La voyelle nasale en Portugais Brésilien et son appendice nasal : étude acoustique et aérodynamique

Beatriz Raposo de Medeiros, Mariapaola D'Imperio**, Robert Espesser***

*Laboratório de Fonética THM, Departement de Linguistique - Université de São Paulo, Brésil
**Université Aix-Marseille & Laboratoire Parole Langage – UMR 6057 CNRS, Aix-en-Provence, France
biarm@usp.br, {mariapaola.dimperio, robert.espesser}@lpl-aix.fr

ABSTRACT

.
This work investigates the acoustic variability of nasal vowel realization in Brazilian Portuguese caused by right-hand segmental context. Specifically, it appears that a discernible nasal murmur is measurable only when the nasal vowel precedes a plosive, but not before fricatives. According to an alternative hypothesis, there would be no difference between the nasal gestures in the two contexts. By means of both acoustic and aerodynamic data (nasal and oral airflow), a nasal appendix has been identified in both /p/ and /f/ contexts, which corresponds to the closing gesture of the lips and shows a high nasal airflow rate. Our alternative hypothesis is hence supported, while the acoustic difference is explained in terms of gestural overlap.
Keywords: nasal vowel, murmur, aerodynamical data

1. INTRODUCTION

La voyelle nasale du portugais brésilien (PB) a été traditionnellement décrite comme une séquence biphonémique composée d'une voyelle orale suivie de consonne nasale [1] et [2]. Des études expérimentales ont montré la présence de deux phases dans la voyelle nasale qui precède une plosive, à savoir une phase orale suivie d'une phase pleinement nasale, celle-ci pouvant abriter un murmure vocalique [3, 4, 5], appelé ici « appendice nasal ». A part [3] qui mentionne l'absence du murmure devant fricatives, les autres travaux ne portent pas sur la question des différents contextes droit de la voyelle nasale. La discussion à propos des phases de la voyelle nasale a été reprise par [6] qui mentionne sa variabilité contextuelle, surtout à droite. Dans un mot avec voyelle nasale suivie de plosive, l'appendice nasal est nettement visible sur le spectrogramme, bien qu'il soit très variable. La durée de cet appendice peut varier de 40 a 100 ms [4], et le nombre de formants observables peut varier de 3 à 5 [5]. Cette variabilité et l'aspect graduel du changement des phases rendent difficile une segmentation précise entre la fin de la voyelle nasale et le début de l' appendice nasal.

En ce qui concerne le portugais européen (PE), il y a consensus sur le fait que la voyelle nasale serait suivie d'une véritable consonne nasale [7, 8, 9 et 10], ce qui correspondrait à la vision de [1] et [2] sur le PB. Des études non expérimentales portant sur le PE et PB [9] ont postulé une différence de nasalisation entre des mots comme *canta* [kɜ̃ntɐ] « il chante » et *cansa* [kɜ̃nsɐ] « il se fatigue ». Il y aurait un véritable segment nasal seulement quand la voyelle précède une consonne plosive orale, mais pas devant une fricative.

Notre but est donc d'étudier la phase de nasalisation des voyelles nasales en PB devant deux contextes segmentaux (fricatif vs. plosif) et d'en proposer une nouvelle analyse.

Nous émettons hypothèse que l'appendice nasal serait un phénomène complexe de la nasalité vocalique en PB, à mi-chemin entre une voyelle et une consonne. Cela s'oppose partiellement aux descriptions en terme de phases précises et/ou à l'analyse proposant qu'une consonne nasale suive le noyau vocalique.

2. METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION

Afin d'éclaicir le phénomène de l'appendice nasal, nous avons recueilli des données acoustiques et aérodynamiques synchrones, ces dernières afin de préciser le mouvement articulatoire responsable de l'appendice nasal.

2.1 Corpus et locuteurs

Le corpus est constitué de deux ensembles de logatomes et de mots du PB. Il s'agit d'énoncés dont les cibles sont des mots avec deux contextes droits pour la voyelle nasale, ou des mots avec une consonne nasale à l'initiale. Le premier ensemble contenait des énoncés C1V1C2V2 (C1= /p/, /k/ ou contexte vide[1], V1 = /ɜ̃/ ou /ĩ/, C2 = /p/ ou /f/ et V2 = /ɐ/, comme *pampa* [ˈpɜ̃mpɐ] *et infa* [ˈĩnfɐ]. Le deuxième ensemble contenait des énoncés C1V1C2V2, (C1 = /m/ ou /n/, V1 = /a/ ou /i/, C2 = /p/ et V2 = /a/ ou /ɐ/). Pour chaque mot cible, les deux accentuations possibles étaient présentes : sur la première syllabe (*mapa* [ˈmapɐ]), et sur la deuxième (*mapá* [maˈpa]).

Cinq locuteurs, entre 17 et 47 ans et parlant le PB du sud-est du Brésil ont répété chaque mot cible quatre fois, dans une phrase porteuse « Eu digo _____claramente » (Je dis _____ clairement). Les sujets résidaient en France au moment de l'expérimentation, depuis une année au maximum.

---

[1] Comme il n'y a pas d'effet du contexte gauche (/k/, /p/, vide) sur le contexte droit, nous ne le traiterons pas dans cette étude.

Le /ɜ̃/ et le /ĩ/ ont été choisis parmi les voyelles nasales du PB pour être respectivement la voyelle plus basse et la plus haute, toutes deux non arrondies. Le deuxième groupe du corpus contenait des consonnes nasales et des voyelles orales.

2.2 Acquisition des données

L'acquisition des données a été faite au Centre Hospitalier d'Aix, avec l'aide de B. Teston, sur EVA2 [11]. Pour l'enregistrement simultané du son et des débits d'air oral et nasal, des embouts étaient placés aux narines et un masque en silicone souple était placé autour de la bouche, ce qui évitait la fuite d'air oral. Outre le microphone, le dispositif a des capteurs débit d'air nasal et oral, le premier situé sous le second, en position verticale, afin de capter de façon naturelle le flux d'air nasal [12]. Les locuteurs ont lu les phrases-porteuses, présentées en ordre aléatoire sur l'écran d'un ordinateur portable.

2.3 Segmentation acoustique

Les données de débit d'air nasal, de débit d'air oral et l'onde sonore ont été visualisées sur Phonedit [13]. La segmentation des 400 occurrences (5 sujets x 4 repetitions x 20 énoncés) a été faite partiellement de façon automatique par une technique de *dynamic time warping* [14] à partir des données acoustiques, sur PRAAT [15]. La segmentation de V1 et de la séquence V1C2 a été rectifiée afin que leurs frontières soient alignées à la plus proche période.

Les mesures des durées ont été obtenues à partir de la segmentation acoustique.

2.4 Segmentation aérodynamique

Les données acoustiques et aérodynamiques étant synchrones, nous avons pu vérifier effectivement l'aspect aérodynamique des segments qui nous interessaient: la voyelle nasale et son contexte droit (plosif vs fricatif) et les consonnes nasales à l'initiale

La variabilité acoustique de la voyelle nasale rendait difficile la détection d'une frontière précise entre la fin de la voyelle et le début de l'appendice nasale. Pour détecter le début de ce segment nous avons considéré les portions décroissantes du débit d'air oral (DAO) à la fin de la voyelle nasale suivie de /p/. Un seuil prédéterminé de 0.015 dm^3/s de DAO a été recherché a partir d'une fenêtre de 5 ms à la fin de la voyelle nasale. Ce seuil, très proche de zéro, marque le début de l'occlusion labiale pour produire /p/. Ainsi, le domaine temporel de l'appendice s'étendait de la fermeture des lèvres à la fin du voisement, celui-ci étant visible sur les données acoustiques. La figure 1 montre l'appendice après /ĩ/ (entre les lignes pointillées).

La courbe du débit d'air nasal (DAN) de la voyelle nasale a aussi été utilisée pour localiser l'appendice nasal. Dans cette région, nous avons observé une courbe ascendante de DAN alors que la courbe de DAO était descendante. Selon l'analyse visuelle des données, la courbe de DAN atteignait un pic que se situait peu après la fermeture des lèvres.

Si la procédure pour localiser le début de l'appendice en contexte droit /p/ s'est révélée satisfaisante, en contexte droit avec /f/ la localisation de l'appendice est beaucoup plus délicate (Figure 2). En effet, du point de vue acoustique, la transition voyelle-consonne n'est pas abrupte, puisque il y a seulement une constriction incomplète aux lèvres, et, du point de vue aérodynamique, le DAO ne chute pas franchement à cause de la turbulence durant le /f/, ce qui rend inopérant la définition d'un seuil, à la différence du contexte avec plosive Nous n'avons pu trouver d'indices assez robustes pour déterminer le début de la fricative (point d'inflexion du DAO, par ex.) Pour pallier ce problème, nous avons donc comparé les durées de la voyelle nasale dans les deux contextes droits, ainsi que les durées des séquences englobant la voyelle nasale et la phase consonantique suivante.

3. MESURES ET RÉSULTATS

3.1 Résultats aérodynamiques

L'hypothèse, déjà émise en (3), de la présence d'un appendice nasal, se confirme. Les mesures faites pour le localiser dans les mots cibles montrent que celui-ci présente un pic de nasalité 30 ms en moyenne après la début le début de l'occlusion labiale (estimée par le seuil de DAO mentionné précédemment). Ainsi, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'appendice détecté après la voyelle nasale appartiendrait au domaine temporel de la plosive /p/. De plus, les tendances des courbes de DAO et DAN à la fin de la voyelle nasale sont inverses, avec une corrélation nettement négative (-0.82), ce qui montre que lorsque les lèvres se ferment, le débit d'air nasal augmente.

Comme la voyelle nasale (en PB et en PE) est généralement décrite comme une séquence « voyelle plus consonne nasale » (devant plosive [1,2,7,8,9,10]) nous avons comparé l'appendice nasal avec la consonne nasale (/m/ ou /n/) à l'initiale (deuxième section du corpus). Les résultats montrent que l'appendice nasal est associé à un DAN plus important que la consonne nasale (0.090 dm^3/s vs 0.060 dm^3/s, $p < 0.0001$), avec une durée de 44 ms, environ 33 ms plus courte qu'une consonne nasale à l'initiale de syllabe non-tonique et 60 ms plus courte qu'une consonne nasale à l'initiale de syllabe tonique. Le DAN important de l'appendice s'explique: le flux d'air qui passait initialement par les conduits oral et nasal, doit en un laps de temps bref ne passer par le seul conduit nasal, lors de l'occlusion labiale[2] .

[2] La consonne à l'initiale a une organisation aérodynamique temporelle différente : la fermeture orale étant synchrone avec l'abaissement du velum [10], il y aurait moins de flux d'air supplémentaire à dévier.

3.2 Résultats acoustiques

La table 1 montre les durées moyennes (en ms) des voyelles nasales et orales ainsi que des séquences voyelle plus consonne orale. Les valeurs présentées sont des moyennes estimées par des modèles linéaires mixtes, tenant compte de l'effet de groupement par sujet [16].

La voyelle nasale a été mesurée de deux façons : a) en tant que noyau vocalique (nv), en considérant la nouvelle frontière à sa droite obtenue par la segmentation aérodynamique (voir 2.4) devant /p/ (colonne V1 (nv)) ; b) en tant que voyelle plus appendice nasal, selon la segmentation acoustique. A partir de celle-ci, nous avons obtenu la durée de : V1C2 (V1 = /ɜ̃/, /ĩ/, /a/, /i/ ; C2 =/p/, /f/), V1 (isolée, en contexte /p/, /f/) et V1 (noyau vocalique, i.e., sans l'appendice, en contexte /p/). NA désigne les segments non disponibles.

Table 1. Durées moyennes estimées (ms) des voyelles nasales et orales selon différentes segmentations

	V1C2	V1	V1C2	V1	V1(nv)
	C2 = /p/	_/p/	C2 = /f/	_/f/	_/p/
ɜ̃	261	184	289	175	152
ĩ	241	163	266	154	114
a	273	155	NA	NA	NA
i	235	115	NA	NA	NA

L'absence ou la présence de significativité ne sont pas ici recherchées; nous raisonnerons sur la taille de l'effet et les valeurs des moyennes estimées. Les durées des séquences « voyelle nasale + /p/ » sont proches des séquences « voyelle orale plus /p/ », avec un écart de 12 ms entre /ɜ̃/ et /a/ (261 vs 273 ms) et de 6 ms entre /ĩ/ et /i/ (241 vs 235 ms). De plus, la différence de 3 ms entre le noyau vocalique de la voyelle nasale (152 ms) et la voyelle orale (155 ms) est négligeable. Cela conforte l'hypothèse que l'appendice nasal s'insère dans le domaine temporel du /p/. A cet égard, il faut remarquer que le terme *murmure vocalique* est moins indiqué pour la phase finale de la voyelle nasale. Le fait que le /p/ abrite cet appendice nasal suggère la superposition des gestes : celui du voile et celui de la fermeture des lèvres. Par sa grande complexité, cette question demande des études futures où l'on puisse discuter l'importance de l'appendice pour la perception de la nasalité vocalique, et remettre en cause la prétendue plus longue durée de la voyelle nasale par rapport à la voyelle orale.

Les séquences « voyelle nasale+/f/ » sont plus longues que les séquences « voyelle nasale+/p/ », ce que nous attribuons à la durée de la fricative et à une réalisation de l'insertion de l'appendice différente selon /f/ ou /p/[3]. Ce point reste à approfondir.

Le faible écart de 9 ms entre les voyelles nasales (segmentation acoustique) devant /p/ et celles devant /f/ (184 vs 175 pour /ɜ̃/, 163 vs 154 pour /ĩ/) suggère que, malgré la difficulté de sa détection devant la fricative, un appendice nasal serait aussi présent dans ce contexte[4].

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

En utilisant des données issues à la fois d'une segmentation acoustique et aérodynamique, nous avons localisé l'appendice nasal qui suit la voyelle nasale en PB. Selon des travaux antérieurs, ceci avait été interprété comme une phase de murmure vocalique ou comme une consonne nasale. La dénomination *murmure vocalique* ne semble pas appropriée puisque le phenomène se localise après le geste de fermeture des lèvres, en contexte plosif du moins. D'autre part, nous pouvons argumenter qu'il ne s'agit pas d'une « vraie » consonne nasale, car il n'y a pas de consonnes nasales pleines en coda en PB. Cependant l'appendice nasal présente un DAN moyen supérieur à celui d'une consonne nasale[5], selon les résultats aérodynamiques.

A partir des résultats obtenus, il nous semble impossible de donner un statut précis de consonne ou voyelle à cet appendice qui s'insère entre la voyelle nasale et la consonne, plosive ou fricative, suivante. Cette phase ressemblerait à une consonne à cause de la nette fermeture du conduit vocal pendant sa production, mais aussi à une voyelle à cause de son degré de voisement. A l'évidence, aucune des deux descriptions ne semble suffisante. Pour le moment, nous considérons cet appendice nasal comme la résultante de la constellation de gestes impliqués dans la production de la séquence voyelle nasale + consonne orale: geste vocalique, vélaire et labial [19]. Le geste vélaire serait activé durant le geste vocalique et se superposerait au labial.

---

[3] [17] : dans leur analyse temporelle les auteurs observent une phase de transition entre la voyelle et la fricative.

[4] Des fricatives en contexte nasal en PB [18] présentent un flux d'air nasal plus important aux extrémités . Cela est en accord avec un pic de DAN trouvé environ 2 ms après le debut du /f/ à partir de notre segmentation acoustique.

[5] Ce sujet sera exploré dans une étude ultérieure.

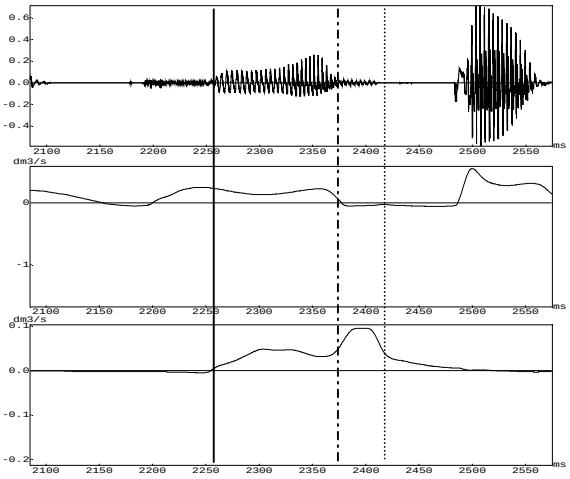

Figure 1 : *quimpa*

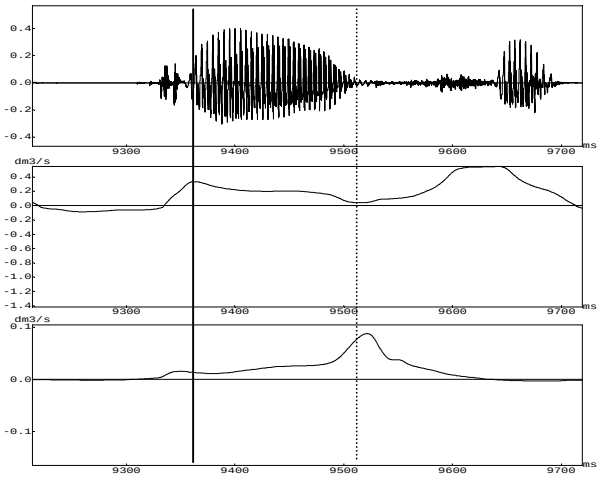

Figure 2 : *canfa*

BIBLIOGRAPHIE

[1] Câmara JR., J. M. Problemas de lingüística descritiva. Petrópolis: Editora Vozes, 1971.

[2] Bisol, L. Estudo sobre a nasalidade In:, Abaurre, B. (ed) Gramática do português falado. Volume VIII. Campinas: Editora da Unicamp, pp 501-535. 2002.

[3] Cagliari, L. C. An experimental study of nasality with particular reference to Brazilian Portuguese. 320 p. Thèse de Doctorat. University of Edinburgh, Edinburgo, 1977.

[4] Sousa, E. M. G. Para a caracterização fonético-acústica da nasalidade no português do Brasil. Master. Universidade Estadual de Campinas Campinas, 1994.

[5] Seara, I.C. Estudo acústico-perceptual da nasalidade das vogais do português brasileiro. Thèse de Doctorat. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

[6] Medeiros. B. R. Vogais nasais do português brasileiro: reflexões preliminares de uma revisita. In Revista Letras, 74. accepté, 2007.

[7] Viana, A. R. G. Exposição da pronúncia normal portuguesa para uso de nacionais e estrangeiros. Lisboa. 1892.

[8] Lacerda, A. de, P. D. Strevens. Some phonetic observations using a speech-stretcher. Revista do Laboratório de Phonética Experimental (Coimbra) 3, p. 5-16. 1956.

[9] Almeida. A. The portuguese nasal vowels: phonetics and phonemics. In Schmidt-Radefelt, Jurgen (ed). Readings in Portuguese Linguistics. p. 349-396. 1976.

[10] Oliveira. C. e Teixeira, A. On gestures timing in european portuguese nasals. in ICPhS XVI, Saarsbrüken, p. 405-408, 2007.

[11] Teston, B. Le système PHYSIOLOGIA. Actes, Journées d'Etude sur la Parole (JEP) (21 : 1996 juin 10-14 : Avignon, FRANCE). 1996, p. 445.

[12] Ghio, A. et Teston, B. Caractéristiques de la dynamique d'un Pneumotachographe pour l'étude de la production de la parole : aspects acoustiques et aérodynamique. Actes, JEP (juin 24-27 : Nancy, France). p. 337-340. 2002.

[13] Ghio, A. Phonedit: Multiparametric speech analysis. LPL (Aix-en-Provence, France) www.lpl.univ-aix.fr

[14] Coleman, J. Introducing speech and language processing. Cambridge. Cambridge University Press. 2005.

[15] Boersma, P. et Weenink, D. Praat. www.praat.org

[16] R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing,Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org.

[17] Jesus, M. T. et Shadle C., Acoustic analysis of European Portuguese uvular [χ, ʁ] and voiceless tapped alveolar [ɾ̥] fricatives. JIPA, 35-1, 2005.

[18] Shosted, R. Investiganting the aerodynamics of nasalized fricatives in ICPhS XVI, Saarsbrüken, p. 255-260, 2007.

[19] Browman, C. et Goldstein, L, Articulatory Phonology: an overview. Phonetica, 49. 155-180. 1992.