



HAL
open science

Caractérisation de la nasalité en contexte de parole : séparation du signal oral et nasal pour la recherche des corrélats de la nasalité dans le signal oral. Application au français et au mandarin

Maxime Fily

► To cite this version:

Maxime Fily. Caractérisation de la nasalité en contexte de parole : séparation du signal oral et nasal pour la recherche des corrélats de la nasalité dans le signal oral. Application au français et au mandarin. Sciences de l'Homme et Société. 2018. dumas-01847016

HAL Id: dumas-01847016

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01847016>

Submitted on 23 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Caractérisation de la nasalité en contexte
de parole : séparation du signal oral et
nasal pour la recherche des corrélats de la
nasalité dans le signal oral.
Application au français et au mandarin**

FILY Maxime

Sous la direction de : Nathalie Vallée, Gang Feng

Laboratoire : **Gipsa-Lab**

UFR **LLASIC**

Département **Linguistique**

Section **Recherche**

Mémoire de master 2 mention Sciences du Langage - 30 crédits

Parcours : Linguistique

Année universitaire 2017-2018



FILY Maxime

Sous la direction de : Nathalie Vallée, Gang Feng

Laboratoire : **Gipsa-Lab**

UFR **LLASIC**

Département **Linguistique**

Section **Recherche**

Mémoire de master 2 mention Sciences du Langage - 30 crédits

Parcours : Linguistique

Année universitaire 2017-2018

Remerciements

Je voudrais remercier en tout premier lieu Nathalie Vallée et Gang Feng, qui ont assuré l'encadrement de mon mémoire. Merci de m'avoir proposé un sujet aussi passionnant, aussi enthousiasmant que la nasalité. Ma passion pour la linguistique est jeune, et déjà je retrouve les sciences physiques. Je vous remercie infiniment pour votre patience, Merci Nathalie de m'avoir fait découvrir la discipline la plus mathématique de la linguistique, et merci Feng d'avoir partagé aussi généreusement tes savoirs sur le sujet, c'est inestimable. Vous avez toujours trouvé le temps de m'expliquer les concepts qui m'échappaient, et pour me guider dans la rédaction de ce mémoire. Merci d'avoir cru en moi.

Je remercie également très chaleureusement Solange Rossato et Alexis Michaud d'avoir accepté de faire partie de mon jury. De savoir que des experts aussi complets vont lire mon travail est un honneur avant tout. Malgré l'appréhension...

Je voudrais aussi remercier l'équipe VSLLD, et en particulier Coriandre, qui a essuyé avec moi les plâtres lorsque nous avons délocalisé l'expérience. Et Christophe Savariaux qui nous a accueillis si souvent à Ampère, nous les SBF. Merci aussi à Julien pour ses conseils de lectures acoustique, entre autres.

Je remercie également Amélie, Thibaut, Nicha ! Mes co-bureaux pour le temps qu'on a pu... sacrés blocages ! Merci à toi Katja, pour tous ces conseils, pour cette intelligence que ta blondeur cache si mal. Merci pour les innombrables références qui parsèment ce mémoire, et pour ces idées que j'ai eues en t'écoutant parler des éléments, de Jakobson ou de Modigliani.

La recherche, c'est avant tout cela : écouter, et comprendre. Enfin, je ne remercierai jamais assez Jean-François Patri, que j'ai écouté lorsqu'il m'a conseillé la linguistique à Grenoble. Merci Juan, sans toi je serai encore là à compter les raies du Césium !

Merci à mes parents, ma famille, évidemment, qui n'ont jamais douté.

DÉCLARATION

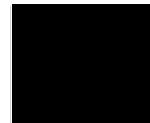
1. Ce travail est le fruit d'un travail personnel et constitue un document original.
2. Je sais que prétendre être l'auteur d'un travail écrit par une autre personne est une pratique sévèrement sanctionnée par la loi.
3. Personne d'autre que moi n'a le droit de faire valoir ce travail, en totalité ou en partie, comme le sien.
4. Les propos repris mot à mot à d'autres auteurs figurent entre guillemets (citations).
5. Les écrits sur lesquels je m'appuie dans ce mémoire sont systématiquement référencés selon un système de renvoi bibliographique clair et précis.

NOM : FILY.....

PRENOM : Maxime.....

DATE : 23 Mai 2018.....

SIGNATURE :



C'est un roc!... C'est un pic!... C'est un cap!... Que dis-je, c'est un cap?... C'est une péninsule!

Edmond Rostand

À mon grand père

Table des matières

Table des matières	3
Table des figures	5
Liste des tableaux	9
1 La nasalité dans la parole	15
1.1 Cadre théorique	15
1.2 Aspects anatomiques et articulatoires de la nasalité	18
1.3 Nasalité et nasalisation dans les langues du monde	25
1.4 La nasalité du point de vue acoustique	31
2 Séparation acoustique du signal oral et nasal : fondements de l’approche et description du protocole expérimental	39
2.1 Pertinence de la séparation oral – nasal du signal de parole	39
2.2 Méthodologie	41
2.3 Détail des campagnes d’expérimentation	43
2.4 Matériel utilisé	47
3 Résultats et analyses	49
3.1 mesures d’atténuation des microphones (XP0)	49
3.2 Étude des voyelles nasales du français (XP1)	53
3.3 Étude des codas nasales en Mandarin de Taïwan (XP2)	69
Bibliographie	79
A Corpus français	83
A.1 Corpus de monosyllabes (étude de caractérisation)	83

A.2 Corpus de mots bisyllabiques (approche formantique)	85
B Corpus Mandarin Simplifié et Traditionnel	87
C spectrogrammes des meilleures réalisations des mots bisyllabes du corpus de XP1 (locuteur HN34)	91
D Ellipses de confiance des voyelles orales et nasales dans le triangle vocalique	127
E Modèle de consentement éclairé soumis aux locuteurs enregistrés	129

Table des figures

1.1	Organisation hiérarchisée des traits, exemple d'une voyelle nasale sourde – d'après Clements (1985, p. 248)	19
1.2	Coupe sagittale des principaux articulateurs de la parole – d'après Léon (2005).	20
1.3	Répartition du flux d'air émis – comparaison d'un relâchement oral et nasal – d'après Kent (1997)	21
1.4	Comparaison de la position des articulateurs entre voyelle orale et nasalisée – d'après Straka (1965, pl. 46, 47)	23
1.5	Approche autosegmentale sur les phénomènes d'anticipation du geste articulatoire nasal (Nguyen, Wauquier-Gravelines, & Durand, 2005, p. 77)	25
1.6	Exemples de fonctions d'aire orale et nasale obtenues par la simulation – Illustration de la séparation du signal de parole, avec à gauche des exemples de fonctions d'aire (conduit nasal en haut, conduit oral en bas), à droite une schématisation de la séparation du flux entre le conduit oral et le conduit nasal – d'après Lin et Fant (1990)	35
1.7	Illustration du passage d'une fonction de transfert mesurée à celle du modèle de la sortie acoustique correspondante. La partie supérieure s'intéresse à une voyelle orale, tandis que la partie inférieure s'intéresse à une voyelle nasale – d'après Feng (1986)	35
1.8	Impédance du conduit oronasal (conduit oral + nasal) – d'après Stevens (2000, p. 192)	36
2.1	Schéma fonctionnel et photographie en utilisation de la plaque à nez	47
3.1	Atténuation du signal oral dans le micro nasal dans l'espace des formants (F_1 , F_2) (en Hz)	51
3.2	Atténuation dans le micro nasal du Nasalance System pour les voyelles orales du Français	51
3.3	Spectrogramme du mots « tâtant » sous Praat – Signal oral avec exemple de sélection de l'intervalle pour le calcul des formants de la voyelle orale	54
3.4	Dispersion des voyelles orales du français (locuteur HN34) dans l'espace acoustique (F_1 , F_2) (en Hz). Les symboles API représentent les données Calliope et Fant (1989, p. 84)	55

3.5	Formants (en Hz) du signal acoustique des voyelles orales et de la composante orale des voyelles nasales (locuteur HN34) dans l'espace acoustique (F_1 , F_2). Les symboles API représentent les données Calliope et Fant (1989, p. 84, 90) (les productions du /u/ sont peu nombreuses dans ce corpus, d'où un faible nombre de données)	56
3.6	Fréquences moyennes des formants F_i pour les voyelles orales et nasales (locuteur HN34). F_{in} = ième formant nasal apparaissant sous la forme de paires de pôles-zéros, F'_i = formant de l'oral, subissant un <i>shift</i> en fréquence en raison du couplage acoustique	57
3.7	Mise en évidence de l' <i>œil des nasales</i> par la modélisation acoustique - d'après Feng et Kotenkoff (2006)	59
3.8	Spectrogramme du mot « dotant » sous Praat – Signal oral	60
3.9	Spectrogramme du mot « tâtant » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l' <i>œil des nasales</i> . L'échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz	61
3.10	Spectrogramme du mot « mordons » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l' <i>œil des nasales</i> . L'échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz	61
3.11	Spectrogramme du mot « fretin » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l' <i>œil des nasales</i> . L'échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz	62
3.12	Exemple de sélection des intervalles pour l'analyse de la dynamique des formants (somme des trois intervalles = 100 ms).	62
3.13	Représentation des fréquences de F_3 pour les 57 réalisations de /ã/, les 33 réalisations de /ẽ/ et les 27 réalisations de /õ/ du corpus XP1. Pour une réalisation fixée, ce graphe permet de visualiser l'écart entre la fréquence du F_3 détecté dans le conduit oral (puces carrées) et la fréquence du F_3 détecté dans le conduit nasal (puces triangle), pour chaque réalisation des voyelles nasales du corpus XP1. Pour bien montrer que l'écart en F3 touche toutes les voyelles nasales, les trois voyelles sont représentées sur un même graphe. Cela ne signifie par pour autant qu'il y a une quelconque concomitance entre les différentes voyelles nasales de ce corpus.	64

3.14	Représentation des fréquences du F_3 issu du signal oral (f_3) et du F_4 issu du signal nasal (h_4) pour les 57 réalisations de /ã/, les 33 réalisations de /ẽ/ et les 27 réalisations de /õ/ du corpus XP1. Pour une réalisation fixée, ce graphe permet de visualiser l'écart entre la fréquence du F_3 détecté dans le conduit oral (puces carrées) et la fréquence du F_4 détecté dans le conduit nasal (puces triangle), pour chaque réalisation des voyelles nasales du corpus XP1. Pour montrer qu'il y a un formant de plus dans le nez, on montre ici que l'écart entre f_3 et h_4 est faible devant l'écart entre f_3 et h_3	65
3.15	Pente des formants à l'amorce de l'œil des nasal, dans le signal oral séparé	66
3.16	Valeurs des pentes de F_1 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal	67
3.17	Valeurs des pentes de F_2 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal	68
3.18	Valeurs des pentes de F_3 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal	68
3.19	Spectrogrammes de « embarrassant » par une locutrice FN19 (Savoie, à gauche) et FS23 (Carcassonne, à droite)	70
3.20	Temps de parole nasalisée (rapporté à la durée de l'oral) pour HN27 (à gauche) et HN18 (à droite)	73
3.21	Triplet CV CV+/n/, CV+/ŋ/ au ton 1 pour le locuteur HN27 (mandarin) – Signal oral	73
C.1	Spectrogramme du mot « balant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	92
C.2	Spectrogramme du mot « benzène » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	93
C.3	Spectrogramme du mot « bottons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	94
C.4	Spectrogramme du mot « canant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	95
C.5	Spectrogramme du mot « cordon » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	96
C.6	Spectrogramme du mot « crétin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	97
C.7	Spectrogramme du mot « denrée » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	98
C.8	Spectrogramme du mot « dinde » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	99
C.9	Spectrogramme du mot « dompter » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	100
C.10	Spectrogramme du mot « dotant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	101
C.11	Spectrogramme du mot « fretin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	102
C.12	Spectrogramme du mot « gonzo » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	103
C.13	Spectrogramme du mot « gredin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	104
C.14	Spectrogramme du mot « manant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	105
C.15	Spectrogramme du mot « matin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	106
C.16	Spectrogramme du mot « menthe » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	107

C.17 Spectrogramme du mot « menti » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	108
C.18 Spectrogramme du mot « mordons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	109
C.19 Spectrogramme du mot « mormons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	110
C.20 Spectrogramme du mot « motton » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	111
C.21 Spectrogramme du mot « pinté » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	112
C.22 Spectrogramme du mot « quanta » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	113
C.23 Spectrogramme du mot « quantaux » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	114
C.24 Spectrogramme du mot « regain » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	115
C.25 Spectrogramme du mot « savant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	116
C.26 Spectrogramme du mot « scindé » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	117
C.27 Spectrogramme du mot « senti » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	118
C.28 Spectrogramme du mot « sortons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	119
C.29 Spectrogramme du mot « tantôt » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	120
C.30 Spectrogramme du mot « tâtant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	121
C.31 Spectrogramme du mot « tenta » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	122
C.32 Spectrogramme du mot « toquant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	123
C.33 Spectrogramme du mot « toucan » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	124
C.34 Spectrogramme du mot « vantaux » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)	125
D.1 Mesure des intervalles de confiance pour le positionnement des voyelles dans l’espace acoustique (F_1, F_2) (Hz) – Comparaison des formants voyelles orales – voyelles nasales	127
E.1 Consentement éclairé pour l’enregistrement des corpus de cette étude (page 1/2)	130
E.2 Consentement éclairé pour l’enregistrement des corpus de cette étude (page 2/2)	131

Liste des tableaux

1.3	Relation de correspondance proposée entre voyelles orales et nasalisées	23
1.5	Les lieux d’articulation possibles pour la consonne occlusive nasale sonore (D’après Qui- lis (1993, p. 229-231) pour l’espagnol, (Allen, 2004, p. 3-4) pour la langue Bai)	26
2.2	Corpus de caractérisation des microphones – XP0 (extrait)	44
2.4	Corpus de mots bisyllabiques pour l’étude voyelles nasales du français – XP1	45
2.6	Corpus de mots monosyllabiques pour l’étude des appendices nasals du mandarin de Tai- wan – XP2	45
2.8	Caractéristiques des locuteurs sollicités pour cette étude	46
3.2	Atténuation de l’amplitude des voyelles orales du corpus monosyllabe, par consonne d’amorce (en dB)	52
3.4	Valeurs des fréquences des formants (Hz) des voyelles orales du français pour un locuteur masculin, moyennées sur 10 locuteurs (suivies de l’écart-type associé) – d’après Calliope et Fant (1989, p. 84)	54
3.6	Valeurs des formants des voyelles nasales du français pour un locuteur masculin, sans sé- paration entre signal oral et nasal – d’après Calliope et Fant (1989, p. 90). (pour information)	57

Introduction

Le langage oral occupe une place primordiale chez l'être humain. Faisant appel à la fois à des compétences cognitives et anatomiques propres, le langage oral permet la communication, le dialogue entre êtres humains. Le langage oral est un système sémiotique, mais il est bien plus, car au delà du sens qu'un énoncé peut porter, du message, voire de l'objectif pragmatique de l'énonciation, il établit un dialogue avec Autrui, et par là même devient consubstantiel à l'espèce humaine. Cette centralité du langage chez l'humain est ainsi formulée par Benveniste (1974, p. 217) : « bien avant de servir à communiquer, le langage sert à vivre ». « Il n'y a pas de langage sans voix » (Benveniste, 1966, p. 60), écrivait-il aussi. Cette dernière affirmation, régulièrement attaquée, a le mérite de poser l'acte de parole comme essentiel au langage, et même si la parole n'est pas le seul langage existant, le langage s'est construit par la parole avant tout. « Nous parlons pour être entendus et devons être entendus pour être compris », écrivent Jakobson et Halle (1956, p. 34). Cela signifie qu'indépendamment de l'objectif recherché par l'émetteur, celui-ci cherchera à produire des sons que le destinataire pourra interpréter – pourvu qu'il partage le même code. Du point de vue de la phonétique et de la phonologie, cela nous invite à mieux comprendre comment les articulateurs à notre disposition nous permettent d'exprimer une telle complexité. Car si l'on regarde simplement la signification manifeste d'un énoncé, elle est accessible par le jeu des oppositions phonologiques d'une langue. L'analyse de la parole, déjà à ce niveau, est formidablement riche et complexe, et nous avons choisi, dans le cadre de ce mémoire, d'explorer une piste déjà tracée par le travail de Feng (1986), Rossato (2000), et plus récemment Carignan (2012, 2018) et d'étudier la nasalité en décomposant cette caractéristique phonétique selon une approche proposant la séparation entre signal oral et nasal. La nasalité, au même titre que l'occlusivité d'un phonème, peut constituer un trait phonologique. Cela signifie qu'il existe et est distinctif dans la langue considérée : sa présence ou son absence change le sens d'un morphème, et il existe donc des paires minimales impliquant le trait nasal. À titre d'exemple, les occlusives sonores s'opposent aux occlusives nasales sur ce trait, et « baie » /bɛ/ est donc en opposition phonologique avec « mais » /mɛ/ sur ce trait.

Jakobson, Fant, et Halle (1951, p. 16 sq.), et Fant (1960) ont développé une approche fondatrice en termes de formalisation physique : la théorie source-filtre. Le déroulement de ces réflexions est le canevas sur lequel est basée l'approche acoustique de ce mémoire. Du point de vue de la caractérisation articulatoire-acoustique, le travail de Straka (1965), qui compile une description des sons du français, aborde les voyelles nasales de manière simple et efficace : il attribue au conduit nasal un formant basse fréquence, émis par le conduit nasal, tandis que le conduit oral émet les résonances des cavités pharyngale et buccale (Straka, 1965, pl. 56). Si l'analyse est juste du point de vue phénoménologique, elle n'illustre pas toute la complexité acoustique de la nasalité qu'on ne peut malheureusement résumer à l'apparition de « résonances graves » dans le signal. Cela est confirmé par les tentatives faites pour obtenir un modèle de la nasalité, qui induisent souvent un niveau de complexité forte. En effet, les équations de la parole étant déjà à variables multiples (espaces et temps), l'ajout d'un couplage acoustique entre le conduit oral et le conduit nasal rend ces dernières insolubles analytiquement. La modélisation numérique de ce couplage, par ailleurs, n'a pas encore permis de mettre en évidence d'indices acoustiques de la nasalité comme on peut en trouver pour les voyelles orales typiques (les formants, qui sont des grandeurs validées pour décrire ce type de production). De là se pose la question de la méthode pour aborder la nasalité, et de cette question émerge la problématique de notre travail : la séparation du signal de parole entre oral et nasal permet-elle d'obtenir des corrélats acoustiques de la nasalité, c'est à dire des indices acoustiques permettant de donner, de manière chiffrée et prévisible, une indication de la participation des fosses nasales dans le signal de parole ?

Faisant écho à Jakobson (1971, p. 338) : « *It is impossible to analyze exhaustively a single system of signs without constant reference to the general problems of semiotics* », nous avons choisi de laisser une grande place au langage dans ce travail de phonétique expérimentale. La composante acoustique de notre étude a donc été nourrie avec des enregistrements de mots dans des phrases cadres, de sorte que les voyelles orales et nasales correspondent à une réalité linguistique. Cela part d'une hypothèse récurrente en phonétique : à partir du moment où une différence phonologique est faite entre deux phonèmes, il existe une différence acoustique. Cette différence existe, même si parfois le scientifique ne peut la mesurer précisément. Le cas des nasales est un bon exemple de phénomène que le cerveau détecte et catégorise mieux que le scientifique, et il est important pour ce dernier de borner son étude, ici à la linguistique (qui n'est pas l'acoustique, même si elle s'en sert). Ainsi, tout en restant humble quant à la portée de ce travail, nous considérons que son objectif s'inscrit dans un cadre plus large consistant à décrire et comprendre la participation de la nasalité dans les processus d'évolution des systèmes phonologiques, que nous ne faisons qu'effleurer dans ce mémoire.

Nous explorons d'abord la théorie de Clements (1985), qui propose l'idée selon laquelle la nasalité est un trait phonologique qui, par sa relative indépendance du conduit oral au point de vue articulatoire, et sa place au sein des consonnes et des voyelles, est positionné en relation de dominance par rapport aux traits phonologiques du conduit oral. Après une discussion sur les apports et les limites du binarisme pour l'étude de la nasalité, nous tenterons de justifier notre passage à une approche hiérarchisée du type de celle proposée en phonologie non-linéaire par Nick Clements. La nasalité du point de vue phonologique est donc discutée au Chapitre 1, puis, après un état des lieux sur la nasalité via un inventaire – forcément parcellaire – des langues du monde ayant des nasales phonologiques, nous tenterons de relier ces considérations phonologiques aux théories acoustiques et articulatoires.

Considéré comme un trait *résonant* par Jakobson et al. (1951, p. 17), et étant entendu que le phénomène de couplage acoustique lié à l'ouverture du velum est extrêmement complexe, nous nous concentrons au chapitre 2 sur les aspects acoustiques avec une méthodologie de découplage du signal, relativement récente en phonétique expérimentale. En pratique, le découplage du signal est effectué grâce à un procédé de séparation acoustique, via l'utilisation d'une plaque à nez (*The Nasalance System*, constitué de 2 microphones pour l'enregistrement séparé du signal oral et nasal). Pour ce volet acoustique, en effet, l'idée de Feng et Castelli (1996) selon laquelle les formants de l'oral contiennent les indices acoustiques de la nasalité des voyelles nasales est explorée, avec pour objectif de montrer que la séparation acoustique du signal entre oral et nasal simplifierait énormément la recherche des indices acoustiques de la nasalité. Nous présentons enfin dans un troisième chapitre nos résultats et analyses sur le français en premier lieu (sur la nasalité vocalique), puis sur le Mandarin de Taïwan (sur les consonnes coronale /n/ et vélaire /ŋ/ en fin de syllabe CVC, dans le prolongement de l'étude de Tseng (2007, p. 106 sq.)), afin de montrer que la séparation du signal oral et nasal peut aussi mettre en évidence des phénomènes d'anticipation et de persévérance en contexte de parole.

Chapitre 1

La nasalité dans la parole

Ce mémoire couvre plusieurs champs disciplinaires, il nous est apparu important de consigner ici un certain nombre de points afin que le lecteur puisse s’y référer et que l’ensemble des conventions et hypothèses soit bien connu.

1.1 Cadre théorique

1.1.1 Définitions

Corrélat Définition de Feng (1986, p. 29) : « On appelle *corrélats* l’ensemble des caractéristiques qui différencient systématiquement les signaux de parole entre lesquels on peut opérer une distinction de sens (cognitive) grâce à un choix sur deux catégories de sons (phonèmes) ne différant elles-mêmes que par un trait. » En d’autres termes, un corrélat acoustique est un marqueur permettant d’affirmer la présence ou non d’un trait phonologique au niveau acoustique. Il existe une forme de variabilité au corrélat, c’est à dire si idéalement, un corrélat est une quantité physique chiffrée, on n’exclut pas une certaine variabilité de ces valeurs. La validation d’un corrélat est avant tout perceptive : si la présence d’un corrélat est perçue, dans toute sa variabilité, alors le corrélat est validé.

Nasalisation Caractéristique d’un son du langage qui, sans être phonologique sur ce trait, possède le trait de nasalité, soit par assimilation soit par sa variabilité dans sa réalisation (e.g. /i/ *nasalise* très facilement).

- Trait distinctif Définition de Jakobson et Halle (1956) : « *Linguistic analysis gradually breaks down complex speech units into morphemes as the ultimate constituents endowed with proper meaning and dissolves these minutest semantic vehicles into their ultimate components, capable of differentiating morphemes from each other. These components are termed distinctive features.* ». Un trait distinctif est une unité qui, par sa présence ou son absence, change le sens d'un mot.
- Nasalité Caractéristique d'un phonème qui est réalisé avec ouverture du port vélopharyngé, et pour lequel l'absence vs la présence du trait donne lieu à des paires minimales dans la langue.
- Panchronique Se dit d'un phénomène linguistique qui traverse une longue période sans subir de variation majeure. S'agissant de l'approche, on dit qu'une approche est *panchronique* en phonologie lorsqu'elle cherche par exemple à établir des règles générales concernant l'émergence des sons en phonologie, indépendamment du groupe de langue considéré. À ce titre, il est important selon (Michaud, 2017, p. 26) d'associer l'expérimentation à la phonologie : « *Panchronic phonology is close [...] to evolutionary phonology, a theory of phonology that aims to combine insights from historical phonology and experimental phonetics* »
- Ordre Au sens de Martinet, un ordre de phonème est constitué des phonèmes partageant un même lieu d'articulation, par exemple l'ordre des consonnes bilabiales qui contient /m/, /b/, /p/ pour le français. Dans l'arbre des hiérarchies de Clements (1985), un même ordre se lit sur le « nœud de lieu » « *place tier* », qui regroupe les traits relatifs à la configuration géométrique du conduit oral.

Série Au sens de Martinet, une série de phonèmes est constituée de phonèmes partageant le même mode articulo-voicatoire. Par exemple la série des occlusives nasales, est constituée des phonèmes qui sont réalisés avec abaissement du velum et fermeture complète du conduit oral (/m/, /n/, /ɲ/ en français). D'après la théorie de la géométrie des traits hiérarchisée de Clements (1985) les nœuds dominés par le nœud d'une série donnée enrichissent la série considérée. Par exemple, le « nœud de lieu » (« *place tier* »), suivant les valeurs que prennent les traits qui sont attachés, fournit des membres de la série des nasales (/ã/, /ɔ̃/, /ɛ̃/). Inversement, les nœuds qui dominent le nœud de manière (*manner tier*) viendront créer de nouvelles séries de nasales.

1.1.2 Ancrage dans les théories phonologiques

Caractérisation phonologique de la nasalité

En raison de ses propriétés acoustiques, la nasalité est un trait assez reconnaissable, bien qu'il n'est considéré que comme étant « le trait mineur le plus répandu parmi les voyelles » par Maddieson et Ladefoged (1996, p. 298). Si l'on se réfère à la définition de Jakobson et al. (1951, p. 1-2), le trait distinctif est défini comme un élément qui, par commutation avec un autre trait distinctif, change le sens du mot. On est en présence de *paires minimales* qui, suivant le trait qui change, varieront soit sur un seul trait (paire minimale *quintessentielle*, e.g. /bal/ vs /pal/¹), soit deux traits (« *distinctive duple* », ou « doublet distinctif », e.g. /bal/ vs /pal/²), voire trois traits (« *distinctive triple* », ou « triplet distinctif », e.g. /bal/ vs /sal/³) (Jakobson & Halle, 1956, p. 29 sq.).

Dans la classification de Jakobson, le trait nasal/oral est un trait distinctif, qui se caractérise par « La diffusion de l'énergie disponible sur de plus larges bandes de fréquence [...] par réduction de l'intensité de certains formants [...] et l'introduction de formants additionnels (nasals) » (ibid.). Cette définition, qui tente de résumer le couplage acoustique à des effets sur les formants, permet de mesurer les avancées qui ont été faites sur la nasalité. N'abordant pas le couplage acoustique dans toute sa multiplicité, il n'est cependant pas certain que le binarisme soit d'une très grande aide pour aborder la question de la caractérisation des phénomènes nasals. La grande force de la définition de Jakobson de

1. qui diffèrent sur le seul trait de voisement entre /b/ et /p/

2. qui diffèrent sur le trait de voisement et de grave/aigu

3. qui diffèrent sur le trait de voisement, de blocage et de grave/aigu

la nasalité se trouve probablement dans son choix de citer John Lotz, qui avait formulé la suggestion que « la nasalité est de toute évidence un trait qui se superpose (à la forme vocalique) et qui ne peut fonctionner qu'en se rajoutant aux autres qualités du segment ». C'est le cas des voyelles nasales, qui sont orales et nasales en même temps (Cf. 1.2 p. 22). Du point de vue des traits distinctifs, la nasalité est trop complexe pour entrer facilement dans le concept de paires minimales. Garellek, Ritchart, et Kuang (2016) écrivent d'ailleurs à ce sujet : « it has become increasingly clear that nasality is phonetically multidimensional ». Elle ne s'insère pas non plus très facilement dans le cadre SPE (Sound Pattern of English), parce que la complexité des phénomènes nasals en SPE ne peut être rendue qu'au cas par cas (avec des règles) tandis que d'autres conventions traitent ce trait bien plus directement. C'est le cas notamment de la phonologie autosegmentale, qui permet par exemple d'expliquer les phénomènes d'assimilation des consonnes nasales en un schéma unique (voir section 1.2 p. 20). La phonologie autosegmentale fait une séparation entre un geste catégoriel et un geste articulatoire. Un geste catégoriel fait entrer une réalisation dans une catégorie de sons, et un geste articulatoire est un ensemble de mouvements permettant d'atteindre une cible. Par assimilation progressive ou régressive, le geste catégoriel pourra se transmettre au phonème adjacent (voir section 1.2.1 p. 24)

Dans la théorie de Clements (1985), le geste « nasal » est dit « catégoriel ». Il domine et est relié au geste articulatoire (voir Figure 1.1), donc il l'influence directement. Les règles de domination établies s'appliquent lorsque le même type de rencontre a lieu (e.g. une assimilation aurait toujours lieu de la même manière à toutes les configurations similaires). Si occlusion et constriction sont mutuellement exclusives, rien n'empêche de combiner la nasalité avec d'autres gestes concernant le conduit oral : Vaissière et Amelot (2008) le justifient ainsi : la nasalité est un trait dont l'articulateur peut bouger en « désynchronisation avec les autres articulateurs », ce qui lui confère sa position dans l'arbre hiérarchique des traits phonologiques de Clements (1985). Il est donc plus facile d'envisager la nasalité séparément de l'oralité avec l'approche de Clements, c'est pourquoi le choix d'une représentation hiérarchique de la nasalité a été fait. La Figure 1.1 en donne une illustration, et nos réflexions phonologiques emprunteront son formalisme.

1.2 Aspects anatomiques et articulatoires de la nasalité

La nasalité est une caractéristique phonétique réalisée articulatoirement par l'abaissement du velum ou palais mou, lequel permet ou non l'accès aux fosses nasales via le port vélopharyngé. Cet

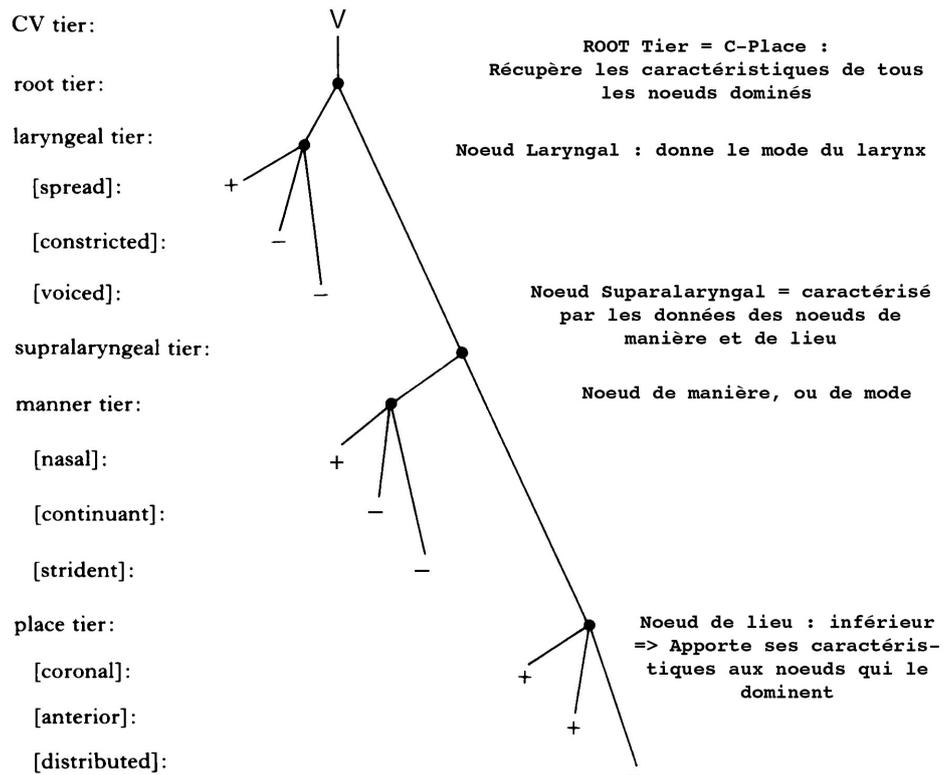


Figure 1.1 – Organisation hiérarchisée des traits, exemple d’une voyelle nasale sourde – d’après Clements (1985, p. 248)

articulateur a un fonctionnement qui n’est pas aussi finement contrôlé que la langue, si bien que souvent on considère que le port vélopharyngé est soit ouvert, soit fermé. La Figure 1.2 fournit une coupe sagittale avec les principaux articulateurs impliqués dans les phénomènes nasals.

Du point de vue articuloire, « un son nasal est produit avec le port vélopharyngé ouvert. Un phonème est dit nasal lorsqu’il est articulé avec le voile du palais détaché de la paroi pharyngée » (Amelot, 2004, p. 25). Pour notre étude, trois modalités de la nasalité seront distinguées (Maddieson & Ladefoged, 1996, p. 102) :

- Les sons nasals, réalisés avec port vélopharyngé ouvert et fermeture buccale complète. En français, cela correspond aux consonnes nasales.
- Les sons nasalisés, réalisés avec avec port vélopharyngé ouvert et conduit buccal ouvert. En français, cela correspond aux voyelles nasales.
- On parlera de nasalisation lorsque par assimilation, un phonème non nasal prend une caractéristique nasale d’un phonème voisin. C’est le cas du premier [a] de « maman » en Français.

Maddieson et Ladefoged (1996, p. 298) remarquent : « *Nasalization appears to be a binary feature from a phonological point of view. But there are phonetic contrasts between oral, lightly nasalized*

and heavily nasalized vowels in some languages ». Si l'on considère la production de sons en fonction du degré de couplage du velum, les cas ci-dessus correspondent en fait aux cas limites. Considérant que le flux du larynx se sépare entre les fosses nasales et le conduit oral, le cas limite avec flux nul dans les fosses nasales correspond à tout phonème ayant le trait [- nasal] ou [+oral], et l'autre cas avec flux nul dans la bouche correspond au cas limite inverse [+ nasal] ou [-oral] (e.g. /m/ /n/ /ŋ/ en français). Les cas intermédiaires sont finalement assez rares (Maddieson et Ladefoged (1996) citent un seul cas), les langues ayant des degrés de nasalité étant plutôt rares. Mais, de même que précédemment, l'existence d'un degré de nasalité, d'un couplage intermédiaire du port vélopharyngé, remet en question l'approche binaire qui ne serait pas adaptée pour rendre compte de la nasalité distinctive.

Les consonnes nasales : dominance des nasales sonores

Une consonne nasale peut théoriquement être réalisée sourde ou sonore. Mais en pratique les sonores sont plus fréquemment rencontrées dans les inventaires sonores des langues du monde (Maddieson et Ladefoged, 1996, p. 106 ; Maddieson et Disner, 1984, p. 14). Les nasales consonantiques sont réalisées en fermant le conduit oral, tout en ouvrant le port vélopharyngé. Si la consonne est voisée, le voisement issu des plis vocaux fait entrer en résonance le conduit nasal, couplé au conduit oral. La

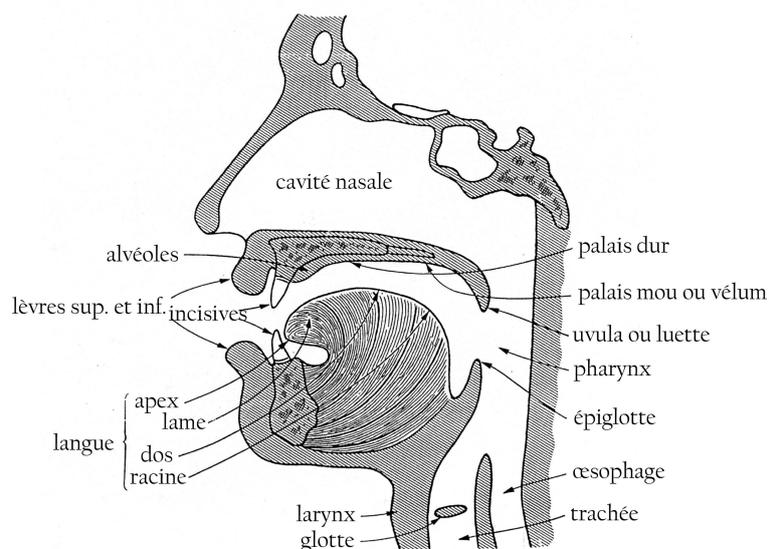


Figure 1.2 – Coupe sagittale des principaux articulateurs de la parole – d’après Léon (2005).

consonne nasale sonore est dite *relâchée* lorsque le conduit oral s'ouvre de nouveau. Un schéma de l'opposition entre ce type d'articulation et une consonne occlusive orale est donné en Figure 1.3.

Les nasales sourdes sont de facto bien plus rares car pour les réaliser, le locuteur doit être en mesure de contrôler la pression dans le conduit oral (Solé, 2014). Parmi les gestes sourds principaux envisageables pour le conduit oral (occlusion, constriction, voire *trill*), aucun n'est facilement compatible avec la nasalité. Pour une occlusive sourde, l'accumulation de pression nécessaire au bruit d'explosion est incompatible avec l'ouverture du port vélopharyngé. Pour une constrictive sourde, le locuteur doit fermer son conduit oral jusqu'à ne laisser qu'un passage très faible (de l'ordre du diamètre au niveau de la glotte) Dans ces conditions, pour produire ce type de phone, la pression intra-orale doit rester supérieure à 80 % de la pression sous-glottique (Stevens, 2000, p. 111, 112), ce qui est d'autant plus difficile si le port vélopharyngé est ouvert. De même, pour une vibrante, l'énergie requise pour faire entrer en vibration l'articulateur est insuffisante si on ouvre le port vélopharyngé. Cela ne signifie pas qu'une nasale sourde est impossible, mais on comprend pourquoi seules 4 % des langues de la base UPSID ont des nasales non sonores. Il existe des exceptions, dont nous mentionnons quelques exemples (voir section 1.3).

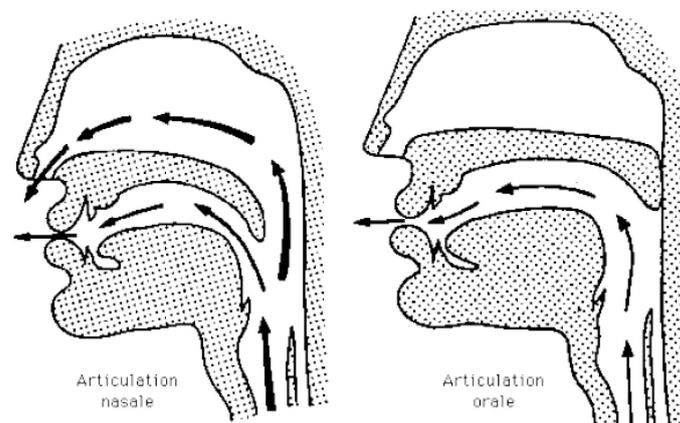


Figure 1.3 – Répartition du flux d'air émis – comparaison d'un relâchement oral et nasal – d'après Kent (1997)

Les voyelles nasales

Les voyelles nasales constituent en général des séries, au sens de Martinet. Ces séries, où seuls 3 à 4 ordres existent en français, sont généralement plus restreinte que la série des voyelles orales. Le principe d'économie des traits de Clements (2003) explique l'émergence de séries phonologiques, qui compteraient un maximum de termes tant que leur distinctivité n'est pas remise en question. À l'origine de cette série de voyelles nasales se trouverait la chute d'une consonne nasale du français, qui aurait commencé par transmettre le trait [+ nasal] à la voyelle précédente, et qui aurait fini par disparaître (Martinet, 1965). Selon cette référence, en effet, Le fait que par exemple /a/+N n'assonne pas avec a+C est un signe déjà de particularisation du trait nasal. Pour expliquer les raisons qui causent préférentiellement l'émergence de nasales parmi les voyelles basses, Martinet (1965), Hajek et Maeda (2000), par une comparaison qui ne se base pas que sur le français, avancent un nombre conséquent de phénomènes en compétition lors de l'établissement d'une nasalité vocalique. Le lien entre l'antériorité de la voyelle et son affinité supposée pour le trait nasal, est notamment moins évidente au fur et à mesure que la diversité des phénomènes nasals s'établit. Hajek et Maeda (2000, p. 11) donnent par ailleurs un certain nombre d'explications sur cette diversité de causes : effets antagonistes entre voyelles hautes (qui nasalisent plus facilement) et voyelles basses (qui sont plus longues, donc plus facilement associées à des nasales, également longues).

De ce fait, les oppositions entre orale et nasale ne sont pas binaires comme pour les consonnes puisque pour le français chaque nasale a sa particularité orale propre. La configuration du conduit oral pour une voyelle nasale peut être en tout point identique articulatoirement à la forme du conduit oral de la voyelle orale correspondante. Or même si on a tendance à associer à une nasale une orale correspondante, le conduit oral est modifié entre une production orale et sa nasale associée. Cela questionne la différence de conduit oral entre production orale et nasale ; ce point fait partie de notre questionnement de recherche que nous présentons au chapitre 2.

Les équivalences faites dans la Table 1.3 ne sont pas parfaitement exactes, car comme dit précédemment, aucune voyelle en français n'est nasalisée par le simple abaissement du velum. Une reconfiguration s'opère forcément pour générer une opposition orale vs nasale, et nous pensons que l'abaissement du velum se retrouve – quand cela est possible – compensé par un élargissement du conduit oral à un autre endroit. A titre d'exemple, la figure 1.4 donne une comparaison sur /ã/ et /õ/, étayée par les travaux en phonétique articulatoires de Straka (1965).

Type de voyelle	Nasale	Voyelle associée articulatoirement	Voyelle associée acoustiquement
antérieure ouverte	/ã/	/ɔ/ : longueur du conduit vocal, i.e. protrusion et abaissement larynx Feng (1986, p. 111) /ɑ/ : Apex et lame du /ɑ/. D'après Straka (1965, pl. 47)	/ɔ/ : Feng et Kotenkoff (2006)
postérieure fermée	/õ/	/ɔ/ : Straka (1965, pl. 46)	/o/ : Straka (1965, pl. 47)
antérieure fermée	/ẽ/	/a/ : Feng (1986) , /ø/ : Straka (1965, pl. 46)	/ɛ/ : plus grande constriction labiale que pour la nasale (Straka, 1965, pl. 47)

Table 1.3 – Relation de correspondance proposée entre voyelles orales et nasalisées

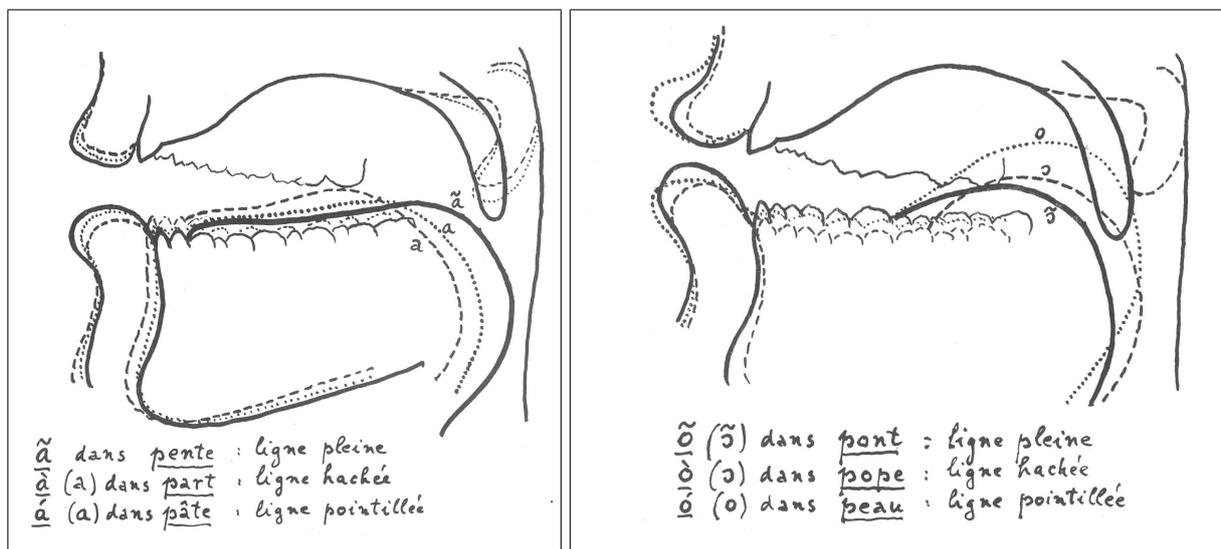


Figure 1.4 – Comparaison de la position des articulateurs entre voyelle orale et nasalisée – d'après Straka (1965, pl. 46, 47)

- Pour le cas du /ã/, la langue est plus postérieure que pour /a/. Le velum est abaissé et la protrusion des lèvres est plus importante. Ici, il semble que cela est dû à un phénomène de compensation que nous ne pouvons discuter. Par contre, cela nous aide à comprendre pourquoi Feng et Kotenkoff (2006) associent plutôt le « o » ouvert /ɔ/ que le /ɑ/, ainsi que le montre la comparaison croisée entre les deux schémas de la figure 1.4.
- Pour le cas du /õ/, la langue est en position plus antérieure que pour /ɔ/. Le velum est abaissé et la différence de protrusion des lèvres est faible. Ici, il semble que l'abaissement du velum s'accompagne simplement d'une réalisation moins postérieure de la voyelle.

L'abaissement du velum est associé dans les deux cas à une position différente des lèvres

entre voyelle orale et correspondante nasale. La longueur du conduit, tronquée d'un côté par l'abaissement du velum, est légèrement agrandie du côté des lèvres. S'agit-il d'une compensation de taille de conduit afin de renforcer la perception d'une opposition phonologique le plus possible sur le seul trait de nasalité? Selon la théorie acoustique de la parole (Straka, 1965, pl. 56), la partie dents-lèvres (le vestibule) agit sur les hautes fréquences (H.F.), tandis que l'ensemble cavité buccale - pharynx agit sur les basses fréquences (B.F.). Il ne s'agit pas a priori de compensation, cependant on sait que systématiquement, la nasalisation d'une voyelle entraîne en français plus de modification du conduit oral que celle engendrée par le seul mouvement d'abaissement du velum.

Au point de vue acoustique, les équivalences sont plus difficiles à faire, en raison notamment du couplage. Les rapprochements faits avec Feng et Kotenkoff (2006) et Straka (1965) sont une partie des références disponibles, on pourrait également citer Martinet (1965), qui explore les assonances en poésie pour expliquer les rapprochements entre productions orales et nasales. Le fait est qu'au point de vue acoustique, une part de l'association orales nasales est perceptive, subjective, car le couplage acoustique entre le conduit oral et le conduit nasal rend difficile les associations de spectre. Feng et Kotenkoff (2006) ont rendu plus simple cette association, et on peut entrevoir le potentiel de la séparation acoustique des signaux oral et nasal pour ces associations phonologiques.

1.2.1 Effets de la nasalité sur les phonèmes adjacents

La phonologie autosegmentale propose le schéma donné en figure 1.5 pour illustrer très simplement la nasalité.

La nasale devant une consonne obstruante prend souvent le lieu d'articulation de la consonne qui suit, par un phénomène d'assimilation régressive. Ainsi, *influir* en Espagnol sera réalisé [inɲfluir] (Quilis, 1993, p. 229-231). En Français, on remarquera que l'écrit a conservé les marques de cette contrainte de voisinage : dans les voyelles nasales on écrit « m » devant « p » ou « b » pour former la nasale, cela provient de la prononciation ancienne (non nasalisée) où le trait nasal était sur la consonne (Hajek & Maeda, 2000). Chez les locuteurs qui ont tendance à dénasaliser, le lieu d'articulation de la nasale est obtenu par assimilation régressive de la consonne. « Un petit » /ɛ̃pəti/ peut être réalisé [ɛ̃mpti] et « un demi » /ɛ̃dəmi/ peut être réalisé [ɛ̃ndmi].

La nasale peut, quant à elle, transmettre son trait aux phonèmes adjacents par des effets d'anticipation et de persévérance. Ces phénomènes sont la conséquence des propriétés biomécaniques du velum. Nous essaierons de voir cette dynamique en Section 3.3.1.

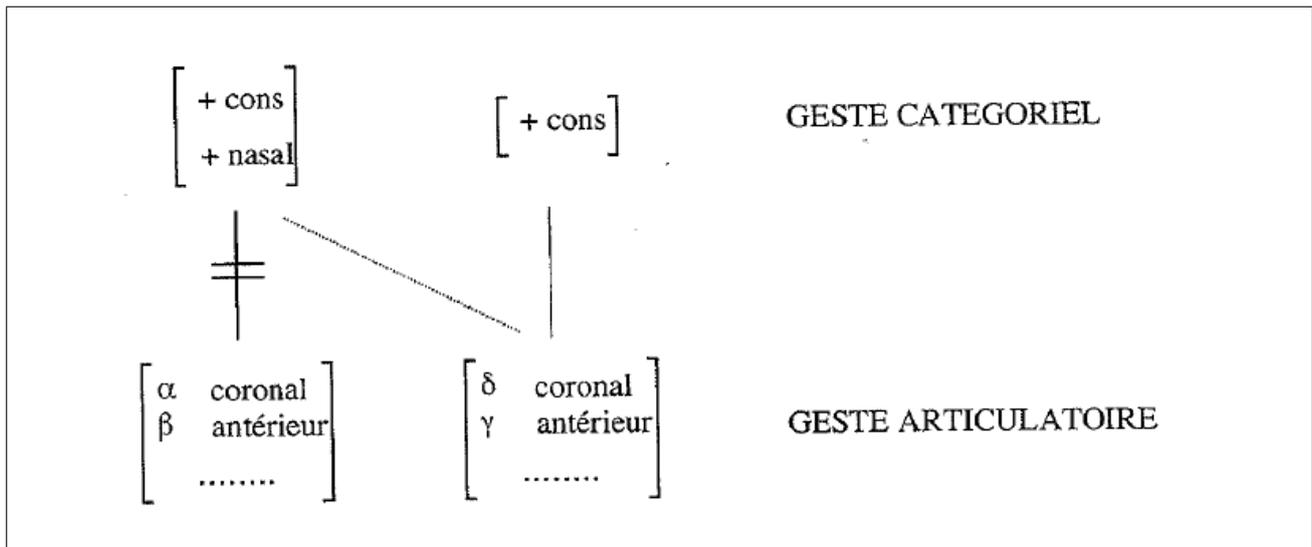


Figure 1.5 – Approche autosegmentale sur les phénomènes d’anticipation du geste articulatoire nasal (Nguyen et al., 2005, p. 77)

1.3 Nasalité et nasalisation dans les langues du monde

Présent sous forme consonantique dans 96,5 % de l’inventaire UPSID (UCLA phonological segment inventory database, Maddieson et Precoda (1989)), ce trait est très répandu dans les systèmes consonantiques des langues du monde. Au niveau des voyelles, ce trait est présent dans 22,62 % des langues, dont le français qui possède des voyelles nasales phonologiques.

Pour des raisons que nous avons développé dans la Section 1.2, la plupart des phonèmes nasals sont voisés. Maddieson et Ladefoged (1996, p. 102-136) ne se limitent cependant pas à ce constat, et listent toutes les formes que peut prendre un segment ayant le trait [+ nasal]. Nous distinguerons les nasales en segment *simple* telles que /m/ ou /n/, qui ont une seule articulation primaire, les nasales en segment *élaboré* telles que /ã/ ou /ṁ/, ou en segment *complexe* telles que /ã²/ ou /ṽ/, qui cumulent respectivement 2 ou 3 articulations supplémentaires.

1.3.1 Consonnes nasales en segment *simple* : les occlusives sonores

Ce sont les nasales les plus communes. Par exemple, lorsqu’il existe un contraste entre plusieurs séries de nasales (sourdes, sonores, etc.), les occlusives nasales en font généralement partie (Maddieson

& Ladefoged, 1996, p. 106-107). En segment simple, il y a fermeture du conduit oral. Le couplage avec le conduit oral est donc très faible, et la résonance nasale y est la plus saillante (même si l'oral ne disparaît pas complètement malgré l'occlusion, comme expliqué en introduction du Chapitre 2, p. 39). C'est pourquoi leurs caractéristiques articulatoires, acoustiques et perceptives sont décrites en détail aux sections 1.2 et 1.4 et qu'ici, pour les langues du monde, nous passons simplement en revue simplement les lieux d'articulation de ces nasales (Table 1.3), qui se distribuent de la partie antérieure à la partie postérieure du conduit oral :

Lieu d'articulation	bilabial	labio-dental	dental, al-véolaire	rétroflexe	palatal	vélaire	uvulaire
Phonème associé	/m/	/n/	/n/	/ŋ/	/ɲ/	/ŋ/	/N/
Exemple	« aimer »	« influir »	« haine »	« foyer »	« baño »	« 唱 »	« 我 »
Langue	Français	Espagnol	Français	Malay-alam	Espagnol	Mandarin	Bai
Réalisation phonétique	[eme]	[iŋfluir]	[ɛn]	[aŋə]	[ɔŋɔn]	[tʂʰaŋ]/	[Nɔʋ]
Phone	[m]	[ɱ]	[n]	[ɳ]	[ɲ]	[ŋ]	[N]

Table 1.5 – Les lieux d'articulation possibles pour la consonne occlusive nasale sonore (D'après Quilis (1993, p. 229-231) pour l'espagnol, (Allen, 2004, p. 3-4) pour la langue Bai)

Pour une langue donnée, tous les lieux d'articulation des nasales ne sont souvent pas exploités phonologiquement en même temps (e.g. Table 1.5 : la labiodentale [ɱ] de *influir* en espagnol est phonétique, mais phonologiquement elle est allophone de /n/). Vallée, Boë, Schwartz, Badin, et Abry (2013, p. 159) indiquent à partir des données d'ULSID (451 langues), que parmi ces 7 lieux d'articulations, il n'est pas répertorié de langue ayant plus de 5 lieux d'articulation différents pour les occlusives nasales, et que pour les cas majoritaires (3 lieux d'articulation), les lieux coronal, bilabial et vélaire sont majoritaires (comme c'est le cas en mandarin par exemple, où seuls /m/ /n/ /ŋ/ sont présents). La langue Bai, citée dans la Table 1.5, est parlée par la minorité ethnique Bai, originaire du Yunnan. Constituée de 1 850 000 personnes environ, elle se concentre à 65 % dans la préfecture de Dali. La langue Bai est issue de la famille tibéto-birmane. Ayant subi l'influence du mandarin depuis des siècles, La langue Bai a évolué, et emprunte notamment une part de son vocabulaire au mandarin (Allen, 2004, p. 3-4).

1.3.2 Consonnes nasales en segment élaboré

En plus des voisées, il existe des nasales sourdes (*voiceless nasals*), murmurées (*breathy voiced nasals*) et laryngalisées (*creaky voice nasals*). D'après les observations de Maddieson et Ladefoged (1996, p. 106), on observe un maximum de 3 séries de nasales parmi les 4 citées ci-dessus, et lorsqu'une langue possède 3 séries de nasales ou plus, la série des sonores est toujours présente. Certaines de ces nasales se voient qualifiées de sourdes en raison du phénomène de *rhinoglottophilie*, qui désigne l'affinité qui existe entre le conduit nasal et la glotte : « *an affinity between the feature of nasality and the articulatory involvement of the glottis* », Matisoff (1975, p. 265). La rhinoglottophilie dont la délimitation en phonétique n'est pas complètement arrêtée, désigne l'affinité entre des phonèmes tels que /ʔ/ ou /h/ et les phénomènes nasals. Par prudence, et en cohérence avec Michaud (2017) qui préfère parler d'« affinité entre le lieu d'articulation glottal et le mode nasal », nous préférons cette formulation, de façon à ne pas créer d'ambiguïté.

nasales laryngalisées et pré-laryngalisées

Les nasales laryngalisées sont réalisées en utilisant la voix craquée (« *creaky voice* ») : les cartilages arythénoïdes sont resserrés, ce qui comprime les plis vocaux, et induit une vibration plus antérieure des plis vocaux, à fréquence plus basse et débit d'air plus faible que pour la voix modale (Maddieson & Ladefoged, 1996, p. 48).

Une nasale est pré-laryngalisée si avant la réalisation de la nasale le locuteur passe en voix craquée. Cette activité du larynx crée le contraste avec les nasales non-laryngalisées. On retrouve cette série en langue jalapa Mazatèque (23 000 locuteurs, dont environ 5 000 monolingues), en contraste avec deux autres nasales : la nasale murmurée et la nasale sonore (Maddieson & Ladefoged, 1996, p. 107).

En langue !Xóõ (langue Khoisan du Bostwana), trois séries de nasales existent pour le lieu d'articulation bilabial (ibid.) : /m/, /ᵐ/ et /ᵑ/ (une nasale sonore, une sourde et une laryngalisée). La langue talan (langue katuique du Laos et Viet-Nam) possède également la combinaison nasale – voix craquée (Ferlus, 2004) mais uniquement en fin de rime, et sous la forme /mʔ/, /nʔ/, etc. (nasale à relâchement laryngal).

Nasales murmurées

Cette série est présente dans les langues Tibéto-birmanes (birman, hindhi), en Amérique du Nord et en Afrique (tsonga du Mozambique et de l’Afrique du Sud). Par rapport aux nasales sonores, ces productions ont un débit nasal accru lors de la nasalisation, dû probablement à une compensation « par le débit » de la différence d’intensité du voisement entre son voisé et murmuré (Maddieson & Ladefoged, 1996, p. 107). Les locuteurs de ces langues réalisent là ce qui peut parfois être perçu comme une aspiration. Les plis vocaux sont dans la même position que pour faire une fricative glottale de type /h/. Garellek et al. (2016, p. 10), par une analyse diachronique de la nasalité soufflée, observent que plusieurs langues, dont le Yi du sud (langue tibéto-birmane du groupe ethnique chinois Yi du Yunnan), ont une nasale soufflée qui tend vers une aspiration seule, le trait de nasalité se retrouvant transféré dans la rime. Les raisons en sont que perceptivement, la nasalité sourde est peu différente d’un simple /h/, et qu’articulatoirement, le niveau de tension des plis vocaux est sensiblement le même entre les productions de /h/ et de /m̥/ par exemple.

Nasales sourdes

Ces productions sont similaires aux nasales soufflées, à ceci près que lors de la production des nasales dévoisées (ou sourdes) le souffle est très peu perceptible (Castro & Xingwen, 2014, p. 60-64). En langue Sui du Guizhou (300 000 locuteurs), ainsi que dans d’autres langues, ces nasales dévoisées existent. Il y a une tendance au transfert de la nasalité de la partie sourde du signal à la rime, comme pour les nasales murmurées en langue Yi du sud (Cf. supra). Cette tendance au transfert, Michaud, Jacques, et Rankin (2012) en effectuent une description dans plusieurs langues du monde, et conclut qu’elle est multiforme, avec une tendance à passer plutôt de la consonne nasale à la voyelle (l’inverse est plus rare). Comme nombre d’évolutions, elle est expliquée par des considérations articulatoire-acoustico-perceptives (Voir Section 1.2) : la nasale avant la voyelle étant soit murmurée soit sourde, ce transfert de nasalité pourrait aider à la perception de ce type de sons.

Le cas des nasales en langue na (Yongning, Chine)

De manière similaire à ce qu’il se passe en Yi du Sud (Garellek et al., 2016) ou en Sui du Guizhou (Castro & Xingwen, 2014) avec le phénomène de transfert de nasalité, Michaud (2017, p. 448, 461) fait état de phénomènes similaires en langue na (47 000 locuteurs) : « *Yongning Na has a relatively*

large inventory of nasal rhymes, /ĩ/, /ĩ̃/, /õ/, /w̃ɾ/, /ã̃/ and /ã/ » [but the nasals] « /ĩ/, /ĩ̃/, /w̃ɾ/, /ã̃/ and / all appear[ing] only after /h/ ». Ce phénomène, interprété du point de vue du phonéticien ne peut pas aisément être définitivement tranché en faveur d'un phénomène de transfert de la nasalité comme en Yi du Sud car aussi bien acoustiquement que perceptivement, il est très difficile de faire la différence entre une nasale dévoisée suivie d'une voyelle orale et une aspirée suivie d'une nasale, à tel point que Garellek et al. (2016) en viennent à supposer que l'évolution vers une aspirée nasale serait due à une mauvaise perception des locuteurs, ou à une volonté de renforcer le trait nasal en rajoutant du souffle (*breathy-voice*) dans l'attaque de syllabe. La piste acoustique, qui exploite les similitudes H.F. entre une nasale et un *h sound* est une piste qui mériterait d'être poursuivie pour expliquer l'affinité de ces deux caractéristiques phonétiques. Des tentatives d'expliquer ces phénomènes de transfert ont été menées, en phonétique acoustique.

Mais la recherche manque d'outils pour expliquer ces phénomènes, la nasalité n'étant pas gouvernée exactement par les mêmes phénomènes que l'oral pur. Un enregistrement séparé oral et nasal pourrait ici identifier le signal réellement émis aux lèvres et aux narines, et ainsi par une approche couplée *phonologie de laboratoire et linguistique de terrain*, expliquer et comprendre l'émergence (le déclenchement) et la dynamique des changements dans les systèmes sonores des langues naturelles.

Voyelles nasales du monde : le cas du français

Si les consonnes nasales *élaborées* sont absentes en français, par contre le français possède des voyelles nasales, qui peuvent être considérées comme des segments élaborés, dans la mesure où le geste articulatoire complexe de la voyelle orale se retrouve modulé par le couplage lié à l'ouverture du port vélopharyngé. 80 % des langues ont de 3 à 10 voyelles dites *de base*, ou primaires – i.e. ni nasales, ni longues, etc. (Vallée, 1994, p. 89). Les systèmes rencontrés le plus fréquemment ont 5 voyelles *de base* (ibid.). Un moyen trouvé par l'humain pour créer des voyelles sans trop comprimer les voyelles dans l'espace acoustico-perceptif des fréquences est d'introduire une modalité de telle sorte que la voyelle considérée (e.g. la nasale) soit distinctive par rapport aux voyelles pleines. De ce point de vue, la nasalité est un modificateur souvent rencontré (1 langue sur 5 choisit la nasalité comme geste secondaire pour les voyelles). Les diphtongues, les voyelles longues en sont d'autres exemples.

Présentes phonologiquement en français, elles sont au nombre de 3 ou 4 : /ã/ /õ/ /ẽ/ et /œ̃/. Les deux dernières ont tendance à faire l'objet d'une neutralisation. La particularité des voyelles nasales est qu'elles ont souvent une production orale associée, en opposition phonologique sur le trait [\pm na-

sal], et qu'elles sont, sur le trait d'antériorité, d'arrondissement ou d'aperture, distinctives entre elles. Si le trait de nasalité est relativement facile à percevoir, par contre « la nasalisation réduit la distinction auditive » (Wright, 1986) : les traits d'antériorité, aperture etc. seront moins bien perçus, si bien qu'une langue aura toujours plus de voyelles orales que de voyelles nasales dans son inventaire phonologique : « La diversité des voyelles nasales dans une langue est loin d'être aussi importante en nombre que celle des voyelles orales » (Vallée, 1994, p. 105, 125).

S'agissant de la présence des nasales dans les systèmes phonologiques, Vallée (1994) se base sur la proposition de Lindblom et Maddieson (1988) de distinguer les segments sonores en fonction de leur complexité articuloire pour expliquer l'émergence des voyelles à trait secondaire dans une langue : les voyelles placées sur un continuum physique acoustique ne peuvent prendre qu'un nombre fini de qualités intermédiaires (catégories perceptives), l'échelle des productions étant bornée par les possibilités (degrés de liberté des articulateurs) et impossibilités articuloires. Par conséquent, une fois que les 7 voyelles périphériques existent dans l'espace vocalique acoustique, il y a un intérêt à faire émerger des traits supplémentaires tels que la nasalité, ou l'allongement. En effet, une langue a cette tendance à rester avec une même catégorie tant que cela ne devient pas gênant perceptivement : /a e i o u/ est ainsi bien plus répandu que /i ẽ ą ɔ u^ɛ/ malgré leur proximité acoustique. Lorsque comme en français on arrive selon les systèmes, de 7 à 10 voyelles orales, émergent des voyelles nasales, qui arrivent certes par assimilation du trait nasal d'une consonne, mais qui, une fois assimilées, se phonologisent. Cet ordre d'apparition contribue en partie à expliquer pourquoi les nasales sont toujours en moins grand nombre que les voyelles pleines d'une langue (Vallée, 1994). La plus faible distinction auditive des nasales y contribue aussi.

1.3.3 Nasales à segment complexe

Prénasales, nasales à relâchement oral

Ces séries correspondent à une combinaison entre le trait nasal et le trait occlusif. Suivant lequel de ces traits domine, on attribuera le qualificatif « pré-nasal » (e.g. /^mb) ou « à relâchement oral » (e.g. /^mb/). Dans ce type de nasales, il y a automatiquement identité de lieu d'articulation entre la nasale et l'occlusive orale associée.

Nasales longues pharyngalisées

En langue !Xóõ, on trouve une opposition phonologique entre /ã:/, /ɑ:ʕ/ et /ã:ʕ/ (Vallée, 1994). Donc, sur des voyelles longues déjà élaborées, il existe des oppositions phonologiques sur des traits comme la pharyngalité ou la nasalité.

1.3.4 Apports de la hiérarchie des traits à la nasalité

La hiérarchisation des traits proposée par Clements (1985) nous semble à ce jour être une approche qui permet de représenter au point de vue fonctionnel l'organisation des nasales dans les systèmes phonologiques des langues du monde. Nous avons abordé les travaux de Jakobson car il offre une base pour la définition du trait phonologique, en revanche la nasalité ne peut pas s'inscrire dans sa conception linéaire de la phonologie et son approche par faisceaux de traits binaires, qui à nos yeux ne peut pas rendre compte du fonctionnement particulier de la nasalité, en désynchronisation avec les articulateurs du conduit oral. Clements (1985) permet de mieux rendre compte de cela, par la hiérarchie des traits, et nous avons essayé de lier les séries de nasales du monde avec cette géométrie hiérarchisée des traits. Nous sommes conscient que le binarisme reste présent dans l'approche de Clements, et c'est pourquoi nous ne pourrions pas, vu le cadre théorique que nous avons fixé, aborder les degrés de nasalisation qui peuvent être rencontrés dans la littérature, tels que le chinantec palantla (langue oto-manguéenne du Mexique), qui contraste entre des voyelles orales, partiellement nasalisées et fortement nasalisées (Maddieson & Ladefoged, 1996, p. 300).

Les liens supposés entre les phonèmes /h/, ou /ʔ/ et la nasalité, abordés aux sections 1.3.2 et 1.3.3, sont des phénomènes articulatoires complexes qui renvoient à des particularismes acoustiques qui ne sont pas encore bien décrits.

1.4 La nasalité du point de vue acoustique

La composante nasale du son est réputée varier assez peu pour un locuteur donné. Cette observation s'explique par le fait que hormis le velum, qui est mobile, les autres constituants du conduit nasal se déforment peu et donc si l'input est inchangé (même débit d'air et même position du velum), la réponse ne changera pas (Fant, 1960). Cependant, ce que l'on entend à la sortie du nez, c'est-à-dire, le signal nasal proprement dit, n'est pas engendré de manière seule et isolée par le conduit nasal, mais résulte de l'ensemble du conduit vocal. La partie pharyngale, la partie buccale et surtout le vélum modifient le son issu du conduit nasal. Certaines caractéristiques des nasales sont évidemment retrouvées chez tous

les locuteurs, sans quoi il serait impossible de caractériser phonologiquement une nasale. La littérature disponible sur le phénomène de la nasalité a proposé un nombre considérable d'indices acoustiques de la nasalité vocalique (conduit vocal ouvert) :

- Affaiblissement en amplitude de F_1 , comme l'illustre le passage de /a/ à /ã/ sur la Figure 1.7 (Delattre, 1954 ; Fant, 1960)
- Décalage vers les hautes fréquences de F_2 (Maeda, 1982)
- Abaissement de F_3 en fréquence et affaiblissement en amplitude, indice secondaire (Fant, 1960)
- Abaissement de F_4 en fréquence et intensification en amplitude, indice secondaire (Fant, 1960)
- Apparition d'une paire de pôle-zéro vers 500 Hz (Feng, 1986 ; Stevens, 2000, p. 70-71, 123 sq.)
- Augmentation de l'intensité spectrale à 250 Hz (Hattori, Yamamoto, & Fujimura, 1958)
- Diminution du volume global de la voyelle (Hattori et al., 1958) due aux absorptions supplémentaires de signal dans le conduit nasal (Stevens, 2000).
- Apparition d'une *épaule* (élargissement du formant) supplémentaire sur le F_1 et/ou F_2 : les formants B.F, sous l'effet de la nasalisation, ont tendance à s'élargir et s'affaiblir (effet des zéros de l'impédance des fosses nasales, qui par ses annulations à proximité des formants issus des résonances du conduit oral, produisent des atténuations locales de signal se traduisant par un élargissement des résonances dans l'espace des fréquences).

Parmi les candidats pour établir les indices acoustiques de la nasalité, on note que Carignan (2018) propose d'observer principalement deux types de formants pour étudier la nasalité : les formants oraux, en particulier F_1 et F_2 et les « Premiers Candidats » (« *First Candidates, notés FC* »), à prendre parmi,, F_1 , F_2 et F_{n1} (premier formant de la nasalité). L'état de l'art le plus récent, donc, focalise sur les formant B.F.. Carignan (2018) utilise également *The Nasalance System*, ce qui nous conforte dans le fait que la piste de la séparation oral – nasal est un angle d'approche exploité dans la communauté scientifique, et qui semble accréditer l'à propos de ce type de recherche. la nasalité est, encore aujourd'hui, entourée de mystère, et la séparation du signal entre oral et nasal permet de s'affranchir de la composante nasale – finalement assez peu distinctive⁴ au regard de la complexité qu'elle apporte – pour analyser l'oral.

4. distinction faible entres nasales

1.4.1 Des équations acoustiques aux modèles numériques des nasales

Depuis les premières avancées dans les années 1950-1960 (Delattre, 1954 ; Fant, 1960), les théories sur la nasalité ont évolué, et certains phénomènes sont mieux compris, sans qu'on soit capables pour autant de faire fructifier en linguistique notre meilleure compréhension de ce phénomène. Les aspects articulatoires sont assez bien connus, par contre en acoustique les corrélats acoustiques de la nasalité restent encore à trouver, ce qui gêne la recherche sur la perception de la nasalité et sur l'évolution des nasales. Certaines formes de nasalité sont effectivement encore mal comprises au niveau diachronique, voir section 1.3. En acoustique, le signal de parole est considéré comme une onde plane de pression en conduite forcée, qui se retrouve donc modifiée par les formes et volumes des conduits, agissant comme des résonateurs acoustiques face à une source, selon la théorie source-filtre : Les résonances du conduit vocal (et nasal) contribuent aux formants du signal de parole. Partant d'un cas simplifié d'un conduit simple constitué d'une suite de tuyaux de 2 à 10 cm de diamètre, dans lequel se propage une onde acoustique, cette onde, assimilée à une onde plane progressive se déplaçant dans un tuyau, est déterminée par le système d'équations suivant :

$$\frac{-\partial p(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\rho u}{A(x, t)} + \frac{ru}{A(x, t)} \quad (1.1)$$

$$\frac{-\partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{A(x, t)p(x, t)}{\rho c^2} + \frac{\partial A(x, t)}{\partial t} \quad (1.2)$$

$$p(0, t) = p_{source} \quad (1.3)$$

$$u(l, t) = \int_0^t \frac{p(l, t)}{L_{rad}} dt + \frac{p(l, t)}{R_{rad}} \quad (1.4)$$

avec :

$p(x, t)$	pression locale de l'air dans le conduit vocal.
$\rho(x, t)$	masse volumique de l'air lors de la production du signal de parole (1,14 $kg.m^{-3}$)
$A(x, t)$	fonction d'aire du conduit vocal
$u(x, t)$	débit volumique dans le conduit vocal (cm^3/s)
L_{rad}	charge de rayonnement en sortie de conduit vocal
R_{rad}	résistance du conduit vocal (absorptions)
p_{source}	surpression de l'air au niveau du larynx lors de la production du signal de parole ($8cm_{H_2O}$)
c	vitesse de propagation du son dans l'air (m/s)
r	résistance au débit ($kg.m^{-3}.s^{-2}$)

L'équation (1.1) appelée « conservation de la quantité de mouvement » traduit le principe fondamental de la dynamique (*somme des forces égale à la variation de la quantité de mouvement selon le temps*) en milieu continu.

L'équation (1.2) traduit la conservation de la masse du système.

Ce système d'équations possède une solution analytique dans le cas particulier d'un tube uniforme aux conditions aux limites idéales (équations (1.3) et (1.4)). De là, il est aisé d'en déduire que l'ajout du couplage nasal rend le problème inextricable analytiquement, et que donc l'étude de la nasalité s'est développée par la modélisation. Les méthodes numériques nous ont permis, comme pour les réalisations uniquement orales, d'obtenir, à partir d'une fonction d'aire des conduits (Figure 1.6), leur fonction de transfert (Figure 1.7). La difficulté ici est d'arriver, comme cela a pu être fait sur les voyelles orales, à identifier les formants de la nasalité. La question du couplage a été abordée par Feng (1986, p. 77 sq., 96, 106), et est loin d'être triviale. Elle passe notamment par la modélisation acoustique, car le système d'équations associé au phénomène de couplage acoustique est impossible à résoudre analytiquement, et impose de déterminer une fonction d'aire puis une fonction de transfert du système. Et même avec cette fonction de transfert (Figure 1.7), il n'est pas sûr que les corrélats acoustiques de la nasalité soient discernables.

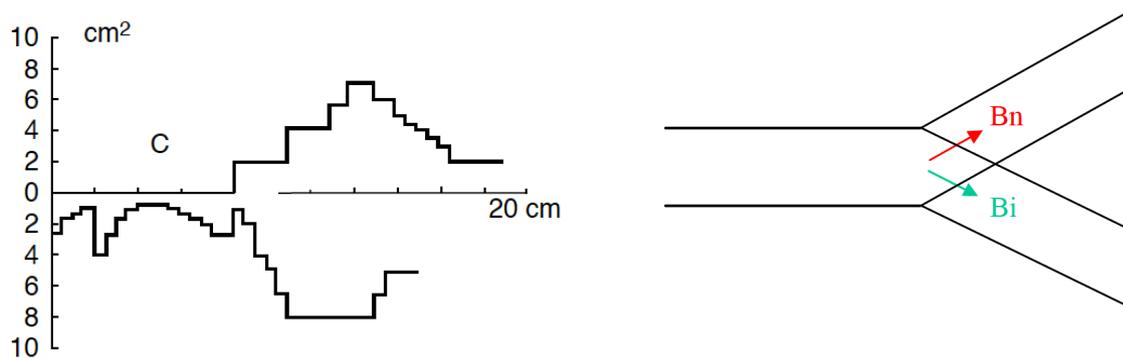


Figure 1.6 – Exemples de fonctions d’aire orale et nasale obtenues par la simulation – Illustration de la séparation du signal de parole, avec à gauche des exemples de fonctions d’aire (conduit nasal en haut, conduit oral en bas), à droite une schématisation de la séparation du flux entre le conduit oral et le conduit nasal – d’après Lin et Fant (1990)

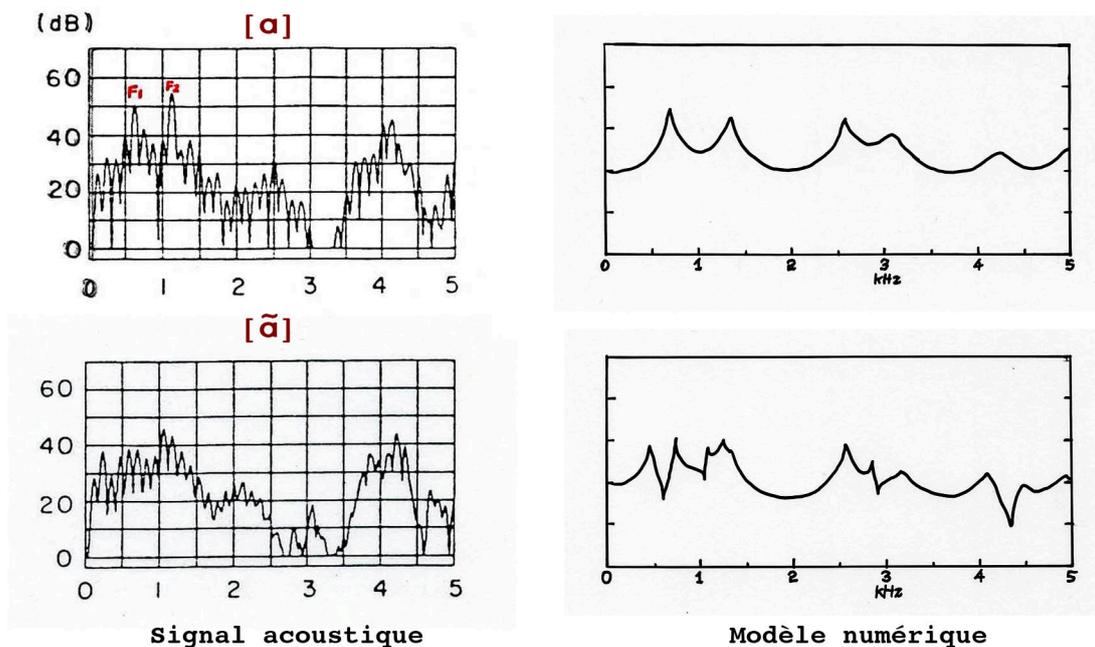


Figure 1.7 – Illustration du passage d’une fonction de transfert mesurée à celle du modèle de la sortie acoustique correspondante. La partie supérieure s’intéresse à une voyelle orale, tandis que la partie inférieure s’intéresse à une voyelle nasale – d’après Feng (1986)

Dans le passage à une approche couplée, il y a la nécessité de prendre en compte le couplage acoustique. Ce couplage, qui est à l'origine des indices acoustiques « Paires de pôles-zéros » et « élargissement du premier formant (*épaule*) », se comprend mieux en traçant les susceptances⁵ de chacun des résonateurs. La Figure 1.8 illustre cet effet de couplage : B_n , B_m , B_p qui représentent la susceptance du conduit nasal, du conduit oral, ou du pharynx, tendent vers l'infini par endroits. Ces fréquences où les susceptances divergent sont des points d'impédance nulle, ou des résonances. On voit donc bien l'effet du couplage du conduit nasal sur l'impédance totale : ajout de résonances, qui si elles sont proches en fréquence de celles du conduit oral, vont potentiellement créer des zéros aux résonances initiales. De cette interaction émergent les paires de pôles-zéros, identifiées comme caractéristiques de la nasalité (Cf. supra).

5. La susceptance est l'inverse de l'impédance. L'impédance traduit la résistance acoustique d'un conduit

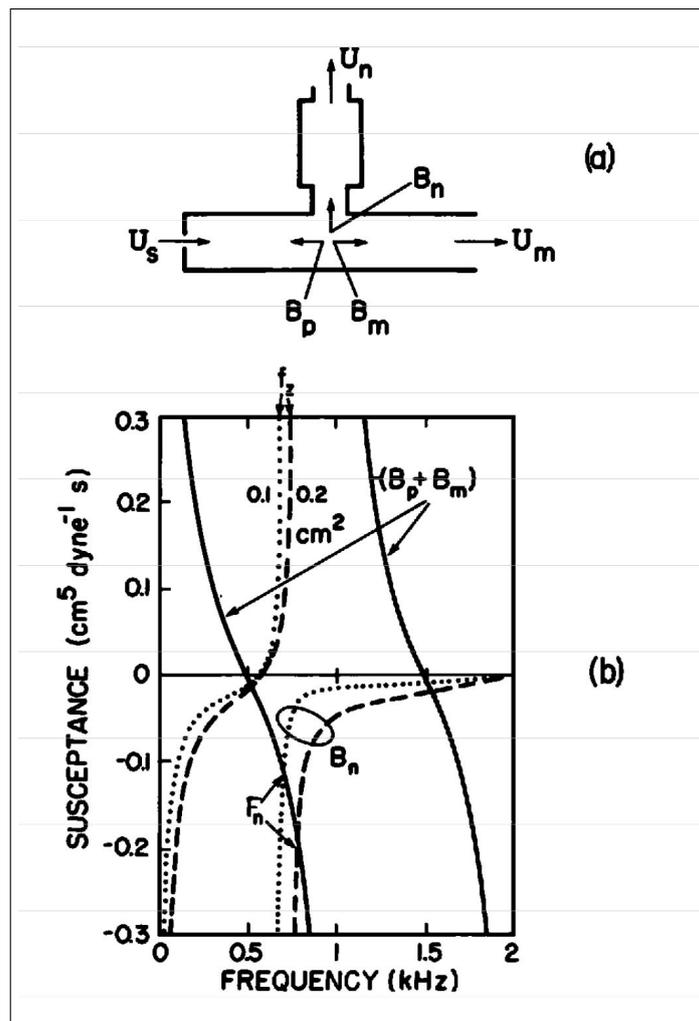


Figure 1.8 – Impédance du conduit oronasal (conduit oral + nasal) – d'après Stevens (2000, p. 192)

1.4.2 Succès du modèle acoustique et difficultés pour en dégager les corrélats de la nasalité

Le conduit oral contribue par ses résonances aux formants de la parole, dont les formants bas F_1 et F_2 sont les corrélats acoustiques. De manière analogue, nous pouvons faire le même raisonnement sur les fosses nasales, à la différence près que le conduit nasal n'est ni visible ni modifiable. Les formants de la parole sont influencés à des degrés divers par les différentes parties du conduit oral. Ainsi, il est communément admis (Fant, 1960) que le F_1 est causé par l'ensemble cavité buccale + cavité pharyngale, et que le F_2 est lié à une partie plus petite du conduit : la cavité antérieure (la fréquence plus élevée du F_2 étant intuitivement liée à une taille de conduit plus faible). Ces observations sont à prendre avec précautions, car l'impact des articulateurs sur les formants est multifactoriel, et varie suivant la forme du conduit, et donc suivant le segment réalisé. Les formants des nasales, par analogie, sont liés au conduit nasal, mais aussi au couplage entre le conduit oral et le conduit nasal.

Devant l'extrême complexité du couplage acoustique dans les phénomènes nasals, les recherches en simulation ont exploré le champ de la modélisation acoustique. Ainsi, la fonction de transfert, en couplé, a pu être déterminée (par exemple : cf. Figure 1.7, quart S.E.). Des tentatives pour expliquer les invariants des segments nasals (voir section 1.4 p. 31) ont été effectuées. On retiendra la tentative de Fant (1985), qui expliquait le formant B.F. avec un artifice de modélisation non-physique (sinus de volume très grand devant la réalité) et de Maeda (1982), qui utilise un sinus avec des dimensions plus proches de la réalité mais n'explique pas certains phénomènes, notamment les paires pôle-zéros. Il y a bien eu des tentatives pour donner des corrélats de la nasalité dans ces fonctions de transfert, ainsi par exemple Dang et Honda (1996) qui ont montré que les paires pôles-zéros de la fonction de transfert étaient directement liés au conduit nasal et aux sinus, mais impossible d'en faire un corrélat de la nasalité dans la mesure où cet indice serait caractérisé par l'absence plus que par la présence. En effet, comme Feng et Castelli (1996) qui bien qu'ayant mis en évidence un pattern de pôles-zéros ne font pas de ces objets des corrélats de la nasalité, nous pensons qu'un corrélat est perceptif et donc qu'à ce titre il doit se trouver là où se trouve l'énergie dans le signal.

Pour résumer cette quête du juste indice acoustique de la nasalité retenons que la paire de pôle-zéro B.F., considérée par Fant (1960) comme le premier vrai corrélat de la nasalité, a été attribuée au couplage acoustique entre le conduit naso-pharyngal et le conduit oral par (Feng, 1986, p. 59 et 63-64). La présence de pôle-zéros dans le spectre des nasales est interprétée en termes d'impédance du conduit nasopharyngal, et des sinus, considérés comme des résonateurs de Helmholtz (op. cit. p 67). Les variations des formants de l'oral sous l'effet des nasales, n'ont à notre connaissance, pas reçu

la même attention que les paires pôles-zéros. Nous supposons que la difficulté de mettre un corrélat chiffré derrière les variations des fréquences des formants du signal oral est la difficulté principale et donc si la quantité à surveiller est bien identifiée, il reste à savoir quelle grandeur il convient d'observer. En effet, les formants étant les zones d'énergie du signal de parole, un corrélat stable mesuré dans ces zones de fréquence serait de facto un candidat intéressant.

Rossato (2000) a étudié la perspective de relier l'acoustique des nasales à son articulateur principal, le velum, via un mécanisme d'inversion de la parole, c'est-à-dire l'obtention de l'information du geste articulatoire à partir des informations acoustiques. Rossato (2000) a montré en simulation que deux positions différentes du velum conduisent à deux fonctions de transfert bien distinctes, soit en d'autres termes qu'il est possible, sans couplage, de trouver des différences acoustiques pour des réalisations nasales dans la seule variation de la position du velum. Cela ne signifie pas pour autant que la connaissance des corrélats acoustiques de la nasalité permet de remonter à la position du velum, en revanche cela donne l'espoir que le signal oral – séparé du signal nasal, contient un corrélat de la nasalité, et ce en raison de la présence du velum dans la fonction de transfert du conduit oral.

Chapitre 2

Séparation acoustique du signal oral et nasal : fondements de l'approche et description du protocole expérimental

2.1 Pertinence de la séparation oral – nasal du signal de parole

Le raisonnement précédent, au delà de dresser une forme d'historique, a exposé la propédeutique de notre travail : si le conduit oral porte les indices acoustiques de la nasalité, alors la séparation du signal oral – nasal peut nous amener vers les corrélats acoustiques de la nasalité.

La relative stabilité des indices acoustiques du signal passant par le conduit nasal (Calliope & Fant, 1989, p. 90) nous conforte dans cette idée. Cette stabilité se ressent dans les différents degrés de distinctivité qui sont perçus par le locuteur suivant le type de nasales : il distingue relativement mal les occlusives nasales¹ entre elles sans aide visuelle (voir Mulford et Mills (1983)), du fait que la majorité du signal provient des résonances des fosses nasales. Fant (1960) faisait déjà l'observation suivante « *the audible residue of the F-Pattern is [...] not without importance as can be demonstrated by singing a nasal murmur and shifting the tongue from an [u] to an [i] position.* » : la part de résonances produites par le conduit oral, bouche fermée, passe en partie par les fosses nasales lors de la production d'un murmure nasal. En extrapolant aux voyelles nasales, le problème s'avère légèrement différent, mais nous pensons qu'elles sont mieux distinguées entre elles que les consonnes nasales entre elles car le conduit oral participe plus fortement au signal lors de la réalisation d'une voyelle nasale.

1. bilabiales et coronales

Car, même si elle est moins saillante que d'autres oppositions nous sommes capables de faire la distinction entre les segments nasalisés (/ã/ /ẽ/ et /õ/), et s'il est tout à fait trivial de rappeler que le conduit oral a ses résonances spécifiques dans les réalisations nasales : « *Nasal vowels are produced with specific tongue positions in addition to the elements of nasalization.* », (Fant, 1960), arriver à décrire et prévoir les phénomènes nasals à partir de la composante orale du signal n'est pas chose facile. Nous souhaitons chercher les raisons qui sont à l'origine de la distinction entre nasales dans la forme du conduit oral, en poursuite des travaux de Rossato (2000, p. 188), où elle montre « qu'il existe des caractéristiques communes à toutes les fonctions de transfert produites avec la même position du voile du palais » et que donc, sans considérer la question du couplage, la position du velum dans toute sa diversité de montée et d'abaissement fournirait des caractéristiques discriminables pour la nasalité en modélisation acoustique. Nous faisons cette hypothèse que les marques de la nasalité dans le conduit oral, que nous cherchons à identifier par notre travail, portent une information distinctive, quantitative sur les voyelles nasales. L'objectif n'est pas ici de les déterminer, mais plutôt de fournir des pistes pour identifier des candidats au titre de *corrélats acoustiques de la nasalité*, qui soient mesurables acoustiquement, et perceptibles.

Quant aux consonnes nasales, sur cette notion de distinctivité, il faut rappeler que ce sont des phonèmes très bien différenciés sur le trait de nasalité (présence ou non), mais qu'au sein des nasales la confusion est fréquente : « *Malécot (1956) and Nord (1976) are among those who have shown that nasals with different places of articulation are poorly distinguished in terms of the nasal murmur itself* » (Maddieson & Disner, 1984, p. 70).

Pour résumer, le signal nasal apporte une information de présence ou non du trait nasal, et le signal oral, plus variable d'une nasale à l'autre, apporte une information qui permet de distinguer les productions d'une série de phonèmes nasals entre eux. Nous avons également abondamment développé l'idée que le velum, par son abaissement, participe aux productions nasales par son abaissement. Sa contribution se situe dans le signal oral. Tous ces éléments concourent donc à chercher des corrélats de la nasalité dans l'oral avec notre dispositif de séparation acoustique, pour démontrer *in fine* s'il ne serait pas possible de caractériser plus facilement la nasalité une fois le signal nasal séparé du signal oral.

2.2 Méthodologie

Although I have belonged to the ardent and active adherents of abstract painting from the time of the first Russian steps in this direction (Kandinskij, Larionov, Malevič, Bajdin, Romanovič, Rodčenko), I feel completely exhausted after five or ten minutes of watching such films, and I have heard many similar testimonies from other people. [...] a good expression - « visual noise » - [...] renders perfectly my response to these stimuli. (Jakobson, 1971, p. 341).

De la même manière que Roman Jakobson, malgré toute l'admiration qu'il porte au mouvement abstrait russe, ne pouvait supporter sans s'épuiser rapidement de visionner du cinéma abstrait trop longtemps, nous avons considéré que la parole porteuse de sens devait être privilégiée, de sorte que notre étude acoustique, qui est physique par tant d'aspects, ne nous fasse pas sortir de l'écosystème du langage : nous n'étudions pas seulement la propagation d'une onde plane de pression dans un conduit, nous étudions les sons de la parole, et cette étude, acoustique en premier lieu et en pratique, n'en est pas moins linguistique par ses objectifs de recherche. Par sa linéarité, la parole s'interprète selon le même schéma temporel que le film, c'est pourquoi nous avons souhaité que le contenu soit fait d'énoncés, les énoncés de mots.

Notre travail expérimental s'est déroulé en trois phases principales, une première phase de caractérisation du dispositif (*Nasalance System*), une seconde phase d'expérimentation sur les voyelles nasales du français, et une troisième phase d'expérimentation sur la nasalité consonantique et sa propagation dans la rime en mandarin de Taïwan, avec un aparté introductif sur le phénomène de dénasalisation en français méridional, proche du phénomène étudié en mandarin de Taïwan. Pour chaque phase, nous avons élaboré un corpus que nous détaillons dans la section 2.3.1, avec pour chaque corpus sa méthode de conception.

Les enregistrements ont été effectués en stéréo à l'aide du logiciel Audacity®, sur l'ordinateur de la chambre sourde du DPC Stendhal (Dell™), Configuré sous Windows® 7, équipé d'une carte son de série (Windows DirectSound), qui permet des enregistrements avec les mêmes gains pour le signal nasal et le signal oral, en stéréo. L'enregistrement du corpus de mandarin a dû être effectuée avec le même dispositif mais dans un autre lieu pour des raisons techniques d'accès aux locaux (enregistrement dans les locaux du Gipsa-Ampère).

Les post-traitements consécutifs à ces acquisitions ont été réalisés sous Praat pour l'annotation et l'extraction des données acoustiques, avec l'aide de scripts, également écrit en langage Praat. Python a

servi pour le traitement et la mise en forme des données, notamment au niveau du traitement statistique.

2.2.1 Phase XP0 : mesures d'atténuation des microphones

Cette phase a consisté à caractériser le matériel utilisé pour acquérir séparément les sorties orale et nasale du conduit vocal chez des locuteurs natifs dans une tâche de lecture de mots cibles insérés dans des phrases cadres. L'objectif de ce premier travail est de caractériser le microphone (*Nasalance System*) en termes d'atténuation du signal nasal dans le microphone oral, et réciproquement. L'important était donc de contrôler que le *Nasalance System* est bien réglé, avec la plaque de séparation choisie de sorte qu'il n'y ait pas de fuite au niveau du séparateur (cette injonction s'impose par ailleurs à toutes les expériences qui suivent).

2.2.2 Phase XP1 : étude des voyelles nasales du français

L'objectif de cette expérience est de proposer une méthode d'analyse de la partie orale du signal acoustique qui permette de faire émerger les corrélats de la nasalité dans un signal où la partie issue des fosses nasales est « écartée » du reste du signal. La conception du corpus est abordée à la section 2.3.1. De façon à tirer au maximum profit du dispositif, il était crucial de regarder les deux signaux, mais de manière différente. Nous avons donc développé des outils permettant de travailler à la fois sur les formants du signal oral et ceux du signal nasal. Les formants de l'oral, leurs valeurs, leur dispersion, et leurs évolutions temporelles ont été mesurés. Sur le signal nasal, nous valorisons principalement une information binaire de présence ou d'absence des fosses nasales à l'instant où la partie orale est analysée. La combinaison de ces informations temporelles et formantiques doit nous permettre de tirer des informations pour de notre objectif de recherche.

2.2.3 phase XP2 : étude des codas nasales en Mandarin de Taïwan

L'objectif de cette partie est de confirmer à l'aide du dispositif *Nasalance System* un résultat de Tseng (2007, p. 106 sq.) obtenu en perceptif sur la distinction entre /n/ et /ŋ/ en fin de mot. Nous souhaitons voir si nos locuteurs prononcent ces deux nasales différemment en fin de mot, et donc nous souhaitons regarder les aspect temporels en première approche. Les outils développés pour XP1 ser-

viront donc aussi pour cette expérience.

2.3 Détail des campagnes d'expérimentation

2.3.1 Elaboration des corpus

Les corpus utilisés pour les tâches de production décrites par la suite sont constitués de mots prononcés en phrase porteuse. Chaque corpus, pour chaque expérience, a été randomisé trois fois et chaque locuteur a répété le corpus trois fois, avec une randomisation différente à chaque fois. Il s'agit de corpus écrits, mis sous la forme d'une présentation au format PDF avec un mot dans une phrase cadre par diapositive, et lus par les locuteurs.

Corpus de caractérisation des microphones (XP0, 112 mots)

Ce corpus est constitué de paires minimales CV, C \tilde{V} et de syllabes-mots de structure CVN, construites autour des voyelles nasales (notées \tilde{V}) et des consonnes nasales (notées N, les consonnes autres étant notées C) du français, en nous appuyant sur les rapprochements acoustico-perceptifs que l'on peut faire entre les voyelles orales et nasales (Cf. 1.5). Il est constitué de 112 mots au total. En termes articulatoires, notre corpus couvre les types de consonnes suivants : constrictives, occlusives, et occlusives nasales : nous avons laissé de côté les /l/ (approximantes) car trop proches des voyelles. C'est à dessein que nous avons décidé de garder les occlusives nasales malgré qu'elles se distinguent mal des voyelles sur un spectrogramme, en raison de l'objet de notre étude (la nasalité). Elles peuvent être filtrées, i.e. non prises en compte dans les résultats lorsque cela est nécessaire. Ce corpus constitue une extension du corpus de Carignan (2017), qui à notre connaissance s'est limité aux plosives en initiale de syllabe (corpus de monosyllabes CV et C \tilde{V}). La totalité du corpus est présentée en annexe A.1 et un extrait est présenté dans la Table 2.2 :

	CV	C \tilde{V}	CVN
Mot	baie	bain	benne
Transcription phonologique	/bɛ/	/bɛ̃/	/bɛn/
Transcription phonétique	[bɛ]	[bɛ̃]	[bɛn]
Mot	bas	banc	banne
Transcription phonologique	/ba/	/bã/	/ban/
Transcription phonétique	[ba]	[bã]	[ban]
Mot	beau	bon	bonne
Transcription phonologique	/bo/	/bõ/	/bõn/
Transcription phonétique	[bo]	[bõ]	[bõn]

Table 2.2 – Corpus de caractérisation des microphones – XP0 (extrait)

Corpus en Français pour l'étude des voyelles nasales du français (XP1, 39 mots)

Nous avons conçu un second corpus en apposant les deux sons qui nous intéressent acoustiquement (une voyelle orale et une voyelle nasale) en choisissant des mots mais en respectant le principe selon lequel l'environnement phonétique ne doit pas trop être perturbé. Également, nous avons voulu étudier la nasalité en contexte de parole, nous avons donc dû concevoir ce corpus avec des mots bisyllabiques du français. Nous avons essayé de faire en sorte que pour ces bisyllabes, les voyelles orales et nasales se retrouvent dans des environnements phonétiques similaires afin de neutraliser les variations liées au contexte. Des mots comme « bottons » /botõ/ ou « toquant » /tokã/ étaient par exemple idéaux pour ce genre de corpus. Le corpus XP1 est donc constitué de 39 mots de deux syllabes, conçu en essayant de mettre dans un même mot une voyelle orale et son équivalent en voyelle nasale, et cela dans le sens C \tilde{V} CV et CVC \tilde{V} .

Le choix des consonnes a été fait connaissant leurs caractéristiques acoustiques et leur effet due à la coarticulation sur la structure acoustique de la voyelle suivante. Ainsi, d'un point de vue formantique, une plosive labiale ou vélaire perturbera les formants à l'amorce de la voyelle (une coronale sera stable). Une fricative sera plus neutre sauf certaines qui ont tendance à générer des hautes fréquences (e.g. /s/ ou /z/), et elle perturbera le signal par le bruit blanc qui précède si elle est voisée, et si elle est sourde alors le VOT (Voice Onset Time, délai d'établissement du voisement) peut venir perturber l'amorce de la voyelle. Une approximante, finalement, serait a priori la meilleure solution de ce point de vue, sauf que le problème rencontré là est de mettre la frontière entre la consonne et la voyelle. En effet, l'approximante perturbe tellement peu le signal qu'il est très difficile de voir où commence la voyelle. Nous avons donc choisi de prendre des mots avec des modes d'articulation variés, et nous avons pris en considération les remarques précédentes pour élaborer notre stratégie de segmentation

sous Praat. La Table 2.4 montre un extrait du corpus utilisé (pour l’avoir en intégralité, voir annexe A.2) :

Mot choisi	bottons	dotant	fretin
Transcription phonologique	/botɔ̃/	/dotɑ̃/	/fʁɛtɛ̃/
Variation phonétique	[botɔ̃]	[dotɑ̃]	[fʁɛtɛ̃]

Table 2.4 – Corpus de mots bisyllabiques pour l’étude voyelles nasales du français – XP1

Corpus pour l’étude des codas nasales en Mandarin de Taïwan (XP2, 47 mots)

Le corpus présenté a été conçu totalement en idéogrammes. Ce corpus est constitué de paires minimales construites sur la base des structures CV, CV+/n/ et CV+/ŋ/ en mandarin. De même que pour le français, nous avons choisi diverses consonnes en attaque (/t/, /h/, /j/), en évitant les approximantes et les affriquées, trop énergétiques. En plus du segment, nous avons pris la décision de ne choisir que des mots sous les tons 1 et 4. Le corpus XP2 est constitué de 47 mots. Le ton 1 (codé 55, voir Sun (2006, p. 39) est le ton le plus monotone, idéal pour l’acoustique, et le ton 4, descendant (codé 51 sur l’échelle YR Chao, *op. cit.*), de façon à compléter le corpus, et évaluer un éventuel effet du ton sur la durée de la nasale). La Table 2.6 donne un extrait de ce corpus. Il est à noter que parfois il n’existe pas trois monosyllabes CV, CV+/n/ et CV+/ŋ/ car le mandarin ne possède pas toujours toutes les combinaisons possibles de ces phonèmes.

L’intérêt des tâches de production en langue chinoise est que le corpus présenté est totalement en

	CV	CV+/n/	CV+/ŋ/
Caractère simplifié	嘟	蹲	东
Caractère traditionnel	嘟	蹲	東
Pinyin	dū	dūn	dōng
Transcription phonologique	/tu/	/tun/	/tuŋ/
Glose	<i>onomat.</i>	s’accroupir	Est
Caractère simplifié	喝	∅	哼
Caractère traditionnel	喝	∅	哼
Pinyin	hē	∅	hēng
Transcription phonologique	/xə/	∅	/xəŋ/
Glose	boire	∅	<i>onomat.</i>

Table 2.6 – Corpus de mots monosyllabiques pour l’étude des appendices nasals du mandarin de Taïwan – XP2

idéogrammes : cognitivement, le locuteur n'est pas aussi influencé par la prononciation attendue² que dans les langues dont l'écriture est phonémique. L'inconvénient peut être que parfois le locuteur ne sait pas prononcer le caractère, le prononce mal ou autrement (il existe en effet des caractères qui ont 2 prononciations).

2.3.2 Locuteurs

Tous nos locuteurs étaient volontaires et ont accepté de signer une autorisation de diffusion des résultats sous la forme d'un consentement éclairé (anonymat du locuteur préservé). Un modèle de consentement est reproduit en annexe E (Figure E.1 et E.2) Tous parlent français couramment (langue maternelle ou langue seconde niveau C1), et aucun ne présente de trouble de la parole. L'expérience n'était pas invasive. Le détail des locuteurs, expérience par expérience, est donné dans la Table 2.8.

2. même si 80 % des caractères chinois sont pictophonétiques, la décomposition est syllabique et non phonémique

XP0 : mesures d'atténuation des microphones						
Identifiant	Sexe	Age	région d'origine	d'ori-	Langue(s) maternelle(s)	Bilingue Langue(s) étrangère(s)
HN34	Masculin	34	Paris		Français	Anglais – Chinois
XP1 : étude des voyelles nasales du français						
Identifiant	Sexe	Age	région d'origine	d'ori-	Langue(s) maternelle(s)	Bilingue Langue(s) étrangère(s)
HN34	Masculin	34	Paris		Français	Anglais – Chinois
Prélude à XP2 : étude dénasalisation en français du Sud-Ouest						
Identifiant	Sexe	Age	région d'origine	d'ori-	Langue(s) maternelle(s)	Bilingue Langue(s) étrangère(s)
FS23	Féminin	23	Carcassonne		Français	Espagnol
FN19	Féminin	19	Savoie		Français	NA
XP2 : étude des nasales en finale de mot en mandarin de Taïwan						
HN18	Masculin	18	Taipei	(Taïwan)	Français Chinois	– N/A
HN27	Masculin	27	Taipei	(Taïwan)	Chinois	Français

Table 2.8 – Caractéristiques des locuteurs sollicités pour cette étude

2.4 Matériel utilisé

Le dispositif principal est une plaque à nez produite par Glottal Enterprise™ (*the Nasalance System*, voir figure 2.1), constituée de deux micros à électrets synchronisés, et filtrés par un circuit capacitif constitué d'un condensateur de $47\mu F$ et d'une résistance de $1,01M\Omega$. Dans sa première version (i.e. avec la connectique Jack 2,5 mm), le *Nasalance System* est un appareil compact mais exigeant en termes de dispositif d'enregistrement : les électrets sont en effet alimentés via la pointe (« *pin* ») et l'anneau (« *sleeve* ») de la prise jack stéréo, ce qui est extrêmement rare dans les technologies de microphones. Toutes les cartes son ne pouvant interpréter cela, nous avons utilisé exclusivement l'ordinateur de la chambre sourde du DPC Stendhal (Dell™), configuré sous Windows® 7, équipé d'une carte son de série (Windows DirectSound), qui permet des enregistrements avec les mêmes gains pour le signal nasal et oral, en stéréo.

Ce dispositif est déjà utilisé en recherche (par exemple Carignan, 2018). Ces études récentes serviront de point de comparaison lorsque cela est pertinent, et notamment pour analyser les résultats de la phase XP1 (voir section 3.2). Etant donné qu'il n'existe pas à notre connaissance de référence indiquant les propriétés du dispositif en termes d'atténuation du signal, une étape de caractérisation du dispositif était un préalable nécessaire. C'est l'objet de la section 3.1. Ce dispositif est donc étudié pour ses propriétés de séparation dans trois phases expérimentales :

- La phase XP0 consistant à mesurer l'atténuation du dispositif *Nasalance System*, c'est-à-dire l'efficacité de la séparation de la plaque par des mesures d'intensité dans les microphones destinés au signal nasal et oral. Les résultats de cette phase sont présentés à la section 3.1. Ces

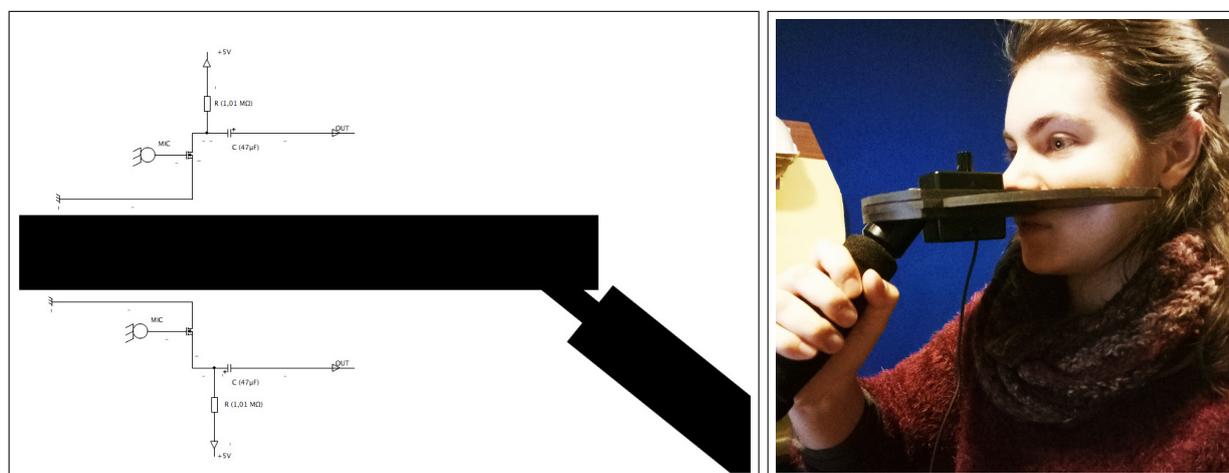


Figure 2.1 – Schéma fonctionnel et photographie en utilisation de la plaque à nez

résultats seront comparés aux mesures d'atténuation obtenus par Feng et Kotenkoff (2006) avec un dispositif non pas de plaque mais de boîte où le signal, séparé par une cloison, est enregistré dans deux compartiments isolés acoustiquement.

- La phase XP1 consistant à étudier les formants des voyelles orales du français. Dans cette phase, l'objectif est de comparer les caractéristiques en fréquence des voyelles orales du français à celles de la composante orale des voyelles nasales du français (après séparation par le *Nasalance System*). Les résultats de cette phase sont présentés à la section 3.2.
- La phase XP2 consistant à étudier les codas nasales en mandarin de Taïwan. Dans cette phase, l'objectif est d'étudier les dynamiques d'onset de la nasalité entre deux phonèmes différents, ainsi les caractéristiques du *Nasalance System* seront mises à profit autrement pour cette phase. Les résultats de cette phase sont présentés à la section 3.3.

Chapitre 3

Résultats et analyses

3.1 mesures d'atténuation des microphones (XP0)

L'objectif est ici d'identifier précisément les caractéristiques techniques du dispositif *Nasalance System* et d'évaluer au plus juste ses performances dans l'acquisition des composantes orale et nasale du signal de parole séparées lors de la production de séquences sonores incluant des segments [+ nasal]. Pour ce faire, nous avons mesuré dans un premier temps l'atténuation du signal acoustique des voyelles orales du français sur le signal capté par le micro nasal, avec un dispositif, dont on peut voir une photographie en utilisation à la figure 2.1. Nous avons entrepris de mesurer l'atténuation dans le microphone nasal, de sorte que la source du signal sonore captée à la sortie aux lèvres soit le conduit oral sans effet – ou minimisant les effets – du couplage avec le conduit nasal. Le gain des micros nasal et oral étant le même, tout résultat d'atténuation obtenu sur un microphone est valable sur l'autre.

Résultats pour XP0 : impact du type de voyelle

La valeur de l'atténuation est de 20dB en moyenne (avec un minimum à 15,9 dB pour /i/), ce qui correspond à un rapport de 10 entre le signal souhaité et le signal *écarté*. Feng et Kotenkoff (2006) obtiennent les mêmes valeurs d'atténuation avec leur boîte à nez, et ainsi nous permet de justifier que notre étude, basée sur l'analyse des spectrogrammes, et sur l'analyse d'aspects plus temporels de la nasalité (e. g. anticipation, persévérance de phénomènes acoustiques) est possible avec ce matériel. Nous vérifions néanmoins que pour les analyses effectuées, aucun signal parasite des fosses nasales n'est venu perturber le signal oral (voir section 3.2.2). Dans cette optique, nous avons choisi de ne pas garder les réalisations commençant par une nasale (/m/ou /n/) pour ces calculs d'atténuation. Les

analyses par type de consonne (Cf. infra) permettront de comprendre comment ce choix est justifié.

La figure 3.1 présente les valeurs d'atténuation obtenues pour les voyelles orales dans le micro des nasales. Les voyelles orales ne sont pas toutes atténuées de la même façon. En effet, les voyelles hautes sont moins bien atténuées que les basses, comme constaté pour /i/. Les contreparties orales des nasales que nous étudions se trouvent plutôt sur les voyelles basses (/æεοøɔ/), et pour ces hauteurs de voyelles, l'atténuation de la voyelle dans le micro nasal est de 19,8 dB minimum (valeur pour /e/). Comme le montre la figure 3.2 les voyelles basses ont toutes une atténuation de l'ordre de 20 dB ou plus. Nous suggérons, avec toutes les précautions qui s'imposent, que cette atténuation moindre des voyelles hautes /iuy/ est due à une configuration articulaire qui cause plus de fuite acoustique vers le conduit nasal, même en condition oral pur ; on sait par exemple que les voyelles /y/ et /i/ ont déjà tendance à nasaliser plus vite pour des raisons anatomiques, et le fait qu'elles ont aussi une plus faible atténuation pourrait également être le reflet de la résonance du /i/ dans le conduit vocal : le point de résonance maximale se rapprochant du palais dur, il est possible que la résonance soit plus forte via les parois et qu'une plus grande part de signal passe dans les fosses nasales par conduction osseuse. La valeur des écarts-types (voir figure 3.2) nous informe par ailleurs que ce n'est pas un effet aléatoire.

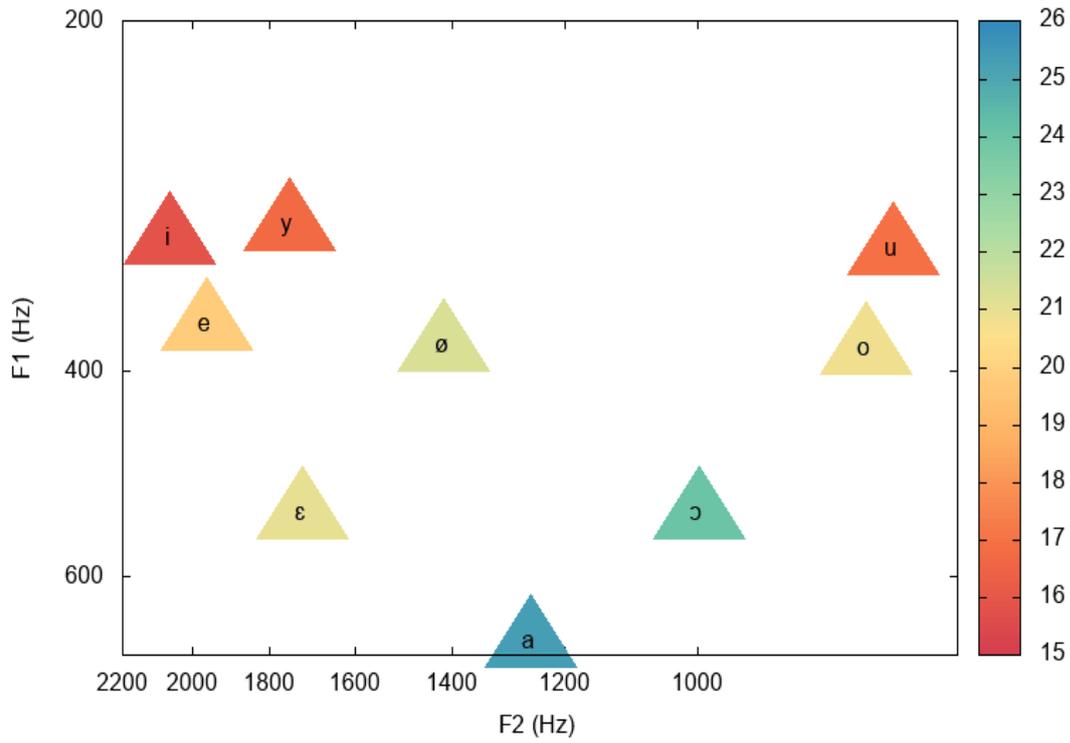


Figure 3.1 – Atténuation du signal oral dans le micro nasal dans l'espace des formants (F_1 , F_2) (en Hz)

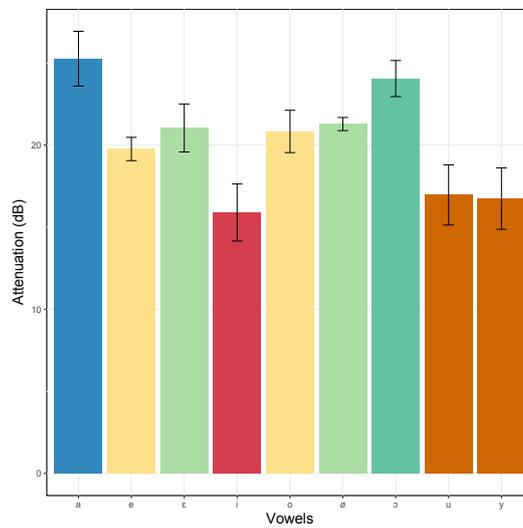


Figure 3.2 – Atténuation dans le micro nasal du Nasalance System pour les voyelles orales du Français

Résultats pour XP0 : impact du type de consonne

En regardant l'effet par type de consonnes prévocalique (donc en attaque de syllabe puisque les mots cibles sélectionnés sont de structure CV, C \tilde{V} ou CVN), nous obtenons les résultats de la Table 3.2 : pour le microphone nasal, seules les attaques fricatives ont une atténuation plus forte que les autres. S'agissant des consonnes nasales prévocaliques, nous interprétons l'atténuation mesurée plus faible par les phénomènes de persévérance de la nasalité qui viennent perturber les analyses, et pour les deux autres types nous avons supposé que cela pouvait être dû, comme pour le /i/ et le /y/, à la vibration des parois (palais dur, lèvres...) qui passent par l'air et par le dispositif en contact avec l'arc de Cupidon. Cette conclusion s'appuie sur le fait que pour les plosives, c'est déjà par ce biais que perceptivement on entend la distinction voisé non-voisé (e.g. /p/ vs /b/).

Discussion

L'étude XP0 de caractérisation des performances du dispositif *Nasalance System*, montre que les valeurs d'atténuation sont variables en fonction du degré d'aperture de la voyelle et du mode articulaire de la consonne pré-vocalique.

Le dispositif a néanmoins une atténuation suffisante, de 20 dB ou plus pour les voyelles basses, qui sont celles qui nous intéressent vis à vis de la nasalité vocalique en français. Sur tout le triangle vocalique, l'atténuation minimum est de 16 dB pour /i/, ce qui pourrait potentiellement être corrigé à l'aide d'une amélioration du dispositif *Nasalance System*. L'effet du type de consonne en attaque, s'agissant du sens d'atténuation qui nous intéresse (celle du signal nasal dans le microphone oral), est notable. Il confirme que les fricatives et plosives sont à privilégier car leur présence dans le segment nous permet de conserver une atténuation du signal nasal dans l'oral de plus de 20 dB. Le /ʁ/ est moins bien atténué, et les nasales en attaque sont évidemment à proscrire des futurs corpus, en raison des

Atténuation/segment consonne (C)	CVN	par type de	PLOSIVES	FRICATIVES	/ʁ/	NASALES
Atténuation de la partie nasale de la coda nasale (N) dans le micro oral			20,77	22,60	18,23	14,23
Atténuation de la partie orale de l'attaque-noyau dans le micro nasal (CV)			16,67	20,13	13,86	13,03

Table 3.2 – Atténuation de l'amplitude des voyelles orales du corpus monosyllabe, par consonne d'amorce (en dB)

phénomènes de persévérance.

Il est à noter par ailleurs que les résultats par type de consonne sont différents des résultats par type de voyelles orales car pour les consonnes nous avons étendu le calcul d'atténuation au contexte gauche et droit du noyau syllabique et pas uniquement à la voyelle seule (effet global). Cette deuxième approche du calcul d'atténuation est moins contrôlée que lors du calcul d'atténuation sur les voyelles orales uniquement, en revanche elle permet de montrer qu'en tenant compte des consonnes (donc en contexte CV, et pas uniquement pour les voyelles), l'atténuation nasal/oral est aussi de l'ordre de 20 dB.

3.2 Étude des voyelles nasales du français (XP1)

L'objectif ici est de tester le dispositif *Nasalance System* dans une étude de la structure acoustique des voyelles nasales du français. L'évaluation du dispositif à la section 3.1 a donné des résultats assez concordants pour les configurations ouvertes du conduit vocal. Les voyelles nasales du français étant réalisées avec des configurations ouvertes (voyelles « basses », voir section 1.2) il est possible de mettre à l'épreuve le dispositif sur ces nasales ; l'atténuation sera suffisante, c'est-à-dire conforme aux valeurs de Feng et Kotenkoff (2006).

3.2.1 Préliminaire : vérification du dispositif sur les voyelles orales

Dispersion des voyelles orales dans l'espace (F_1 , F_2) : méthode appliquée

Pour rappel, dans les conditions d'étude le *Nasalance system* atténue d'un facteur 10 le signal des fosses nasales dans le micro oral. L'objectif de ce prélude est de procéder à l'analyse acoustique des voyelles orales du français enregistrées à l'aide du micro oral du dispositif de séparation du signal de parole et de comparer les valeurs relevées pour les 2 premiers formants à des valeurs de référence de la littérature (voir Table 3.4). Les voyelles analysées ont été produites lors d'une tâche de lecture du corpus XP1 par un locuteur masculin natif du français (pour plus de précisions voir section 2.2).

Pour obtenir les formants des voyelles orales, la méthode utilisée calcule les fréquences moyennes des quatre premiers formants pour un intervalle de temps choisi manuellement. Seuls les formants 1 et 2 seront présentés, car ce sont ceux qui ont généralement la meilleure précision, et de plus ce sont eux qui, au premier ordre, caractérisent une voyelle orale. Le raisonnement peut évidemment être appliqué pour les 4 premiers formants. Un exemple de choix d'intervalle pour le calcul des fréquences

de formants est donné à la figure 3.3. Pour le calcul des formants d'une voyelle orale, le nombre de formants à détecter par Praat est fixé à 5.

Pour chaque voyelle orale et chaque composante orale de chaque voyelle nasale, la figure 3.6 montre les valeurs moyennes des fréquences de formants. Les écart-types associés aux valeurs moyennes de f_1 (fréquence de F_1) et f_2 (fréquence de F_2) pour chaque voyelle orale sont également représentés en figure 3.6. La voyelle /u/ n'ayant pas d'équivalent nasal, le corpus XP1 n'a qu'une occurrence, et donc trois répétitions. Ses valeurs de formants sont à prendre avec précaution.

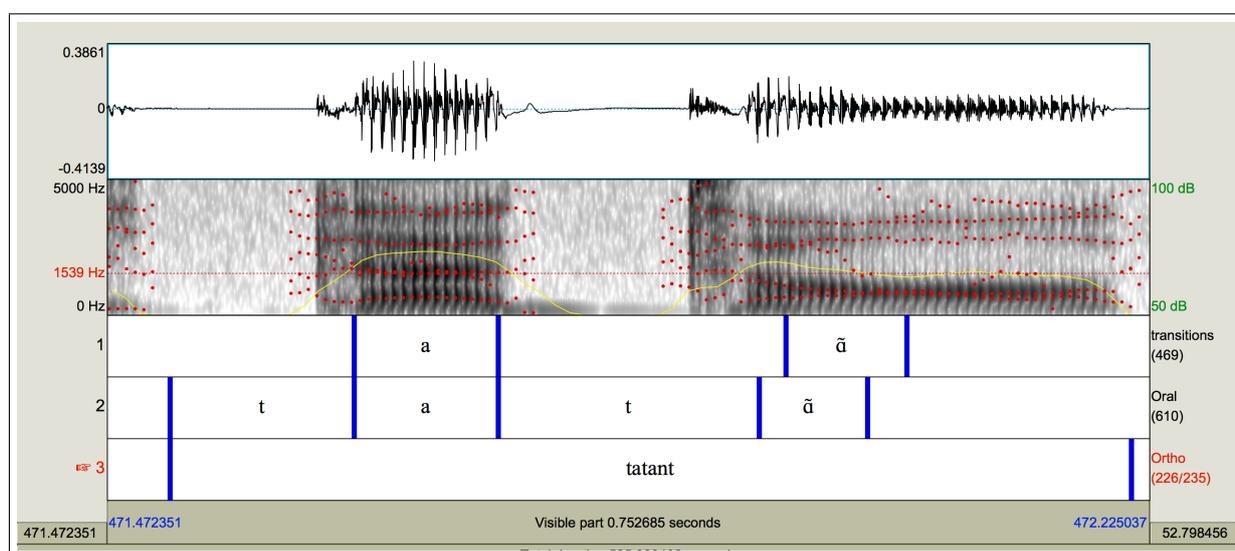


Figure 3.3 – Spectrogramme du mots « tâtant » sous Praat – Signal oral avec exemple de sélection de l'intervalle pour le calcul des formants de la voyelle orale

Voyelle (API)	f_1 (σ_1)	f_2 (σ_2)	f_3 (σ_3)	f_4 (σ_4)
a	684 (47)	1256 (32)	2503 (131)	3262 (155)
ø	381 (44)	1417(106)	2235 (113)	3215 (201)
e	365 (31)	1961 (119)	2644 (107)	3362 (155)
ɛ	530 (49)	1718 (132)	2558 (103)	3300 (221)
i	308 (34)	2064 (134)	2976 (147)	3407 (208)
ɔ	531 (39)	998 (60)	2399 (116)	3278 (155)
o	383 (22)	793 (63)	2283 (126)	3256 (161)
u	315 (43)	764 (59)	2027 (136)	3118 (172)
y	300 (37)	1750 (121)	2120 (182)	3145 (141)

Table 3.4 – Valeurs des fréquences des formants (Hz) des voyelles orales du français pour un locuteur masculin, moyennées sur 10 locuteurs (suivies de l'écart-type associé) – d'après Calliope et Fant (1989, p. 84)

Ajout de la part orale du signal des nasales du français dans l'espace (F_1 , F_2)

La figure 3.4 présente les valeurs obtenues pour les formants du signal oral des voyelles nasales positionnées dans l'espace acoustique des formants mesurés pour les voyelles orales. Pour cela, comme pour les voyelles orales, une zone stable en intensité dans la voyelle a été sélectionnée en prenant bien soin d'être dans une zone où le signal nasal était non nul (il faut donc avoir en vis à vis les signaux oral et nasal sous Praat). Pour la mesure des formants des nasales, le nombre de formants à détecter par praat est fixé à 6.

On peut remarquer la difficulté de relier ces résultats aux résultats de Calliope et Fant (1989, p. 90), dont les valeurs de formants et les qualités (oral, nasal) sont obtenues sans séparation acoustique (voir tableau 3.6). Les valeurs de Calliope et Fant (1989) sont matérialisées par les symboles API correspondants, sauf pour les voyelles nasales car celles-ci sont difficiles à présenter dans l'espace acoustique (F_1 , F_2) si la séparation acoustique oral – nasal n'a pas été faite. Ces résultats confirment ceux obtenus très récemment par Carignan (2018), à savoir que lorsqu'on isole l'oral, le déplacement des nasales dans l'espace acoustique (F_1 , F_2) se fait en circulaire, dans le sens contraire des aiguilles d'une montre : « *the independent effect of nasalization on the acoustic vowel quadrilateral resembles a counterclock-*

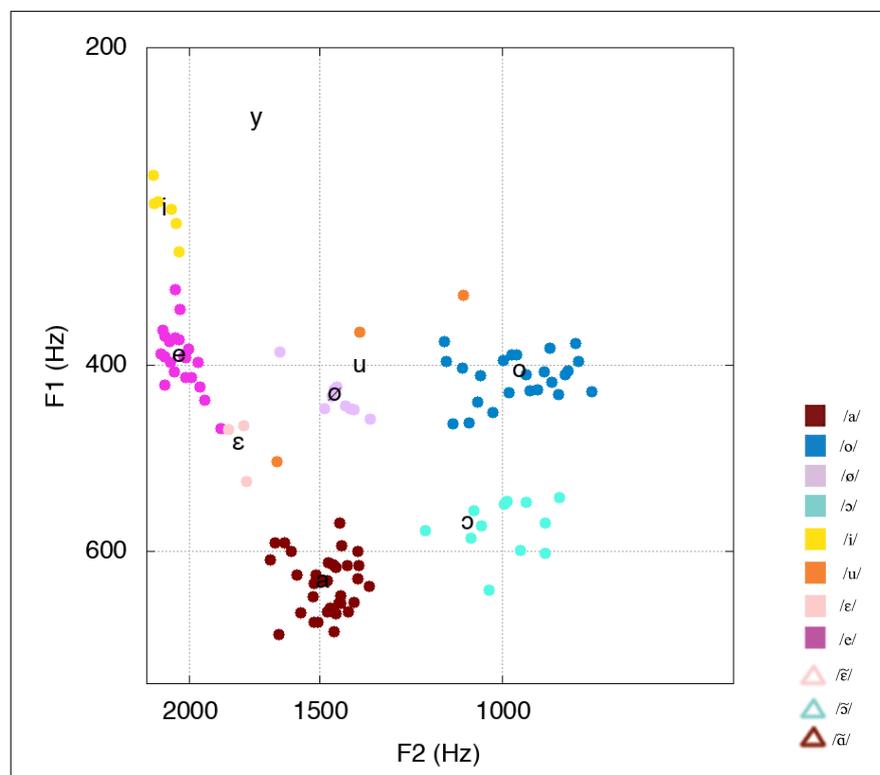


Figure 3.4 – Dispersion des voyelles orales du français (locuteur HN34) dans l'espace acoustique (F_1 , F_2) (en Hz). Les symboles API représentent les données Calliope et Fant (1989, p. 84)

wise chain shift of nasal compared to non-nasal vowels », (Carignan, 2018). Cette conclusion à partir de transitions orales – nasales avec contrôle ultrasonore pour contrôler l’effet de la langue, est la seule que nous pouvons exploiter, car dans le reste de l’étude, Carignan (2018) s’intéresse aux fonctions d’aire, que nous n’avons pas mesurées.

Ensuite, la figure 3.5, montre également que lorsque les voyelles sont nasalisées, leur dispersion dans l’espace des formants (F_1 , F_2) augmente par rapport à la dispersion des voyelles orales correspondantes (pour voir la dispersion des formants, cf. les écarts-types à la figure 3.6, ou bien la figure D.1 en annexe D pour une visualisation des ellipses de confiance). Rappelons que cette étude est monolocuteur, donc cette dispersion pourrait être liée aux caractéristiques physiologiques du locuteur, à ses origines géographiques et expériences linguistiques. mais cette variabilité des valeurs formantiques de la composante orale du signal entre voyelle orale et voyelle nasale correspondante fait écho aux questionnements sur les formants B.F. pour la recherche de corrélats acoustiques de la nasalité (F_1 , F_2 ou First Candidate dans Carignan (2018), F_1 F_{1n} F'_1 F'_2 dans Calliope et Fant (1989)).

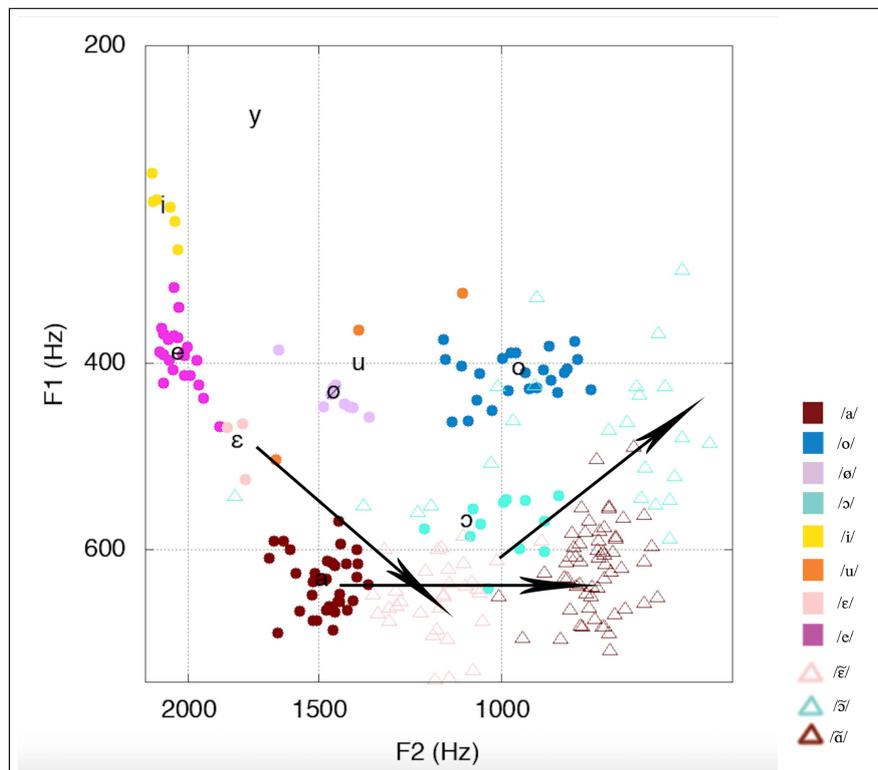


Figure 3.5 – Formants (en Hz) du signal acoustique des voyelles orales et de la composante orale des voyelles nasales (locuteur HN34) dans l’espace acoustique (F_1 , F_2). Les symboles API représentent les données Calliope et Fant (1989, p. 84, 90) (les productions du /u/ sont peu nombreuses dans ce corpus, d’où un faible nombre de données)

Place de la composante orale des voyelles nasales du français dans l'espace (F_1, F_2) : discussion

La dispersion des formants est plus grande pour la composante orales des voyelles / $\tilde{\sigma}$ / et / $\tilde{\epsilon}$ /. Pour / $\tilde{\alpha}$ / cette dispersion est à peu près la même que pour /a/. Cela ne nous donne pas à ce stade d'éléments sur les indices acoustiques qui permettraient de proposer une caractérisation de nasalité dans la composante orale des voyelles nasales. En revanche, les mesures effectuées de (F_1, F_2) sur les voyelles nasales du corpus XP1 nous ont permis d'observer à la figure 3.5 le même résultat que Carignan

Voyelle	F_{1n}	F'_1	F'_2	F_{2n}
$\tilde{\alpha}$	650	800	1000	1850
$\tilde{\sigma}$	700	500	950	2000
$\tilde{\epsilon}$	600	1000	1500	2200

Table 3.6 – Valeurs des formants des voyelles nasales du français pour un locuteur masculin, sans séparation entre signal oral et nasal – d'après Calliope et Fant (1989, p. 90). (pour information)

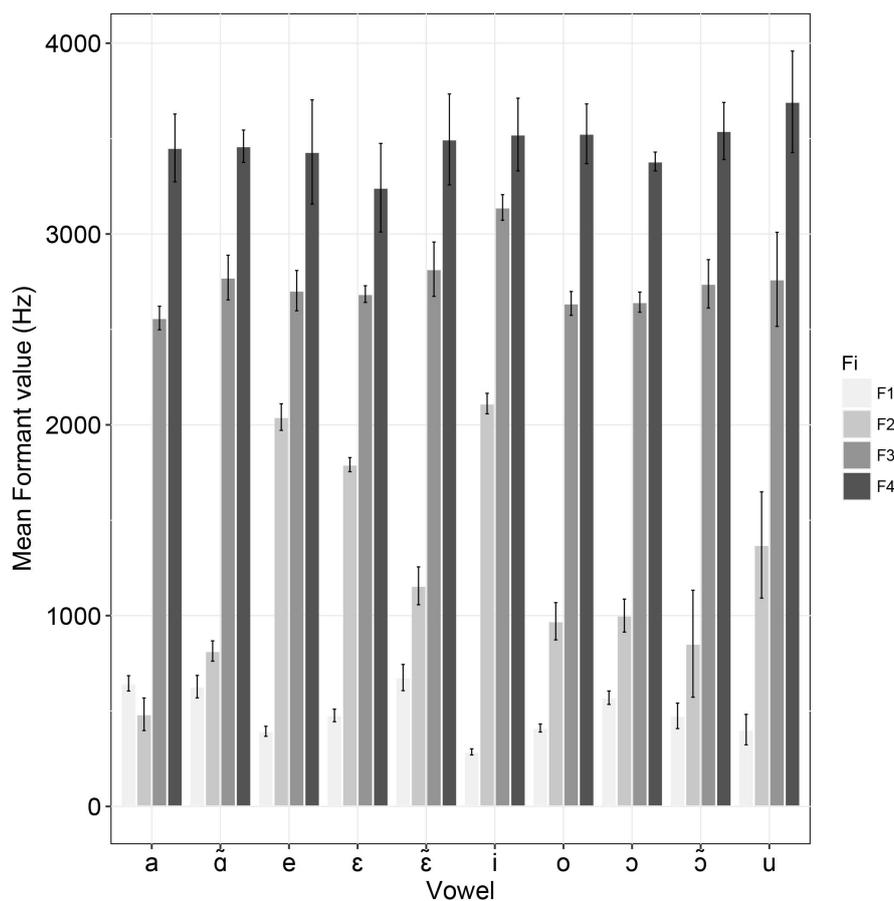


Figure 3.6 – Fréquences moyennes des formants F_i pour les voyelles orales et nasales (locuteur HN34). F_{in} = ième formant nasal apparaissant sous la forme de paires de pôles-zéros, F'_i = formant de l'oral, subissant un *shift* en fréquence en raison du couplage acoustique

(2018), à savoir un « *counterclockwise chain shift of nasal compared to oral* » (résultat matérialisé par les flèches). Notre protocole est néanmoins différent : nous sommes en contexte de parole, sur trois voyelles nasales, dont la composante orale a été comparée à sa voyelle nasale correspondante, alors que Carignan (2018) présente ses conclusions à partir de transitions orales – nasales avec contrôle ultrasonore de la position de la langue pour isoler l’effet de la langue. La question des indices acoustiques de la nasalité reste néanmoins entière à ce stade.

Quel(s) indice(s) acoustique(s) de la nasalité? Analyse de la composante orale des voyelles nasales du français

Afin d’aborder cette question le plus sereinement possible, il faut revenir au départ. Pour comprendre ce que la nasalité provoque physiquement à la composante orale du signal nous repartons de Feng et Kotenkoff (2006), qui, dans leur proposition de séparation acoustique signal oral – signal nasal pour rechercher les corrélats acoustiques de la nasalité dans le signal de parole, ont mis en évidence *l’œil des nasales* par la prise en compte dans leur modélisation acoustique de la position du velum. La figure 3.7 illustre ce résultat obtenu à partir de la variation graduelle des positions du velum. La simulation montre la présence sur le spectrogramme calculé à partir des fonctions de transfert d’une zone de bien moindre énergie correspondant à ce qui sera qualifié d’œil des nasales.

Visible dans le conduit oral par l’effet de l’abaissement du velum sur la fonction d’aire du conduit oral, cette articulation caractéristique de la nasalité cause des phénomènes de pincement des formants H.F. et B.F.. Ces effets, visibles sur la Figure 3.3, illustrent le rôle du vélum sur la fonction d’aire. Cet effet se traduit par une modification de la fonction de transfert où les caractéristiques du vélum viennent directement influencer sur F_1 et F_2 : La modification du conduit en l’absence de couplage induit via le vélum des modifications déjà remarquables de f_1 et f_2 .

Dans la deuxième syllabe du signal des figures 3.3 et 3.8, on voit clairement la présence d’un *œil des nasales*. Concernant le rapprochement formantique, celui de F_1 et F_2 est assez visible (baisse de la fréquence), et F_3 et F_4 sont pour ces cas assez constants (figures 3.3 et 3.8). Les composantes orales des voyelles entre / \tilde{a} /, / \tilde{s} / ou / \tilde{e} / sont différentes. Dans l’optique de la recherche de corrélats acoustiques de la nasalité il faudra regarder quels sont les points communs des voyelles nasales du français. En première approximation, nous supposerons que les composantes orales des voyelles nasales du français ont les mêmes formants que leur équivalente orale acoustique (voir table 1.3), et que

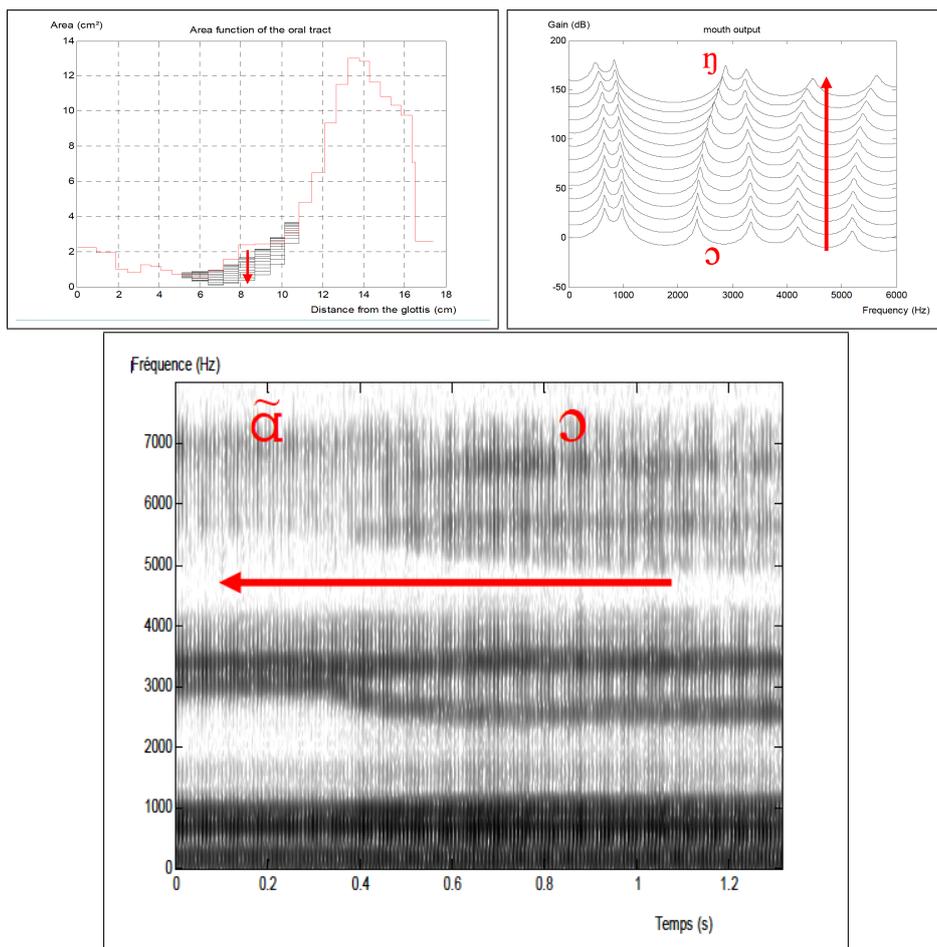


Figure 3.7 – Mise en évidence de l’*œil des nasales* par la modélisation acoustique - d’après Feng et Kotenkoff (2006)

les perturbations liées à la nasalité viendront perturber le « *peigne* » de fréquence de leur équivalente orale.

Pour vérifier ce point, et en même temps continuer à chercher une piste pour l’analyse des patrons formantiques susceptibles d’être des caractéristiques du trait de nasalité, nous avons comparé les réalisations acoustiques des productions des trois voyelles nasales du français réalisées dans les contextes CVC \tilde{V} avec les deux voyelles correspondant l’une et l’autre à leur équivalente dans la dimension orale ou nasale. Nous constatons bien des effets différents suivant la voyelle nasale en comparant les Figures 3.9 et 3.10 : les formants montrent plus de modification entre oral et nasal pour la voyelle ouverte par rapport à la voyelle postérieure mi-ouverte lors de la nasalisation. En observant les évolutions de formants dans le signal oral lors de la nasalisation, nous relevons que F_1 décroît ou reste constant, F_2 décroît, et F_3 croît. Ces effets sont mis en valeur dans les Figures 3.9 3.10, et 3.11 (l’ensemble des

spectrogrammes des meilleures réalisations de XP1 est par ailleurs reproduit en Annexe C). L'effet semble être similaire, quoique dans des proportions différentes suivant le type de nasale; lors de la nasalisation, la composante orale / $\tilde{\epsilon}$ / voit son F_2 diminuer dans une moindre mesure que celle de / \tilde{u} / ou / $\tilde{\sigma}$ / alors que le F_2 de / $\tilde{\epsilon}$ / en figure 3.11 part d'une valeur relativement élevée (1700 Hz) comparée à / \tilde{u} / (1500Hz, figure 3.9) ou / $\tilde{\sigma}$ / (1500Hz, figure 3.10).

Cette dynamique particulière des formants semble à la fois porter l'information du signal nasal dans l'oral et être présente quelle que soit la voyelle nasale étudiée. Cet effet dynamique sur les transitions formantiques dans le signal oral lors de la nasalisation nous semble donc pouvoir vérifier les conditions pour être qualifiée d'indice acoustique de la nasalité dans l'oralité. Nous allons tenter de le prouver sur le corpus XP1.

3.2.2 Analyse dynamique des formants

Méthode appliquée pour l'analyse dynamique

Nous avons donc cherché à évaluer la portée de ces variations comme indicateur de la nasalité. Pour ce faire, nous avons développé un script Praat qui calcule les fréquences des formants F_i , notées f_i ($i=1$ à 3) en trois points de l'intervalle de transition formantique au cours de la nasalisation. La durée de la transition formantique est de l'ordre de 50 à 100 ms, et la subdivision de l'intervalle a été faite comme sur la figure 3.12) pour chaque intervalle. Cette approche fournit, par la donnée des f_i dans

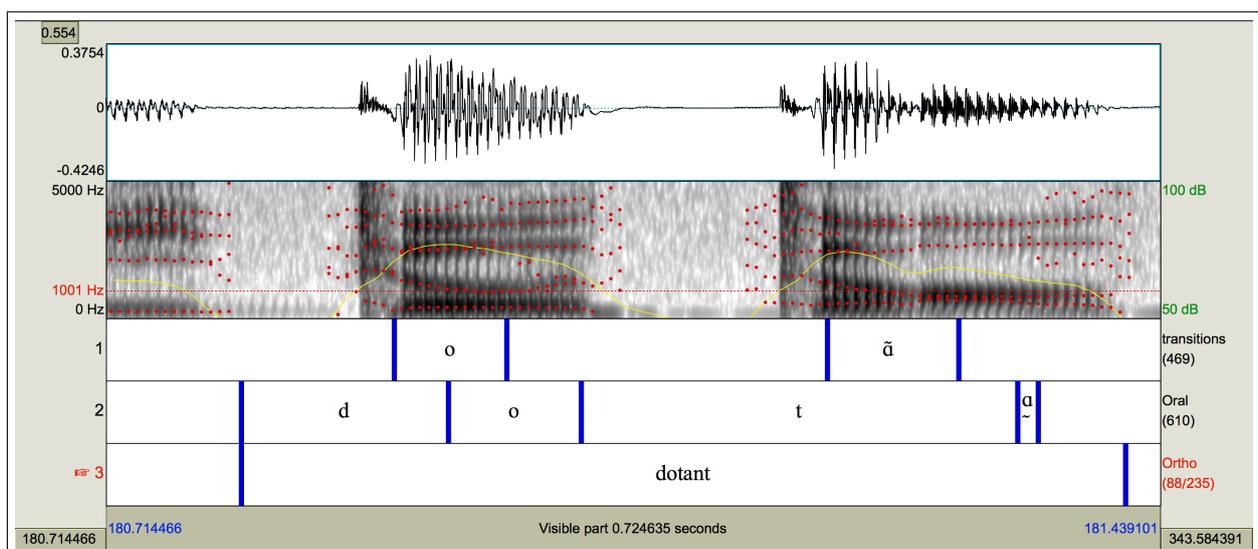


Figure 3.8 – Spectrogramme du mot « dotant » sous Praat – Signal oral

chaque intervalle, les pentes des formants en fonction du temps, classées par type de voyelle. Après une brève explication de notre démarche et des précautions prises pour nous assurer de la recevabilité de notre approche, nous présentons une comparaison voyelle par voyelle, de la pente des formants à l'amorce. Ces valeurs sont représentées à la Figure 3.15, et sont censées aider à détecter la présence d'un œil des nasales. Nous avons choisi de laisser F_4 de côté, F_4 se comportant comme F_3 , en moins marqué (voir précédemment, figures 3.9 3.10, et 3.11).

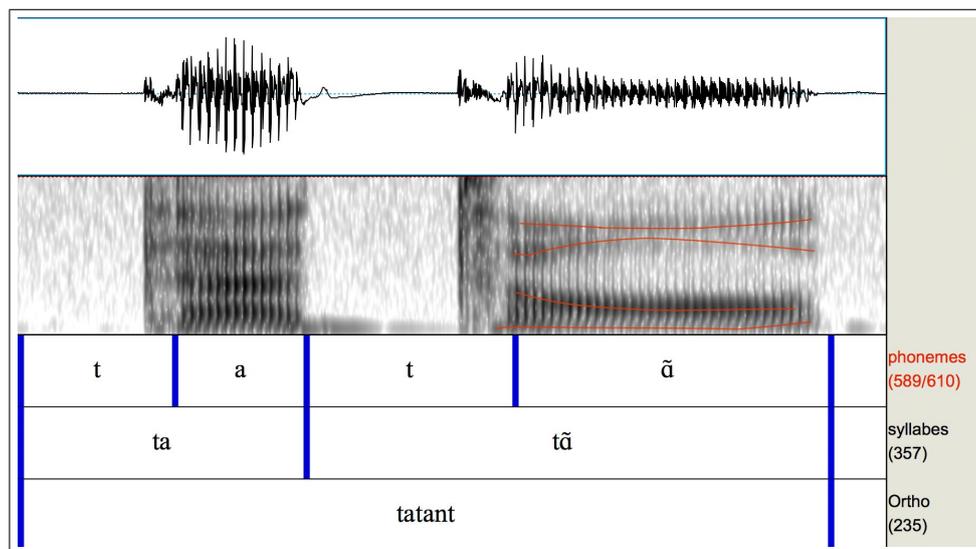


Figure 3.9 – Spectrogramme du mot « tâtant » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l'œil des nasales. L'échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz

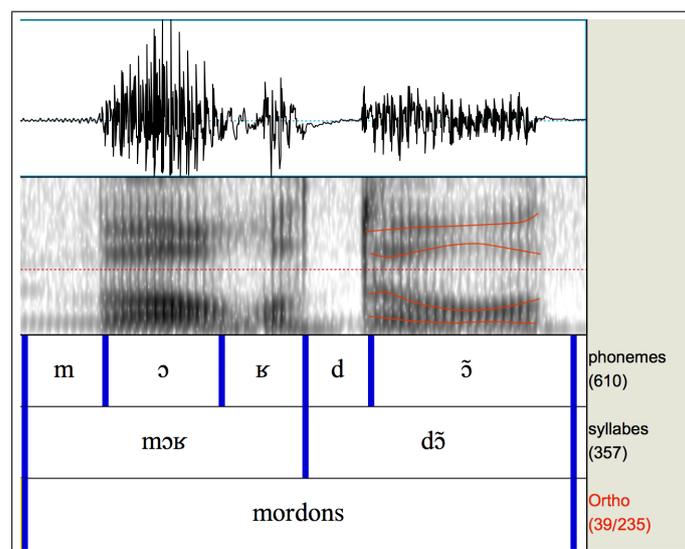


Figure 3.10 – Spectrogramme du mot « mordons » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l'œil des nasales. L'échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz

Nous avons donc sélectionné les 4 premiers formants selon l’algorithme de Burg (Childers (1978), p. 252-255). Il a été demandé ensuite au détecteur de formants de Praat de localiser 5 formants sur une plage de 5000 Hz pour les formants des voyelles orales et de 6 formants sur une plage de 5000 Hz pour les formants des voyelles nasales, car nous anticipons un formant B.F. de plus pour les voyelles nasales. Pour écarter des sélections abusives de formants par la détection automatique, nous avons dé-

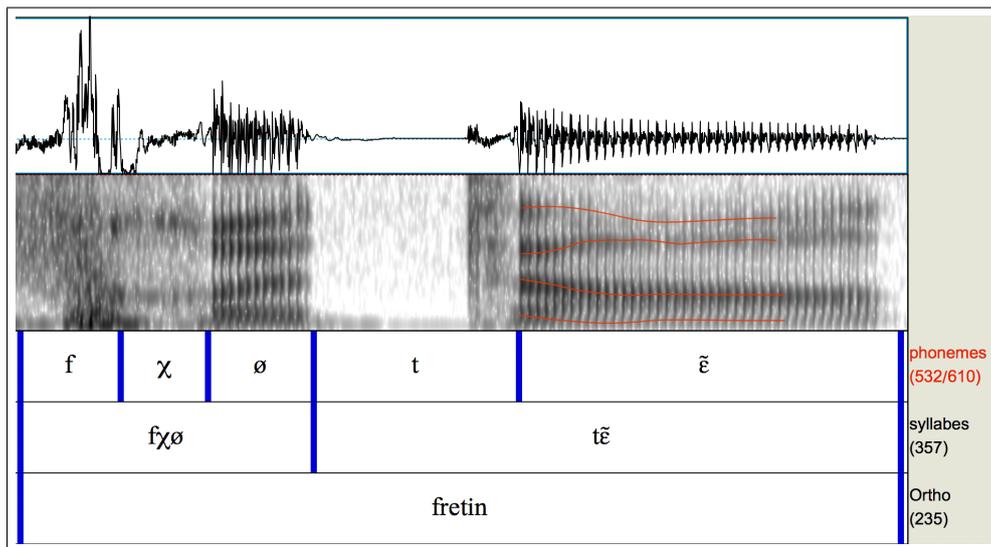


Figure 3.11 – Spectrogramme du mot « fretin » sous Praat – Signal oral avec visualisation des formants autour de l’œil des nasales. L’échelle de fréquence va de 0 à 5 000 Hz

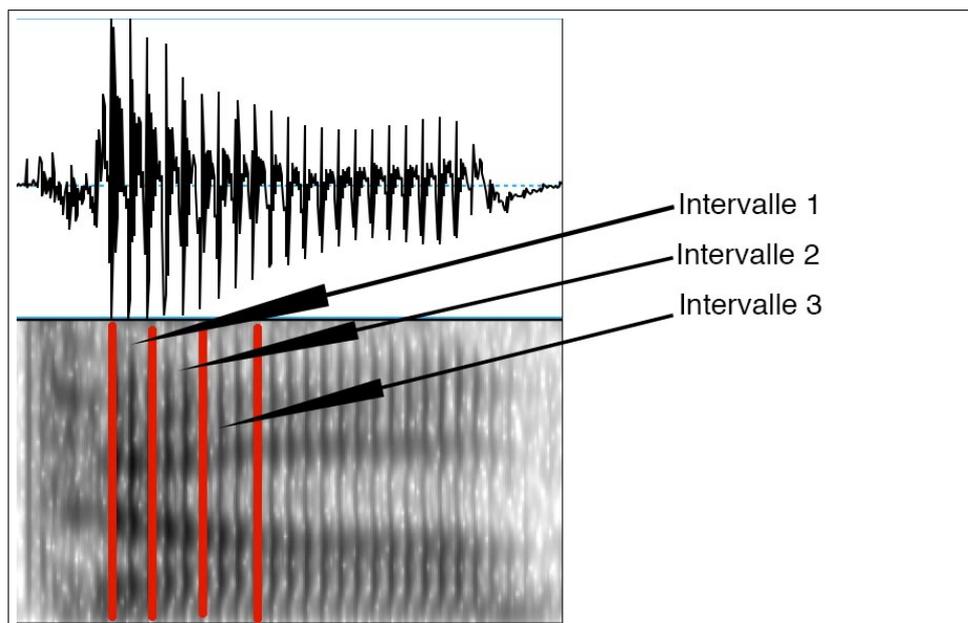


Figure 3.12 – Exemple de sélection des intervalles pour l’analyse de la dynamique des formants (somme des trois intervalles = 100 ms).

fini une méthode pour nous assurer du type de formants observé. Il s'agit d'une vérification consistant à s'assurer que les formants de la nasalité sont bien écartés de l'oral.

Vérification de l'efficacité de la séparation acoustique

Pour ce faire, nous avons décidé d'appliquer un traitement d'appariement entre les analyses formantiques du signal oral et nasal. Nous calculons l'écart de fréquence entre le formant F_i (f_i) du conduit l'oral et F_{n_j} (h_j) du conduit nasal. Si par exemple $f_1 = h_1$, $f_2 = h_3$, $f_3 = h_4$, alors cela signifie qu'un formant est apparu dans le signal nasal sans être détecté dans l'oral. Dans ces conditions, le dispositif a donc écarté du conduit oral ce formant attribuable à la résonance du conduit nasal. Les résultats de ce filtrage, obtenus sur la totalité des réalisations nasalisées du corpus XP1, montrent qu'un formant issu des fosses nasales n'est pas présent dans la structure acoustique de la composante orale du signal de parole. Les résultats finaux sont présentés à la figure 3.14.

La figure 3.13 illustre notre processus d'investigation, mené sur les 3 voyelles nasales du français. Sur ces écarts observés, nous avons estimé qu'en majorité ils devaient être dûs à l'apparition d'un formant supplémentaire, ce qui a été vérifié en traçant, par réalisation, les valeurs de f_3 du signal oral et de f_4 du signal nasal (Figure 3.14) : Cette figure donne les valeurs en Hz des fréquences du troisième formant de la composante orale et du quatrième formant de la composante nasale d'un même signal, pour la voyelle nasale / \tilde{a} /. La proximité des valeurs ainsi représentées pour le / \tilde{a} / pour chacune des réalisations est une indication à nos yeux du fait qu'un formant issu des résonances nasales a été écarté avec succès de la composante orale du signal.

Cela signifie que le signal de l'oral est moins bien séparé du micro nasal que le nasal ne l'est du micro oral. Deux raisons à cela peuvent être avancées : soit le volume sonore de l'oral est bien supérieur au volume nasal et le facteur d'atténuation ne permet pas une complète atténuation de l'oral vers le microphone des nasales (ce qui pour rappel n'est pas gênant dans la mesure où ce n'est pas le sens qui nous a intéressé pour la séparation acoustique), soit la raison est à chercher du côté du couplage acoustique, i.e. de fuites d'un conduit à un autre. Grâce à cette différence, cela dit, nous voyons les formants de l'oral dans le nez et nous pouvons vérifier, grâce au test d'appariement précédemment décrit, qu'un des formants issus des résonances nasales a été écartés de la composante orale des voyelles nasales, concluant ainsi à l'efficacité du dispositif.

Nous montrons donc que le F_3 de l'oral correspondrait au F_4 du conduit nasal, et que la séparation du signal fait disparaître un formant. Pour le cas montré dans les Figures 3.13 et 3.14, le formant pour /ã/, présent dans le signal nasal et pas dans l'oral, est un formant dont la fréquence se situe autour de 2 kHz pour le locuteur HN34. Le formant B.F. de la nasalité étant proche du formant B.F. de l'oral, il est plus difficile d'établir son gommage par cette méthode, c'est pour cela que nous nous sommes concentré sur le formant à 2 kHz de la nasalité (voir figure 3.14).

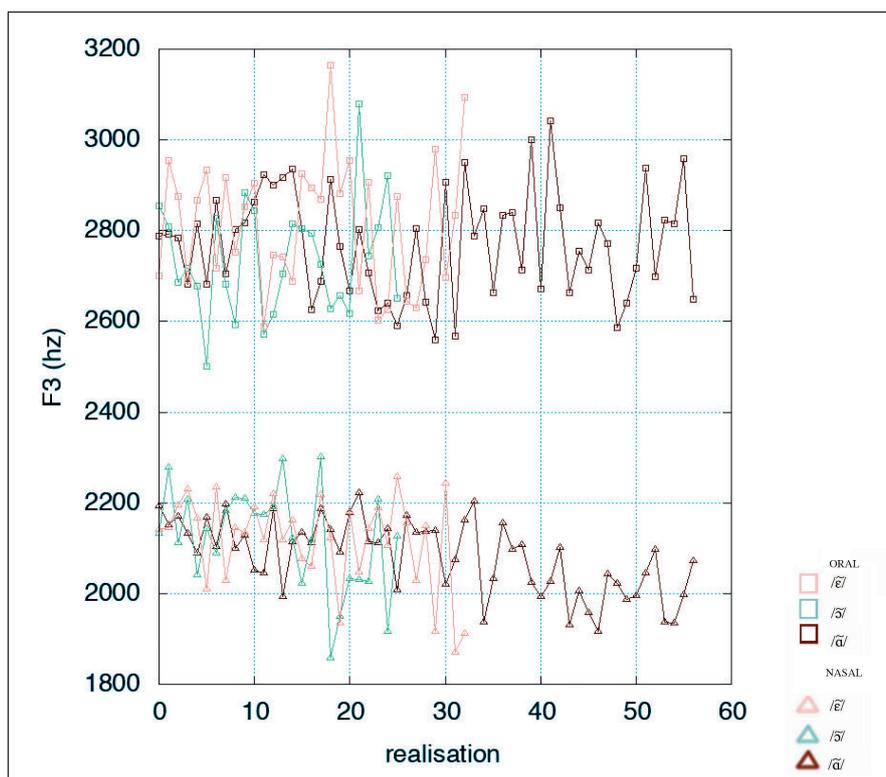


Figure 3.13 – Représentation des fréquences de F_3 pour les 57 réalisations de /ã/, les 33 réalisations de /ẽ/ et les 27 réalisations de /ĩ/ du corpus XP1. Pour une réalisation fixée, ce graphe permet de visualiser l'écart entre la fréquence du F_3 détecté dans le conduit oral (puces carrées) et la fréquence du F_3 détecté dans le conduit nasal (puces triangle), pour chaque réalisation des voyelles nasales du corpus XP1. Pour bien montrer que l'écart en F_3 touche toutes les voyelles nasales, les trois voyelles sont représentées sur un même graphe. Cela ne signifie par pour autant qu'il y a une quelconque concomitance entre les différentes voyelles nasales de ce corpus.

3.2.3 Conclusions sur XP1 : un corrélat acoustique pour la nasalité est à chercher dans les transitions formantiques

Une fois la vérification faite que le signal oral ne contient pas de formant issu des résonances des fosses nasales, nous avons procédé au calcul des pentes des formants du signal oral au niveau de l'œil des nasales. Des exemples de variations de formants lors du processus de nasalisation sont mis en évidence dans les figures 3.9, 3.10 et 3.11. La Figure 3.15 montre les valeurs des pentes de formants calculées à l'approche de l'œil des nasales. Les résultats ainsi présentés montrent une différence entre orales et nasales :

- La variation du f_2 des voyelles orales autres que postérieures fermées à l'approche de l'œil des nasales en fonction du temps est positive,
- La variation du f_2 des voyelles orales postérieures fermées à l'approche de l'œil des nasales en fonction du temps est négative,

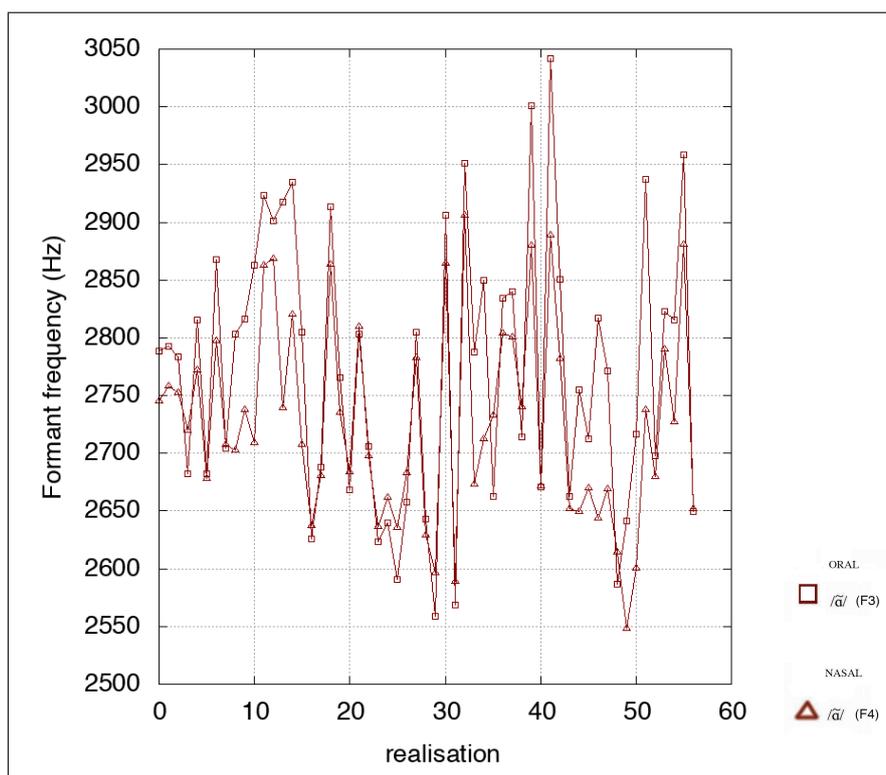


Figure 3.14 – Représentation des fréquences du F_3 issu du signal oral (f_3) et du F_4 issu du signal nasal (h_4) pour les 57 réalisations de / \tilde{a} /, les 33 réalisations de / \tilde{e} / et les 27 réalisations de / \tilde{o} / du corpus XP1. Pour une réalisation fixée, ce graphe permet de visualiser l'écart entre la fréquence du F_3 détecté dans le conduit oral (puces carrées) et la fréquence du F_4 détecté dans le conduit nasal (puces triangle), pour chaque réalisation des voyelles nasales du corpus XP1. Pour montrer qu'il y a un formant de plus dans le nez, on montre ici que l'écart entre f_3 et h_4 est faible devant l'écart entre f_3 et h_3 .

- La variation du f_2 des voyelles nasales à l'approche de l'œil des nasales en fonction du temps est négative.

Les écarts types sont certes très élevés en figure 3.15, car si au premier ordre déjà l'incertitude sur la valeur de formants est grande, alors au second ordre cela ne peut qu'être plus important. Néanmoins, cette tendance sur f_2 observée pour les nasales est la première chose qui frappe en voyant ce graphe, nous considérons que cela mérite d'être souligné. Il est à noter par ailleurs que les voyelles postérieures fermées /o/ et /ɔ/ ont également une baisse de f_2 mais moindre que leur équivalente en voyelle nasale. Concernant le /u/, nous n'avons pas suffisamment de données pour les présenter, mais au vu de son spectrogramme dont un exemple est présenté en figure C.33, /u/ se comporte comme les voyelles postérieures fermées /o/ et /ɔ/.

Le deuxième formant semble donc porter une information intéressante et différant dans sa dynamique entre les voyelles nasales (composante orale) et les voyelles orales : une pente positive pour les orales, à comparer à une pente négative pour les nasales. Une autre manière d'aborder le problème pourrait consister à tenter de relier ces pentes de formants à une variable que nous savons être un indice de la présence des fosses nasales dans le signal, à savoir l'intensité mesurée dans le microphone nasal à l'approche de l'œil des nasales. Placées sur un axe gradué en intensité mesurée dans le micro nasal, les deux populations, « nasalisée » et « non nasalisée » de pentes de formants se répartissent logiquement en deux nuages distinct, comme cela est visible sur les figures 3.16, 3.17 et 3.18. Il est à noter par ailleurs que si qualitativement le F_2 semble donner une information discriminante entre

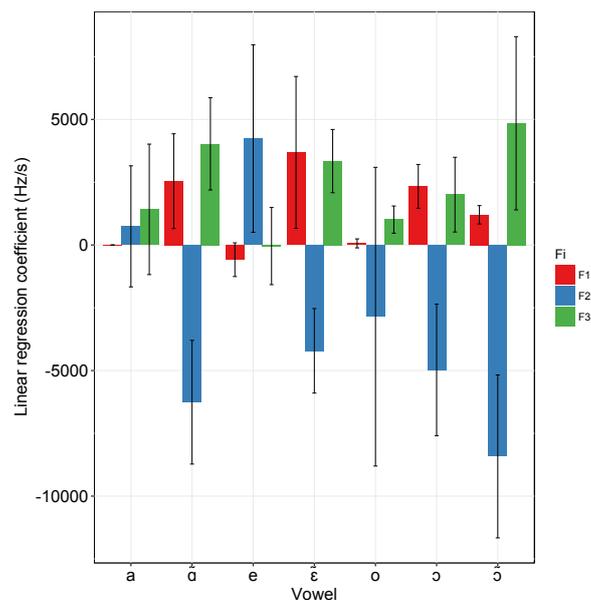


Figure 3.15 – Pente des formants à l'amorce de l'œil des nasal, dans le signal oral séparé

voyelle nasale et non nasale, via sa pente, la pente du $F_3 \frac{df_3}{dt}$ (figure 3.18) en conditions nasalisée a une dispersion moindre et une bien meilleure régression linéaire que $\frac{df_1}{dt}$ ou $\frac{df_2}{dt}$ en fonction de l'intensité mesurée dans micro nasal.

En conclusion, F2 et F3 ont des liens intéressants avec la nasalité à l'approche de l'œil des nasales : les grandeurs $\frac{df_2}{dt}$ et $\frac{df_3}{dt}$ à cet instant sont dans des ordres de grandeur différents entre voyelles orales et nasales. La dispersion est importante car notre étude est exploratoire et qu'ainsi le corpus n'a pas été conçu pour observer ces grandeurs. Les pistes à suivre pour cela sont à chercher dans la conception d'un corpus avec des attaques de syllabes les moins perturbantes possible.

Remarque : pour F_4 , les résultats ont une variabilité trop importante pour conclure. Nous ne présentons pas de résultats sur ce formant.

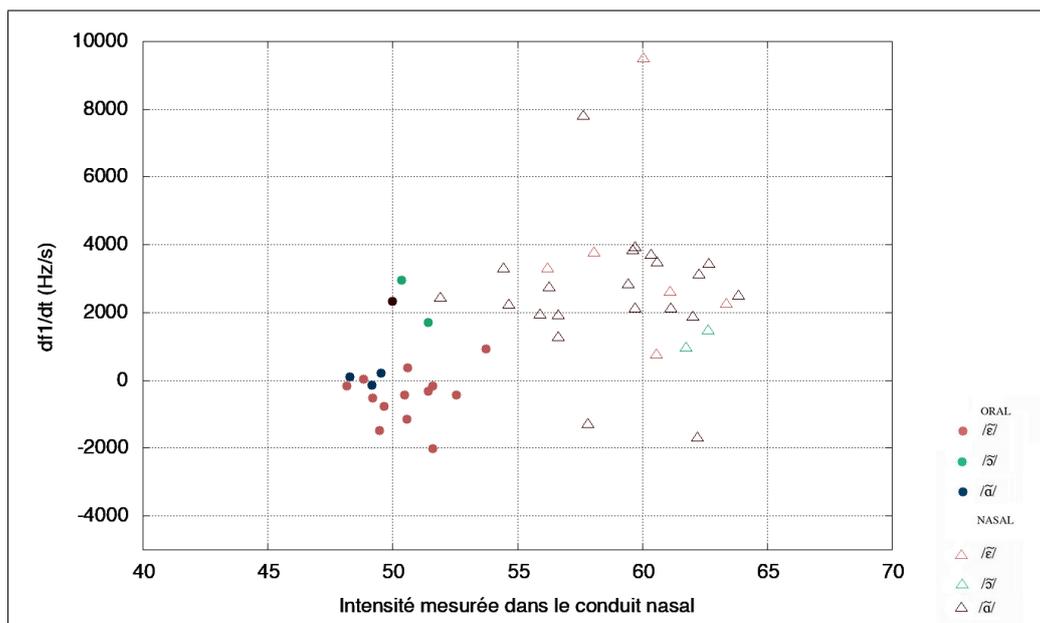


Figure 3.16 – Valeurs des pentes de F_1 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal

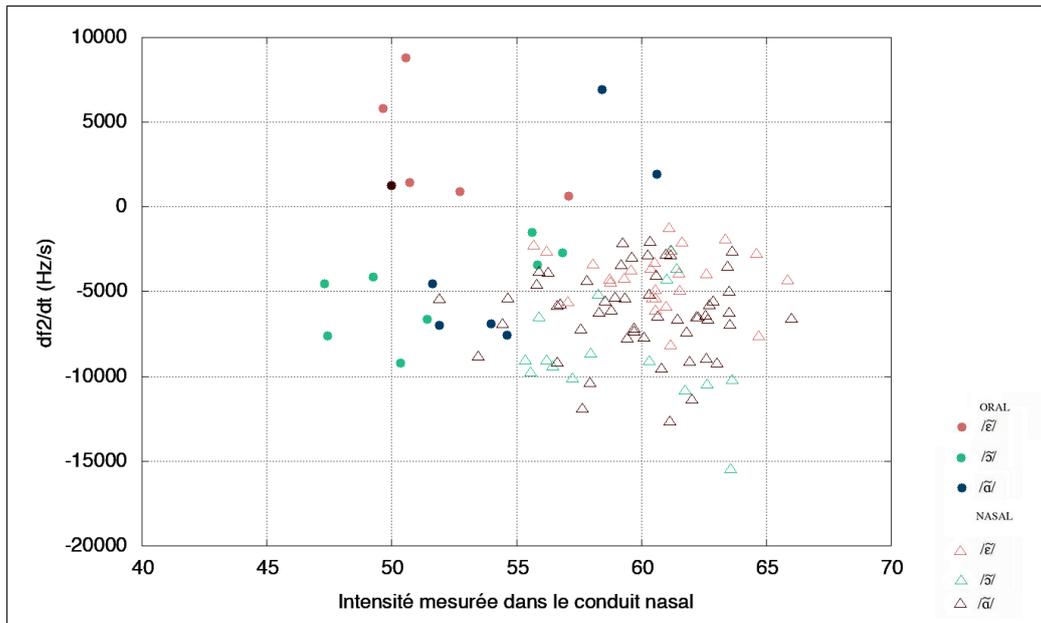


Figure 3.17 – Valeurs des pentes de F_2 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal

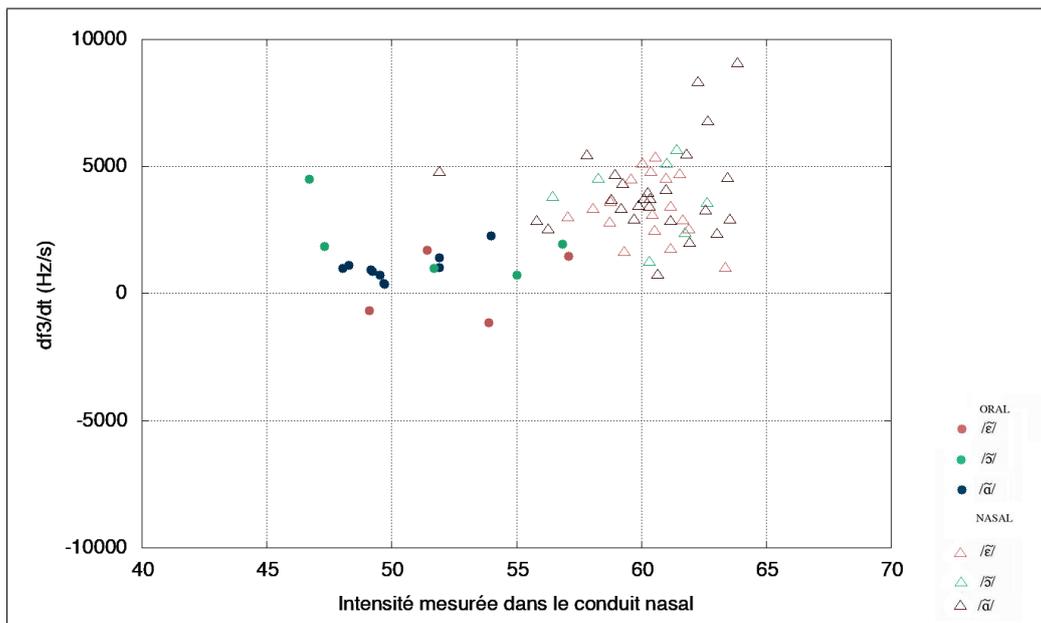


Figure 3.18 – Valeurs des pentes de F_3 en fonction de l'intensité mesurée dans le micro nasal

3.3 Étude des codas nasales en Mandarin de Taïwan (XP2)

3.3.1 Introduction : anticipation et persévérance des nasales en français du sud-ouest

En raison de l'inertie du velum, il n'est pas rare d'observer des mouvements d'anticipation ou de persévérance des nasales : de la même manière que /b/ dans /bul/ ou /bil/ est prononcé en anticipant sur la voyelle suivante, i.e. avec un conduit oral déjà prêt pour /u/ ou /i/, on a tendance à anticiper l'ouverture du velum sur le phonème précédant la nasale. A cette différence près que dans le cas des nasales, l'anticipation donne lieu à un phénomène de coarticulation qui est perceptible. En combinant des considérations d'intensité et de comportement du spectrogramme, nous avons essayé d'observer ces phénomènes, et notamment le phénomène de dénasalisation, caractéristique du français du sud-ouest. Nous nous sommes limité à un travail qualitatif, le travail statistique sur ces phénomènes de coarticulation étant prévu sur le mandarin de Taïwan (voir section 3.3.2). Nous avons eu la chance d'encadrer un projet L1 de travaux pratiques sur la nasalité, où une locutrice de Carcassonne a bien voulu enregistrer le corpus défini par les étudiantes lors de la session de Travaux Pratiques avec le *Nasalance System*. Voici un exemple de comparaison de spectrogramme entre une locutrice qui dénasalise et une autre qui ne le fait pas (figure 3.19).

Le phénomène de dénasalisation en figure 3.19 est extrêmement visible, on voit en effet que pour la locutrice de Savoie le temps où le conduit oral et nasal émettent ensemble est important (de l'ordre de la moitié de la durée du premier segment), comparé à la locutrice de Carcassonne, pour qui il n'y a quasiment pas de recouvrement entre signal nasal et oral . On constate cependant que pour la locutrice de Savoie, il y a aussi dénasalisation (partielle) sur le premier segment du mot. Car si la voyelle est bien une nasale (contrairement à la locutrice de Carcassonne qui dénasalise complètement, i.e. qui sépare le segment nasal et oral), elle est suivie, comme pour la locutrice de Carcassonne, d'une occlusive nasale. La durée du segment nasalisé rapportée à la durée totale du segment est plus grande pour la locutrice de Savoie que pour celle de Carcassonne (25 % contre 21 %). dans la mesure où elle ne sépare par les segments oral et nasal, cela semble assez cohérent.

Ici, les phénomènes observés ne sont pas phonologiques ; suivant la région, un locuteur français aura plus ou moins tendance à dénasaliser, sans que cela change le sens du segment. A tel point que la nasale de fin de mot a été étiquetée en vélaire /ŋ/ chez la locutrice de Carcassonne, ce qui dans d'autre langue pourrait correspondre à un autre phonème, comme en mandarin où il existe une différence phonologique entre les nasales vélaire et coronale en coda.

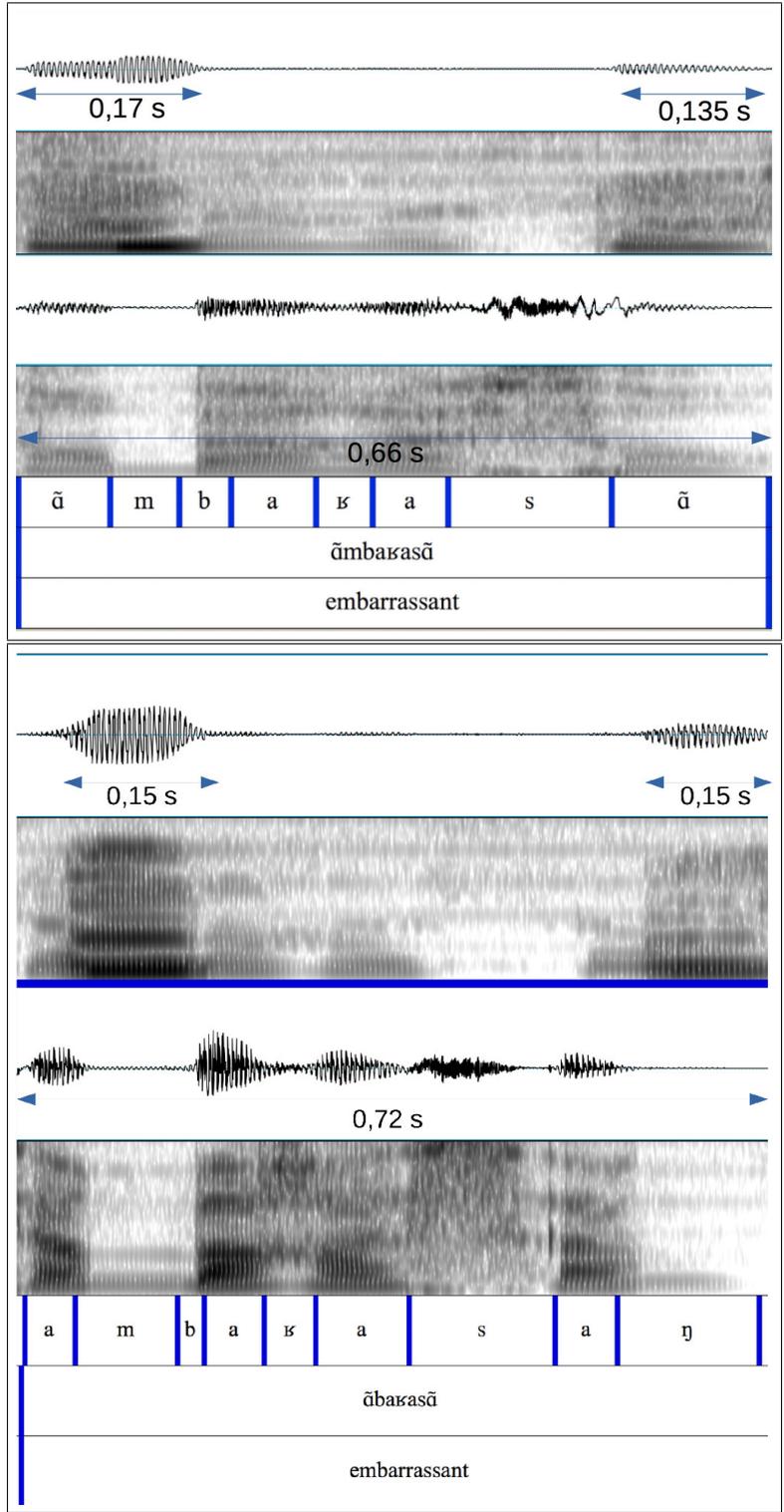


Figure 3.19 – Spectrogrammes de « embarrassant » par une locutrice FN19 (Savoie, à gauche) et FS23 (Carcassonne, à droite)

3.3.2 Étude du segment nasal post-vocalique en mandarin de Taïwan : CVN ou C \tilde{V} ?

Le mandarin de Taïwan : le « chinois » méridional

Taïwan, même si son appartenance à la Chine continentale est un sujet de disputes incessantes entre Taipei et Pékin, est une île indépendante, de langue et culture chinoise, où l'on parle le mandarin de Taïwan et le hokkien (ainsi que le Hakka – une minorité chinoise – et d'autres langues locales d'origine austronésienne parlées par les minorités autochtones). Taïwan abrite la République de Chine, fondée par le Guomintang, rival du Parti Communiste Chinois depuis presque un siècle, et qui a dû s'exiler après la guerre sino-japonaise. Du fait de cette scission entre cette population et le continent, Le mandarin de Taïwan n'a pas eu la même évolution que le mandarin du continent. La différence majeure réside dans le fait que les Taïwanais n'ont pas accepté d'adopter la réforme de l'écriture introduisant les caractères simplifiés en Chine continentale. Des variations dans le vocabulaire et l'intonation ont pu apparaître également, mais rien qui n'ait éloigné le mandarin de Taïwan de celui du continent au point que la compréhension mutuelle soit impossible, les changements majeurs au niveau linguistique se faisant sur des constantes de temps de plusieurs siècles.

Des observations en perception à confirmer en production (Tseng, 2007)

L'objectif de cette expérience est confirmer ou non la présence d'un segment nasal post-vocalique et donc l'existence de structures CVN chez les locuteurs du mandarin de Taïwan. Nous avons élaboré un corpus avec des monosyllabes CV, CV+/n/ et CV+/ŋ/ sur le modèle du corpus de XP0, afin de vérifier si notre dispositif était capable de détecter la nature des différences de propagation nasale sur la voyelle par anticipation du geste d'abaissement du velum entre la coronale /n/ et la vélaire /ŋ/. Cette différence est donc observée sur la durée de nasalisation de l'oral, rapportée à la durée du segment oral (temps pendant lequel le conduit nasal et le conduit oral émettent du signal ensemble rapporté à la durée du segment oral) car Tseng (2007, p. 112) rapportait dans son étude en perception l'existence d'une différence entre les codas nasales coronale /n/ et vélaire /ŋ/ pour les locuteurs du mandarin de Taïwan.

Recherche d'une différence sur les segment CVN de locuteurs taiwanais (XP2) : résultats

Le phénomène de dénasalisation du français méridional vu en section 3.3.1, qui se caractérise par le non chevauchement de la partie orale du signal et de sa partie nasale, est une forme de retour en arrière, au temps où l'évolution diachronique des nasales du français $VN > \tilde{V}N > \tilde{V}$ n'avait pas encore eu lieu. Notre étude phénoménologique sur le mandarin de Taiwan regarde un phénomène discuté de nasalisation similaire ; nous souhaitons vérifier si la coda nasale entraîne une nasalisation de la voyelle, pour deux types de codas : /n/ et /ŋ/. En d'autres termes nous souhaitons vérifier par l'expérience si les mots en CVN en mandarin ont une structure de type CV ou CVC.

L'expérience menée porte sur des productions de locuteurs masculins, à travers une tâche de lecture du corpus à l'écran, en idéogrammes traditionnels. Les mots étudiés ont été randomisés, et sont placés en phrase cadre. Les deux locuteurs recrutés pour cette étude font une différence effective entre la coronale /n/ et la vélaire /ŋ/ au niveau des temps de recouvrement oral – nasal (voir figure 3.20). Ce temps de recouvrement est l'image d'un *onset* de la nasalité qui arrive donc plus tôt en moyenne pour /ŋ/ chez les deux locuteurs (un recouvrement plus grand signifie que la partie orale voit la contribution nasale arriver plus tôt). Ce résultat est une indication que la coda /ŋ/ est susceptible de générer des structures $C\tilde{V}$ ou $C\tilde{V}N$, alors que la coda /n/ se retrouve plus dans une structure CVN.

Nous constatons malheureusement chez les deux locuteurs une grande variabilité. Même si cette différence est notable, et que le nombre de répétitions est important, la variabilité est très importante et ne nous permet pas de conclure à la significativité des résultats en l'état. Pour améliorer la significativité, l'effet du ton ou du type de voyelle en noyau de syllabe (Tseng, 2007), notamment, pourront être regardés. Pour le moment, nous nous limiterons à conclure que les différences de recouvrement temporel entre le signal oral et le signal nasal sont cohérentes entre les deux locuteurs et à ce titre méritent d'être soulignées. Ces résultats accréditent l'existence de codas nasales différentes entre $CV+/n/$ et $CV+/ŋ/$.

3.3.3 Discussion des résultats XP2

On sait que les voyelles nasalisent lorsqu'elles sont précédées d'une nasale, et pour le mandarin de Taïwan, il existe une différence entre $CV+/n/$ et $CV+/ŋ/$ (codas coronale et vélaire). Il faudrait pour pouvoir conclure sur ce point effectuer sur ce corpus le même travail que celui effectué dans la section précédente sur le français (XP1). A titre d'illustration, nous présentons en figure 3.21 les spectrogrammes de la *paire* minimale /pa/ pan/ paŋ/, qui nous montrent que l'œil des nasales se devine quelque peu, et de manière différente sur /paŋ/ par rapport à /pan/. Il n'est pas possible de conclure sur

un cas, mais cette observation sur la « vocalisation » de la nasale /ŋ/ fait écho au cas sur le français ou nous avons montré que le /ŋ/ avait plus de recouvrement avec l'oral, et donc potentiellement nous pourrions mettre en évidence sur le chinois une nasalité vocalique, non phonologique mais constatée phonétiquement. La qualité des enregistrements est à améliorer pour pouvoir observer ce phénomène.

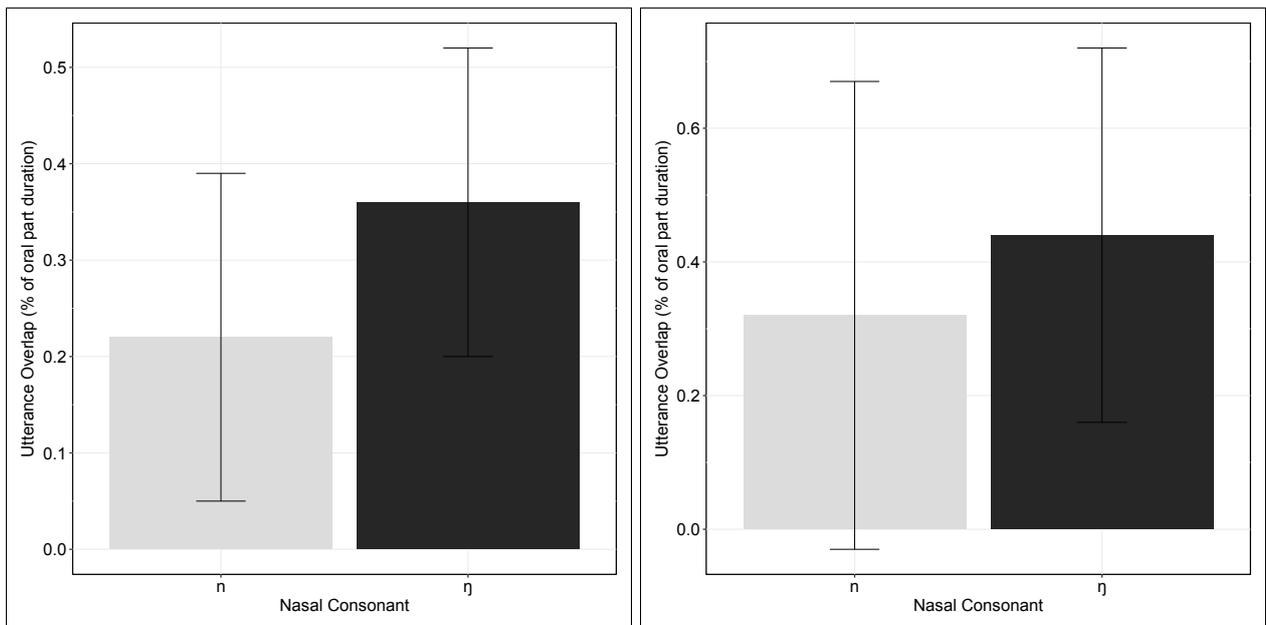


Figure 3.20 – Temps de parole nasalisée (rapporté à la durée de l'oral) pour HN27 (à gauche) et HN18 (à droite)

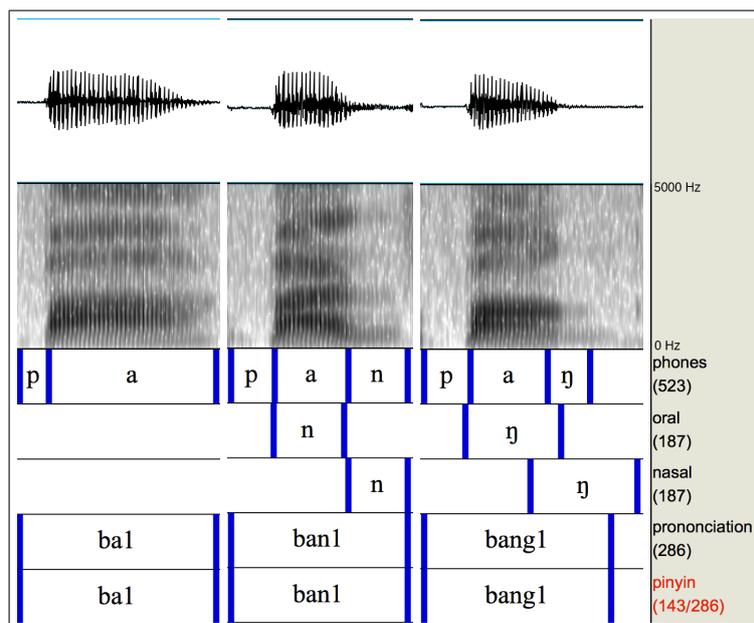


Figure 3.21 – Triplet CV CV+/n/, CV+/ŋ/ au ton 1 pour le locuteur HN27 (mandarin) – Signal oral

Conclusions et perspectives

La séparation entre le signal oral et nasal, une piste sérieuse pour la recherche des corrélats

L'objectif de ce travail était d'explorer la possibilité de poursuivre les recherches dans la séparation du signal de parole entre oral et nasal telles que Feng et Kotenkoff (2006) les avaient envisagées voilà plus de dix ans. Trois études ont été conduites dans le cadre de ce mémoire. La première (étude XP0) visait à établir les performances d'un dispositif d'acquisition du signal oral et du signal nasal séparés *Nasalance System* de Glottal Enterprise en calculant l'atténuation du signal oral dans le micro nasal et inversement. Une deuxième étude (XP1) a consisté à tester le dispositif dans une analyse acoustique sur la nasalité vocalique du français en contexte CVC \tilde{V} avec pour objectif de proposer à l'aide de ce dispositif de nouvelles pistes pour la recherche de corrélats acoustiques de la nasalité. La troisième étude avait pour objectif d'illustrer la pertinence de l'utilisation du dispositif d'enregistrement séparé du signal de parole pour mesurer la nasalisation lors de processus de propagation nasale. Nous avons choisi pour cette dernière étude le mandarin de Taïwan qui questionne l'existence de codas nasales aux dépends d'une nasalité vocalique.

Nous avons fait précéder ce volet expérimental d'un tour d'horizon des possibilités des combinaisons du conduit nasal avec le conduit oral pour réaliser une diversité de sons consonantiques et vocaliques, diversité attestée dans les langues du monde. Nous avons cherché dans la littérature des descriptions des processus de nasalisation et leur représentation dans des modèles formels de phonologie. Nous avons proposé la formalisation de la géométrie des traits de Clements (1985) car elle était plus à même de se rapprocher de notre hypothèse d'une signature du trait de nasalité dans la composante orale du signal de parole. En effet la géométrie des traits propose un traitement du trait nasal qui permet de prendre en compte la désynchronisation de ses processus vis à vis de ceux du conduit oral. Les investigations menées notamment dans l'étude XP1 avec le *Nasalance System* montrent que la nasalité est une composante qui pourrait être isolée dans les segments vocaliques. L'expérience XP2 nous montre la pertinence du dispositif de séparation acoustique pour étudier des phénomènes de dynamique du trait nasal.

L'étude phonétique et phonologique de la langue na du Yongning, qui possède un rapport entre l'aspiration /h/ et le trait nasal encore incertain acoustiquement, pourrait bénéficier de ce dispositif.

À la question autour de laquelle notre mémoire a gravité, à savoir « peut-on chiffrer les indices acoustiques de la nasalité dans le signal de parole lorsqu'on enlève la contribution des fosses nasales ? », nous apportons des pistes de réponse :

Premièrement, nous sommes capables d'enregistrer séparément le signal oral et nasal, à l'aide d'un dispositif portatif, testé et validé dans des conditions de laboratoire. Ensuite, nous avons pu mettre en évidence via ce dispositif le fait que la séparation du signal oral et nasal enlevait du signal oral au moins un formant émis par les fosses nasales, et ainsi nous avons compris une des raisons pour lesquelles ce dispositif rendait l'*œil des nasales* plus visible une fois le signal nasal *écarté* de l'oral.

Concernant les corrélats acoustiques de la nasalité pour les voyelles nasales, les études antérieures n'ont pas été avares de propositions, mais peu se révèlent réellement fiables et robustes, et ce d'autant plus que la variabilité des formants des voyelles nasales est plus importante que celle observée sur les voyelles orales (comme montré en section 3.2.1). Ainsi, nous sommes reparti de ce *pattern* qu'est l'*œil des nasales*, et nous avons mis au point un procédé de calcul des dérivées de formants au cours du temps, sur le signal oral, de sorte que soient mesurées les variations combinées de F_1 , F_2 , et F_3 dans les directions que l'apparition de l'*œil des nasales* fait anticiper. Le pincement des formants H.F. vers le haut de densification pour les B.F. doit nous permettre d'adosser des critères à la variation des formants en contexte de nasalisation. Cette étude vient s'ajouter aux études récentes de Carignan (2017, 2018). Toutes ces études renforcent l'intérêt scientifique de la question de recherche et la démarche que nous avons utilisée.

Sur les nasales du mandarin de Taïwan, nous avons pu tirer une conclusion sur la distinction entre la coronale /n/ et la vélaire /ŋ/. Nous avons cette idée de comparer le signal oral en chinois et en français pour les phénomènes nasalisés afin de comparer les formants oraux des voyelles nasalisées de ces 2 langues, la nasalisation des voyelles étant phonologique dans l'une et phonétique dans l'autre. La conclusion que nous pouvons tirer, qualitative à ce jour, est que pour le mandarin de Taïwan, on trouve l'oral nasalisé dans les segments CVN avec /ŋ/ en fin de syllabe. Une amélioration de la qualité technique du dispositif nous permettra d'améliorer notre compréhension de ces phénomènes fins. Une amélioration du circuit de filtrage du *Nasalance System* et des microphones est prévue, ainsi qu'un changement de connectique pour améliorer la portabilité du *Nasalance System* sur tout type d'enregistreur, et pouvoir ainsi aborder des problèmes de linguistique de terrain plus facilement.

Les études récentes de Carignan (2017, 2018) ont clairement montré que la piste de la sépara-

tion des signaux était une piste extrêmement sérieuse pour comprendre et décrire la nasalité dans les systèmes linguistiques, qu'elle soit phonologique ou non. L'inventaire des langues méritant qu'on s'intéresse à elles nous prouve par ailleurs qu'un tel dispositif pourra rapidement être valorisé pour les recherches menées en linguistique diachronique et panchronique (Garellek et al. (2016); Michaud (2017); Michaud et al. (2012), et d'autres). L'émergence de la nasalité dans les systèmes sonores constitue toujours un phénomène difficile à expliquer, que les mécanismes en jeu soient syllabiques, laryngés ou même prosodiques. Un système portatif, à l'heure de l'explosion des transports de longue distance, prend tout son sens. La mondialisation apporte cela de positif qu'elle peut faire partager des cultures, des technologies, pour faire avancer l'état des sciences – ici la linguistique –, et cette forme de décloisonnement des disciplines aujourd'hui, avec un travail effectué ici qui est à la fois acoustique, phonétique, et même phonologique par certains aspects, laisse augurer un avenir de synergies intéressant et souhaitable.

Bibliographie

- Allen, B. (2004). Bai dialect survey. *Kunming : Yunnan Minority Language Commission and SIL*.
- Amelot, A. (2004). *Etude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français* (Thèse de doctorat). Université de la Sorbonne nouvelle-Paris III.
- Benveniste, E. (1966). *Problèmes de linguistique générale*. [1](1966). Gallimard.
- Benveniste, E. (1974). *Problèmes de linguistique générale*. [2](1974).
- Calliope, L., & Fant, G. (1989). *La parole et son traitement automatique*. Masson Paris.
- Carignan, C. (2012). Quand nasal est plus que nasal : L'articulation orale des voyelles nasales en français (when nasal is more than nasal : Oral articulation of french nasal vowels)[in french]. In *Proceedings of the joint conference jep-taln-recital 2012, volume 1 : Jep* (pp. 747–754).
- Carignan, C. (2017). Covariation of nasalization, tongue height, and breathiness in the realization of /l/ of southern french nasal vowels. *Journal of Phonetics*, 63, 87–105.
- Carignan, C. (2018). Using ultrasound and nasalance to separate oral and nasal contributions to formant frequencies of nasalized vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(5), 2588–2601.
- Castro, A., & Xingwen, P. (2014). *Sui dialect research*. Published in Chinese as Shuiyu Diaocha Yanji. Guiyang : Guizhou People's Press.
- Childers, D. G. (1978). *Modern spectrum analysis*. IEEE Computer Society Press.
- Clements, G. N. (1985). The geometry of phonological features. *Phonology*, 2(1), 225–252.
- Clements, G. N. (2003). Feature economy in sound systems. *Phonology*, 20(3), 287–333.
- Dang, J., & Honda, K. (1996). Acoustic characteristics of the human paranasal sinuses derived from transmission characteristic measurement and morphological observation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(5), 3374–3383.
- Delattre, P. (1954). Les attributs acoustiques de la nasalité vocalique et consonantique. *Studia linguistica*, 8(1-2), 103–109.
- Fant, G. (1960). *Acoustic theory of speech production*. Mouton & Co, The Hague.

- Fant, G. (1985). The vocal tract in your pocket calculator. *STL-QPSR, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*, 2–3.
- Feng, G. (1986). *Modelisation acoustique et traitement du signal de parole : le cas des voyelles nasales* (Thèse de doctorat). Université de Grenoble.
- Feng, G., & Castelli, E. (1996). Some acoustic features of nasal and nasalized vowels : A target for vowel nasalization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(6), 3694–3706.
- Feng, G., & Kotenkoff, C. (2006). New considerations for vowel nasalization based on separate mouth-nose recording. In *Ninth international conference on spoken language processing*.
- Ferlus, M. (2004). The origin of tones in viet-muong. In *Papers from the eleventh annual conference of the southeast asian linguistics society 2001* (pp. 297–313).
- Garellek, M., Ritchart, A., & Kuang, J. (2016). Breathy voice during nasality : A cross-linguistic study. *Journal of Phonetics*, 59, 110–121.
- Hajek, J., & Maeda, S. (2000). Vowel height and duration on the development of distinctive nasalization. *Papers in Laboratory Phonology V : Acquisition and the lexicon*, 52–69.
- Hattori, S., Yamamoto, K., & Fujimura, O. (1958). Nasalization of vowels in relation to nasals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 30(4), 267–274.
- Jakobson, R. (1971). Selected writings, vol. 2. *The Hague : Mouton*.
- Jakobson, R., Fant, C. G., & Halle, M. (1951). Preliminaries to speech analysis : The distinctive features and their correlates.
- Jakobson, R., & Halle, M. (1956). Fundamentals of language. *S-Gravenhage, Mouton*.
- Kent, R. D. (1997). *The speech sciences*. Singular Publishing Group.
- Léon, P. R. (2005). *Phonétisme et prononciations du français*. A. Colin.
- Lin, Q., & Fant, G. (1990). A new algorithm for speech synthesis based on vocal tract modeling. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(S1), S150–S151.
- Lindblom, B., & Maddieson, I. (1988). Phonetic universals in consonant systems. *Language, speech, and mind*, 62–78.
- Maddieson, I., & Disner, S. F. (1984). *Patterns of sounds*. Cambridge university press.
- Maddieson, I., & Ladefoged, P. (1996). The sounds of the world's languages. *Malden, MA (USA) : Blackwell Publishing*.
- Maddieson, I., & Precoda, K. (1989). Updating upsid. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 86(S1), S19–S19.
- Maeda, S. (1982). The role of the sinus cavities in the production of nasal vowels.

- Martinet, A. (1965). Les voyelles nasales du français. *La linguistique*, 1(Fasc. 2), 117–122.
- Matisoff, J. A. (1975). Rhinoglottophilia : the mysterious connection between nasality and glottality. In *Nasálfest : Papers from a symposium on nasals and nasalization* (pp. 265–287).
- Michaud, A. (2017). *Tone in yongning na : lexical tones and morphotonology*. Language Science Press.
- Michaud, A., Jacques, G., & Rankin, R. L. (2012). Historical transfer of nasality between consonantal onset and vowel : from c to v or from v to c? *Diachronica*, 29(2), 201–230.
- Mulford, R., & Mills, A. (1983). Language acquisition in the blind child : normal and deficient.
- Nguyen, N., Wauquier-Gravelines, S., & Durand, J. (2005). *Phonologie et phonétique : forme et substance, paris : Hermès*. Hermes Lavoisier.
- Quilis, A. (1993). *Tratado de fonología y fonética españolas* (Vol. 2). Gredos Madrid.
- Rossato, S. (2000). *Du son au geste, inversion de la parole : le cas des voyelles nasales* (Thèse de doctorat). Grenoble INPG.
- Solé, M.-J. (2014). The perception of voice-initiating gestures. *Laboratory Phonology*, 5(1), 37–68.
- Stevens, K. N. (2000). *Acoustic phonetics* (Vol. 30). MIT press.
- Straka, G. (1965). *Album phonétique* (Vol. 1). Presses de l'Université Laval.
- Sun, C. (2006). *Chinese : A linguistic introduction*. Cambridge University Press.
- Tseng, H. C. (2007). Étude acoustico-perceptive des séquences sonores porteuses du trait [+ nasal] en mandarin de taïwan. implication dans le cadre de l'apprentissage du français langue Étrangère (fle). *UGA*.
- Vaissière, J., & Amelot, A. (2008). Nasalité, coarticulation et anticipation. *Paris : Université Sorbonne Nouvelle–Paris*, 3.
- Vallée, N. (1994). *Systèmes vocaliques : de la typologie aux prédictions* (Thèse de doctorat non publiée). Grenoble 3.
- Vallée, N., Boë, L.-J., Schwartz, J.-L., Badin, P., & Abry, C. (2013). *The weight of phonetic substance in the structure of sound inventories*. Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg.
- Wright, J. T. (1986). The behavior of nasalized vowels in the perceptual vowel space. *Experimental phonology*, 45–67.

Annexe A

Corpus français

A.1 Corpus de monosyllabes (étude de caractérisation)

Voir page suivante

COLONNE 1			COLONNE 2			COLONNE 3		
Ortho	Phono	Phonet	Ortho	Phono	Phonet	Ortho	Phono	Phonet
baie	/bɛ/	[bɛ]	ma	/ma/	[ma]	thème	/tɛm/	[tɛm]
bain	/bɛ̃/	[bɛ̃]	ment	/mɑ̃/	[mɑ̃]	taux	/to/	[to]
benne	/bɛn/	[bɛn]	manne	/man/	[man]	ton	/tɔ̃/	[tɔ̃]
bas	/ba/	[ba]	mais	/mɛ/	[mɛ]	tonne	/tn/	[tn]
banc	/bɑ̃/	[bɑ̃]	main	/mɛ̃/	[mɛ̃]	tee	/ti/	[tʃi]
banne	/ban/	[ban]	même	/mɛm/	[mɛm]	tout	/tu/	[tu]
beau	/bo/	[bo]	mot	/mo/	[mo]	tu	/ty/	[ty]
bon	/bɔ̃/	[bɔ̃]	mon	/mɔ̃/	[mɔ̃]	va	/va/	[va]
bonne	/bɔ̃n/	[bɔ̃n]	môme	/mom/	[mom]	vent	/vɑ̃/	[vɑ̃]
bis	/bis/	[bis]	mi	/mi/	[mi]	vanne	/van/	[van]
bout	/bu/	[bu]	mou	/mu/	[mu]	veau	/vo/	[vo]
bu	/by/	[by]	mû	/my/	[my]	vont	/vɔ̃/	[vɔ̃]
cas	/ka/	[ka]	na	/na/	[na]	veut	/vø/	[vø]
canne	/kan/	[kan]	nan	/nɑ̃/	[nɑ̃]	vint	/vɛ̃/	[vɛ̃]
quai	/kɛ/	[kɛ]	nân	/nan/	[nan]	veine	/ven/	[ven]
qu'un	/kɛ̃/	[kɛ̃]	ni	/ni/	[ni]	vit	/vi/	[vi]
quine	/kin/	[kin]	nous	/nu/	[nu]	vous	/vu/	[vu]
co	/ko/	[ko]	nu	/ny/	[ny]	vu	/vy/	[vy]
con	/kɔ̃/	[ɔ̃]	paix	/pɛ/	[pɛ]			
conne	/kɔ̃n/	[kɔ̃n]	pain	/pɛ̃/	[pɛ̃]			
coup	/ku/	[ku]	peine	/pɛn/	[pɛn]			
cul	/ky/	[ky]	pas	/pa/	[pa]			
quand	/kɑ̃/	[kɑ̃]	paon	/pɑ̃/	[pɑ̃]			
qui	/ki/	[ki]	panne	/pan/	[pan]			
fa	/fa/	[fa]	pot	/po/	[po]			
faon	/fɑ̃/	[fɑ̃]	pont	/pɔ̃/	[pɔ̃]			
fane	/fan/	[fan]	paume	/pom/	[pom]			
fait	/fɛ/	[fɛ]	pis	/pi/	[pi]			
faim	/fɛ̃/	[fɛ̃]	pou	/pu/	[pu]			
faine	/fɛn/	[fɛn]	pus	/py/	[py]			
faut	/fo/	[fo]	rat	/ʁa/	[ʁa]			
font	/fɔ̃/	[fɔ̃]	rame	/ʁam/	[ʁam]			
faune	/fon/	[fon]	rang	/ʁɑ̃/	[ʁɑ̃]			
fit	/fi/	[fi]	raie	/ʁɛ/	[ʁɛ]			
fou	/fu/	[fu]	rein	/ʁɛ̃/	[ʁɛ̃]			
fut	/fy/	[fy]	reine	/ʁɛn/	[ʁɛn]			
gars	/ga/	[ga]	rot	/ʁo/	[ʁo]			
gant	/gɑ̃/	[gɑ̃]	rond	/ʁɔ̃/	[ʁɔ̃]			
gagne	/gɑ̃j/	[gɑ̃j]	rhône	/ʁon/	[ʁon]			
gai	/gɛ/	[gɛ]	riz	/ʁi/	[ʁi]			
gain	/gɛ̃/	[gɛ̃]	roux	/ʁu/	[ʁu]			
gaine	/gɛn/	[gɛn]	rue	/ʁy/	[ʁy]			
go	/go/	[go]	ta	/ta/	[ta]			
gond	/gɔ̃/	[gɔ̃]	temps	/tɑ̃/	[tɑ̃]			
gone	/gon/	[gon]	tanne	/tan/	[tan]			
goût	/gu/	[gu]	taie	/tɛ/	[tɛ]			
gui	/gi/	[gi]	teint	/tɛ̃/	[tɛ̃]			

A.2 Corpus de mots bisyllabiques (approche formantique)

Mot choisi	Transcription phonologique	Variation phonétique
balant	/balã/	[balã]
benzène	/bẽzen/	[bẽzen]
bottoms	/botõ/	[botõ]
canant	/kanã/	[kanã]
cordon	/kɔɾdõ/	[kɔɾdõ]
crétin	/kɾetẽ/	[kɾetẽ]
dédain	/dedẽ/	[dedẽ]
denrée	/dãɾe/	[dãɾe]
dinde	/dẽdɔ/	[dẽdɔ]
dompté	/dõpte/	[dõpte]
dotant	/dotã/	[dotã]
fretin	/fɾetẽ/	[fɾetẽ]
gonzo	/gõzo/	[gõzo]
gredin	/gɾedẽ/	[gɾedẽ]
manant	/manã/	[manã]
matant	/matã/	[matã]
matin	/matẽ/	[matẽ]
maton	/matõ/	[matõ]
menthe	/mãt/	[mãt]
menti	/mãti/	[mãt̥si]
mordons	/mɔɾdõ/	[mɔɾdõ]
mormon	/mɔɾmõ/	[mɔɾmõ]
motton	/motõ/	[motõ]
nimbé	/nẽbe/	[nẽbe]
pinté	/pẽte/	[pẽt̥se]
quanta	/kãta/	[kãta]
quantaux	/kãto/	[kãto]
regain	/ɾogẽ/	[ɾogẽ]
savant	/savã/	[savã]
scindé	/sẽde/	[sẽde]
senti	/sãti/	[sãt̥si]
sortons	/sɔɾtõ/	[sɔɾtõ]
tantôt	/tãto/	[tãto]
tatant	/tatã/	[tatã]
tenta	/tãta/	[tãta]
toquant	/tokã/	[tokã]
toucan	/tukã/	[tukã]
vaquant	/vakã/	[vakã]
vantaux	/vãto/	[vãto]

Annexe B

Corpus Mandarin Simplifié et Traditionnel

TON 1					
Caractère simplifié	Caractère traditionnel	Transcription phonologique	Pinyin	Glose	
八	八	/pa/	bā	huit	
搬	搬	/pan/	bān	déplacer	
帮	幫	/paŋ	bāng	aider	
逼	逼	/pi/	bī	forcer	
宾	賓	/pin/	bīn	hôte	
冰	冰	/piŋ/	bīng	gelé	
答	答	/ta/	dā	réagir, répondre	
单	單	/tan/	dān	seul	
当	當	/taŋ/	dāng	en tant que	
低	低	/ti/	dī	bas	
钉	釘	/tiŋ/	dīng	clou	
嘟	嘟	/tu/	dū	<i>onomat.</i>	
蹲	蹲	/tun/	dūn	s'accroupir	
东	東	/tuŋ/	dōng	Est	
喝	喝	/xə/	hē	boire	
哼	哼	/xəŋ/	hēng	<i>onomat.</i>	
衣	衣	/i/	yī	vêtement	
因	因	/jin/	yīn	cause	
英	英	/jiŋ/	yīng	anglais	
撒	撒	/sa/	sā	lâcher, lancer	
三	三	/san/	sān	trois	
桑	桑	/saŋ/	sāng	mûre de murier	
三高	三高	/saŋgau/	sāngāo	high tech	
森	森	/sən/	sēn	boisé	
僧	僧	/səŋ/	sēng	moine	boud-dhiste

TON 1					
Caractère simpli-	Caractère	tradi-	Transcription	Pinyin	Traduction
fié	tionnel		phonologique		
苏	蘇		/su/	sū	abbr. Jiangsu 江蘇
孙	孫		/sun/	sūn	petit-fils
TON 4					
爸	爸		/pa/	bà	père
半	半		/pan/	bàn	moitié
棒	棒		/paŋ/	bàng	excellent, fort
大	大		/ta/	dà	grand
但	但		/tan/	dàn	mais
档	檔		/taŋ/	dàng	étagère, stand
避	避		/pi/	bì	éviter
殡	殯		/pin/	bìn	disposer un cer- cueil
病	病		/piŋ/	bìng	malade
豆	豆		/təu/	dòu	pois
顿	頓		/tun/	dùn	faire une pause, s'arrêter
动	動		/tuŋ/	dòng	bouger, agir
热	熱		/zə/	rè	chaud
认	認		/zən/	rèn	reconnaître
苻	苻		/zəŋ/	rèng	mauvaise herbe
意	意		/i/	yì	sens
印	印		/jin/	yìn	sceau
硬	硬		/jiŋ/	yìng	dur
预	預		/jy/	yù	en avance
运	運		/jyn/	yùn	mouvement
用	用		/juŋ/	yong	utiliser

Annexe C

spectrogrammes des meilleures réalisations des mots bissyllabes du corpus de XP1 (locuteur HN34)

Pour les réalisations ci-dessous, nous avons pris les échelles suivantes :

Pour le signal sonore, l'écart minimum–maximum est à 60% de l'intensité maximum de toutes les réalisations.

Pour la fréquence, l'échelle va de 0 à 5 000 Hz.

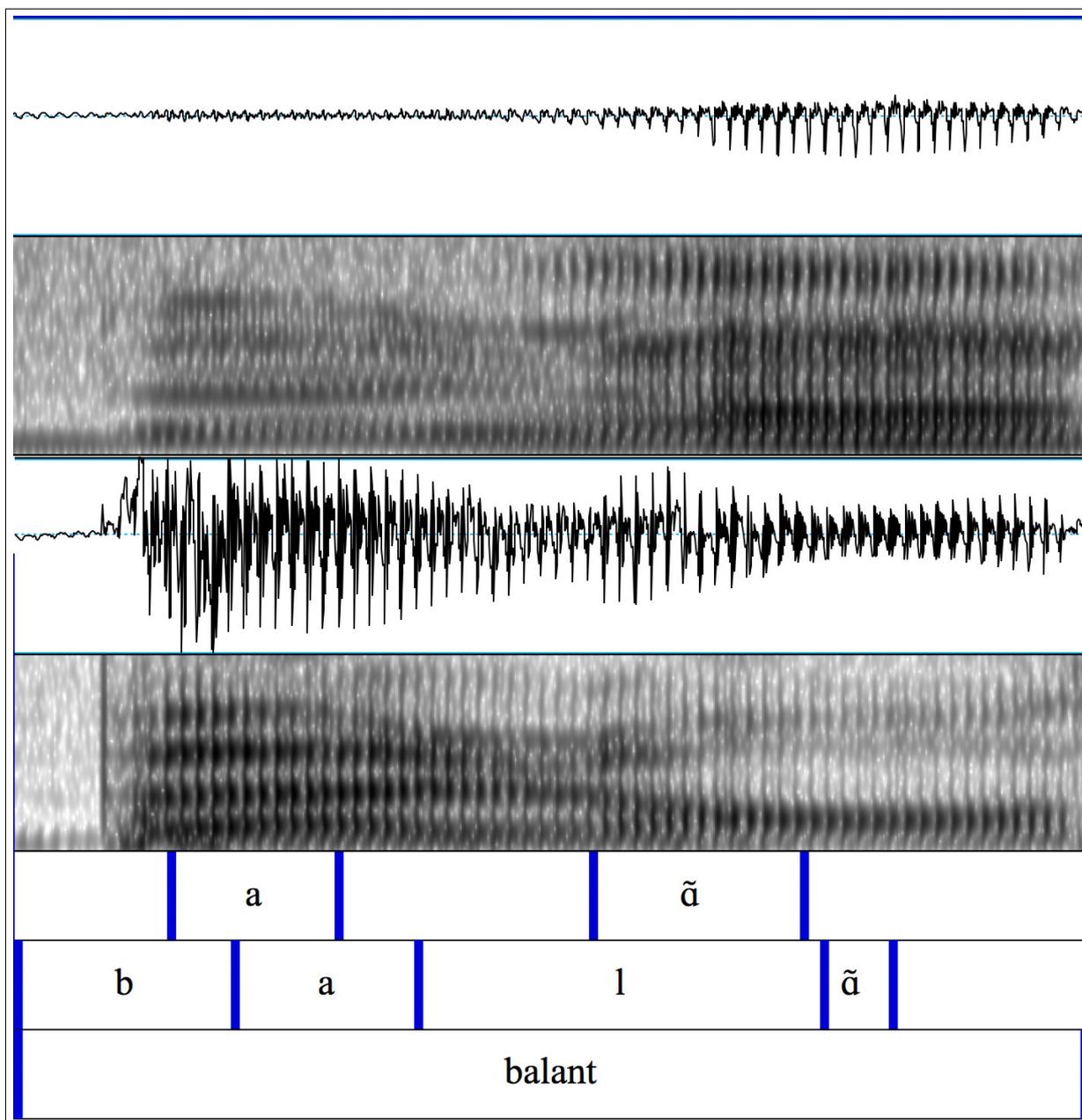


Figure C.1 – Spectrogramme du mot « balant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

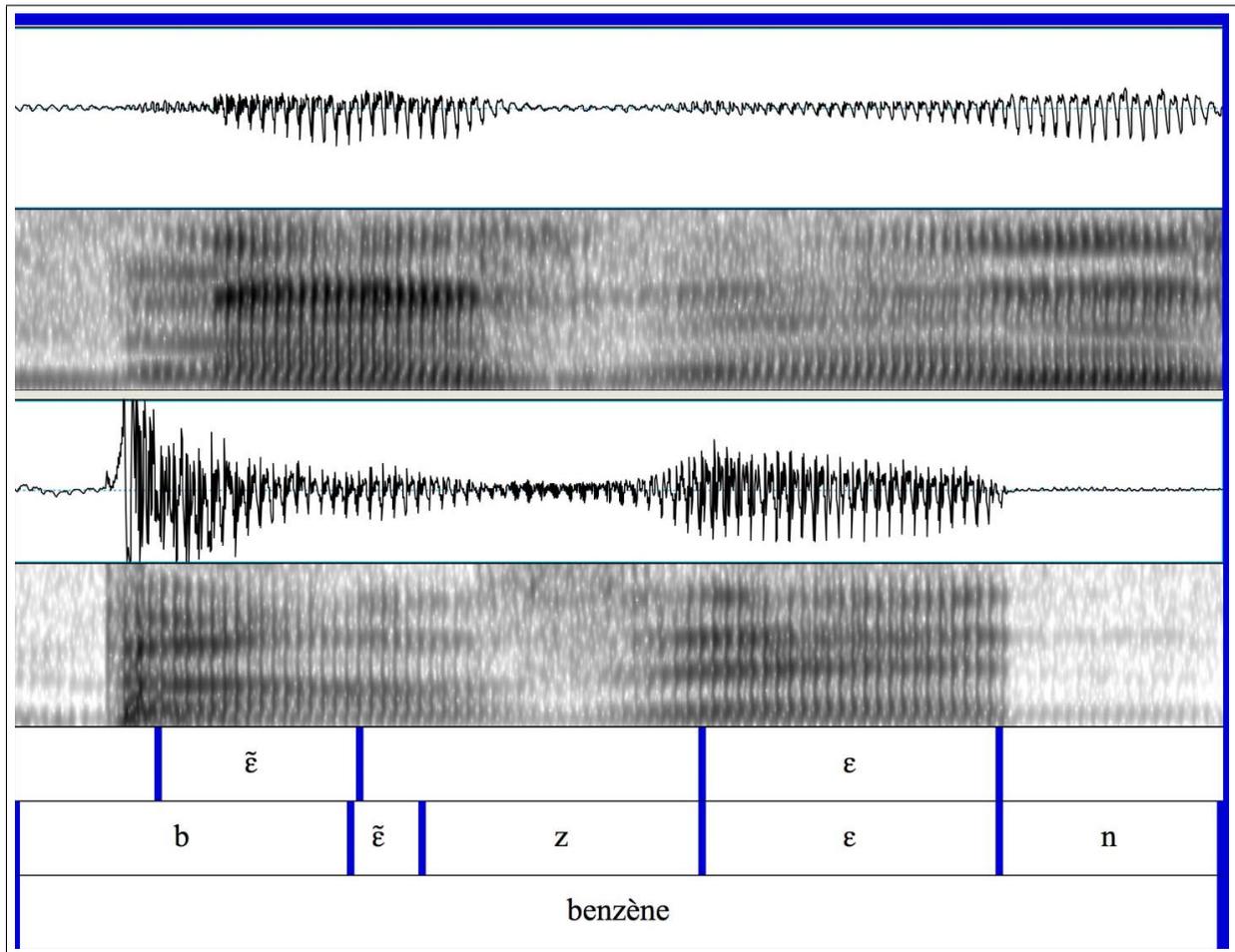


Figure C.2 – Spectrogramme du mot « benzène » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

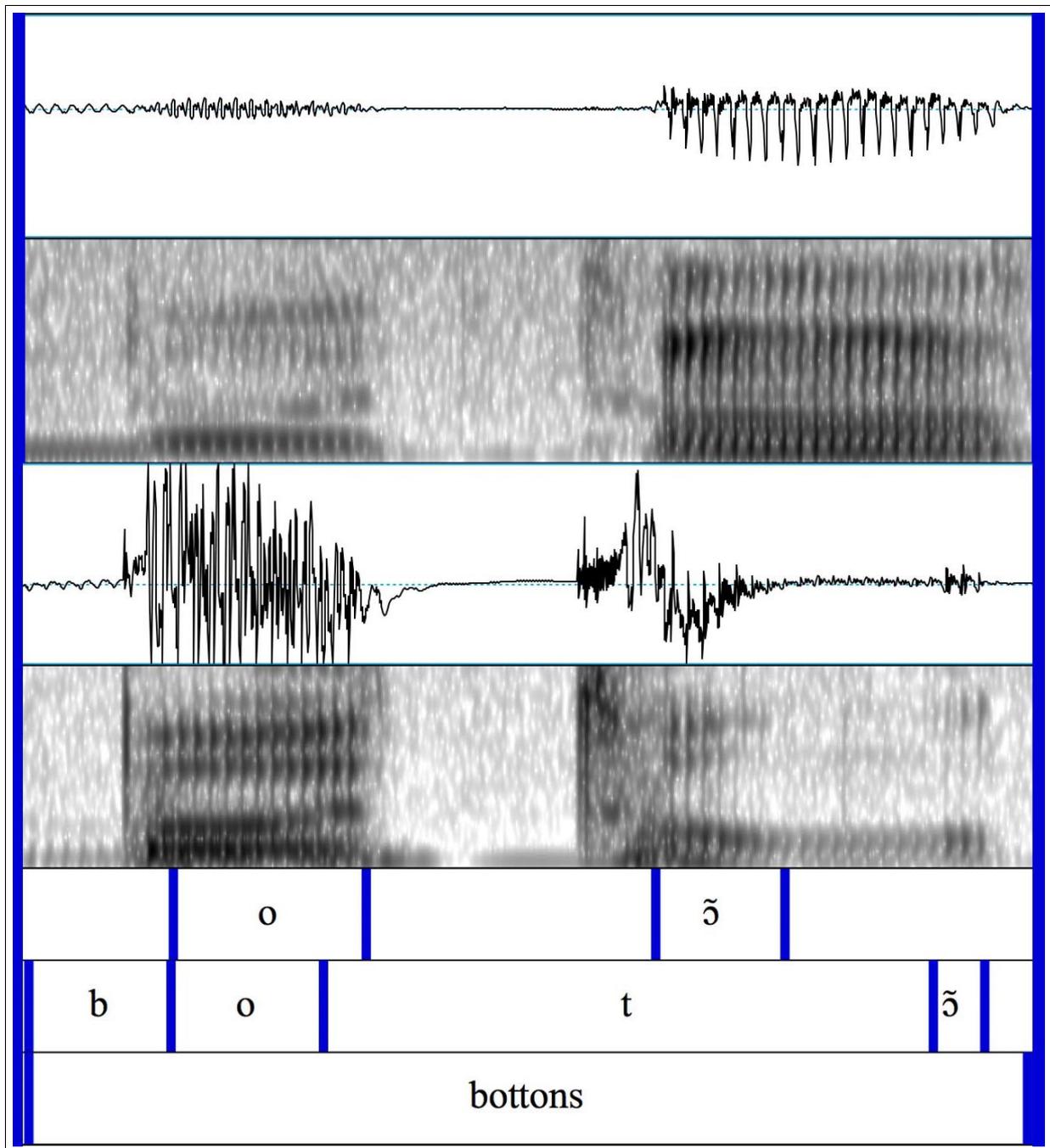


Figure C.3 – Spectrogramme du mot « bottons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

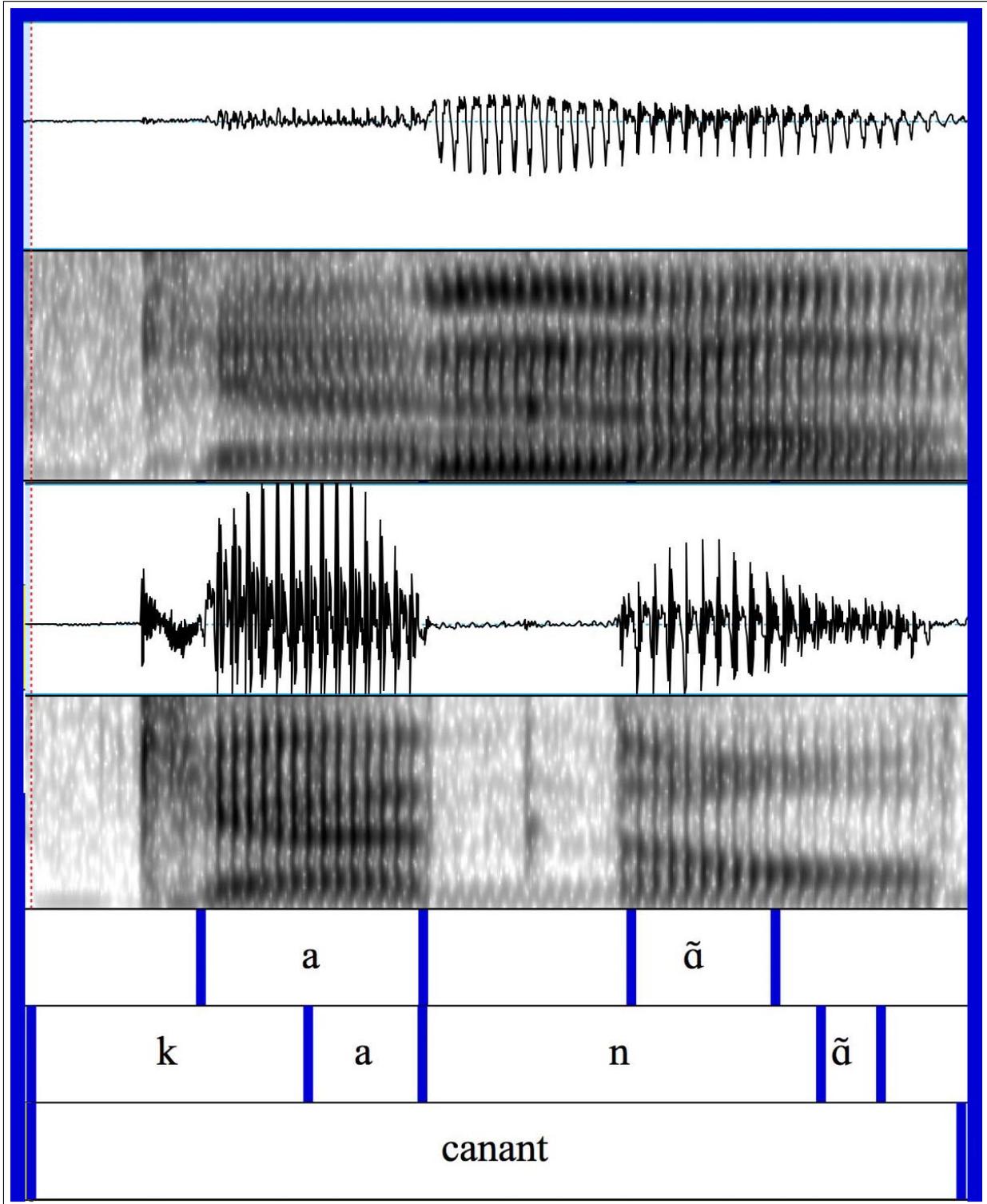


Figure C.4 – Spectrogramme du mot « canant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

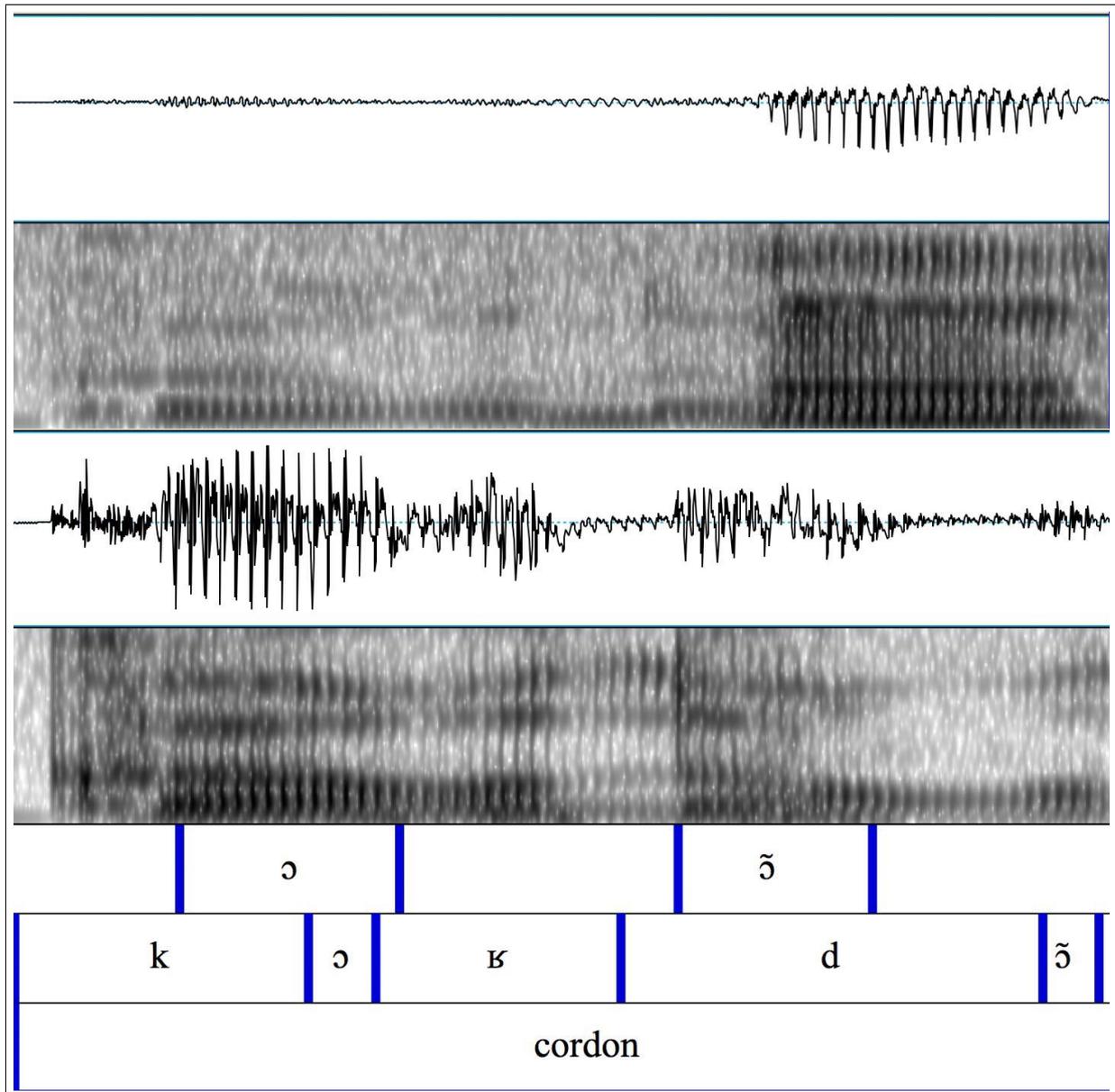


Figure C.5 – Spectrogramme du mot « cordon » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

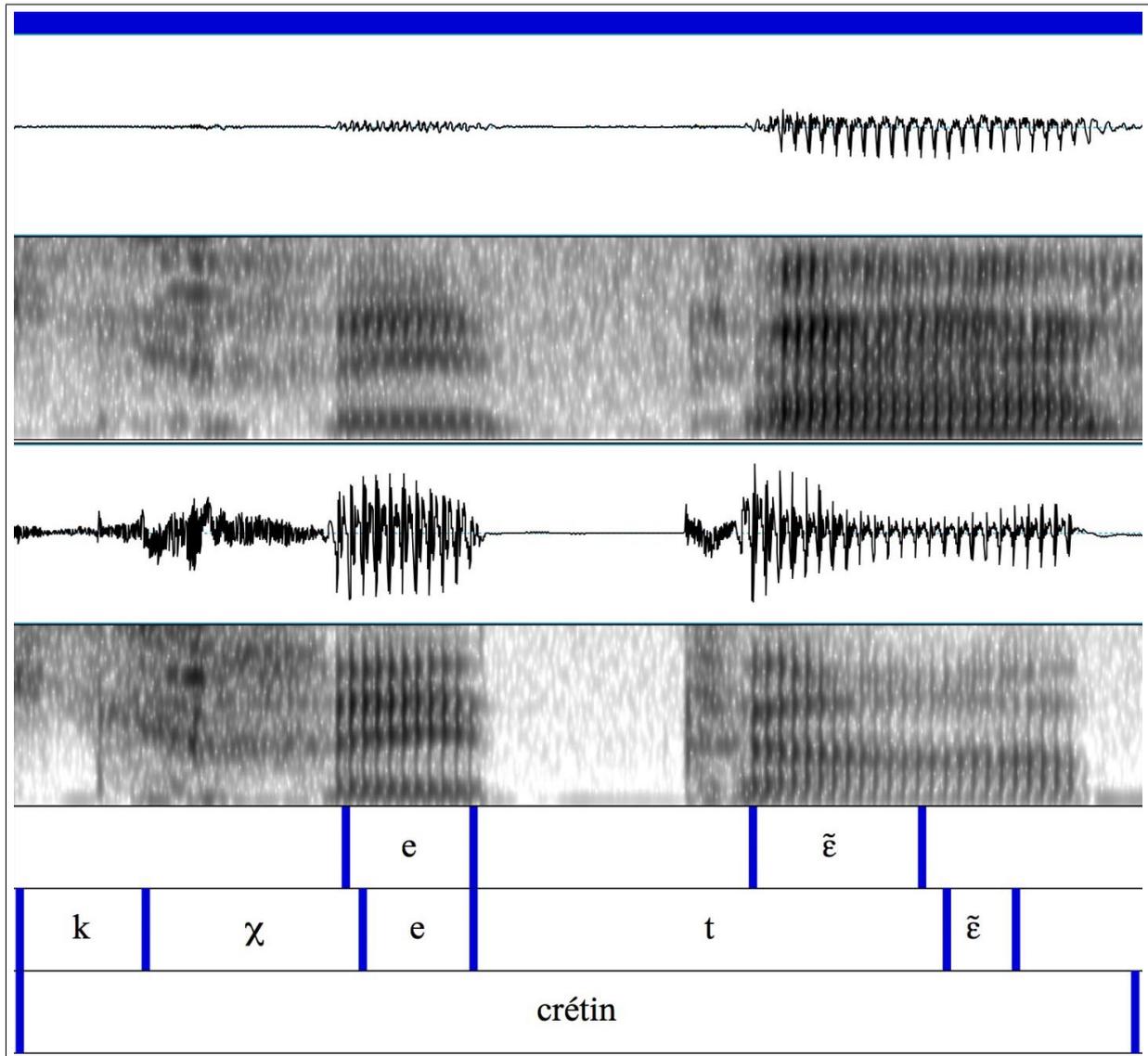


Figure C.6 – Spectrogramme du mot « crétin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

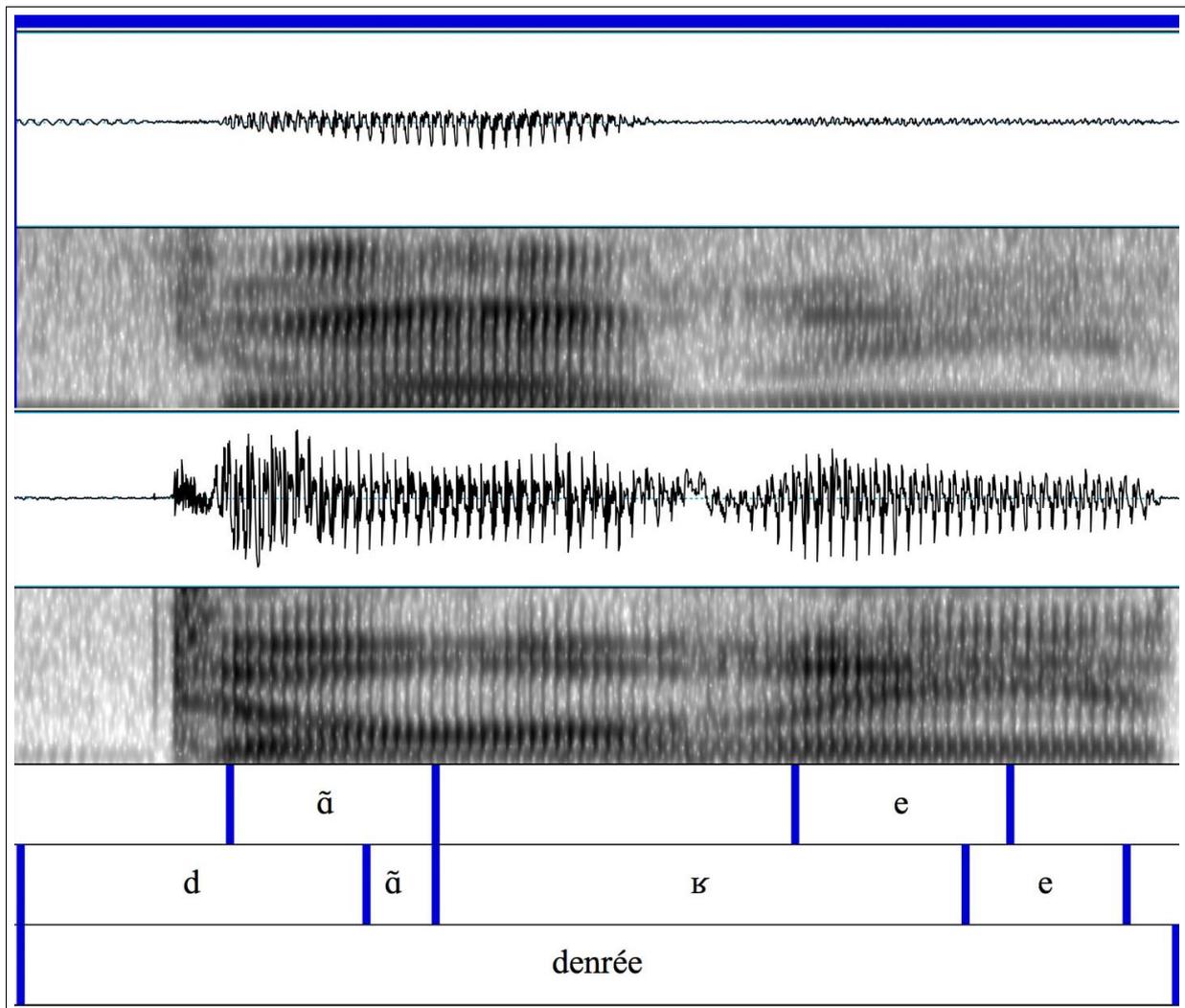


Figure C.7 – Spectrogramme du mot « denrée » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

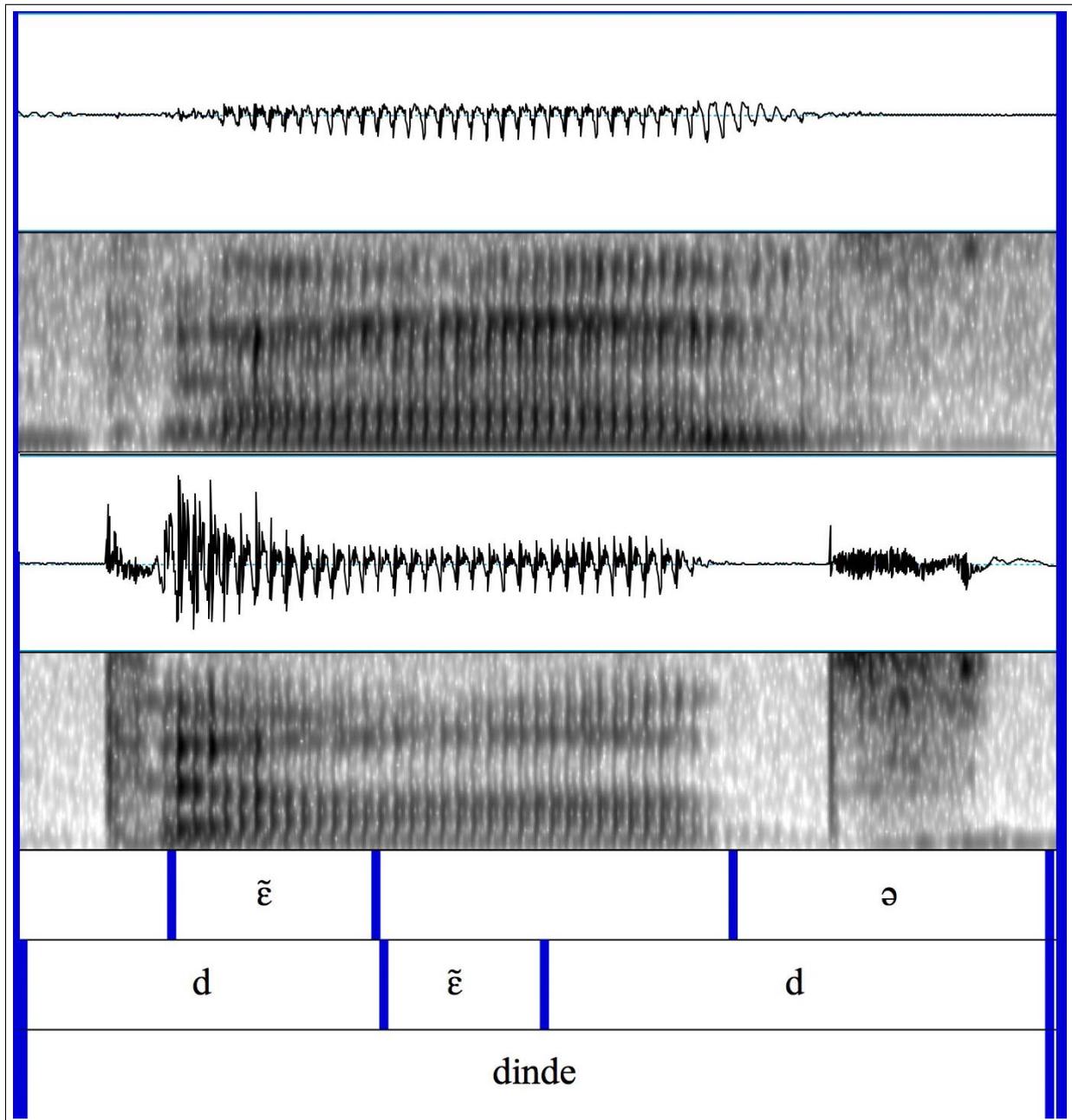


Figure C.8 – Spectrogramme du mot « dinde » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

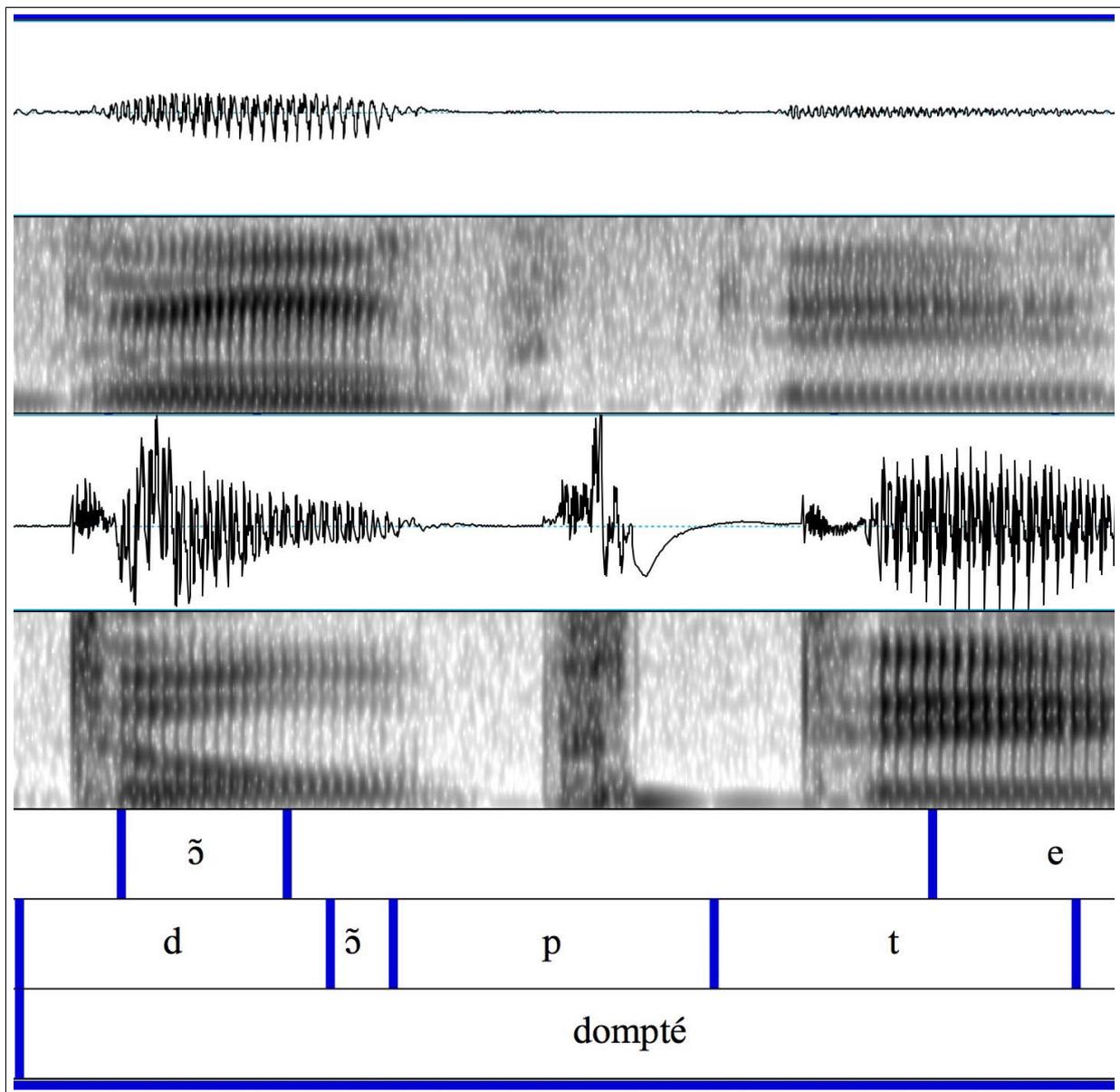


Figure C.9 – Spectrogramme du mot « dompter » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

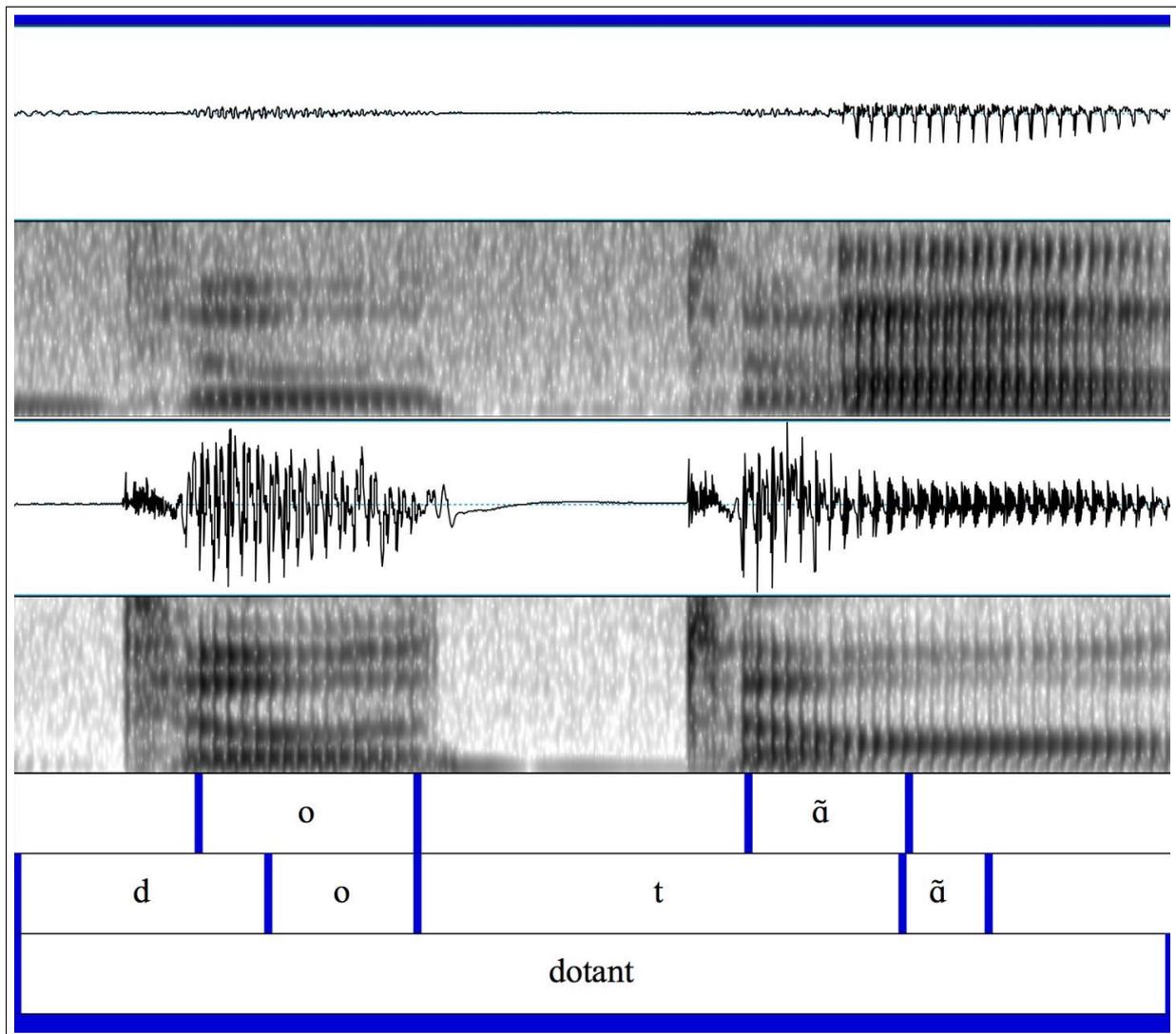


Figure C.10 – Spectrogramme du mot « dotant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

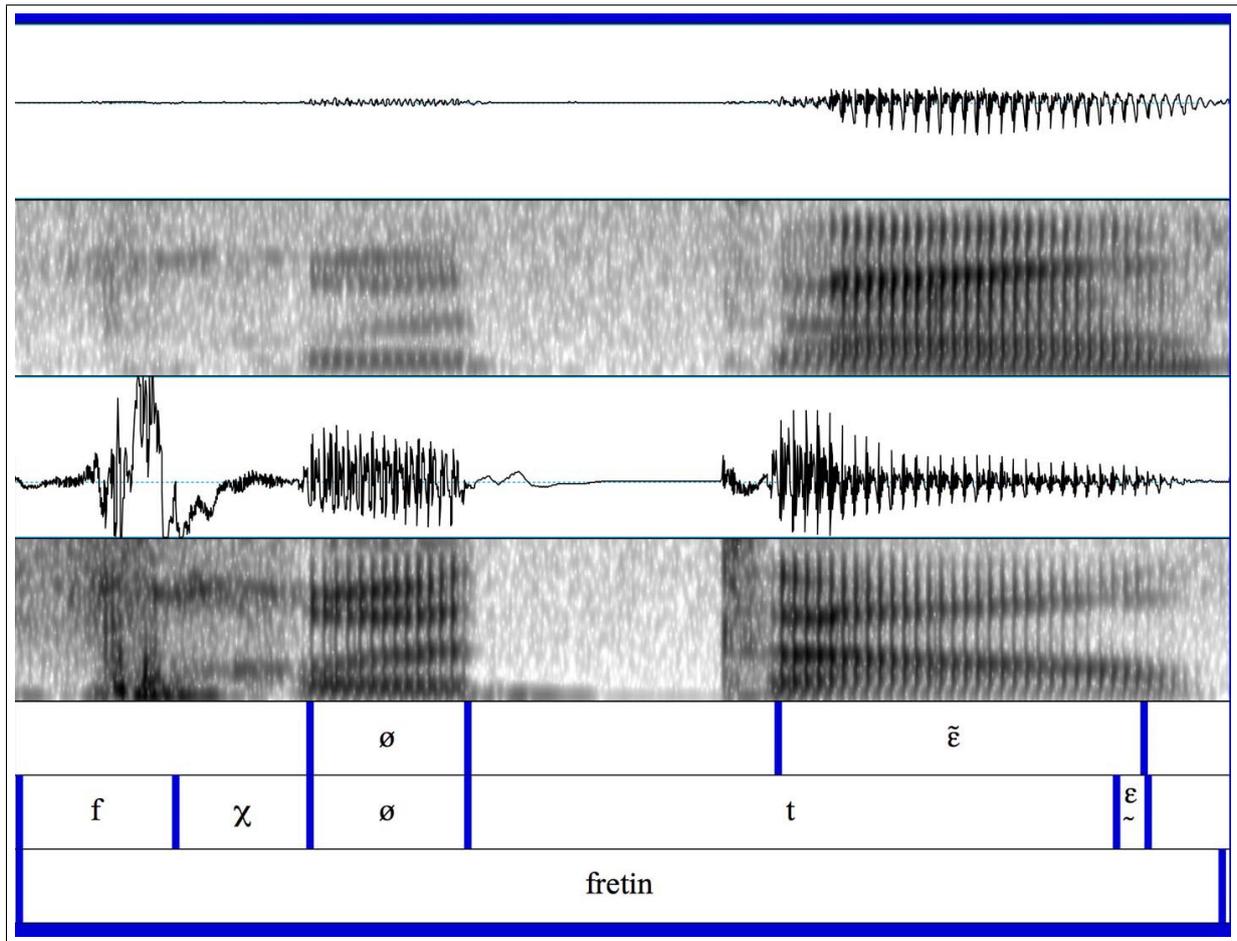


Figure C.11 – Spectrogramme du mot « fretin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

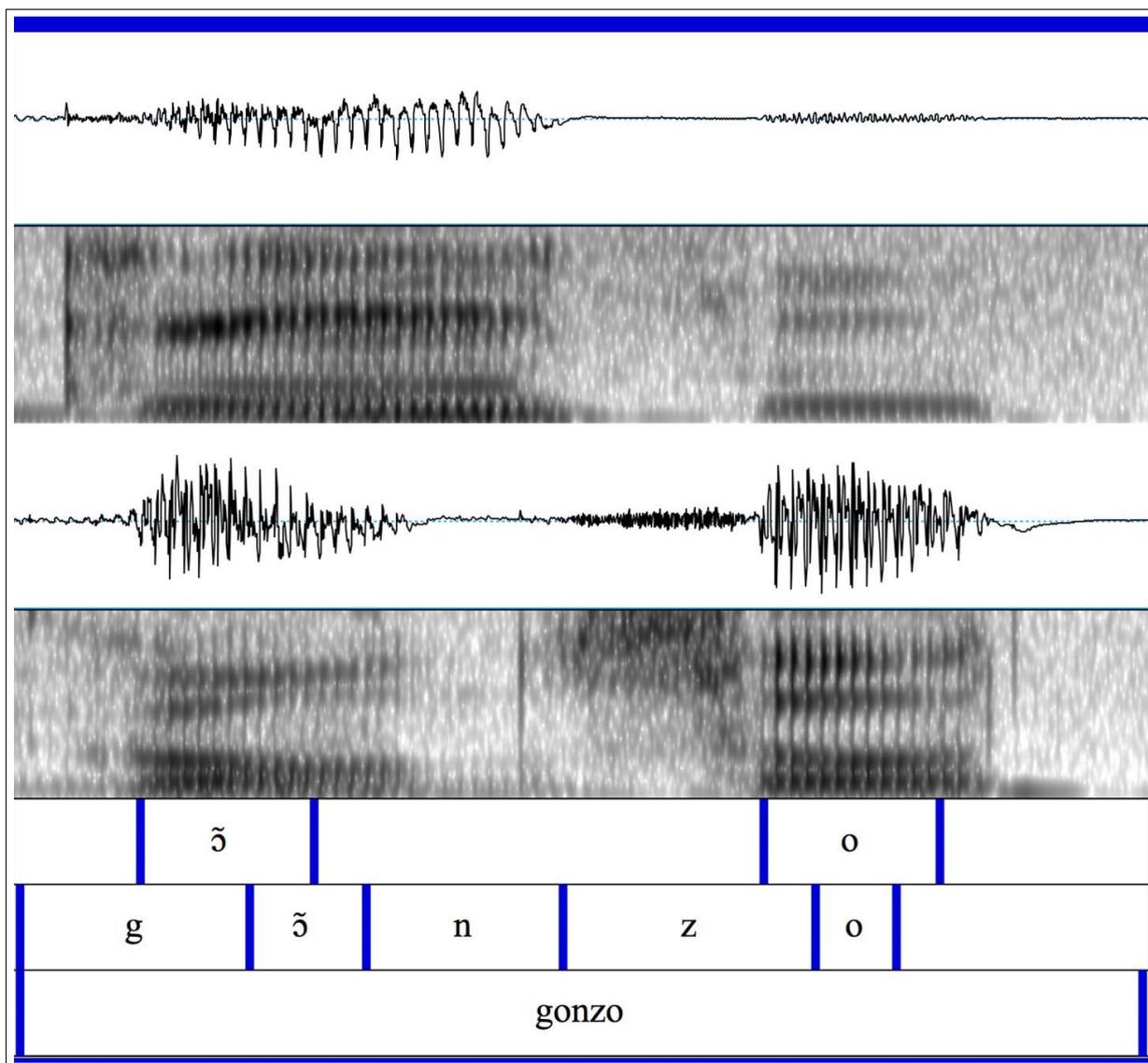


Figure C.12 – Spectrogramme du mot « gonzo » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

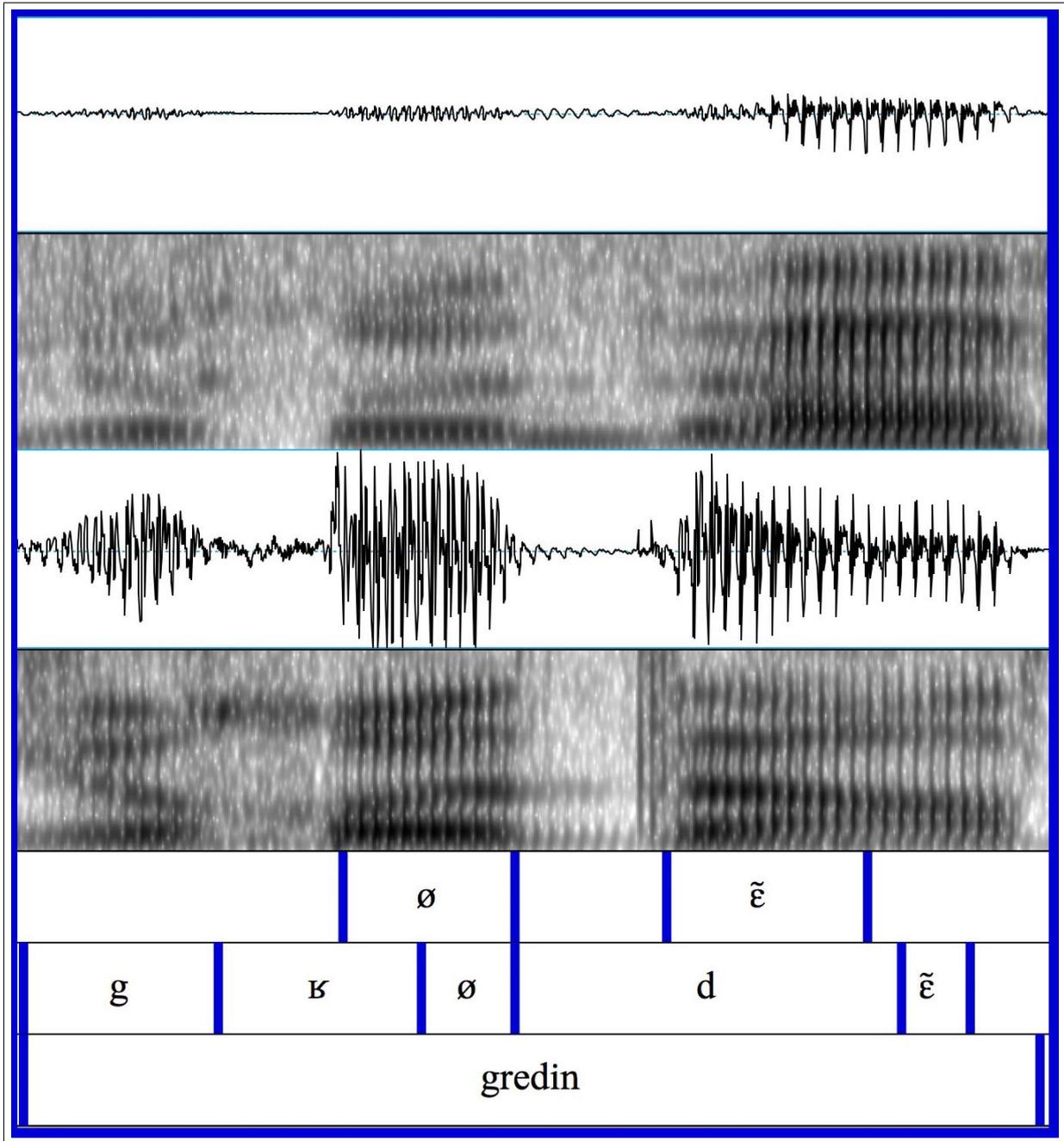


Figure C.13 – Spectrogramme du mot « gredin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

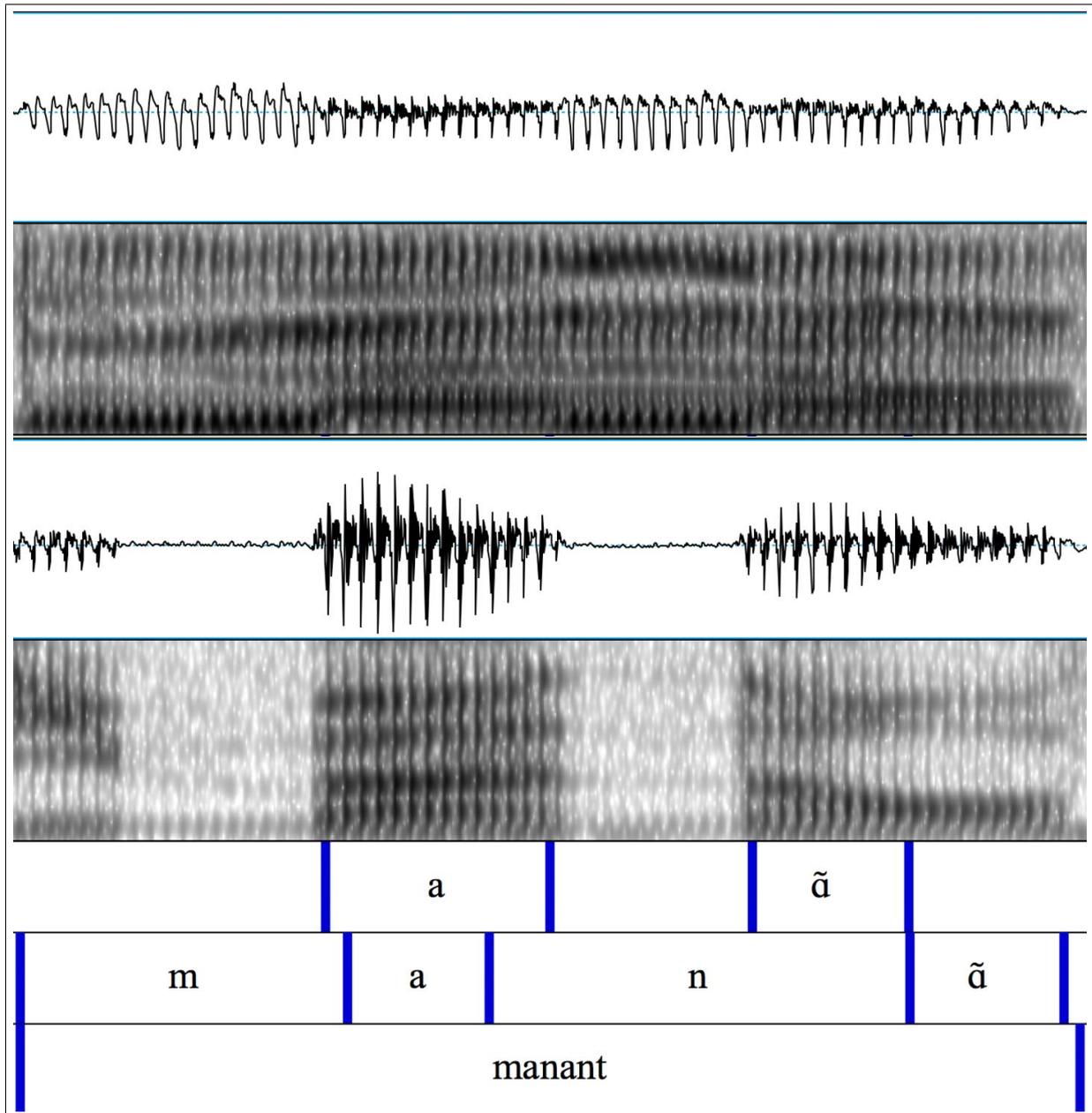


Figure C.14 – Spectrogramme du mot « manant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

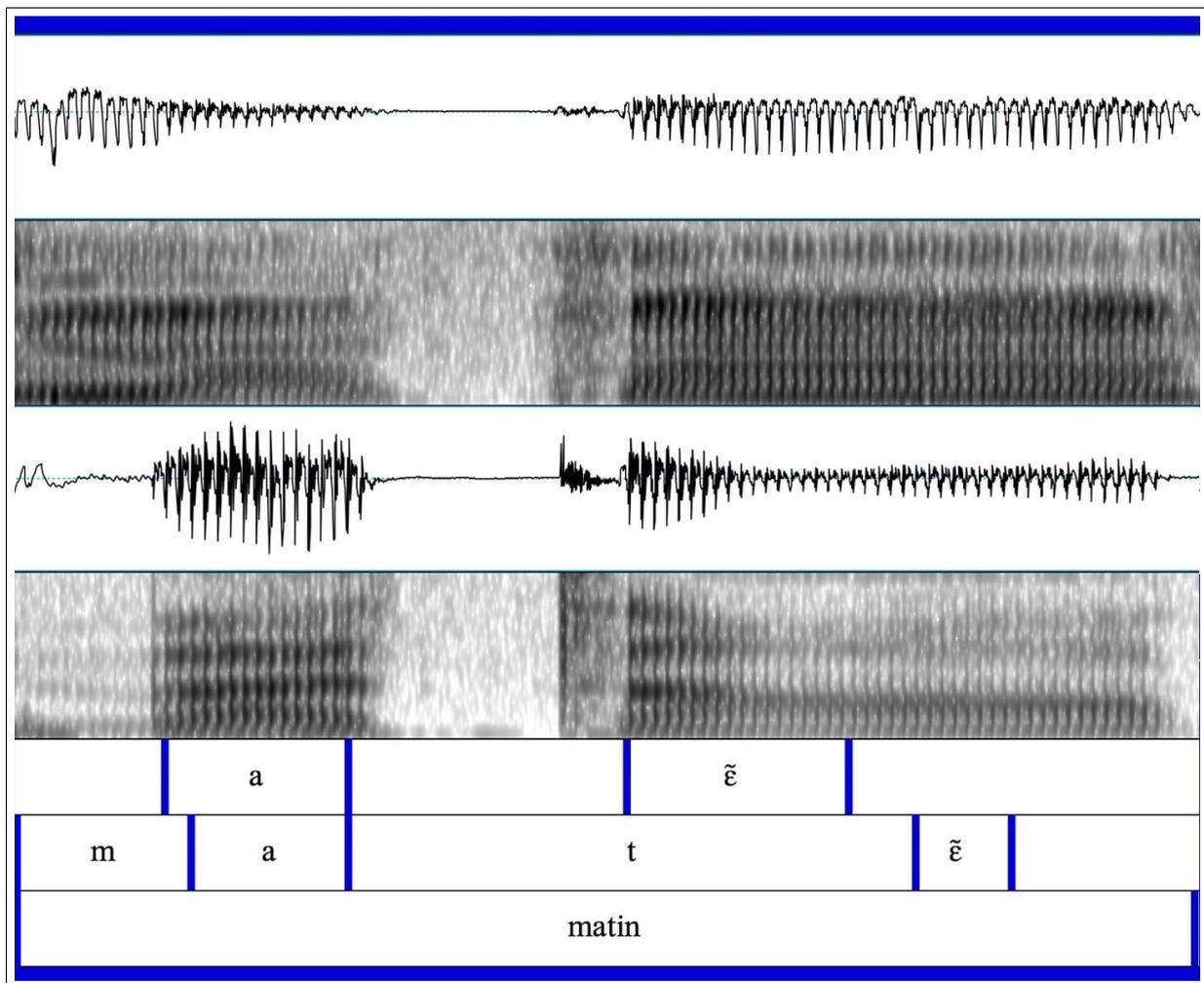


Figure C.15 – Spectrogramme du mot « matin » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

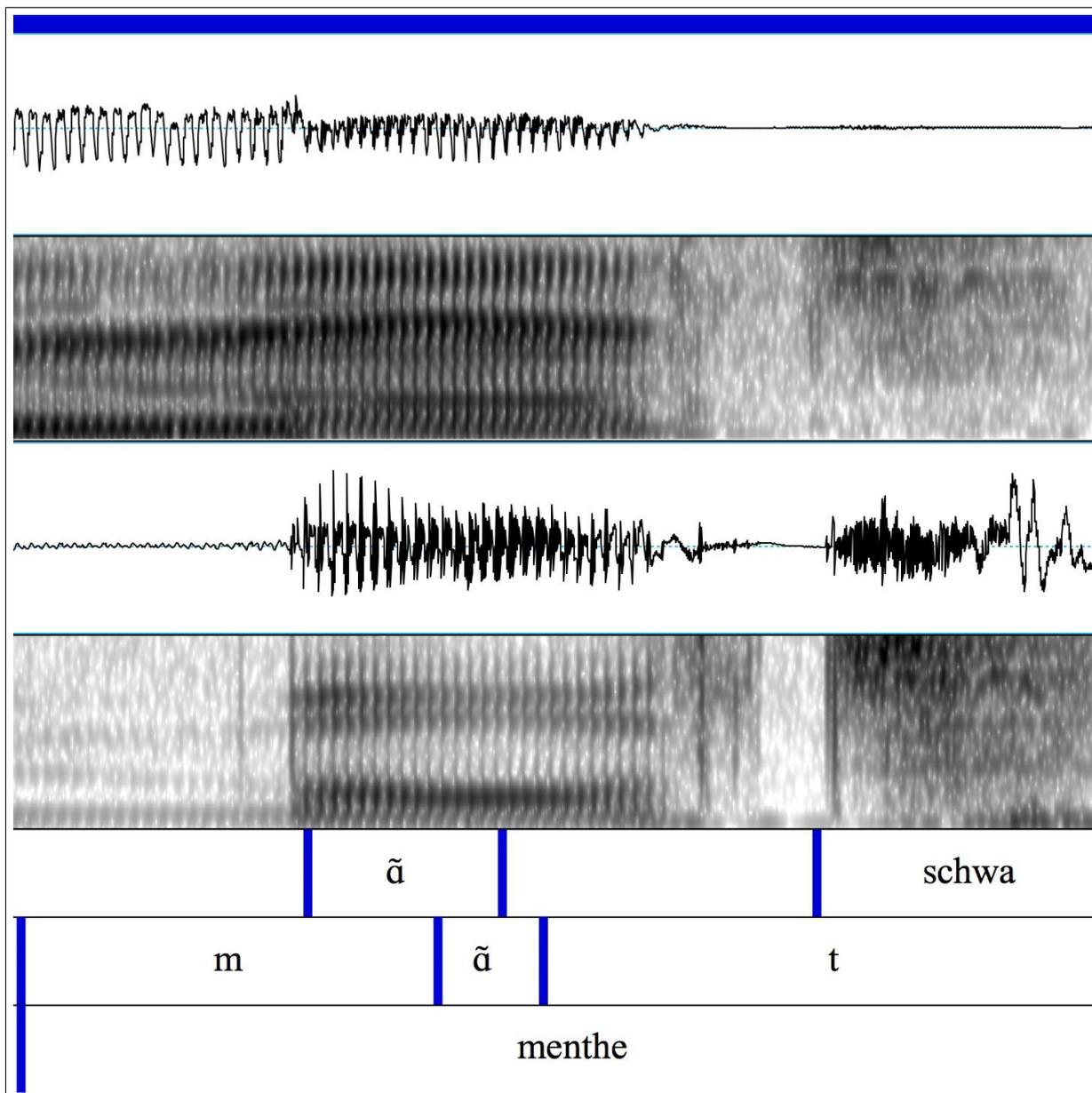


Figure C.16 – Spectrogramme du mot « menthe » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

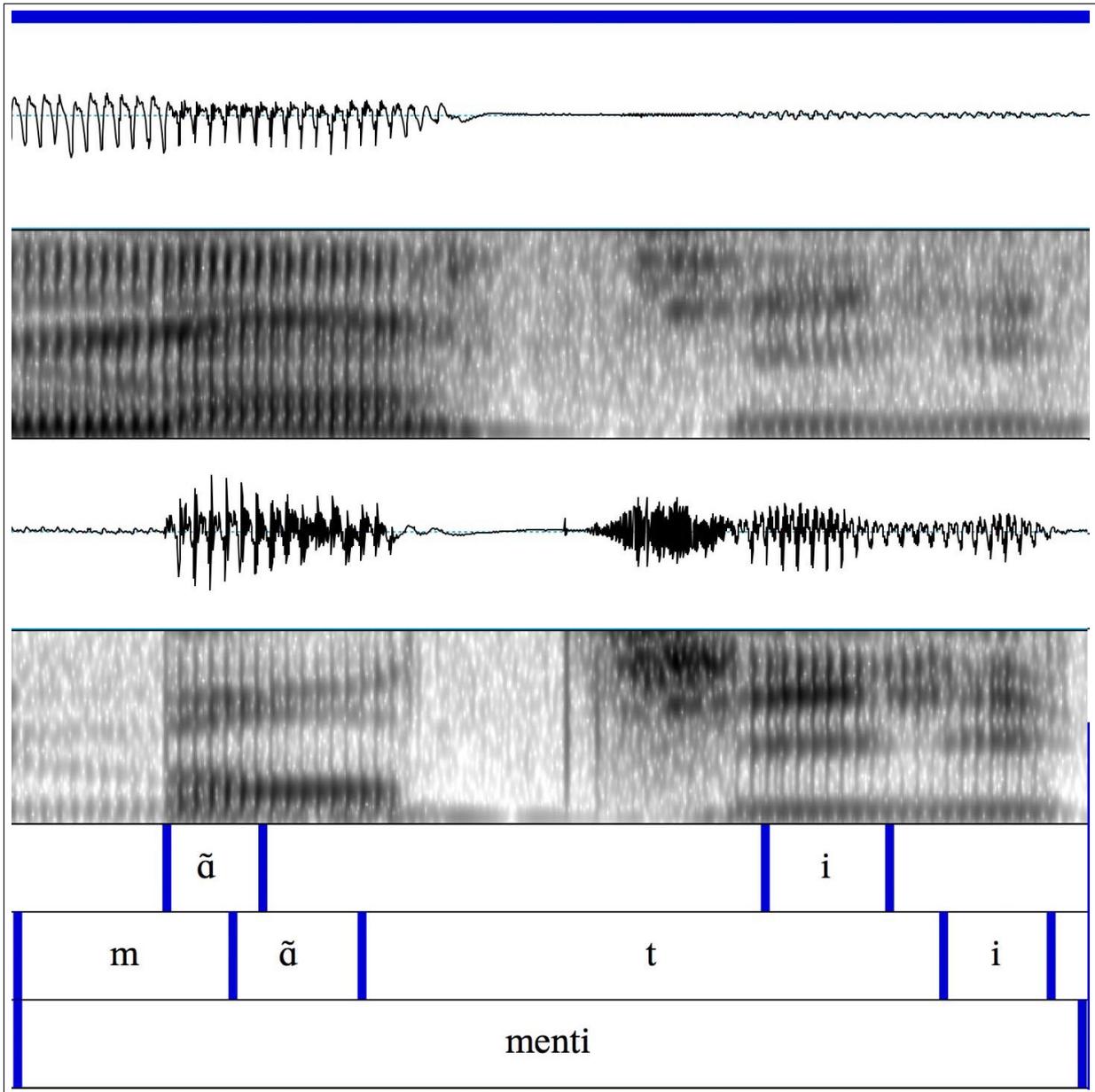


Figure C.17 – Spectrogramme du mot « menti » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

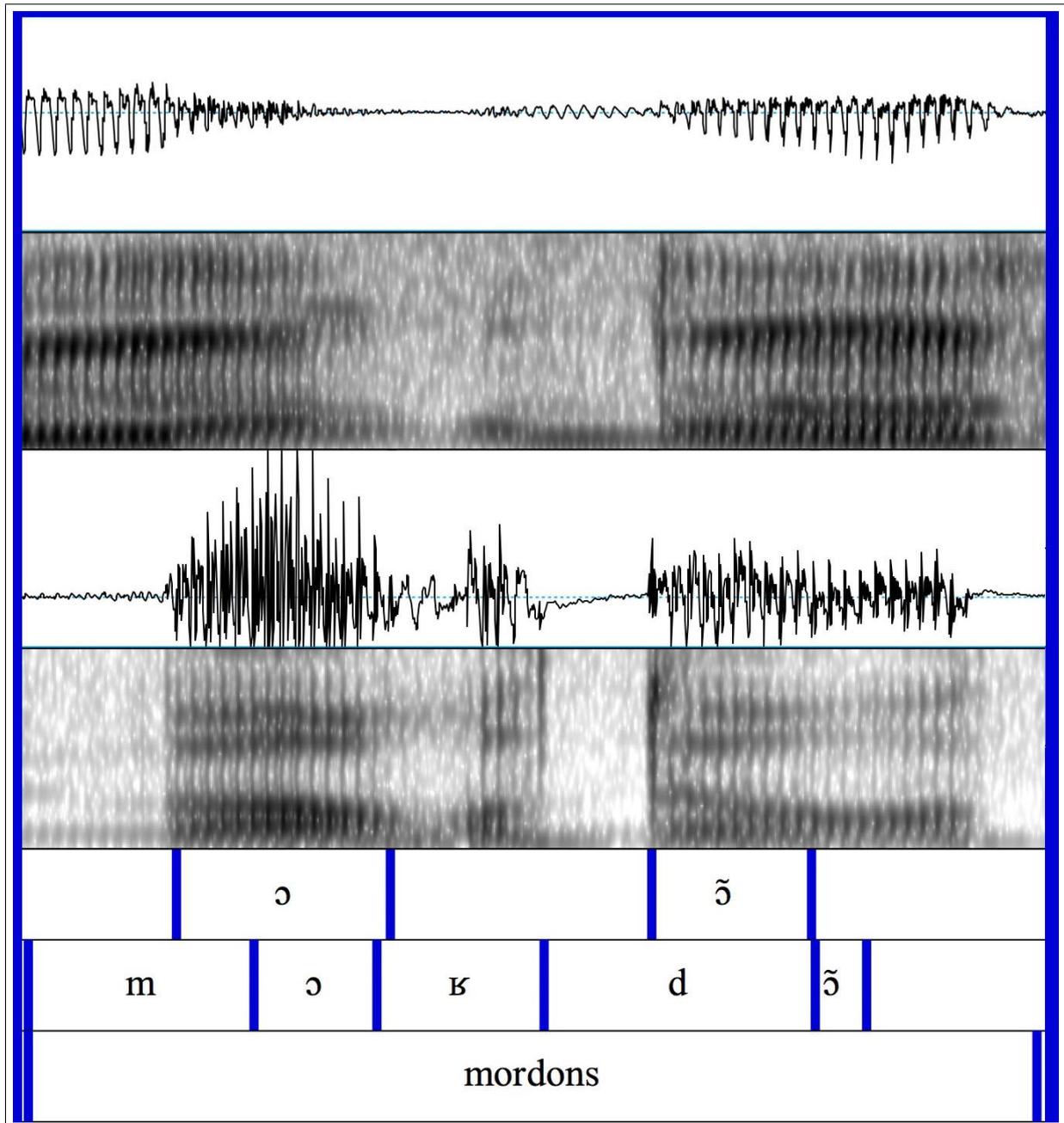


Figure C.18 – Spectrogramme du mot « mordons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

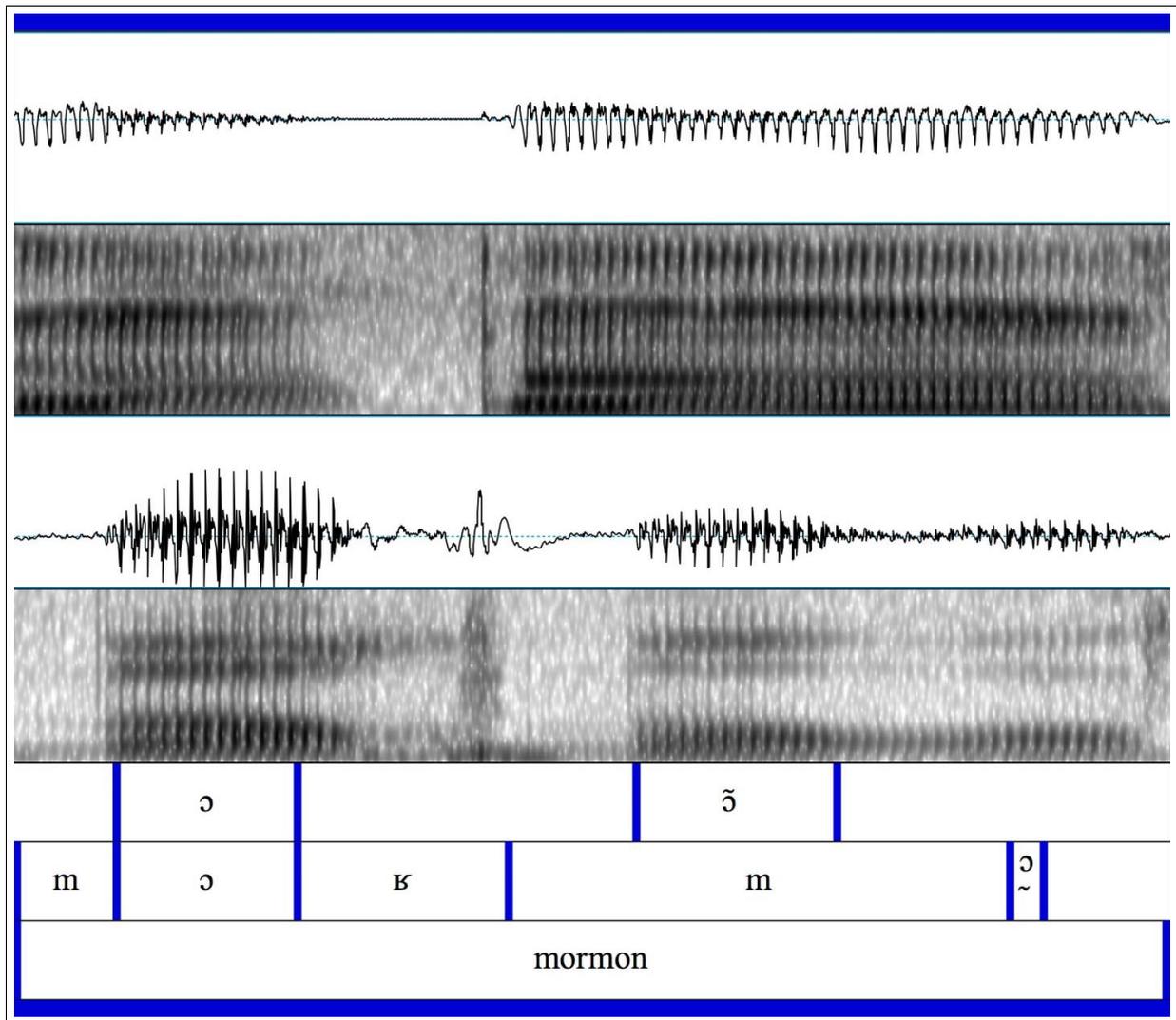


Figure C.19 – Spectrogramme du mot « mormons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

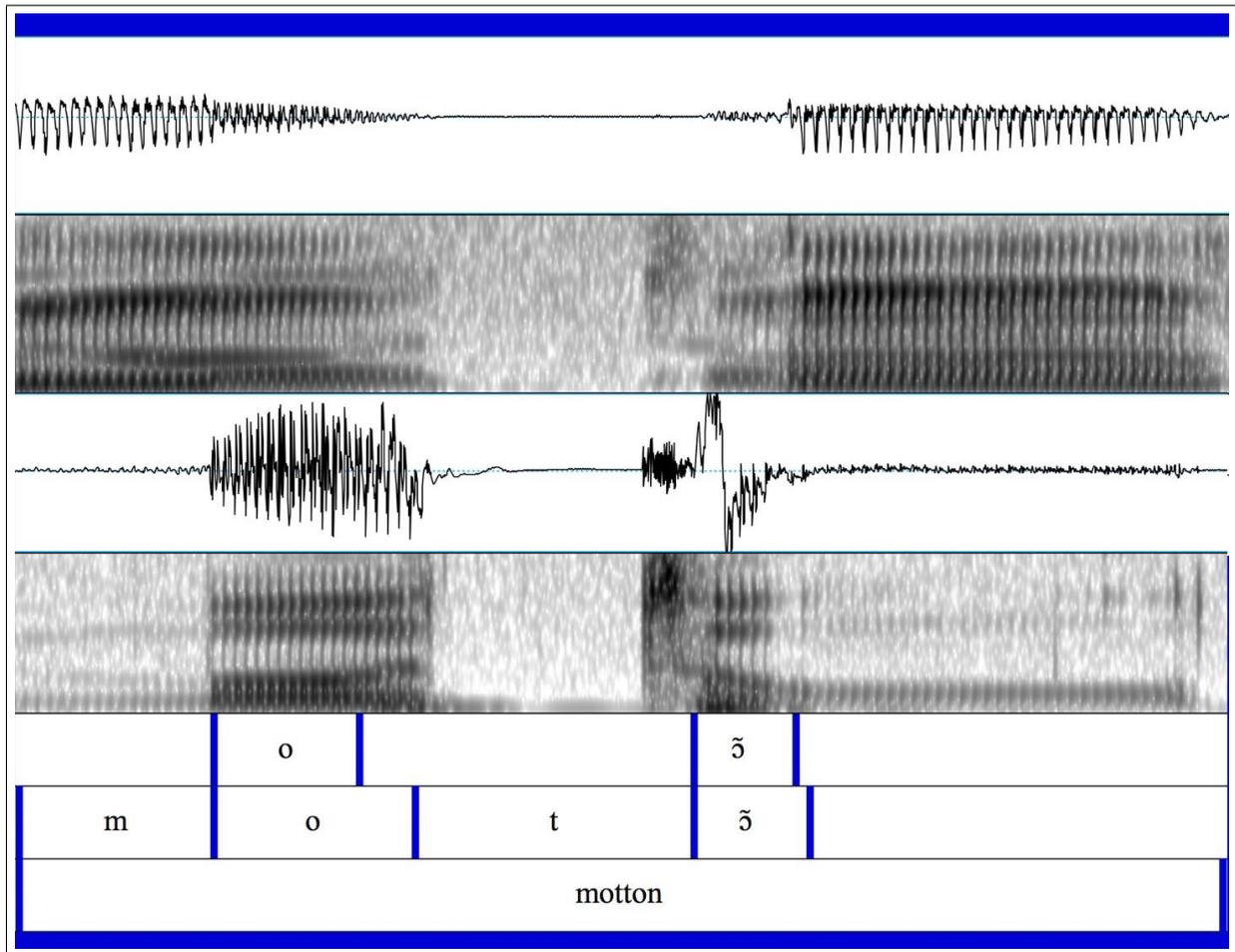


Figure C.20 – Spectrogramme du mot « motton » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

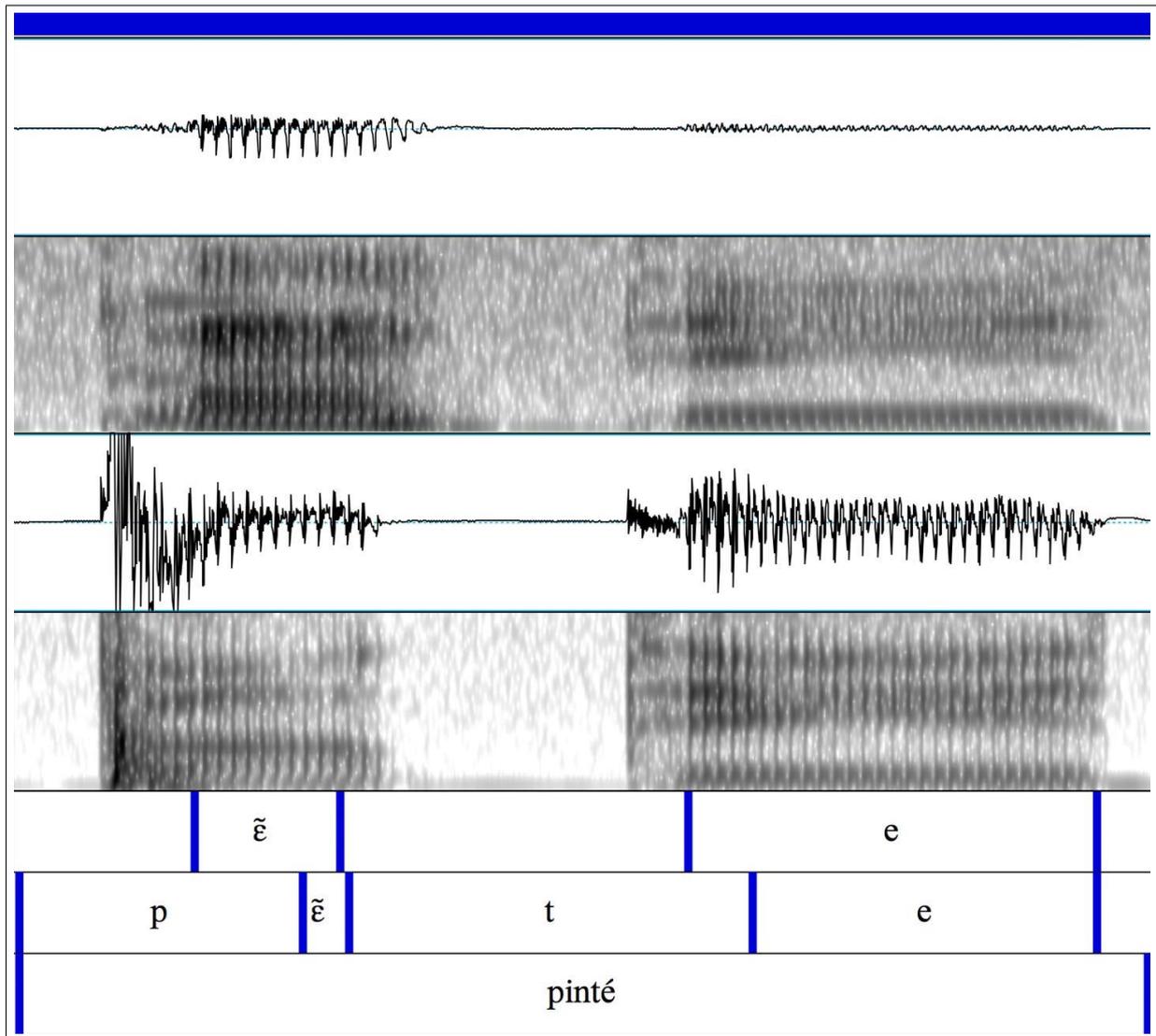


Figure C.21 – Spectrogramme du mot « pinté » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

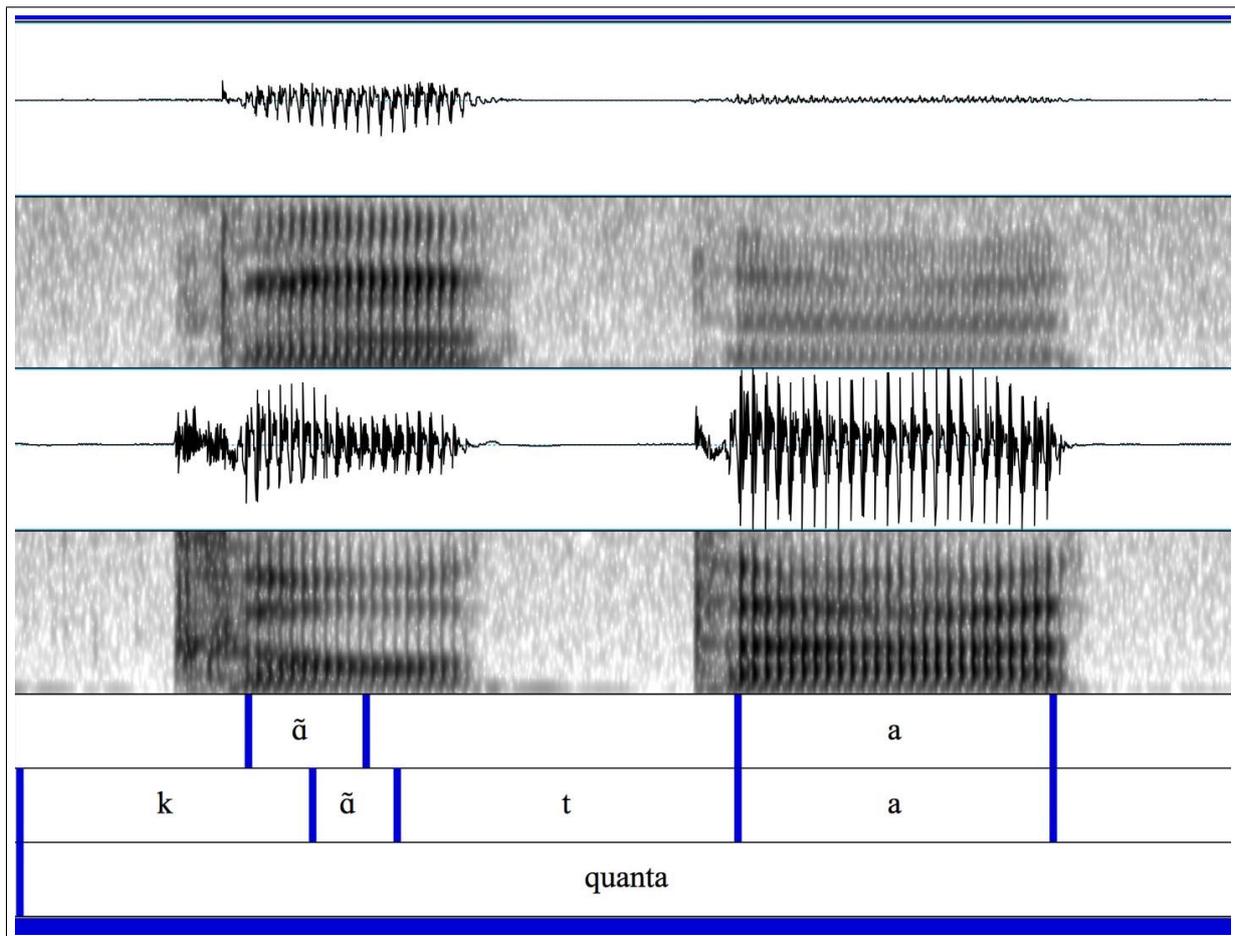


Figure C.22 – Spectrogramme du mot « quanta » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

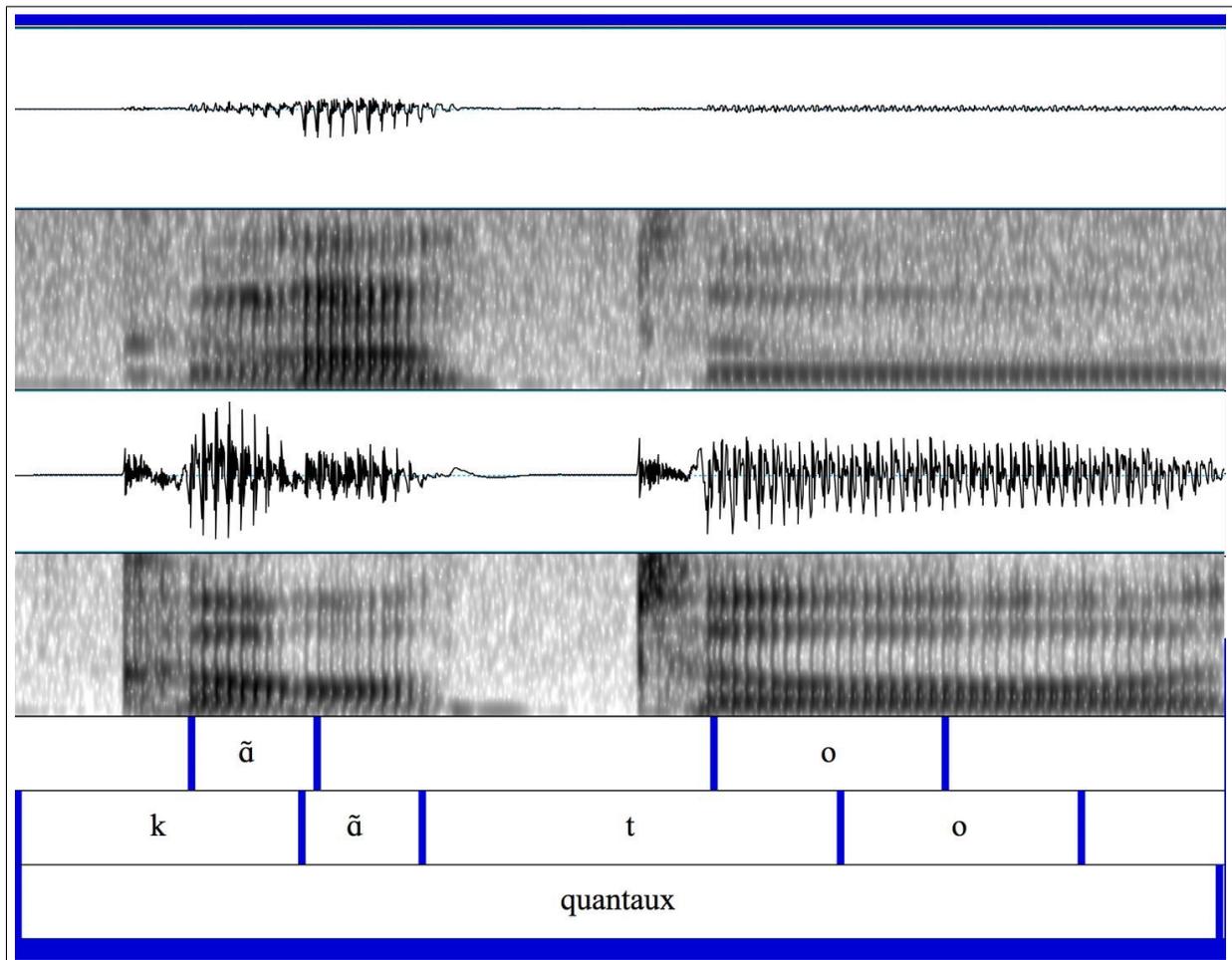


Figure C.23 – Spectrogramme du mot « quantaux » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

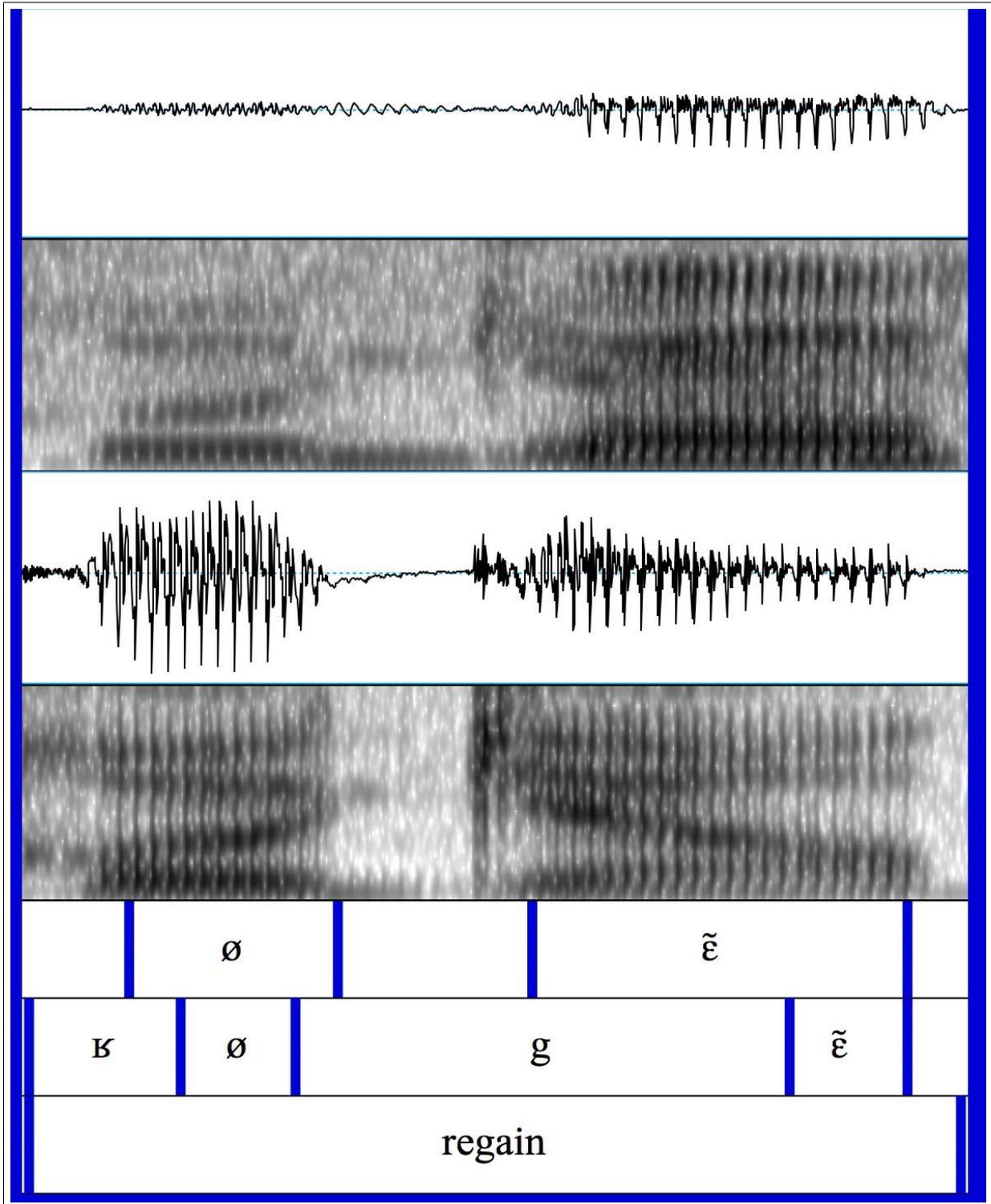


Figure C.24 – Spectrogramme du mot « regain » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

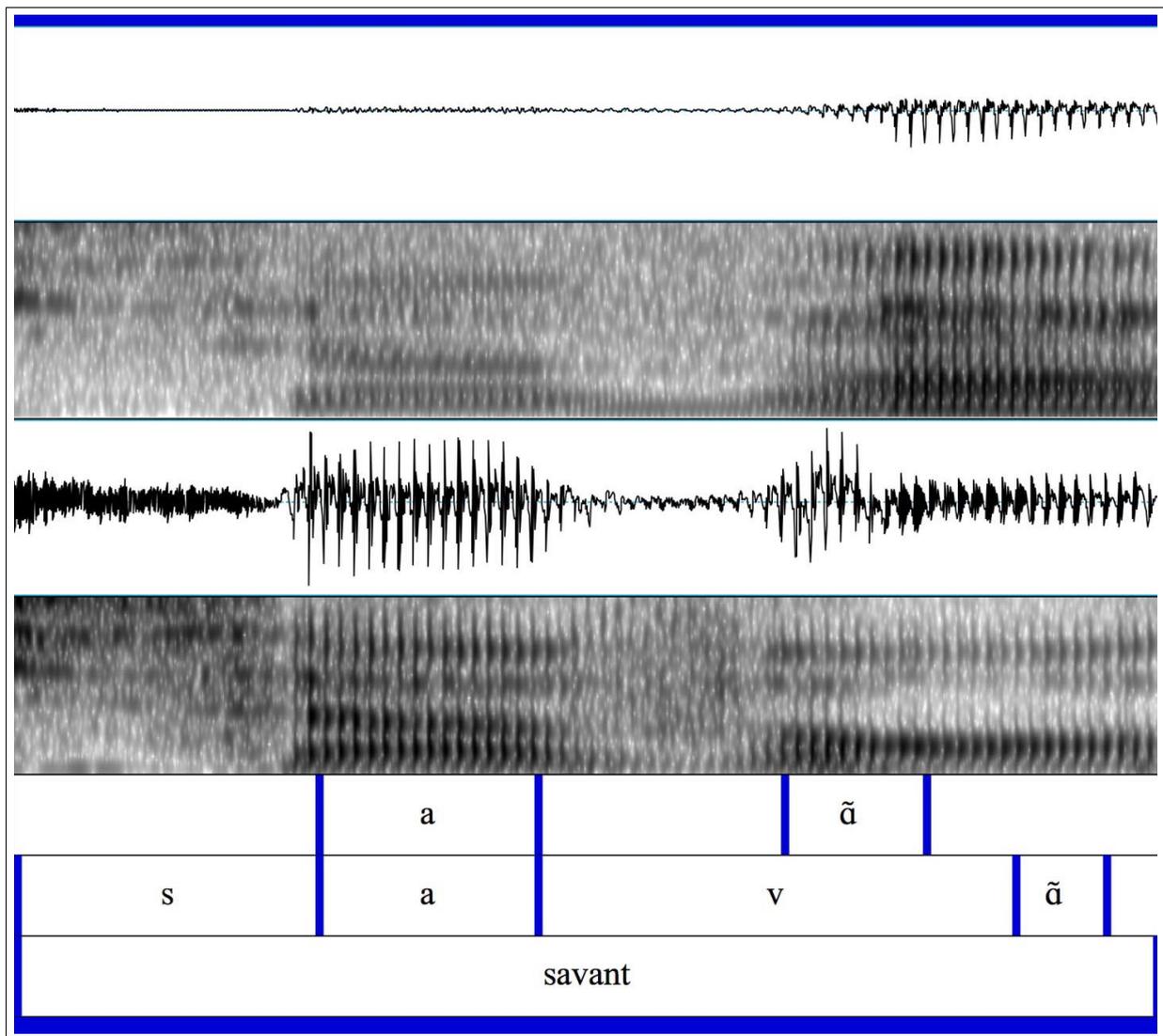


Figure C.25 – Spectrogramme du mot « savant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

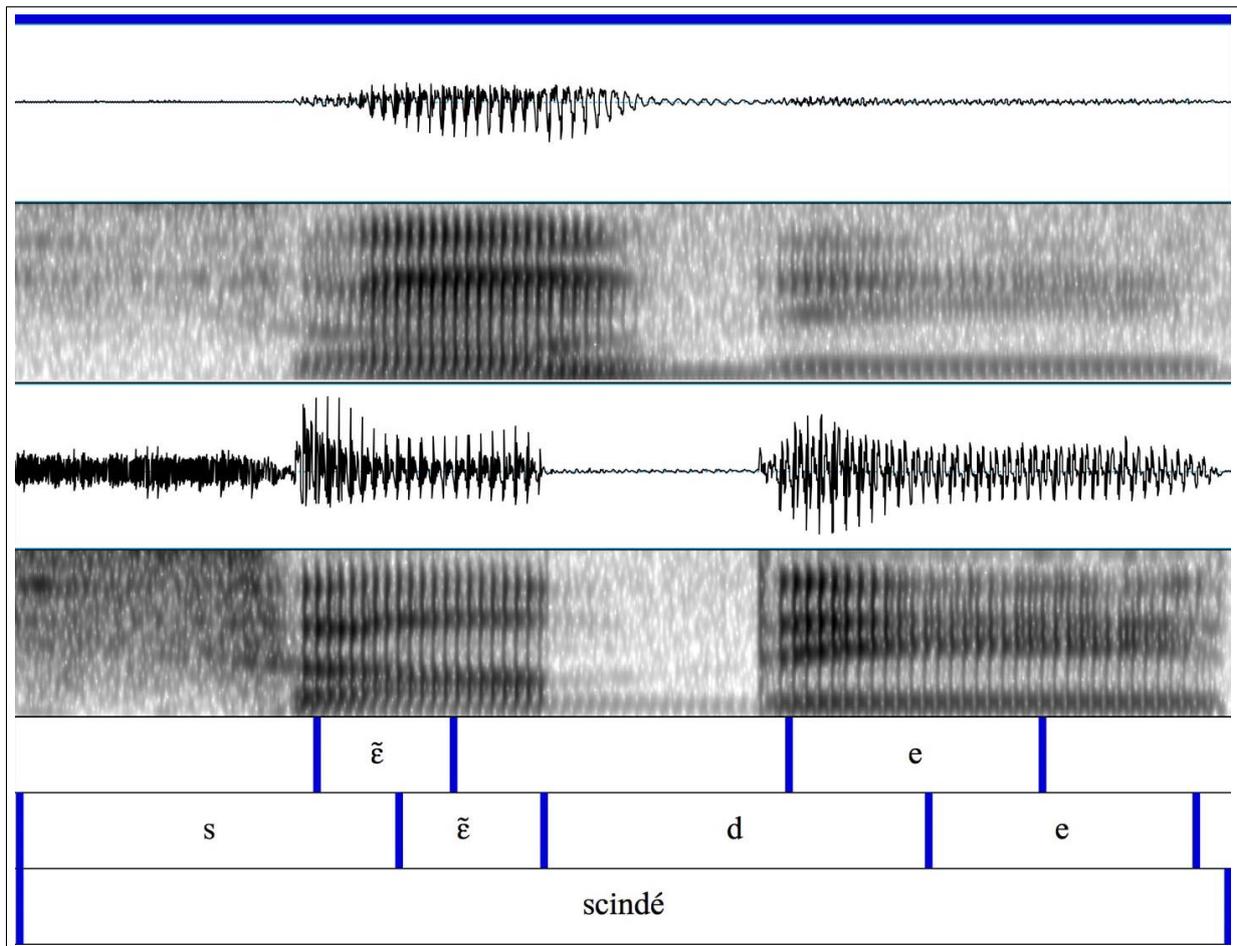


Figure C.26 – Spectrogramme du mot « scindé » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

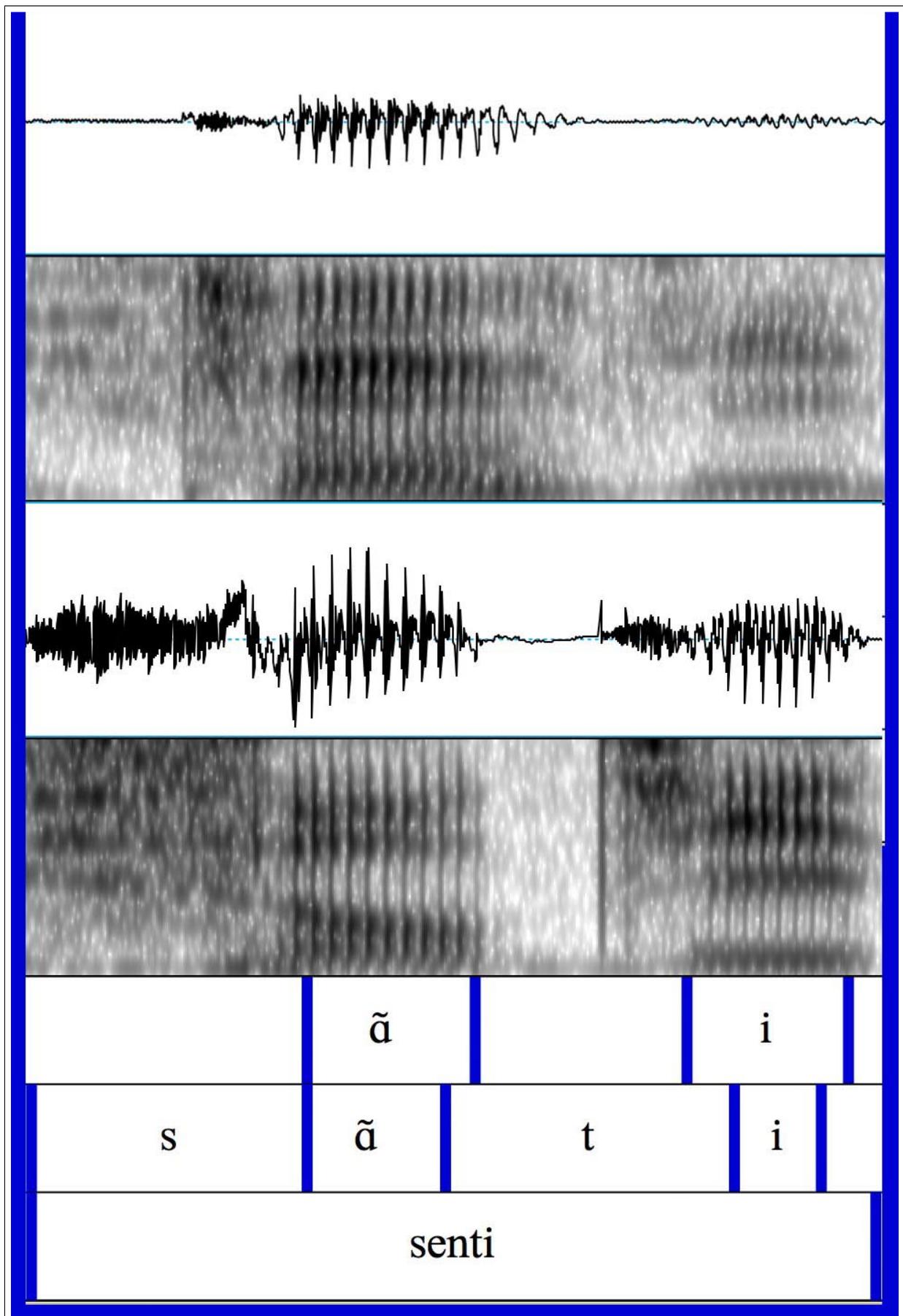


Figure C.27 – Spectrogramme du mot « senti » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

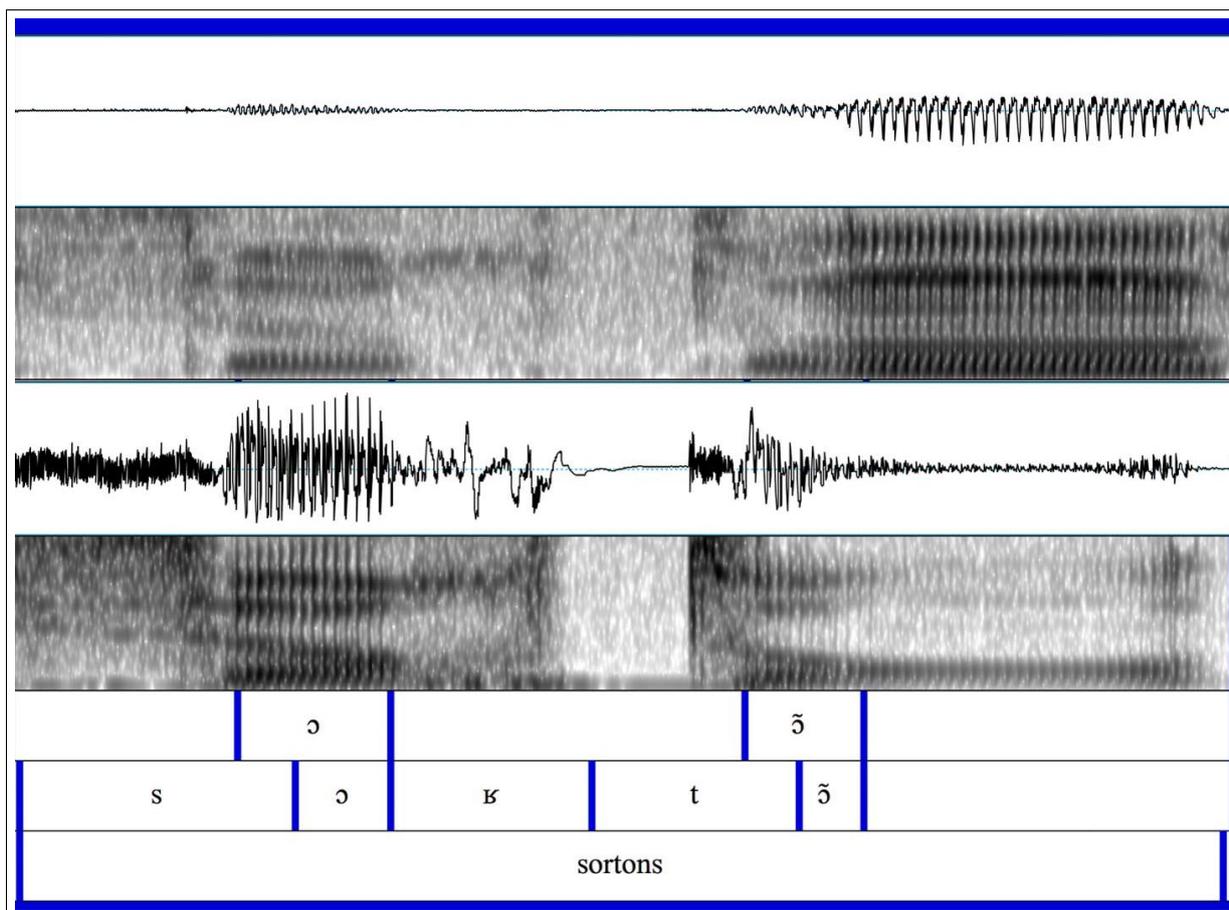


Figure C.28 – Spectrogramme du mot « sortons » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

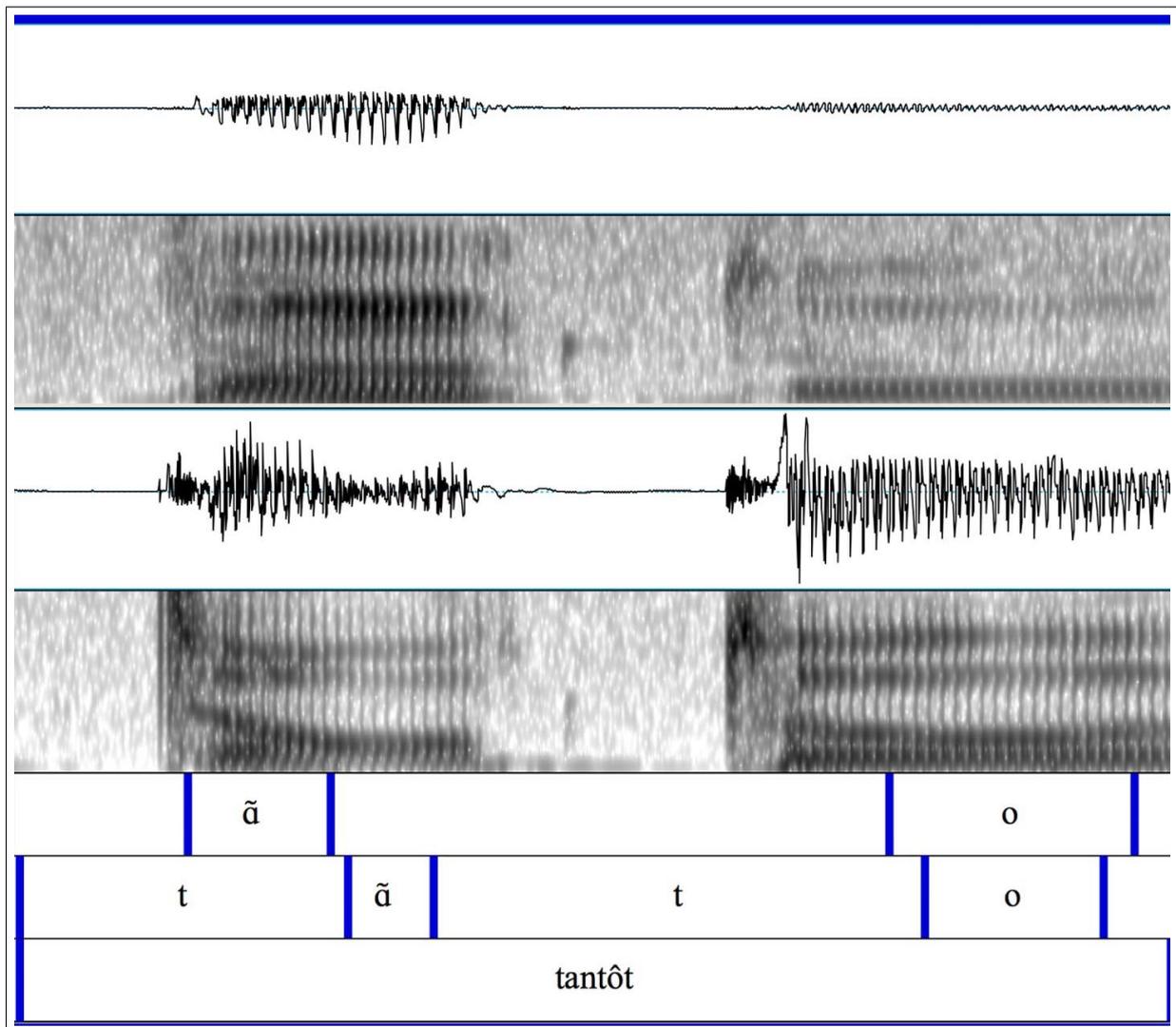


Figure C.29 – Spectrogramme du mot « tantôt » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

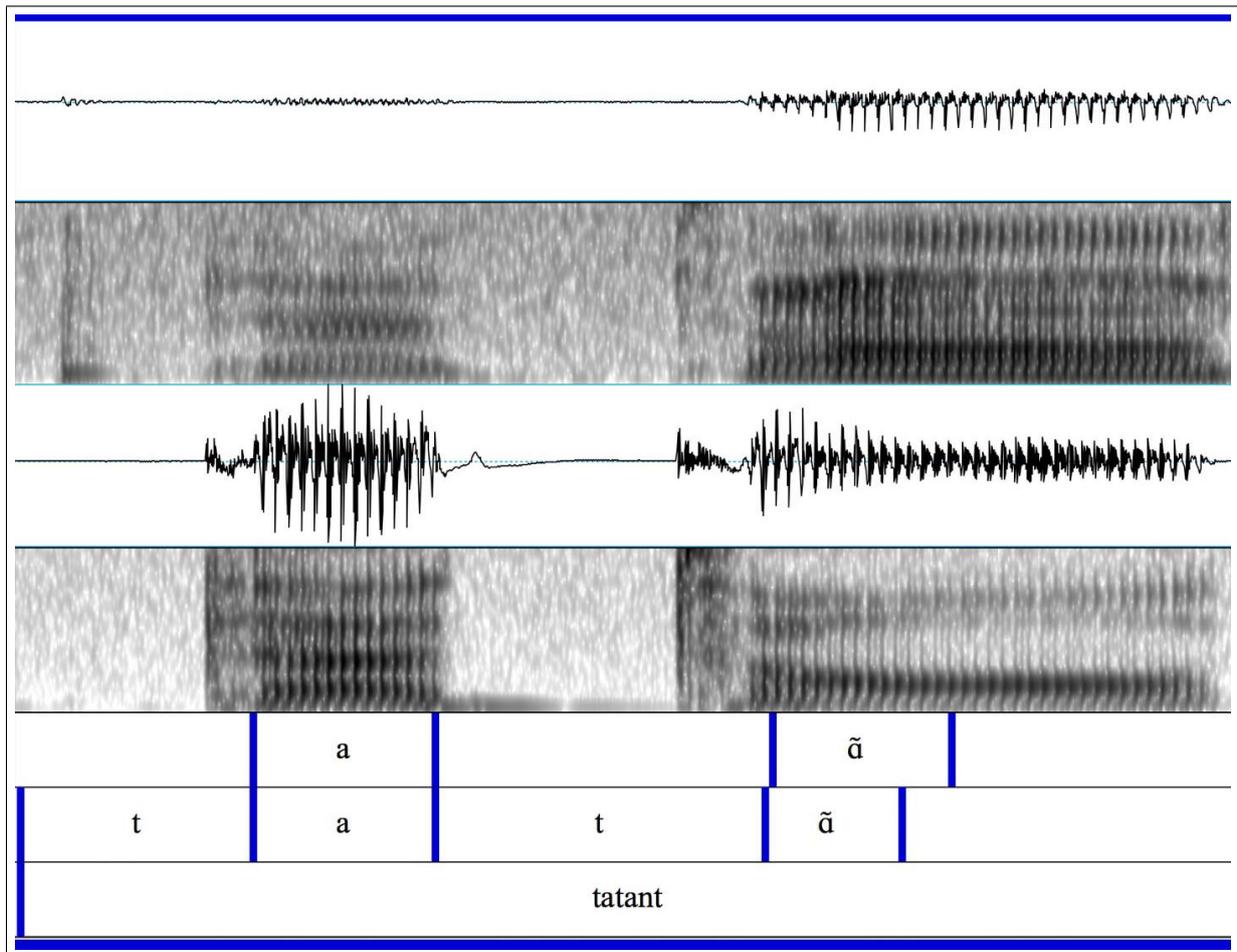


Figure C.30 – Spectrogramme du mot « tâtant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

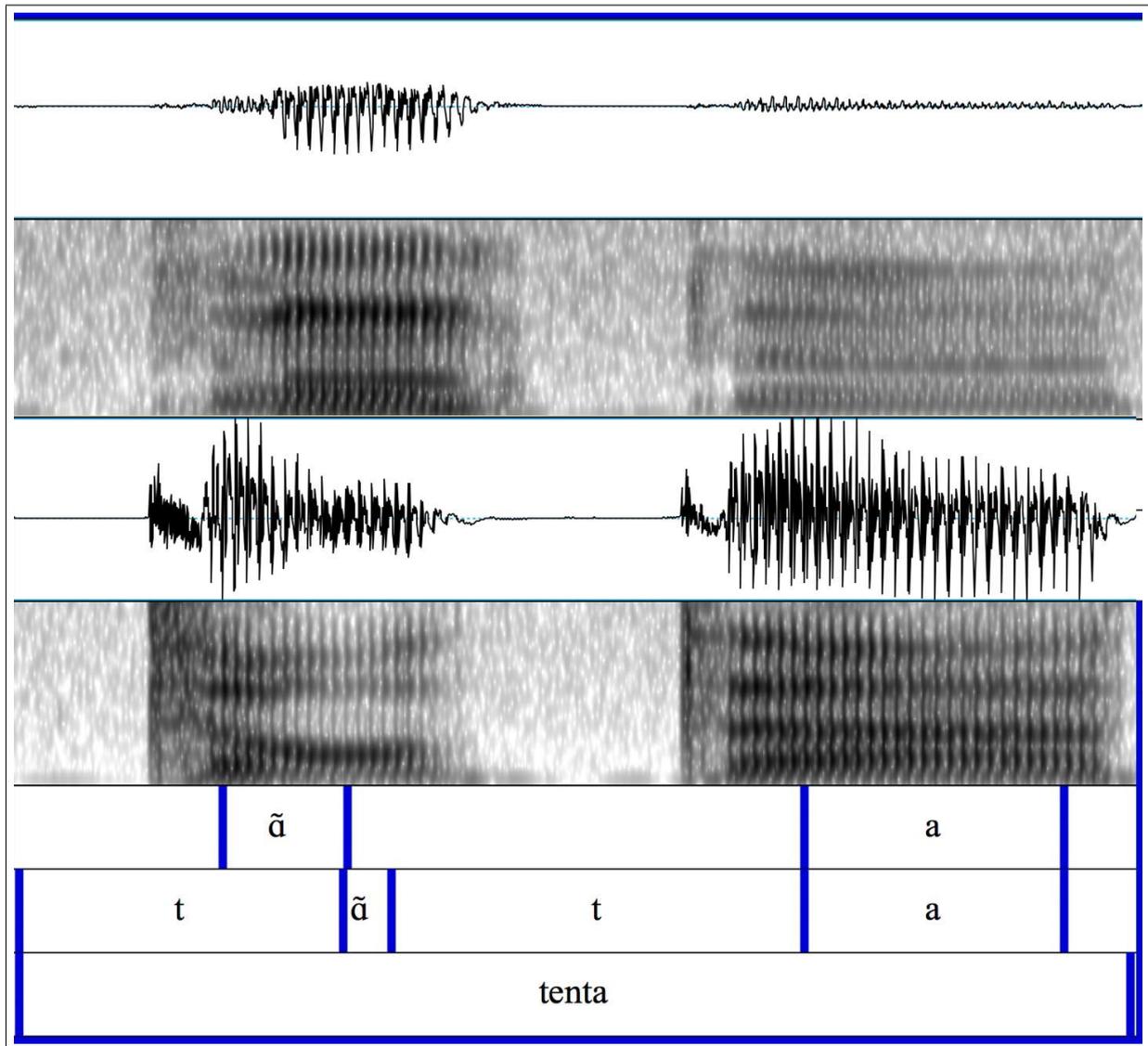


Figure C.31 – Spectrogramme du mot «tenta» sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

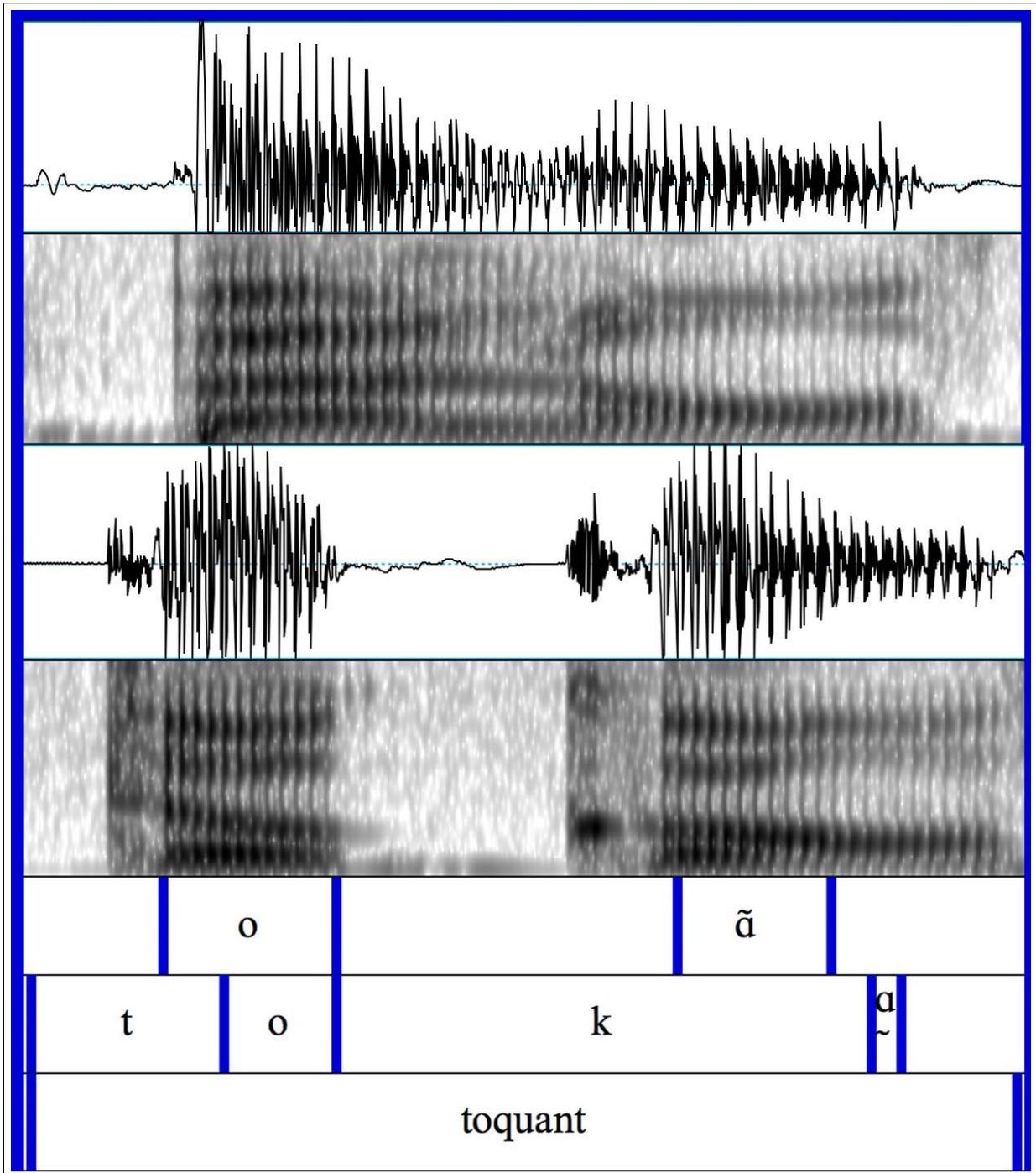


Figure C.32 – Spectrogramme du mot « toquant » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

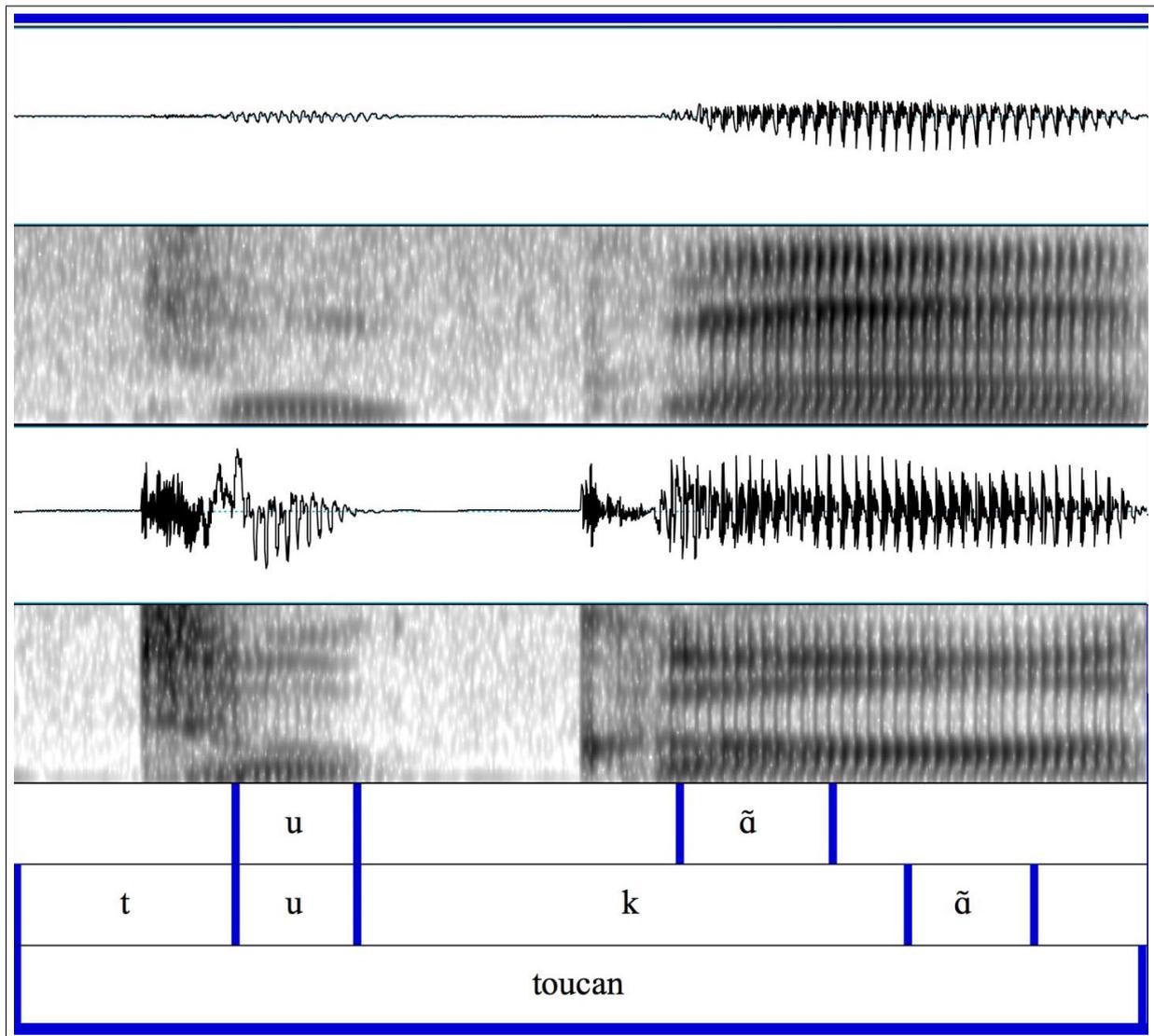


Figure C.33 – Spectrogramme du mot « toucan » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

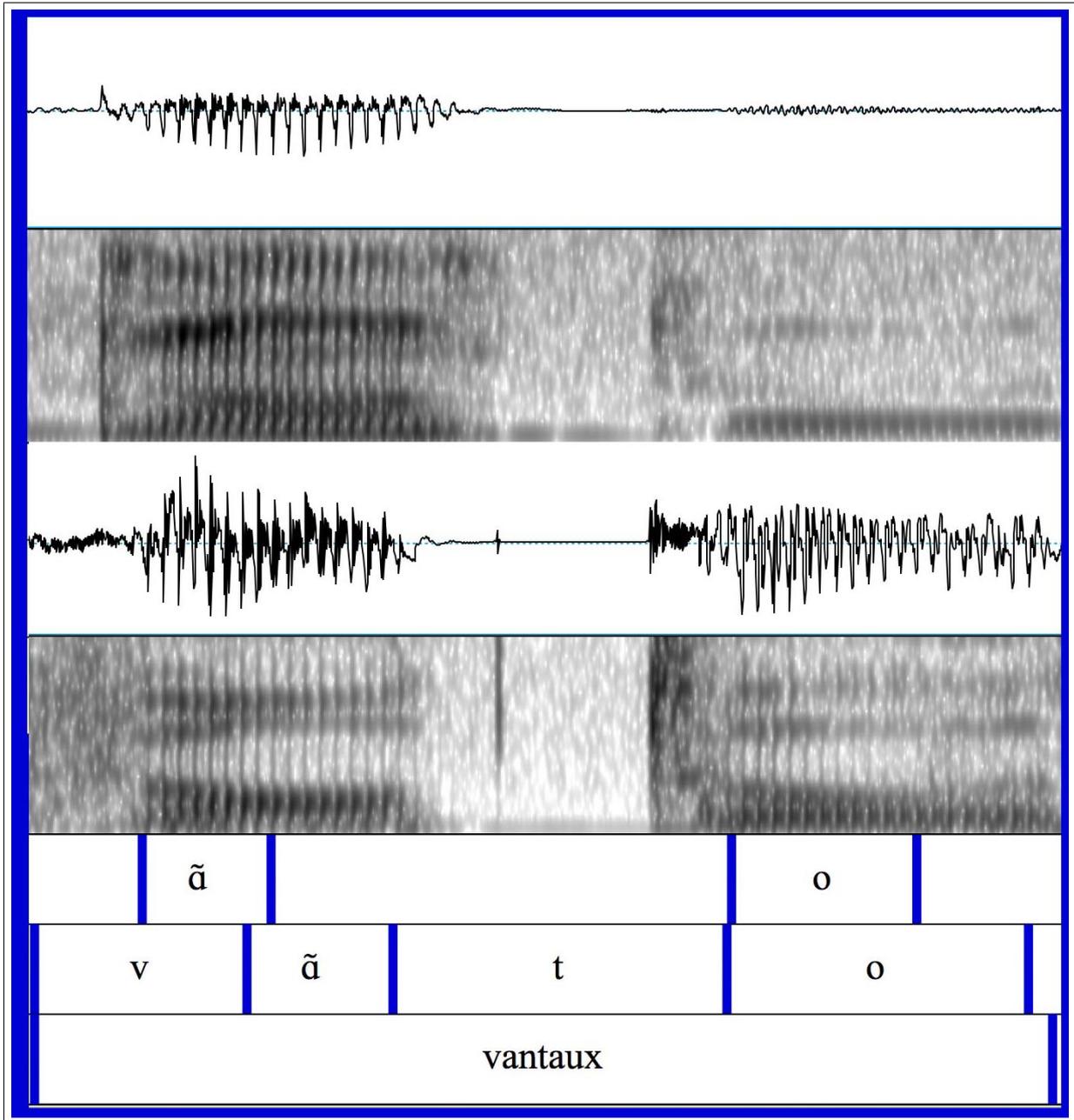


Figure C.34 – Spectrogramme du mot « vantaux » sous Praat – Signal oral (bas) et nasal (haut)

Annexe D

Ellipses de confiance des voyelles orales et nasales dans le triangle vocalique

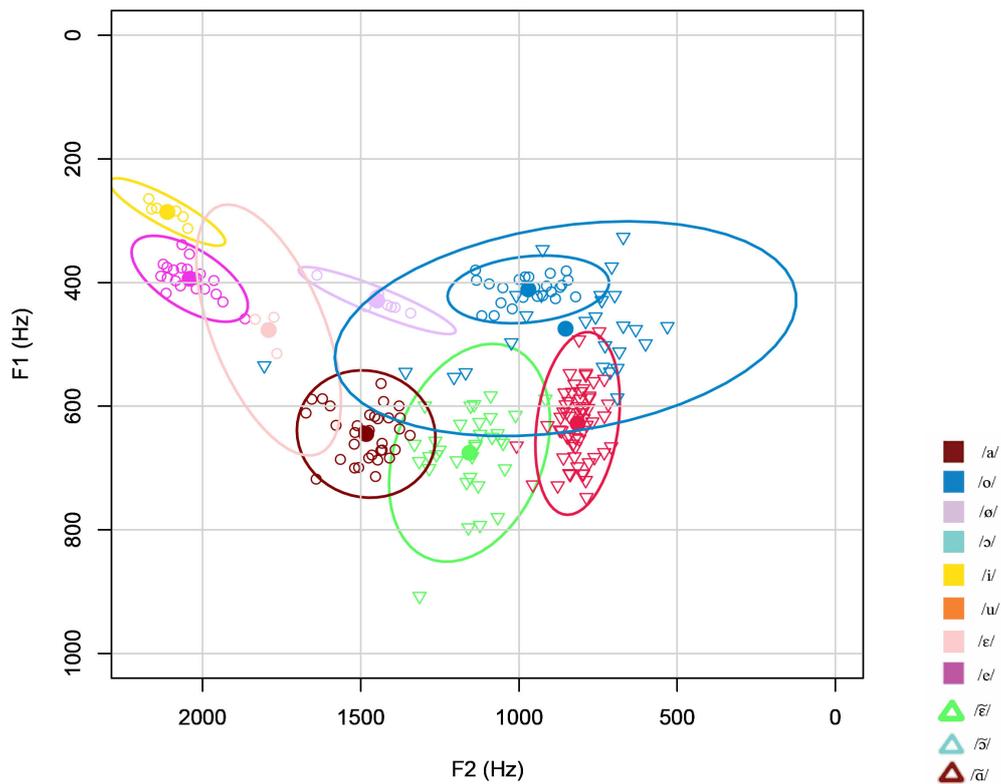


Figure D.1 – Mesure des intervalles de confiance pour le positionnement des voyelles dans l'espace acoustique (F_1 , F_2) (Hz) – Comparaison des formants voyelles orales – voyelles nasales

Annexe E

Modèle de consentement éclairé soumis aux locuteurs enregistrés



NOTICE D'INFORMATION ET CONSENTEMENT ECLAIRE – ETUDE ARTICULATORI-ACOUSTIQUE DE LA NASALITÉ

Titre du projet : NOASM – Nasal and Oral Airflow Separation Model -
Mémoire M2R de M. Fily

A remplir par le-la participant-e

Je soussigné, déclare accepter de participer de plein gré de participer à la recherche décrite ci-après. Les données que vous accepterez de transmettre seront traitées de manière anonyme et vous avez le droit de les rectifier, supprimer, comme précisé plus loin.

Informations locuteur-riche

Nom :
Prénom :
Age :
Sexe (M/F) :
Langue maternelle :
Si français-e : région d'origine :
Si chinois-e : région d'origine :
Autres langues étrangères (+ niveau CECR) :

Chercheur titulaire responsable scientifique du projet

Nathalie Vallée
Chargé de Recherche HDR
Equipe Voix, Systèmes Linguistiques et Dialectologie (VSLD), Département Parole & Cognition,
Gipsa-Lab
1180 avenue centrale - BP25, 38040 GRENOBLE Cedex 9 FRANCE
Tel. [33 \(0\)4 76 82 41 17](tel:330476824117), Fax : 33 (0)4 76 82 43 35
nathalie.vallee@gipsa-lab.fr

Lieu de recherche

Gipsa-Lab Département Parole et Cognition (adresse ci-dessus)
Site Stendhal (1180 avenue centrale)
ou
Site Ampère (11 rue des Mathématiques)

But du projet de recherche

Nous effectuons cette recherche dans le but d'obtenir séparément le signal oral et nasal dans des productions de parole en français, mandarin et Naxi (Chine). Le but est d'observer comment le signal acoustique issu de l'oral est corrélé avec le conduit vocal en supprimant la composante nasale du signal.



Vos droits de vous retirer de la recherche en tout temps

Votre participation à cette recherche est complètement volontaire. Elle ne donne pas lieu à indemnisation. Vous pouvez poser à tout moment des questions sur cette étude. Vous pouvez à tout moment arrêter votre participation à l'étude sans vous justifier et sans préjudice. Votre décision de participer, de refuser de participer, ou de cesser votre participation n'aura aucun effet sur vos notes, votre statut, vos relations futures avec les laboratoires Gipsa-Lab, L2C2 ou votre Université.

Vos droits à la confidentialité et au respect de la vie privée

Les données obtenues seront traitées avec la plus entière confidentialité. Toutes les données seront gardées dans un endroit sécurisé et seuls le responsable scientifique et les chercheurs adjoints y auront accès. Par ailleurs, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification, et de suppression des données par simple demande au responsable de cette étude dont les coordonnées vous sont communiquées ce jour. Vous conservez ce droit même si vous vous retirez de l'étude.

Bénéfices

Cette recherche a pour but de mieux comprendre comment est perçu le langage humain et comment il s'interprète acoustiquement.

Risques possibles

Aucun, l'étude n'est pas invasive.

Contre-indication

Nous indiquer si vous êtes dans au moins un des cas suivants : personne présentant des troubles de l'audition ou de l'élocution y compris de dyslexie, personne mineure, personne privée de liberté par une décision judiciaire ou administrative, personne majeure incapable de donner son consentement et ne bénéficiant pas d'une mesure de protection légale, personne présentant une pathologie psychiatrique patente.

Diffusion

Les résultats de cette recherche seront diffusés dans une soutenance de mémoire, des colloques et feront l'objet de publications dans des actes de colloque et des articles de revue académique.

Vos droits de poser des questions en tout temps

Vous pouvez poser à tout moment des questions sur cette étude. Vous pourrez notamment poser des questions au sujet de la recherche en tout temps en communiquant avec le responsable scientifique du projet par courrier électronique à nathalie.vallee@gipsa-lab.fr (ou par téléphone au +33 (0)4 76 82 77 89).

Consentement à la participation

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez que vous avez lu et compris les renseignements ci-dessus, qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante et qu'on vous a avisé que vous étiez libre d'annuler votre consentement ou de vous retirer de cette recherche en tout temps, sans préjudice.

J'ai lu et compris les renseignements ci-dessus
Nom, Prénom – Signature et date

Résumé

Toute langue se construit par le jeu des oppositions phonologiques qui permettent de distinguer les phonèmes. Définie comme la caractéristique d'un phonème réalisé avec ouverture du port vélo-pharyngé, la nasalité donne lieu à des paires minimales dans la langue. La nasalité phonologique est présente massivement dans les langues du monde. 22 % des langues ont au moins une voyelle nasale et 96,5 % ont au moins une consonne nasale (données UPSID). En considérant la capacité de désynchronisation du velum par rapport aux articulateurs buccaux, la nasalité est placée à un niveau supérieur de hiérarchie dans la théorie de Clements (1985), et par sa place dans l'inventaire phonologique du français, elle constitue un objet qui passionne la recherche.

La complexité articulatoire-acoustique du phénomène a souvent rendu difficiles les analyses couplées, d'où l'idée de séparer acoustiquement le signal oral et nasal. Partant ensuite de ce *pattern* appelé *œil des nasales*, très visible dans la partie orale d'une voyelle nasale, un procédé de calcul des dérivées de formants au cours du temps a été mis au point sur le signal séparé, de sorte que soient mesurées les variations conjointes des formants liées à l'apparition de l'*œil des nasales*. Le pincement ascendant des formants haute fréquence et le phénomène de densification basse fréquence est exploité en adossant des critères à la variation des formants, pourvu que les mesures soient précises et le traitement statistique de la variabilité pris en compte. La séparation acoustique oral – nasal permet également d'observer en phonologie de laboratoire les phénomènes d'anticipation et de persévérance du trait nasal, à l'image des mesures de durées de nasalisation différentes sur les codas nasales du mandarin de Taïwan.

Le bénéfice attendu au niveau de la linguistique est de disposer d'un outil permettant de mieux décrire et comprendre les phénomènes d'émergence de la nasalité dans les langues du monde et d'en améliorer sa catégorisation.

Mots clés : phonétique, phonologie, acoustique, nasalité, nasalisation, corrélats acoustico-perceptifs, articulatoire, dialectologie Na, langue naxi, français, mandarin.

Abstract

Any language is built based on the phonological oppositions that make phonemes distinct from one another. Nasality is defined as the opening of the velopharyngeal port, and the nasality feature leads to minimal pairs in language. Phonologically present in 22 % of UPSID as a vowel, and 96 % as a consonant, this feature is massively represented in the world's languages. Considering that the velum can move in desynchronization with the oral tract articulators, nasality pertains to a higher level of hierarchy in Clements' (1985) theory. Due to its particular status in the french phonological inventory, it represents a fascinating object for research.

The articulatori-acoustic complexity of the phenomenon often made coupled analyses more difficult, hence the idea of separating acoustically the oral and nasal signal. A calculation method has been developed based on the pattern called « *eye of the nasals* », quite recognizable in the oral part of a nasalized vowel. It determines the formants' order 1 differentiate value as a function of time, based solely on the oral part of a nasal vowel and from there criteria of joint temporal evolution of the formants are defined, as a characteristic of the appearance of the « *eye of the nasals* », and therefore nasality. The high frequency pinching of the formants and the low frequency densification phenomena are what causes the appearance of the « *eye of the nasals* ». In addition, the oral – nasal components separation allows us to observe phenomena of nasal anticipation and perseverance in Taiwan Mandarin Chinese.

The benefits expected of this laboratory phonology study are to provide linguistics research with a tool that can help better describe and comprehend phenomena related to the emergence of nasality in the world's languages.

Keywords : phonetics, phonology, acoustics, nasality, nasalization, acoustico-perceptive cues, articulatory, Na dialectology, Naxi language, French, Mandarin.