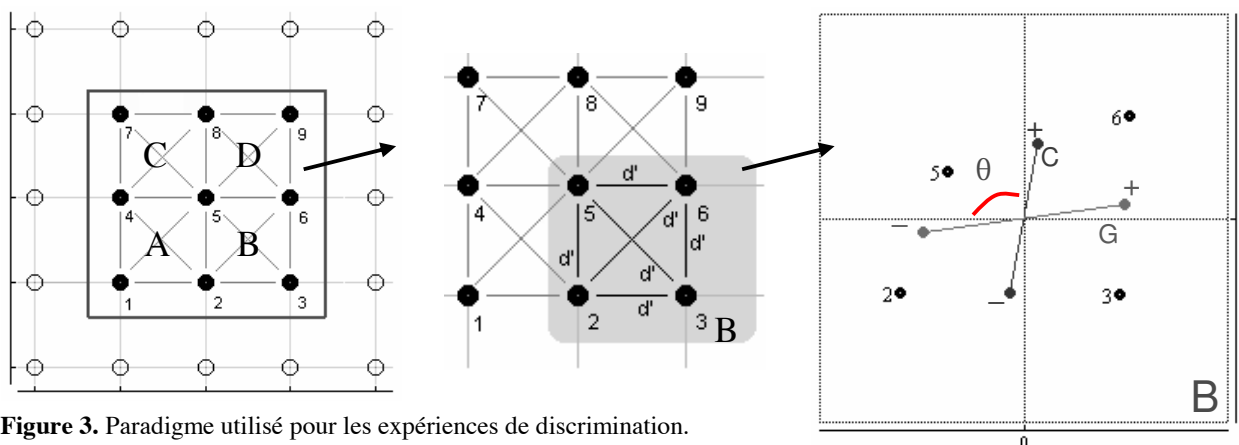


Figure 3. Paradigme utilisé pour les expériences de discrimination.