

# Etude aérodynamique de la nasalité en français

Véronique DELVAUX

Aspirant F.N.R.S au Laboratoire de Phonologie

Université Libre de Bruxelles - Belgique

Tél.: +32 2 650 20 18 - Fax: +32 2 650 20 07

Mail: vedelvau@ulb.ac.be - http://www.ulb.ac.be/philo/phonolab

## ABSTRACT

This paper presents data about the aerodynamic parameters of French nasality. Data show that the amount of nasalization of a phoneme depends on its own characteristics as well as on its environment. Oral vowels with a phonemic nasal counterpart are less nasalized than the other ones. Regarding oral consonants, the amount of nasalization is greater for fricatives than stops and for voiced than voiceless consonants. Due to tongue configuration, French back nasal vowels [ɔ̃,ɑ̃] have more nasal airflow than [ɛ̃,œ̃]. Context is very powerful in determining the nasalization rate of a segment; carryover nasalization is much stronger than anticipatory nasalization for our 8 Belgian French speakers.

## 1. INTRODUCTION

Dans cet article, nous présentons les résultats d'une étude des paramètres aérodynamiques de la nasalité en français. Notre point de vue est prioritairement descriptif, même si ce travail s'inscrit dans une recherche plus vaste consacrée à l'implémentation phonétique des traits, et du trait de nasalité en particulier, dans une perspective dynamique. L'objectif de cet article est de présenter, de commenter, et de proposer une explication succincte à un ensemble de résultats concernant le degré de nasalité des segments phonologiquement nasals du français ainsi que des consonnes et des voyelles orales en contexte nasal.

## 2. MÉTHODE

### 2.1. Corpus

Cette recherche a été réalisée au Laboratoire de Phonologie de l'Université Libre de Bruxelles auprès de huit sujets belges francophones, quatre hommes et quatre femmes âgés de 22 à 45 ans. Leur tâche était de lire des listes de mots. Le corpus était constitué de 208 items (seuls ou dans de courtes phrases) présentant des séquences nasale-orale de nature diverse (table 1).

**Table 1:** Présentation schématique du corpus

Séquences	Exemples	Domaine
V	un, an, on...	$\bar{V} = \bar{\epsilon}, \bar{\alpha}, \bar{\delta}, \bar{a}$
CVC	tente, ponte, pince,...	$\bar{V} = \bar{\epsilon}, \bar{\delta}, \bar{a}$ ; $C_1-C_2 = t-t, p-t, p-s$ .
CVCV	tenter, ton thé,...	$\bar{V} = \bar{\epsilon}, \bar{\alpha}, \bar{\delta}, \bar{a}$ ; $C_1=C_2=t$ ; $V=e$
CV vs CV	paon-pas, fin-fait,...	$C=p, b, f, v, t, d, s, z, \int, \zeta, k, g, l, r$ ; $\bar{V}=\bar{\epsilon}, \bar{\delta}, \bar{a}$
NV vs NV	ma-ment, mot-mon, mou, noeud, nid,...	$C=m, n, \eta$ ; $\bar{V}=\bar{\epsilon}, \bar{\delta}, \bar{a}$ ; $V=e, i, u, o, y, \emptyset, a, \alpha, \epsilon$
(C)VN vs VN	la nuit-l' ennui,...	$V=a, \alpha, \epsilon, \epsilon$ ; $N=m, n$ ; $\bar{V}=\bar{\epsilon}, \bar{\alpha}, \bar{\delta}, \bar{a}$
NVN	bonne, manne,...	$N_1$ et $N_2=m, n$ ; $V=i, a, \alpha, \epsilon$

### 2.2. Paramètres d'analyse

A l'aide de la station de travail Physiologia [Tes90], nous avons enregistré le signal de parole ainsi que les débits d'air buccal et nasal, puis nous avons déterminé les frontières des segments à étudier avec le logiciel iShell. Pour chacun des segments, cinq paramètres ont été examinés: les débits d'air buccal et nasal moyens (DAB et DAN, en ml/sec), la durée (T, en ms), le volume d'air total sorti par le nez au cours du segment (VAN, en ml) ainsi que la proportion (en %) du débit d'air total imputable au DAN, soit  $DAN/(DAN+DAB) = PNA$  (pour "proportional nasal airflow").

A propos du choix de ces paramètres, il faut noter que le débit d'air moyen relevé à la sortie des fosses nasales n'est qu'une mesure indirecte de l'activité vélique. Une variation (1) du débit d'air total ou (2) de la constriction dans le conduit buccal peut déterminer l'évolution au cours du temps d'un tracé de DAN alors que l'ouverture vélique reste constante, ou encore rendre compte de différences moyennes de DAN entre des sons pour lesquels l'abaissement du voile est équivalent [Huf93]. La mesure que nous avons appelée PNA permet de neutraliser l'influence de (1): si seul le débit d'air total change, c'est-à-dire que l'ouverture vélique et la configuration orale restent constantes, le PNA ne varie pas. Par contre, pour un même débit d'air total, le PNA variera en raison d'un changement de configuration du conduit vocal (2), ainsi que le DAN. Lorsqu'on traite des voyelles nasales entre elles par exemple, il est important de rendre compte de telles variations car il n'est pas exclu qu'elles jouent un rôle au point de vue perceptuel. Il est beaucoup moins utile de comparer des consonnes et des voyelles du point de vue de leur PNA uniquement, puisqu'elles diffèrent complètement au niveau de leur articulation orale. La mesure de PNA présente aussi un intérêt certain, en ceci qu'elle permet de neutraliser les différences quantitatives liées à la variable du sexe du locuteur (voir ci-dessous).

### 2.3. Stratégie d'analyse

Cette étude se fonde sur des données chiffrées et rompt avec une attitude largement répandue, qui consiste à envisager uniquement les tracés aérodynamiques d'un point de vue qualitatif, comme simples indicateurs de l'activité vélique. L'objectif de cet article est d'analyser la variation de l'amplitude des paramètres retenus (DAB et DAN, T, VAN, PNA) en relation avec les conditions de production des sons étudiés: type de segment (nasal ou oral, consonantique ou vocalique), nature du contexte, facteurs externes tels que le sexe du sujet, etc.

Une telle analyse requiert que l'on accorde un soin particulier à deux étapes de l'acquisition des données : la calibration de l'appareil d'une part, et la détermination des frontières des segments à étudier, d'autre part. Ces deux facteurs agissent respectivement sur les axes vertical (quantitatif) et horizontal (temporel) servant traditionnellement de référence aux tracés aérodynamiques, et influencent donc directement les valeurs retenues pour une analyse chiffrée.

On ne perdra pas de vue que les mesures sont des moyennes effectuées sur la totalité d'un segment et qu'elles ne rendent donc pas compte de l'évolution du paramètre aérodynamique au cours du segment. Des événements survenant aux extrémités des segments entrent en compte dans le calcul de cette moyenne, et font en sorte, par exemple, que le DAB reporté dans nos résultats n'est pas nul (cas des consonnes occlusives, table 2-E) alors que la bouche est restée fermée pendant la majeure partie des segments concernés.

#### 2.4. Présentation des résultats

La table 2 présente un résumé des résultats obtenus pour les cinq variables dépendantes étudiées. Huit variables indépendantes ont été sélectionnées; les deux premières concernent l'ensemble des cas analysés, les suivantes ne portent que sur des sous-ensembles, respectivement les voyelles orales (C-D), les consonnes orales (E-F) et les voyelles nasales (G-H). Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée afin de déterminer la significativité des différences moyennes observées entre les groupes relevant d'une même variable. La méthode retenue de calcul de la somme des carrés tient compte des particularités du corpus (taille inégale des cellules, cellules vides). Nous commenterons également au cours de l'analyse qui va suivre, mais sans les présenter en détail faute de place, les résultats les plus saillants des tests complémentaires effectués (tests post hoc avec l'indice de Bonferroni, ANOVA univariée mesurant l'interaction entre certaines variables indépendantes, etc).

### 3. ANALYSE DES RÉSULTATS

#### 3.1. La variable de sexe (table 2-A)

Les résultats indiquent que le DAN est significativement moins élevé pour les femmes que pour les hommes, tous types de segment confondus (de même que pour chaque paire de type de segment, ainsi que l'ont montré les tests post hoc). Cependant, les femmes ont, par rapport aux hommes, un déficit de DAB proportionnellement bien plus important encore. On peut faire l'hypothèse que cette différence de débit d'air total est due aux différences physiologiques (de capacité pulmonaire) entre hommes et femmes. Par ailleurs, les femmes ont un PNA supérieur aux hommes, en moyenne. Cette différence n'est toutefois pas significative et l'on peut considérer que, pour l'analyse qui va suivre, la variable PNA permet de neutraliser la variation due au sexe du locuteur.

#### 3.2 Le type de segment (table 2-B)

Comme on était en droit de l'attendre, le DAN des segments nasals est nettement supérieur à celui des

voyelles et consonnes orales. La distribution de fréquence des valeurs de DAN pour les orales (non présentée ici) montre un pic à une valeur inférieure à la moyenne et un histogramme incliné vers la droite. Pour les voyelles orales, ceci est dû (entre autres) au fait qu'elles sont souvent situées en contexte nasal. Les valeurs de DAN sont donc surestimées en raison de la nature du corpus.

Il n'est pas nécessaire de supposer une ouverture vélique plus importante pour les consonnes que pour les voyelles nasales si l'on veut rendre compte des différences de DAN entre ces deux types de segment. Elles peuvent s'expliquer par la différence de configuration du conduit vocal. Les consonnes nasales sont des occlusives, avec un DAB nul, et donc, à ouverture vélique et pression sous-glottique équivalentes, elles ont un DAN plus élevé. La différence de PNA (plus grande encore) entre N et  $\tilde{v}$  relève des effets conjoints des différences de DAB et de DAN. La valeur de DAB que nous obtenons pour les consonnes nasales (20,2 ml/sec) est due pour [m,n] à des phénomènes de coarticulation lorsque le débit de parole était élevé, et à l'articulation spécifique de [ŋ], à la fin de laquelle nos tracés montrent un relâchement de l'occlusion en une approximante palatale.

Par ailleurs, l'ANOVA a révélé que la différence de DAN (et de PNA) entre voyelles orales et voyelles nasales interagit avec la variable de contexte, alors que ce n'est pas le cas pour les consonnes (C vs N). La figure 1 illustre cette interaction. Deux faits sont particulièrement notables: la différence de PNA entre voyelles orales et nasales est plus importante en contexte oral que nasal; une voyelle précédée d'une consonne nasale présente un plus fort taux de nasalité qu'une voyelle suivie de N. La comparaison des troisième et sixième boxplots de la figure 1 montre qu'une voyelle orale et une voyelle nasale peuvent avoir, en moyenne, un PNA équivalent en raison de l'influence que leur environnement exerce sur elles.

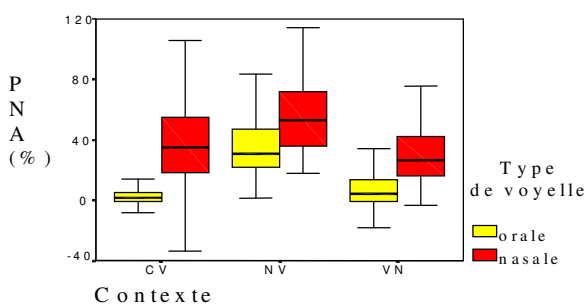


Figure 1 : Interaction des variables de contexte et de type de voyelle pour le PNA

#### 3.3. Les voyelles orales (table 2-C et D)

Comme cela apparaît dans la table 2, deux facteurs ont été trouvés qui influencent le DAN des voyelles orales : le contexte et le type de voyelle orale.

**Le contexte.** Des tests post hoc ont montré que chacun des contextes donnait un DAN significativement différent des autres. On n'a donc pas seulement une opposition contexte oral-contexte nasal, mais également un plus grand taux de nasalité pour les voyelles orales entourées de deux N; la différence la plus remarquable est celle qui oppose encore une fois les voyelles (ici les orales) précédées de N à celles qui sont suivies de N. Nous

reviendrons dans la discussion sur cette différence entre nasalisation progressive et régressive en français.

**Le type de voyelle orale.** Les données que nous avons recueillies indiquent qu'un processus plus actif pourrait également être à l'œuvre dans la nasalisation des voyelles orales en contexte consonantique nasal. En effet, une analyse de la variabilité des DAN et PNA selon la voyelle orale considérée a révélé que l'on peut scinder ces voyelles en deux groupes : [i,u,y] et les autres. Les premières (les plus fermées) ont nettement plus de DAN et de PNA que les secondes, qui forment un groupe homogène au sein duquel on ne peut pas lier le taux de nasalité au degré d'aperture de la voyelle. Ces résultats sont en nette contradiction avec diverses études antérieures ([Hou56] et [Mae82]), qui tendent à montrer que les voyelles les plus ouvertes sont les plus nasalisées, et que les fermées sont celles qui ont le moins besoin d'un taux de nasalité élevé pour être perçues comme telles. Les résultats reportés dans la table 2 indiquent que le facteur déterminant, pour les voyelles orales du français, est celui de l'existence ou non d'une contrepartie (phonologique) nasale à la voyelle considérée. Il n'y a plus aujourd'hui en français de voyelles nasales qui correspondent aux voyelles les plus fermées [i,u,y], et ceci pourrait autoriser une nasalité contextuelle plus importante que pour [a,ɛ,ɔ] ou même que les semi-fermées [o,e], qui ont une configuration du conduit vocal fort comparable encore à celle des nasales [ɔ̃,ɛ̃]. Le comportement de [œ] – seule voyelle orale à occuper, dans certaines conditions, une position intermédiaire entre les deux groupes précités, alors que [œ̃] n'est plus un phonème pour quatre de nos sujets – est une indication supplémentaire en faveur d'un *contrôle actif* par le locuteur de l'activité vélique en fonction de la nécessité de préserver (ou non) un contraste maximum entre les deux membres d'une paire phonologique [Kin94].

### 3.4. Les consonnes orales (table 2-E et F)

Les consonnes orales présentent un certain taux de nasalité. Il ne varie pas selon que la voyelle suivante est nasale ou non. Deux autres variables l'influencent de façon significative. Tout d'abord, les fricatives ont plus de DAN que les occlusives. Ceci paraît contraire aux contraintes aérodynamiques qui président à la production des fricatives, pour lesquelles les conditions d'émergence d'une turbulence dans la cavité orale doivent être réunies. Remarquons néanmoins que le débit d'air total est extrêmement élevé pour ces consonnes, précisément afin de créer la turbulence, ce qui induit dans nos résultats un DAB très élevé et relativise quelque peu l'importance du DAN observé. Toutefois, il faudrait pousser plus avant l'investigation dans ce domaine, de même que dans le cas suivant, pour lequel nous ne disposons pas d'une explication satisfaisante: les sonores ont significativement plus de DAN que les sourdes, alors que, produites avec la glotte fermée, elles ont environ deux fois moins de DAB.

### 3.5. Les voyelles nasales (table 2-G et H)

C' est la combinaison de deux facteurs qui rend compte de la variance du taux de nasalité parmi les voyelles nasales : la nature de la voyelle, et le contexte dans laquelle elle est produite.

**Table 2 :** Moyennes (arrondies à la 1<sup>ère</sup> décimale): DAN et DAB (ml/sec), PNA (%), T(ms),VAN(ml). Significativité (ANOVA) pour 8 variables indépendantes.

Variable indépendante	DAN	DAB	PNA	T	VAN
<b>A. Sexe du locuteur</b>					
féminin	32,7	51,5	49,4	170,6	5,4
masculin	41,5	95,4	41,4	181,3	7,4
total	37,2	74	45,3	176	6,4
p	<0,001	<0,001	0,081		
<b>B. Type de segment</b>					
voyelle orale	20,8	100,7	19,6	169,7	3,1
voyelle nasale	45,2	79,6	38,8	220,6	9,9
consonne orale	12,6	100,3	30,2	165,9	2
consonne nasale	69	20,2	89,6	160,1	11,1
total	37,2	74	45,3	176	6,4
p	<0,001	<0,001	<0,001		
<b>C. Contexte (pour v)</b>					
cv	2,6	135	3,3	180	0,4
nv	39,1	77,6	35,9	169,3	6,3
vn	7,9	104,4	5,4	167,7	1,4
nvN	49,1	58,1	48,2	152,2	6,7
total	20,8	100,7	19,6	169,7	3,1
p	<0,001	<0,001	<0,001		
<b>D. Type de v</b>					
v avec corresp. √	14,6	112,6	13,5	167,4	2,1
v sans corresp. √	35,3	72,8	34	174,9	5,6
total	20,8	100,7	19,6	169,7	3,1
p	<0,001	<0,001	<0,001		
<b>E. Type de c</b>					
c occlusives	8,2	31,6	54,3	155,8	1,3
c fricatives	16,8	164,7	12,6	183,3	2,8
r et l	13,7	119,5	13,1	152,6	1,8
total	12,6	100,3	30,2	165,9	2
p	<0,001	<0,001	0,05		
<b>F. Type de c (2)</b>					
c sourdes	10,2	126,1	33,2	169,7	1,8
c sonores	14,3	67,8	35,1	168,4	2,2
r et l	13,7	119,5	13,1	152,6	1,8
total	12,6	100,3	30,2	165,9	2
p	0,008	<0,001	0,614		
<b>G. Type de √</b>					
ã	45,4	77,5	41,4	225,2	10,2
ẽ	26,5	101,2	21,6	232,4	6,2
ĩ	70	55,4	59	211,7	14,8
œ̃	29,1	91,2	25,1	199,8	5,7
total	45,2	79,6	38,8	220,6	9,9
p	<0,001	<0,001	<0,001		
<b>H. Contexte (pour √)</b>					
√	39,7	60,3	43,2	261,7	10,4
c√	44,3	81,2	37,9	227,9	9,9
n√	59,2	51,9	55,2	217,4	12,3
√N	33,2	87,7	29,5	124,2	4
c√.cv	42,5	106,8	30,2	147,1	6
c√c	50	87,8	37,7	279,8	13,9
total	45,2	79,6	38,8	220,6	9,9
p	<0,001	<0,001	<0,001		

**La nature de  $\tilde{v}$ .** Les différences observées entre les quatre voyelles nasales sont significatives, ainsi que l' indique la table 2 (G). Seule la paire [ɛ̃-œ̃] ne connaît pas de différence significative d' après les tests post hoc, ce qui ne manque pas d' intérêt, étant donné le statut précaire de cette opposition phonologique aujourd' hui en français. Par ailleurs, les données montrent qu' il existe une relation entre DAB et DAN pour les voyelles nasales: ces deux mesures sont (en première approximation) inversement proportionnelles pour chacune des quatre  $\tilde{v}$ . Les cas les plus saillants sont ceux de [ɛ̃,œ̃] d' une part, et de [ɔ̃] d' autre part. A ouverture vélique et pression sous-glottique équivalente, la configuration radicalement différente du conduit vocal dans ces deux situations suffit à expliquer les valeurs obtenues : l' articulation postérieure et fermée de  $\tilde{ɔ}$  induit une constriction entre le dos de la langue et le voile, qui a pour conséquence une plus grande résistance au passage de l' air et donc une réduction du DAB ainsi qu' une augmentation concomitante du DAN. Pour [ɛ̃,œ̃] c' est le contraire : ces voyelles sont antérieures et relativement ouvertes. Quant à [ɑ̃], c' est la plus ouverte des nasales du français, mais elle est aussi postérieure, ce qui génère une constriction relativement importante, au niveau de la paroi pharyngale cette fois.

Enfin, pour [ɑ̃] du moins – mais la question mérite d' être posée pour [ɔ̃], étant donné son taux de nasalité élevé – la nécessité d' un plus grand degré de nasalité à des fins de salience perceptuelle peut être invoquée à la suite des phénomènes observés dans [Hou56] et [Mae82].

**Le contexte.** De même que pour les orales, le taux de nasalité des voyelles nasales dépend du contexte dans lequel évolue la voyelle. L' ANOVA révèle que cette variable est significative (pour le DAN, pour le DAB et le PNA), et des tests post hoc ont précisé que les divers contextes étudiés peuvent se répartir en trois groupes : une voyelle nasale suivie de N a significativement moins de PNA que dans tout autre contexte, tandis qu' une voyelle nasale précédée de N en a (presque pour toutes les paires) significativement plus. Au milieu de l' échelle, on a les contextes  $\tilde{v}$ ,  $C\tilde{v}$ ,  $C\tilde{v}C$  et  $C\tilde{v}.CV$ . Ceci indique encore une fois qu' une consonne nasale qui précède une voyelle favorise davantage sa nasalité qu' une consonne nasale subséquente. On peut même supposer un retard de l' abaissement du voile dans ce dernier contexte, étant donné que la nasalité observée pour  $\tilde{v}$  y est plus faible que lorsque celle-ci est, par exemple, précédée d' une consonne orale.

#### 4. DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

Deux phénomènes traversent l' ensemble des résultats analysés ci-dessus, l' influence générale du contexte sur la nasalité d' un segment et le réseau complexe de relations qu' entretiennent les mesures de DAB, de DAN et de PNA. Pour les voyelles (orales ou nasales), le fait d' être précédées par un segment consonantique nasal favorise leur taux de nasalité propre, alors que celui-ci est réduit si elles sont suivies d' une nasale. Les consonnes orales, par contre, ont un faible degré de nasalité, qu' elles soient suivies de  $\tilde{v}$  ou de v. Notre corpus n' ayant pas été constitué avec les consonnes orales comme préoccupation centrale, il ne présente que peu d' occurrences de C précédées de  $\tilde{v}$  ou de v. Pourtant, l' examen de ces données invite à envisager d' une façon plus globale les

résultats que nous venons de rappeler. En effet, les consonnes orales en contexte  $\tilde{v}C$  ont un DAN moyen très important (41ml/sec).

La table 3 représente schématiquement la réalisation en français de séquence de segments à valeur opposée pour le trait de nasalité, telle que suggérée par nos résultats. L' implémentation phonétique des deux types de séquence est tout à fait différente : à moins d' être bloquée, par exemple par une voyelle orale qui a une correspondante phonologique nasale, la nasalité déjà engagée a tendance à persister dans le segment suivant, alors qu' elle ne débute que rarement plus tôt qu' il n' est nécessaire. La commande phonologique conserve donc la prééminence en ce qui concerne le déclenchement de l' activité vélique, tandis que la nasalisation d' ordre phonétique intervient dans le maintien de cette activité.

**Table 3:** Taux de nasalité de séquences [+nasal] [-nasal] et [-nasal] [+nasal] en français

	[+nasal]	[-nasal]	[-nasal]	[+nasal]
CV	++	+	0	+
V C	+	+	0	++

Pour conclure, nous insisterons sur le fait que les données que nous avons présentées ont mis en évidence l' étroite relation qu' entretiennent les valeurs de DAB et de DAN pour un type de segment donné. Étudier le DAN seul ne permet pas de mener une analyse fine de la nasalité. Les phénomènes aérodynamiques ne prennent sens que s' ils sont envisagés dans leur globalité. En particulier, les conditions de production entourant l' aspect "oral" d' un segment étudié pour sa nasalité influencent fortement ce second aspect "nasal", sans parler des variations de pression sous-glottique, dont il n' a pas été question ici. Enfin, les mesures quantitatives dont nous avons discuté dans cet article semblent à même de fournir une information fiable et détaillée sur ces phénomènes. Il s' agira à l' avenir d' analyser cette information concernant la production de la nasalité à la lumière des faits de perception, qui doivent notamment déterminer à partir de quand et dans quelle mesure les variations des paramètres aérodynamiques observées ici influencent la façon dont le message est décodé par l' auditeur.

Cette recherche est subventionnée par la Convention ARC 98-02 n°226

#### BIBLIOGRAPHIE

- [Tes90] Teston B., Galindo B. (1990) "Physiologia : un logiciel d' analyse des paramètres physiologiques de la parole", Travaux de l' Institut de Phonétique d' A 13, pp.197-217.
- [Huf93] Huffman M., Krakow R. (1993), "Instruments and techniques for investigating nasalization and velopharyngeal function in the laboratory : an introduction", Phonetics and phonology. Vol 5, pp.3-59.
- [Hou56] House A., Stevens K. (1956), "Analog studies of the nasalization of vowels", Journal of Speech and Hearing Disorders, 21, pp.218-232.
- [Mae82] Maeda S., "Acoustic correlates of vowel nasalization : A simulation study". JASA, 72, S102.
- [Kin94] Kingston J., Diehl R. L. (1994). "Phonetic Knowledge", Language, 70, 3, pp.419-453.