



**HAL**  
open science

# Perception et production des voyelles nasales du français par des hispanophones d'Espagne et de Colombie

David Alejandro Bustamante Arango

► **To cite this version:**

David Alejandro Bustamante Arango. Perception et production des voyelles nasales du français par des hispanophones d'Espagne et de Colombie. Linguistique. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III, 2021. Français. NNT : 2021PA030077 . tel-03652112

**HAL Id: tel-03652112**

**<https://theses.hal.science/tel-03652112v1>**

Submitted on 26 Apr 2022

**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.

# UNIVERSITÉ SORBONNE NOUVELLE

École Doctorale (ED 622)

Sciences du Langage

Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP), UMR 7018

Thèse de Doctorat en Phonétique

## **Perception et production des voyelles nasales du français par des hispanophones d'Espagne et de Colombie**

David Alejandro BUSTAMANTE ARANGO

Thèse dirigée par

M. Pierre Hallé et Mme Claire Pillot-Loiseau

Soutenue le 25 octobre 2021

### *Jury :*

**Mme Christine Meunier (Rapporteure)**

DR CNRS, LPL UMR 7309, Aix-Marseille Université

**M. Rudolph Sock (Rapporteur)**

PR, LiLPa EA1339, Université de Strasbourg

**Mme Véronique Delvaux (Examinatrice)**

Chercheure qualifiée FNRS, Université de Mons, Belgique

**M. Takeki Kamiyama (Examineur)**

MCF, LeCSeL, TransCrit EA 1569, Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis

**Mme Angélique Amelot (Examinatrice)**

IR CNRS, LPP UMR 7018, Université Sorbonne Nouvelle

**Mme Claire Pillot-Loiseau, (Co-directrice)**

MCF HDR, LPP UMR 7018, Université Sorbonne Nouvelle

**M. Pierre Hallé (Directeur)**

DR CNRS, LPP UMR 7018, Université Sorbonne Nouvelle

**Mme Annie Rialland (Présidente)**

DR CNRS, LPP UMR 7018, Université Sorbonne Nouvelle

## Perception et production des voyelles nasales du français par des hispanophones d'Espagne et de Colombie

### Résumé

Cette thèse a pour objet la perception et la production des voyelles nasales du français par des apprenants du français hispanophones espagnols et colombiens. Dans six expériences de perception des voyelles orales et nasales françaises, nous testons ces deux populations d'hispanophones pour quatre niveaux de français : sujets n'ayant jamais étudié ou parlé le français (25 espagnols et 20 colombiens), et apprenants du français de trois niveaux (débutant, intermédiaire et avancé : 30 apprenants espagnols et 26 colombiens). Les résultats des expériences de discrimination sont interprétés dans le cadre du modèle PAM (*Perceptual Assimilation Model*). Pour les voyelles orales, les contrastes /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ɛ/ sont les mieux discriminés (TC, *two categories assimilation*), suivis par /ø/-/o/ puis /y/-/u/, avec un avantage des sujets espagnols sur les colombiens. Comme /y/ est massivement assimilé à /u/, le contraste /y/-/u/ est de type SC (*single category assimilation*) ou CG (*category goodness assimilation*), donc difficile ; comme /ø/ est assimilé soit à /e/ soit à /o/, voire /u/, le contraste /ø/-/o/ est un cas hybride, tantôt SC ou CG, tantôt TC, de difficulté intermédiaire. Le trait [+rounded] étant associé aux voyelles postérieures en espagnol, il se peut que les hispanophones interprètent /y/ et /ø/ comme des voyelles postérieures fermées. Les résultats de discrimination des contrastes nasale vs. orale "correspondante" (/a/-/ã/, /ɛ/-/ẽ/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) suggèrent que les sujets hispanophones sont tous sensibles à la présence/absence du trait nasal, mais des difficultés sont observées pour le contraste /o/-/õ/, où /õ/ est le plus souvent assimilé à /o/. La distance des pôles spectraux est par ailleurs la plus petite pour /o/-/õ/. Les résultats de l'expérience de discrimination des contrastes entre voyelles nasales montrent que les contrastes /ẽ/-/ã/ et /ã/-/õ/ sont les plus difficiles pour les apprenants hispanophones, notamment les Colombiens. Le contraste /ẽ/-/õ/ est le plus facile. Pour les Espagnols, le degré de difficulté est le même pour /ẽ/-/ã/ et /ã/-/õ/ ; pour les Colombiens, /ã/-/õ/ est plus difficile que /ẽ/-/ã/. Ces résultats sont prédits par les assimilations. Pour les deux groupes, /ẽ/ est systématiquement assimilé à /a/ et /õ/ à /o/, ce qui explique la bonne discrimination de /ẽ/-/õ/. Par contre, /ã/ est assimilé soit à /a/ soit à /o/, avec un net avantage pour /o/ chez les Colombiens expliquant l'asymétrie observée pour /ẽ/-/ã/ vs. /ã/-/õ/ entre Espagnols et Colombiens. Les résultats des expériences de catégorisation à choix forcé des voyelles nasales montrent que /ẽ/ et /ã/ sont les voyelles les plus difficiles à identifier et ce à un même degré de difficulté pour tous les apprenants hispanophones. En production, les résultats de la tâche de lecture des voyelles nasales montrent que les apprenants,

surtout les Colombiens, produisent des voyelles plus longues que les Français. La proportion de nasalité est plus importante pour les natifs que pour les apprenants. La mesure formantique du début des voyelles nasales, considéré comme non nasalisé, permet d'observer une variabilité importante chez les apprenants pour /ẽ/ et /ã/ : la cible articulatoire sous-jacente de /ẽ/ serait plus proche de /ɛ/, et celle de /ã/, plus proche de /a/.

**Mots clés :** *voyelles nasales, perception, production, FLE, hispanophones, PAM.*



## Perception and production of French nasal vowels by Spanish speakers from Spain and Colombia

### Abstract

This thesis focuses on the perception and production of French nasal vowels by Spanish and Colombian learners of French. In six perception experiments of French oral and nasal vowels, we tested these two populations of Spanish speakers at four levels of French: subjects who have never studied or spoken French (25 Spanish and 20 Colombian), and learners of French at three levels (beginner, intermediate and advanced: 30 Spanish and 26 Colombian learners). The results of the discrimination experiments are interpreted within the framework of PAM (Perceptual Assimilation Model). For oral vowels, the contrasts /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ε/ are best discriminated (TC, two categories assimilation), followed by /ø/-/o/ and then /y/-/u/, with an advantage of Spanish subjects over Colombians. As /y/ is massively assimilated to /u/, the /y/-/u/ contrast-type is SC (single category assimilation) or CG (category goodness assimilation), thus difficult; as /ø/ is assimilated to either /e/ or /o/, or even /u/, the /ø/-/o/ contrast is a hybrid case, sometimes SC or CG, sometimes TC, of intermediate difficulty. Because the [+rounded] feature is associated with posterior vowels in Spanish, Spanish speakers may interpret /y/ and /ø/ as closed posterior vowels. The discrimination data for the contrasts between nasal vowels and their oral “counterparts” (/a/-/ã/, /ε/-/ẽ/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) suggest that Spanish-speaking subjects are all sensitive to the presence/absence of the nasal feature but encounter difficulty for the /o/-/õ/ contrast, where /õ/ is most often assimilated to /o/. The distance between spectral poles is otherwise smallest for /o/-/õ/. The discrimination data for the contrasts between nasal vowels show that the /ẽ/-/ã/ and /ã/-/õ/ contrasts are the most difficult for Spanish-speaking learners, especially Colombians. For the Spanish speakers, the /ẽ/-/õ/ contrast is the easiest and the degree of difficulty is the same for /ẽ/-/ã/ and /ã/-/õ/; for Colombians, however, /ã/-/õ/ is more difficult than /ẽ/-/ã/. These results are predicted by the observed assimilations. For both groups, /ẽ/ is consistently assimilated to /a/ and /õ/ to /o/, which explains the good discrimination of /ẽ/-/õ/. On the other hand, /ã/ is assimilated to either /a/ or /o/ with a clear advantage for /o/ for Colombians, explaining the asymmetry observed for /ẽ/-/ã/ vs. /ã/-/õ/ between Spanish and Colombians. The results of the forced-choice categorization experiments of nasal vowels show that /ẽ/ and /ã/ are the most difficult vowels to identify, with the same degree of difficulty for all Spanish-speaking learners. In production, the results of the nasal vowel reading task show that learners, especially Colombians, produce longer vowels than French speakers. The proportion of nasality is greater for native speakers than for learners. Formant measurements at the onset of

nasal vowels, assumed to be non-nasalized, suggest a large variability among learners for /ẽ/ and /ã/: the underlying articulatory target of /ẽ/ would be closer to /ɛ/, and that of /ã/, closer to /a/.

***Key words:*** *nasal vowels, perception, production, FFL, Spanish speakers, PAM.*

*À mes parents*

*à Malena et à Adela*

## Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent au directeur de ma thèse, Monsieur Pierre Hallé pour avoir accepté de diriger cette thèse. Je le remercie de m'avoir orienté et accompagné pendant toutes ces années de thèse, de constantes analyses et de rédaction. Je le remercie pour sa rigueur intellectuelle, son soutien, sa patience, et pour le temps qu'il a consacré à me relire et à me corriger. Merci infiniment, M. Hallé, de m'avoir formé.

Je tiens à exprimer mes remerciements à la co-directrice de ma thèse, Madame Claire Pillot-Loiseau. Je la remercie de m'avoir fait confiance dès le début, pendant mes années de master à l'ILPGA, et de m'avoir guidé constamment, inlassablement, dans tout ce processus que fut la préparation et réalisation du travail de recherche. Je vous remercie aussi pour vos précieuses corrections, et votre écoute.

Je voudrais également remercier les membres du jury d'avoir accepté de faire partie du jury de mon travail de thèse. Merci à Mme Véronique Delvaux. Merci à M. Rudolph Sock, à Mme Christine Meunier, à Mme Annie Rialland, à M. Takeki Kamiyama, et à Mme Angélique Amelot. Vous êtes nombreux à faire partie du jury, et j'en suis honoré.

Je voudrais remercier à nouveau Madame Angélique Amelot pour sa disponibilité et son soutien technique pour la réalisation de ce travail. Je te remercie vraiment !

Un grand merci à mes *informateurs* en France, en Espagne et en Colombie. Merci à ceux et celles qui ont accepté de participer à cette étude, soumis et soumises à des séances d'enregistrement assez longues. Merci aussi aux personnes qui m'ont permis de faire le contact avec les étudiants, à Mme Inmaculada Illanes et à Mme Marina Barrios de l'Université de Séville, à M. Javier Enrique Redondo de l'Université Javeriana de Bogota, à Francly Hermánez qui m'a beaucoup aidé à programmer les séances avec les étudiants.

Qu'il me soit également permis de remercier les organismes financeurs qui m'ont permis d'effectuer mes terrains en Espagne et en Colombie : le LabEx *Empirical Foundations of Linguistics* (EFL) et le *Laboratoire de Phonétique et Phonologie*.

Merci à ma famille, à mes parents, Gloria et Leonel, à ma sœur, Diana, et mon frère, Diego, qui m'ont toujours soutenu, dès le début. Je les remercie pour leur confiance et leur amour.

A mes amis qui m'ont aussi accompagné pendant ces années de thèse et qui m'ont donné du courage. À Víctor V., John Jairo L., Sandra L., Sebas A., Mauricio P., Javier R., Ángela E., Emre B., Harun B., Diana M., Hugo D., Juanita T., Gabriel G. et Maya A., Luz et Carlos, Sylvain R. et Jessica H., et aussi à Jean-René M., et beaucoup d'autres qui ont fait de ces années de thèse des moments très gratifiants.

Enfin, à Malena, pour tout ton amour, ton soutien et ta générosité. Sans toi je ne serais pas arrivé à ce stade de ma vie.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>1-XII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>1-XIX</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>1-XXII</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1</b> .....	<b>11</b>
<b>ACQUISITION DE LA PHONOLOGIE EN LANGUE ETRANGERE</b> .....	<b>11</b>
1.1 LA PERCEPTION ET LA PRODUCTION EN LANGUE ETRANGERE .....	13
1.1.1 <i>Modèle magnétique de la langue native (NLM)</i> .....	13
1.1.2 <i>Modèle d'assimilation perceptive (Perceptual Assimilation Model, PAM)</i> .....	14
1.1.3 <i>Modèle d'apprentissage de la parole (Speech Learning Model, SLM)</i> .....	17
1.1.4 <i>Modèle de perception sélective et automatique (Automatic selective perception, ASP)</i> .....	21
<b>CHAPITRE 2</b> .....	<b>24</b>
<b>SYSTEMES VOCALIQUES DU FRANÇAIS ET DE L'ESPAGNOL</b> .....	<b>24</b>
2.1 LES VOYELLES DU FRANÇAIS CONTEMPORAIN .....	25
2.1.1 <i>La nasalité vocalique</i> .....	27
2.1.2 <i>Définition de la nasalité vocalique du point de vue articulatoire</i> .....	29
2.1.3 <i>Définition de la nasalité vocalique du point de vue acoustique</i> .....	32
2.1.4 <i>Définition de la nasalité vocalique du point de vue perceptif</i> .....	34
2.2 LE SYSTEME VOCALIQUE DE L'ESPAGNOL .....	35
2.2.1 <i>Le système vocalique de l'espagnol en Espagne</i> .....	36
2.2.2 <i>Le système vocalique de l'espagnol en Colombie</i> .....	38
2.3 NASALISATION EN ESPAGNOL .....	41
2.4 HYPOTHESES DE NOTRE ETUDE.....	47
<b>CHAPITRE 3</b> .....	<b>49</b>
<b>PARTICIPANTS</b> .....	<b>49</b>
3.1 PARTICIPANTS .....	50
3.1.1 <i>Niveau de français des apprenants hispanophones</i> .....	51
3.1.2 <i>Situation d'apprentissage du français chez les apprenants hispanophones</i> .....	55
3.1.3 <i>Le groupe contrôle des francophones natifs</i> .....	60
3.2 VUE D'ENSEMBLE DU VOLET EXPERIMENTAL .....	61
<b>CHAPITRE 4</b> .....	<b>64</b>
<b>PRODUCTION DES VOYELLES DE L'ESPAGNOL</b> .....	<b>64</b>
4.1 METHODE .....	65

4.2	ANALYSE .....	65
4.3	RESULTATS .....	66
4.4	DISCUSSION.....	70
<b>CHAPITRE 5 .....</b>		<b>74</b>
<b>ASSIMILATION PERCEPTIVE DES VOYELLES FRANÇAISES DANS LES CATEGORIES VOCALIQUES DE</b>		
<b>L'ESPAGNOL .....</b>		<b>74</b>
5.1	PARTICIPANTS .....	75
5.2	STIMULI .....	75
5.3	PROCEDURE.....	76
5.4	RESULTATS .....	77
5.4.1	<i>Colombiens</i> .....	78
5.4.2	<i>Espagnols</i> .....	79
5.5	DISCUSSION.....	83
<b>CHAPITRE 6 .....</b>		<b>87</b>
<b>EXPERIENCES DE DISCRIMINATION AXB.....</b>		<b>87</b>
6.1	DESIGN.....	88
6.2	PROCEDURE.....	90
6.3	EXPERIENCE 3 : DISCRIMINATION DES VOYELLES ORALES .....	91
6.3.1	<i>Participants</i> .....	91
6.3.2	<i>Stimuli</i> .....	91
6.3.3	<i>Résultats</i> .....	93
6.3.4	<i>Discussion</i> .....	98
6.4	EXPERIENCE 4 : DISCRIMINATION DES VOYELLES NASALES ET ORALES .....	102
6.4.1	<i>Participants</i> .....	102
6.4.2	<i>Stimuli</i> .....	102
6.4.3	<i>Résultats</i> .....	103
6.4.4	<i>Discussion</i> .....	107
6.5	EXPERIENCE 5 : DISCRIMINATION DES VOYELLES NASALES .....	108
6.5.1	<i>Participants</i> .....	109
6.5.2	<i>Stimuli</i> .....	109
6.5.3	<i>Résultats</i> .....	109
6.5.4	<i>Discussion</i> .....	113
6.6	CONCLUSIONS PARTIELLES .....	120
<b>CHAPITRE 7 .....</b>		<b>122</b>
<b>EXPERIENCES DE CATEGORISATION .....</b>		<b>122</b>
7.1	EXPERIENCE 6 : CATEGORISATION A CHOIX FORCE DES VOYELLES NASALES DANS DES MOTS MONOSYLLABIQUES ...	123
7.1.1	<i>Stimuli</i> .....	123

7.1.2	<i>Procédure</i> .....	127
7.1.3	<i>Résultats</i> .....	128
7.1.3.1	Résultats des analyses perceptives : matrices de confusion .....	128
7.1.3.2	Résultats des analyses perceptives : effets des facteurs principaux .....	133
7.1.3.3	Statistiques inférentielles .....	138
7.1.4	<i>Discussion</i> .....	141
7.2	EXPERIENCE 7 : CATEGORISATION DES VOYELLES NASALES A CHOIX FORCE DANS DES LOGATOMES BISYLLABIQUES	143
7.2.1	<i>Les stimuli</i> .....	143
7.2.2	<i>Procédure</i> .....	148
7.2.3	<i>Résultats des analyses perceptives : matrices de confusion</i> .....	149
7.2.4	<i>Analyses perceptives des effets des facteurs principaux</i> .....	162
7.2.5	<i>Statistiques inférentielles</i> .....	167
7.2.6	<i>Discussion</i> .....	172
<b>CHAPITRE 8</b> .....		<b>176</b>
<b>PRODUCTION DES VOYELLES NASALES DU FRANÇAIS PAR DES APPRENANTS HISPANOPHONES ET NATIFS DU FRANÇAIS</b> .....		<b>176</b>
8.1	PARTICIPANTS .....	177
8.2	ENREGISTREMENTS .....	178
8.2.1	<i>Accéléromètre piézoélectrique, micro, et deux caméras vidéo</i> .....	179
8.2.2	<i>Calibration</i> .....	180
8.2.3	<i>Corpus</i> .....	181
8.3	TRAITEMENT DES DONNEES .....	182
8.3.1	<i>Segmentation</i> .....	182
8.3.2	<i>Analyses des données</i> .....	184
8.4	RESULTATS .....	186
8.4.1	<i>Mesure de durée des voyelles orales et nasales</i> .....	186
8.4.2	<i>Mesure de proportion de nasalité des voyelles orales et nasales : p(N)</i> .....	194
8.4.3	<i>Décours temporel de la p(N)</i> .....	199
8.4.4	<i>Voyelles orales « sous-jacentes » au début des voyelles nasales</i> .....	202
8.4.4.1	Corpus analysé .....	203
8.4.4.2	Valeurs formantiques .....	204
8.4.4.3	Résultats .....	206
	Francophones natifs .....	207
	Débutants espagnols .....	208
	Intermédiaires espagnols .....	211
	Avancés espagnols .....	212
	Débutants colombiens .....	215
	Intermédiaires colombiens .....	216
	Avancés colombiens .....	218
8.5	DISCUSSION .....	222

<b>SYNTHESE .....</b>	<b>228</b>
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>240</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>243</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>257</b>
ANNEXE 1.....	258
ANNEXE 2 : SPECTROGRAMMES DES STIMULI DES VOYELLES NASALES EN CVC PAR LF (EXP. 6).....	259
ANNEXE 3 : PHRASES CADRE POUR LA TACHE DE LECTURE.....	263
ANNEXE 4: SCRIPTS (CONÇUS PAR ANGELIQUE AMELOT).....	264



# Liste des figures

Figure 1. Comparaison des valeurs de F1 et F2 des voyelles françaises pour les données d'après Calliope (1989) (en bleu), Gendrot & Adda-Decker (2005) (en noir), et Georgeton et al. (2012) (en rouge). Tiré de Georgeton et al. (2012).	26
Figure 2. Profils articulatoires des voyelles nasales issus des données IRM dans des séquences VVV par un sujet féminin : à gauche, les voyelles antérieures /ẽ/ (en noir) et /ã/ (en gris), et à droite, les voyelles postérieures /ã/ (en noir) et /õ/ (en gris) D'après Delvaux (2003).	30
Figure 3. Profils articulatoires comparés entre les voyelles orales (en gris) et les voyelles nasales « correspondantes » (en noir). De gauche à droite : /a/-/ã/, /e/-/ẽ/, /œ/-/õ/, /ɔ/-/õ/. Données IRM dans des séquences VVV par un sujet féminin.	30
Figure 4. Dialectes de l'espagnol en Espagne d'après García Mouton (1994). En violet foncé, les variétés septentrionales ; violet clair, les variétés méridionales ; en traits verticaux, les zones où la prononciation de /s/ prédomine au détriment de /θ/ (perte du contraste) ; en traits horizontaux, les zones où il y a une confusion entre /s/ et /θ/, et /θ/ tend à remplacer /s/ (perte du contraste) ; et en couleurs, les zones bilingues, où il existe une langue régionale.	36
Figure 5. Triangle vocalique de F1 et F2 moyens des voyelles de l'espagnol à partir des valeurs formantiques de Martínez Celdrán (1995). Pour les locutrices, les voyelles sont représentées en vert, et pour les locuteurs, en rouge.	38
Figure 6. Distribution régionale des dialectes de l'espagnol en Colombie.	39
Figure 7. Triangle vocalique de F1 et F2 moyens des voyelles de l'espagnol à partir des valeurs formantiques de Rangel Navia et al. (2017). Pour les locutrices, les voyelles sont représentées en vert, et pour les locuteurs, en rouge.	40
Figure 8. Réalisation nasale du phonème /e/ dans [ũ'mãñã'mẽnte] humanamente (Quilis, 2006).	44
Figure 9 L2 des apprenants hispanophones (Espagnols à gauche, et Colombiens à droite).	53
Figure 10. Avis des apprenants hispanophones sur la focalisation donnée à une ou aux deux modalités d'apprentissage du français (apprenants espagnols à gauche, colombiens, à droite).	57
Figure 11. Pourcentage d'apprenants hispanophones qui rapportent étudier la prononciation du français au moyen de l'alphabet phonétique international (API), de cours de prononciation, ou des cours de rythme et intonation.	58
Figure 12. Synthèse des difficultés de prononciation du français rencontrées par les apprenants colombiens selon leur niveau de français. Les difficultés ont été ordonnées des plus au moins fréquentes et exprimées en pourcentages des apprenants pour chaque niveau.	59
Figure 13. Synthèse des difficultés de prononciation du français rencontrées par les apprenants espagnols selon leur niveau de français. Les difficultés ont été ordonnées des plus au moins fréquentes et exprimées en pourcentages des apprenants pour chaque niveau.	60
Figure 14. Formants des cinq voyelles de l'espagnol produites par six sujets hispanophones d'Espagne. À gauche, la production de trois hommes (ESP-H), à droite, celle de trois femmes (ESP-F). En haut, les cinq répétitions de chaque sujet ; en bas, la moyenne de chaque voyelle pour F1 et F2. Logiciel Praat (Boersma et Weenink, 2020).	67
Figure 15. En haut, valeurs moyennes des trois premiers formants des cinq voyelles de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, produites par les six sujets hispanophones d'Espagne ; les locuteurs à gauche (ESP-H), et les locutrices à droite (ESP-F). L'axe vertical représente la fréquence en Hz. En bas, moyennes (en gras) et écarts-types (entre parenthèses) des valeurs formantiques.	68

Figure 16. Formants des cinq voyelles de l'espagnol produites par six sujets hispanophones de Colombie. À gauche, la production de trois hommes (COL-H), à droite, celle de trois femmes (COL-F). En haut, les cinq répétitions de chaque sujet ; en bas, la moyenne de chaque voyelle pour F1 et F2. Logiciel Praat (Boersma et Weekink, 2020).....	69
Figure 17. En haut, valeurs moyennes des trois premiers formants des cinq voyelles de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, produites par les six sujets hispanophones de Colombie ; les locuteurs à gauche, et les locutrices à droite. L'axe vertical représente la fréquence en Hz. En bas, moyennes (en gras) et écarts-types (entre parenthèses) des valeurs formantiques.....	70
Figure 18. Écrans présentés aux sujets naïfs : à gauche, instructions en espagnol ; à droite, écran de réponse (voyelle puis score entre 1 et 5).....	77
Figure 19. Écrans présentés aux apprenants : à gauche, instructions en français ; à droite, écran de réponse (voyelle puis score entre 1 et 5).....	77
Figure 20. Pourcentages d'assimilation perceptive des voyelles françaises /y/, /ø/, /œ/ selon le niveau de français des sujets hispanophones : Ss naïfs = sans aucune expérience ; .....	82
Figure 21. Pourcentages d'assimilation perceptive des voyelles nasales du français /ã/, /ẽ/, /õ/ selon le niveau de français des sujets colombiens à gauche, et espagnols à droite : naïfs = sans aucune expérience de français ; déb. = débutant ; int. = intermédiaire ; av. = avancé. ....	83
Figure 22. Tâche de discrimination AXB : écrans d'accueil et de réponse. ....	90
Figure 23. Moyennes (avec écarts-types) des quatre premiers formants des voyelles /y, i, ø, e, ε, o, u/ prononcées par la locutrice (LF) et le locuteur (LM). Les barres d'erreur représentent l'écart-type. Les valeurs précises sont montrées dans les tableaux en-dessous de la figure. ....	92
Figure 24. Pourcentages de discrimination correcte des voyelles orales du français, tous contrastes confondus, par les sujets colombiens et espagnols dans les deux conditions de locuteur C1= une locutrice ; C2= une locutrice et un locuteur). ....	94
Figure 25. Pourcentages de discrimination correcte des voyelles orales du français, tous contrastes confondus, en C2 par les sujets colombiens et espagnols selon leur niveau de français : sn = sujets naïfs ; déb. = débutants ; int. = intermédiaires ; et av. = avancés. ....	95
Figure 26. Pourcentages de discrimination correcte selon les 5 contrastes /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ε/, /ø/-/o/, /y/-/u/ et le groupe de sujets (condition C2, tous niveaux de français confondus). Les barres d'erreur représentent l'erreur-type. ....	96
Figure 27. Pourcentages de discrimination correcte selon le contraste de voyelles orales, /y/-/i/, /ø/-/ε/, /ø/-/o/, /u/-/y/, en C2, en fonction du niveau de français des sujets colombiens (ligne orange) et espagnols (ligne bleue). Le contraste contrôle /e/-/i/ est exclu de cette figure. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type. ....	98
Figure 28. Pourcentages de discrimination correcte des contrastes vocaliques nasal-oral par les sujets naïfs et les apprenants colombiens et espagnols dans les deux conditions de locuteur : C1= une locutrice ; C2= une locutrice et un locuteur.....	103
Figure 29. Pourcentages de discrimination correcte des contrastes vocaliques oral-nasal (condition C2, toutes paires confondues) par les sujets colombiens et espagnols.....	104
Figure 30. Pourcentages de discrimination correcte selon le contraste vocalique oral-nasal /ẽ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /õ/-/õ/, et /o/-/õ/ (condition C2), tous niveaux confondus, par les sujets colombiens et espagnols. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type. ....	105

Figure 31. Pourcentages de discrimination correcte par contraste (/ɛ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) (condition C2) pour les sujets espagnols (bleu) et colombiens (orange), selon leur niveau de français : sn = sujets naïfs ; déb. = débutant ; int. = intermédiaire ; et av. = avancé. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.....	106
Figure 32. Pourcentages de discrimination correcte des voyelles nasales par les sujets français, espagnols, et colombiens en fonction des deux conditions de locuteur : C1= une locutrice ; C2= une locutrice et un locuteur.	110
Figure 33. Pourcentages de discrimination correcte selon le niveau de français des apprenants colombiens et espagnols (condition C2), tous contrastes confondus ; sn = sujets naïfs ; déb. = débutant ; int. = intermédiaire ; av. = avancé.....	111
Figure 34. Pourcentages de discrimination correcte selon les contrastes /õ/-/ẽ/, /ẽ/-/ã/, et /ã/-/õ/ (condition C2), tous niveaux confondus, par les sujets espagnols et colombiens. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.....	112
Figure 35. Pourcentages de discrimination correcte pour chacun des contrastes /ã/-/õ/, /ẽ/-/ã/ et /õ/-/ẽ/, selon le niveau de français des sujets espagnols (bleu) et colombiens (orange) ; sn = sujets naïfs, déb. = débutant, int. = intermédiaire, av. = avancé. ....	112
Figure 36. Pourcentages de discrimination correcte selon le contexte syllabique (CVC vs. CV), tous niveaux confondus, par les sujets espagnols et colombiens.....	113
Figure 37. Prédications de la discrimination des contrastes /ẽ/-/õ/, /ã/-/õ/, et /ã/-/ẽ/ par les sujets colombiens selon leur niveau de français : naïf, débutant, intermédiaire, et avancé. Prédications avec et sans ratings : noir plein et en pointillé ; discrimination observée : orange. ....	118
Figure 38. Prédications de la discrimination des contrastes /ẽ/-/õ/, /ã/-/õ/, et /ã/-/ẽ/ par les sujets espagnols selon leur niveau de français : naïf, débutant, intermédiaire, et avancé. Prédications avec et sans ratings : noir plein et en pointillé ; discrimination observée : bleu.....	119
Figure 39. Effet de locuteur (LF2 vs LM) sur la durée voyelles nasales, toutes les voyelles nasales confondues, produites dans des mots monosyllabiques.....	124
Figure 40 Effet de Voyelle (/ã/, /ẽ/, /õ/) sur la durée par les locuteurs natifs du français LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques. ....	125
Figure 41. Effet du Type de syllabe (CV vs CVC) sur la durée voyelles nasales, toutes les voyelles nasales confondues, par les locuteurs natifs du français LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques. ....	125
Figure 42. Effet du type de syllabe (CV vs CVC) sur la F0 des voyelles nasales par les deux natifs du français, LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques. ....	126
Figure 43. Tâche de catégorisation des voyelles nasales : écrans d'accueil et de réponse.....	127
Figure 44. Pourcentages de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français, par les apprenants colombiens et espagnols, tous niveaux de français confondus, et par le groupe des natifs du français.....	134
Figure 45. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction de la structure syllabique CV ou CVC, par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type. ....	135
Figure 46. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction du locuteur (LF2 ou LM) ayant produit les stimuli, par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type. ....	135
Figure 47. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des mots, en fonction du locuteur (LF2 ou LM) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols selon leur niveau de français.....	136

<i>Figure 48. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des mots, en fonction du rang de présentation (1-6) des items par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	136
<i>Figure 49. Catégorisation correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français en fonction du niveau de français des apprenants colombiens (orange) et espagnols (bleu). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	137
<i>Figure 50. En haut : pourcentages d'identification correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques par les apprenants espagnols (ligne bleu) et colombiens (ligne orange), selon leur niveau de français : déb = débutant ; int = intermédiaire ; av = avancé. En bas : fit-index correspondants. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	141
<i>Figure 51. Effet de Locuteur (LF2 vs. LM) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques, toutes voyelles nasales confondues.</i>	145
<i>Figure 52. Effet de Voyelle (/ã/, /ẽ/, /õ/) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques.</i>	146
<i>Figure 53. Effet de Position syllabique (initiale absolue, initiale post-consonantique, finale) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques.</i>	146
<i>Figure 54. Effet de Position syllabique (initiale absolue, initiale consonantique, finale) sur la F0 des voyelles nasales, toutes voyelles nasales confondues.</i>	147
<i>Figure 55. Écran présenté aux apprenants lors de la phase d'entraînement à la tâche de catégorisation et lors du passage du test.</i>	149
<i>Figure 56. Pourcentages de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques, par les natifs du français, et les apprenants espagnols et colombiens, tous niveaux de français confondus. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	162
<i>Figure 57. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction de la position syllabique (#_CVC, CC_CV, CVC_#) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	163
<i>Figure 58. Taux de catégorisation correcte des voyelles nasales, toutes les voyelles confondues, par les natifs du français, et des apprenants espagnols et colombiens en fonction du locuteur : LF2 et LM. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	164
<i>Figure 59. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des logatomes en fonction du locuteur (LF2 ou LM) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols selon leur niveau de français. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	164
<i>Figure 60. Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des logatomes, en fonction du rang de présentation des items (1-6) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	165
<i>Figure 61. Taux de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques, toutes les voyelles nasales confondues, en fonction du niveau de français des apprenants espagnols et colombiens : débutant, intermédiaire, avancé. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	166
<i>Figure 62. Interaction Groupe d'apprenants (Espagnols vs. Colombiens) x Locuteur (LF2 vs. LM) x Voyelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/) pour la catégorisation des voyelles nasales dans les logatomes. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.</i>	169

Figure 63. Description de l'interaction Rang chronologique de présentation des stimuli (1-6) x Voyelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/).pour la catégorisation des voyelles nasales dans des logatomes chez les apprenants espagnols (ligne bleue) et colombiens (ligne orange). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur type. ....	169
Figure 64. En haut : pourcentages d'identification correcte des voyelles nasales dans les logatomes pour les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange), selon leur niveau de français : déb. = débutant ; int. = intermédiaire ; av. = avancé. En bas : fit-index correspondants Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.....	171
Figure 65. Fit-index selon le rang chronologique de présentation et la voyelle nasale pour les apprenants espagnols (ligne bleue) et colombiens (ligne orange).....	172
Figure 66. Accéléromètre piézoélectrique installé sur le nez d'un locuteur : les deux pastilles captant les vibrations sont fixées sur chaque côté du nez du locuteur avec un adhésif double face. Cette figure montre également la fixation du micro serre-tête, et celle des capteurs labiaux et frontal. ....	179
Figure 67. Exemple de calibration définitive pour les signaux du microphone oral et de l'accéléromètre piézoélectrique. Production de [papapapapa], puis de [mamamamama] par une locutrice espagnole (LocESP-A3) de niveau avancé. ....	180
Figure 68. Exemple de production après calibration finale pour les signaux du microphone oral et de l'accéléromètre piézoélectrique. Production du logatome [ãtal] par la même locutrice espagnole (LocESP-A3). ....	181
Figure 69. Exemple de segmentation de la voyelle /ã/ en fonction des trois positions syllabiques par une locutrice espagnole de niveau débutant (LocESP-D7) : position initiale absolue (#_CVC), position initiale post-consonantique (C_CVC), et position finale (CVC_#). De gauche à droite, production des non-mots [ãtal], [pãkas], [topã].....	183
Figure 70. Durée moyenne des phrases produites par tous les sujets (Français, Colombiens, Espagnols) les apprenants sont regroupés par niveau. ....	188
Figure 71. Durée moyenne (ms) des voyelles orales vs. nasales produites par les natifs du français (FR) (n=1260), les apprenants espagnols (ESP) (n=5763) et les apprenants colombiens (COL) (n=4859). ....	189
Figure 72. Durée moyenne (ms) des voyelles orales produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu), et les apprenants colombiens (orange) selon la position, #_CVC, C_CVC, CVC_#. ....	190
Figure 73. Durée moyenne (ms) des voyelles nasales produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu), et les apprenants colombiens (orange) selon la position, #_CVC, C_CVC, CVC_#. ....	190
Figure 74. Durée moyenne (ms) des voyelles orales, /a, ɛ, o/, produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu) et les apprenants colombiens (orange). ....	191
Figure 75. Durée moyenne (ms) des voyelles nasales, /ã, ẽ, õ/, produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu) et les apprenants colombiens (orange). ....	192
Figure 76. Durée moyenne (ms) des voyelles orales (/a, ɛ, o/), toutes voyelles confondues, produites par les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) selon leur niveau de français : avancé, intermédiaire, débutant.....	193
Figure 77. Durée moyenne (ms) de voyelles nasales /ã, ẽ, õ/, toutes voyelles confondues, produites par les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) selon leur niveau de français : avancé, intermédiaire, débutant. ....	193
Figure 78. Interaction Groupe x Type de voyelle pour p(N) : sujets français (gris), espagnols (bleu) et colombiens (orange).....	195
Figure 79. Interaction Groupe x Position (voyelles orales). (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens). ....	196

Figure 80. Interaction Groupe x Position (voyelles nasales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens). .....	196
Figure 81. Interaction Groupe x Voyelle (voyelles orales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens). .....	197
Figure 82. Interaction Groupe x Voyelle (voyelles nasales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens). .....	198
Figure 83. Description de p(N) des voyelles orales (gauche) et nasales (droite), toutes voyelles confondues, selon le niveau des apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) : débutants, intermédiaires, avancés. ....	199
Figure 84. Décours temporel de p(N) pour les voyelles nasales (début, milieu, fin) en fonction de trois positions dans le logatome (#_CVC, C_CVC, CVC_#) pour les locuteurs français (gris), espagnols (bleu) et colombiens (orange). .....	201
Figure 85. Voyelle nasale /ã/ produite par une locutrice espagnole du niveau débutant (LocESP-D7) dans le logatome [topã]. Du haut en bas : signal acoustique, signal nasal, spectrogramme, et courbes du RMS du signal nasal (ligne bleu) et oral (ligne noire en pointillé). Les lignes verticales rouges correspondent aux frontières du premier cinquième de la voyelle. La ligne horizontale jaune indique le RMS nasal moyen de /a/ pour cette locutrice. ....	205
Figure 86. Voyelle nasale /ã/ produite par un locuteur natif du français (LocFR7) dans le logatome [topã]. Du haut en bas : signal acoustique, signal nasal, spectrogramme, et courbe du RMS du signal nasal (bleu) et oral (ligne noire en pointillé). Les lignes verticales rouges correspondent aux frontières du premier cinquième de la voyelle. La ligne horizontale jaune indique le RMS nasal moyen de /a/ pour ce locuteur. (largeur de fenêtre sur Praat : 8 ms). .....	206
Figure 87. F1/F2 au début des voyelles orales /ɛ/, /a/, /o/ (ellipses en noir), et nasales /ẽ/ /ã/, /õ/ (ellipses en vert, rouge, et bleu, respectivement) pour les natifs du français et les apprenants espagnols selon leur niveau (débutants, intermédiaires, et avancés). .....	210
Figure 88. Comparaison des valeurs moyennes de F1/F2 au début des voyelles orales .....	214
Figure 89. Comparaison des valeurs moyennes de F1/F2 au début des voyelles orales .....	217
Figure 90. Comparaison des valeurs moyennes de F2/F3 au début des voyelles orales .....	220
Figure 91. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites atal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites antal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice native du français (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle. ....	234
Figure 92. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites atal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites antal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice espagnole de niveau avancé de français (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle. ....	235
Figure 93. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites aipal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites aimpal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice francophone native (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle. ....	236
Figure 94. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites aipal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites aimpal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice	

<i>espagnole (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.....</i>	<i>237</i>
<i>Figure 95. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites otil six fois », figure d'en haut, et « Vous dites ont il six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice francophone native (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.....</i>	<i>238</i>
<i>Figure 96. Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites otil six fois », figure d'en haut, et « Vous dites ont il six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice espagnole (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle. ....</i>	<i>239</i>

# Liste des tableaux

Tableau 1. Comparaison des quatre modèles d'acquisition d'une langue étrangère dans leurs grandes lignes. ....	23
Tableau 2. Voyelles orales du français selon trois dimensions d'articulation : lieu d'articulation de la langue, aperture, et labialité. ....	25
Tableau 3. Classement des voyelles nasales du français selon la position de la langue.....	31
Tableau 4. Les voyelles de l'espagnol. D'après Hualde & Colina (2014). ....	35
Tableau 5. Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets masculins espagnols (Martínez Celadrán, 1995). ....	37
Tableau 6. Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets féminins espagnols (Martínez Celadrán, 1995). ....	38
Tableau 7. Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets masculins colombiens .....	40
Tableau 8. Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets féminins colombiennes .....	40
Tableau 9. Nombre d'apprenants hispanophones selon leur niveau de français et le type d'expériences : perception et production. COL: colombiens; ESP: espagnols .....	51
Tableau 10. Enseignements de la formation de français pour les apprenants hispanophones (Colombiens à gauche et Espagnols à droite). Nous avons listé ces enseignements dans un ordre progressif à partir des cours d'un niveau débutant à un niveau avancé dans chaque formation. ....	54
Tableau 11. Questionnaire sur l'apprentissage du français adressé aux apprenants hispanophones participant à notre étude. (Adapté d'un questionnaire de Pillot-Loiseau, C., Amelot, A., & Fredet, F., 2010). ....	56
Tableau 12. Expériences de perception et de production effectuées auprès des sujets hispanophones espagnols et colombiens, ainsi que des natifs du français. ....	63
Tableau 13. Durée des voyelles de l'espagnol par 4 locuteurs hispanophones : 2 locuteurs espagnols (une femme et un homme), et 2 locuteurs colombiens (une femme et un homme). ....	66
Tableau 14. Moyennes de F1 et F2 des voyelles de l'espagnol produites par des hommes hispanophones de notre étude, ESP-H et COL-H, et par des locuteurs des travaux de Quilis et Esgueva (1983) et Chládková et al. (2001)). ....	71
Tableau 15. Moyennes de F1 et F2 des voyelles de l'espagnol produites par des locutrices hispanophones de notre étude, ESP-F et COL-F, et par des locutrices des travaux de Quilis et Esgueva (1983) et Chládková et al. (2001)). ....	73
Tableau 16. Mots utilisés pour le test d'assimilation perceptive contenant les voyelles françaises /i, y, ø, œ, ε, ɔ, o, u, ã, ê, ÿ/. ....	76
Tableau 17. Matrice de confusion pour l'assimilation des voyelles françaises selon les catégories vocaliques de l'espagnol par les sujets colombiens. Les résultats sont présentés en nombre de réponses, et entre parenthèses, en pourcentages. ....	78
Tableau 18. Matrice de confusion pour l'assimilation des voyelles françaises selon les catégories vocaliques de l'espagnol par les sujets espagnols. Les résultats sont présentés en nombre de réponses, et entre parenthèses, les pourcentages. ....	80



<i>Tableau 19. Construction des triplets pour C1 pour les 4 patterns AXB, exploitant les 3 répétitions des 'a' et 'b' produits par LF. En grisé : stimuli de même catégorie. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 20. Construction des triplets pour C2. Même principe que pour C1, sauf que les 'a' ou 'b' ont été produits par LM dans la position 2 (X) et par LF dans les positions 1 et 3 (A et B). ....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 21. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets français) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 864 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 18 auditeurs par voyelle. Les stimuli sont présentés sur l'axe vertical et les réponses sur l'axe horizontal. Les degrés de confiance, dont la moyenne est en italique, sont établis sur une échelle de 1 à 5. ....</i>	<i>129</i>
<i>Tableau 22. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets espagnols) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 1440 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 30 auditeurs par voyelle. ....</i>	<i>129</i>
<i>Tableau 23. Matrices de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques pour les apprenants espagnols selon leur niveau de français : débutant (n=12, 576 réponses par voyelle), intermédiaire (n=9, 432 réponses par voyelle), et avancé (n=9). ....</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 24. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets colombiens) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 1248 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 26 auditeurs par voyelle. ....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 25. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques pour les apprenants colombiens selon leur niveau de français : débutant (n=10 ; 480 réponses par voyelle), intermédiaire (n=9 ; 432 réponses par voyelle), avancé (n=7 ; 336 réponses par voyelle). ....</i>	<i>132</i>
<i>Tableau 26. Contexte phonétique des stimuli dans trois positions syllabiques : initiale absolue, initiale post-consonantique, et finale. Deux variations du contexte phonétique par position. ....</i>	<i>144</i>
<i>Tableau 27. Organisation du matériel expérimental. ....</i>	<i>148</i>
<i>Tableau 28. Matrices de confusion pour les sujets français selon les trois positions syllabiques ; nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (216 réponses par voyelle et par position = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 18 sujets). Les degrés de confiance (échelle 1-5) moyens sont indiqués en italique. ....</i>	<i>150</i>
<i>Tableau 29. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : ....</i>	<i>151</i>
<i>Tableau 30. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale absolue (#_CVC), selon le niveau de français ; débutant (n=12 ; 144 réponses par voyelle), intermédiaire et avancé (n=9 ; 108 réponses par voyelle). ....</i>	<i>152</i>
<i>Tableau 31. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale post-consonantique (CC_CV). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (360 réponses par voyelle : 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 30 sujets). ....</i>	<i>153</i>
<i>Tableau 32. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale post-consonantique (CC_CV), selon le niveau de français ; débutant (n=12 ; 144 réponses par voyelle), intermédiaire et avancé (n=9 ; 108 réponses par voyelle). ....</i>	<i>154</i>
<i>Tableau 33. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position finale (CVC_#). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (360 réponses par voyelle : 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 30 sujets). ....</i>	<i>154</i>

Tableau 34. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position finale (CVC_#), selon le niveau de français ; débutant (n=12 ; 144 réponses par voyelle), intermédiaire et avancé (n=9 ; 108 réponses par voyelle). .....	155
Tableau 35. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : .....	156
Tableau 36. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale absolue (#_CVC), selon le niveau de français ; débutant (n=10 ; 120 réponses par voyelle), intermédiaire (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et avancé (n=7 ; 84 réponses par voyelle). .....	157
Tableau 37. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : .....	158
Tableau 38. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale post-consonantique (CC_CV), selon le niveau de français ; débutant (n=10 ; 120 réponses par voyelle), intermédiaire (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et avancé (n=7 ; 84 réponses par voyelle). .....	159
Tableau 39. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : .....	159
Tableau 40. Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position finale (CVC_#), selon le niveau de français ; débutant (n=10 ; 120 réponses par voyelle), intermédiaire (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et avancé (n=7 ; 84 réponses par voyelle). .....	160
Tableau 41. Nombre de sujets hispanophones testés en perception et de ceux testés en production, selon leur niveau de français. Entre parenthèses : nombre de sujets non retenus pour la production. ....	177
Tableau 42. Durée moyenne en ms des voyelles orales (VO) et nasales (VN) et des logatomes contenant les voyelles orales (LOG_yo) et les voyelles nasales (LOG_vn) par les apprenants colombiens et espagnols, et les natifs du français. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart-type. ....	186
Tableau 43. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début. ....	207
Tableau 44. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ε/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs espagnols de niveau débutant : .....	209
Tableau 45. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ε/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs espagnols de niveau intermédiaire : .....	211
Tableau 46. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales. ....	212
Tableau 47. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ε/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau débutant : .....	215
Tableau 48. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ε/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau intermédiaire : .....	218
Tableau 49. Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ε/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau avancé : .....	219
Tableau 50. Comparaison des moyennes des valeurs formantiques du début non nasalisé des voyelles nasales et voyelles orales (les écarts-types sont en italique) entre les locuteurs francophones natifs de notre étude (n=3) à gauche, et les locuteurs francophones natifs de l'étude de Montagu (2007) (n=12) à droite. ....	225
Tableau 51. Comparaison des moyennes des valeurs formantiques du début non nasalisé des voyelles nasales et voyelles orales (les écarts-types sont en italique) entre les locutrices francophones natives de notre étude (n=4) à gauche, et les locutrices francophones natives de l'étude de Montagu (2007) (n=12) à droite. ....	226

# Liste des abréviations

L1 : langue maternelle

LE : langue étrangère

L2 : langue seconde

FLE : français langue étrangère

NLM : Modèle magnétique de la langue native (*Native Language Model*)

PAM : Modèle d'assimilation perceptive (*Perceptual Assimilation Model*)

TC : assimilation à deux catégories (*Two categories assimilation*)

SC : assimilation à une même catégorie (*Single category assimilation*)

CG : assimilation par bon appariement (*Category goodness assimilation*)

SLM : Modèle d'apprentissage de la parole (*Speech Learning Model*)

ASP : Modèle de perception sélective (*Automatique Selective Perception*)

SPRs : routines de perception sélective (*Selective perception routines*)

CECRL : Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues

API : Alphabet phonétique international

ESP-H : locuteur espagnol

ESP-F : locutrice espagnole

COL-H : locuteur colombien

COL-F : locutrice colombienne

C1 : condition 1 (voix de femme)

C2 : condition 2 (voix de femme et voix d'homme)

LF : locutrice francophone native

LF2 : locutrice francophone native 2

LM : locuteur francophone natif

p(N) : proportion de nasalité

# Introduction générale

La difficulté des apprenants à produire et à percevoir les sons d'une langue étrangère peut s'expliquer par la notion d'interférence phonétique et phonologique de leur langue maternelle sur cette langue étrangère. Une réflexion ancienne mais toujours d'actualité sur cette interférence est celle offerte par [Polivanov \(1931\)](#) sur la limitation de nos représentations phonologiques natives qui façonnent notre perception des sons de parole jusqu'à induire, éventuellement, une *surdité phonologique* pour certains contrastes non-natifs.

Le système phonologique de notre langue maternelle est caractérisé par un inventaire de phonèmes et par un ensemble de processus phonologiques spécifiant les variations de leurs réalisations. Dès notre enfance, nous nous approprions le système phonologique et prosodique de notre langue maternelle. La métaphore de surdité phonologique ou celle, équivalente, de filtre phonologique ([Troubetzkoy, 1967](#)) explique que lorsque nous sommes confrontés à un mot d'une langue étrangère, nous essayons de l'interpréter en accord avec le système phonologique propre à notre langue maternelle.

[Troubetzkoy \(1967\)](#) propose que le système phonologique natif peut être comparé à un *crible phonologique* : après avoir acquis tout l'ensemble de nos représentations ou catégories phonologiques, toutes spécifiques à notre langue maternelle, nous risquons de commettre des erreurs de perception ou de production des sons non-natifs, étant donné que ce crible ne correspond pas à celui du système non-natif. Ce crible représente en quelque sorte le répertoire phonologique de la langue maternelle que l'on acquiert et utilise comme seule référence pour l'interprétation des sons d'autres systèmes phonologiques.

Pour interpréter ou reproduire les sons d'une langue étrangère, nous employons le crible phonologique de notre langue maternelle, et comme nous sommes limités à cette langue, nous ne pouvons pas bien identifier la valeur phonologique de ces sons dans le système non-natif ou même dans notre propre système phonologique. Le crible phonologique aide à améliorer notre perception des sons de parole dans notre langue, mais il exerce une influence négative dans notre perception et notre réalisation des sons de parole dans une langue étrangère.

Les travaux sur l'acquisition des langues étrangères cherchent à comprendre et expliquer les difficultés de prononciation des apprenants. On constate que la langue maternelle ou

première (L1) fournit des informations fondamentales pour l'étude de l'acquisition de la phonétique et la phonologie de la langue étrangère (LE)<sup>1</sup>. Une notion importante dans les études d'apprentissage d'une langue étrangère est celle de l'*interlangue* (Ioup & Weinberger, 1987). Développée par Selinker (1972), l'hypothèse générale de l'interlangue est qu'à partir de la mise en œuvre d'un processus actif de la part de l'apprenant, un système linguistique de la LE se construit graduellement, de manière instable et approximative, à travers des processus impliquant le transfert de la L1, les stratégies d'apprentissage, et une surgénéralisation des règles de la langue cible. De la sorte, l'interlangue d'un apprenant peut comporter des caractéristiques de sa langue maternelle, de la langue cible, et même des particularités qui n'appartiennent à aucune des deux langues en question, mais à des généralisations universelles sur les langues. Il s'agit d'un système structurel qui varie progressivement conformément au développement de son processus d'apprentissage. Il faut également noter que l'interlangue peut être relativement similaire pour des apprenants de même L1, mais différente pour des apprenants ayant une L1 différente.

Plusieurs études se sont centrées sur la question des difficultés des apprenants dans la perception, la production et l'acquisition des sons non-natifs (parmi d'autres, Best, 1995 ; Eckman, 1977, 2004 ; Flege, 1995 ; Lado, 1957 ; Odlin, 1989 ; Renard, 1989). Le rapport entre perception et production est un sujet abondamment étudié, souvent de façon trop simpliste comme l'a signalé Flege (1987). Flege aborde le sujet à travers le principe de *classification d'équivalence*. Il s'agit d'un principe qui, permettant aux petits enfants de développer progressivement une capacité de production authentique des sons de leur langue maternelle, produit un accent étranger au fur et à mesure que des sons similaires entre la L1 et la LE sont contrastés. En effet, c'est un processus cognitif qui permet aux individus de percevoir des catégories constantes malgré la variabilité sensorielle présente dans diverses modalités physiques : l'information phonétique sur tel son de la LE est traitée par l'apprenant comme celle de la réalisation d'une catégorie de la L1. Comme les catégories phonologiques de la L1 sont constituées à travers le développement de la classification d'équivalence, les apprenants de la LE perçoivent les sons à partir des catégories de leur langue maternelle. Le résultat est qu'ils utilisent les patterns articulatoires définis dans l'acquisition de la L1 pour réaliser les sons de la LE (Flege, 1987:48).

---

<sup>1</sup> Nous employons ici le terme « acquisition » comme le résultat d'un processus d'apprentissage des sons de la LE, l'acquisition étant normalement le fruit d'un apprentissage implicite de ces sons. Normalement, le terme « acquisition » relève du processus de développement de la L1, et le terme « apprentissage » concerne un processus formel et explicite de l'étude de la LE. Dans cette thèse, notre emploi du terme « acquisition » consiste dans l'idéal d'une maîtrise des sons non-natifs.

Le rapport entre perception et production des sons de la LE tend assez souvent à être traité dans une direction constante de l'influence de la perception sur la production, ou au moins que la première précède la deuxième. Borrell (1996) souligne que, traditionnellement, l'argument selon lequel une bonne perception mène à une bonne production est assez répandu. Pour notre propre langue maternelle : « nous avons intégré une unité phonético-phonologique dans notre système, nous la reconnaissons et nous pouvons la produire » (Borrell, 1996 :108). C'est aussi ce qui se produit avec les sons de la LE une fois que nous avons « intégré toutes les unités » dans notre système à travers le crible phonologique. Mais ceci requiert une maîtrise de la LE. Cependant, ce n'est pas toujours le cas. Pour Borrell, il existe une situation au début de l'apprentissage de la LE, où les unités phonologiques sont mal perçues et donc, mal reproduites ; par exemple, les apprenants espagnols et anglais qui ne perçoivent pas le [y] français l'interprètent comme [u] ; c'est aussi ce qui se passe avec des apprenants espagnols par rapport au [ø] qu'ils interprètent comme [e].

Cet exemple où une mauvaise perception mène à une mauvaise production constitue une situation classique surtout au début de l'apprentissage des sons de la LE. Pour Borrell (1996 :110-111), il y a un point existant aussi au début de l'apprentissage –bien que provisoire– sur la dissociation entre perception et production. Il s'agit du cas où une unité est bien reconnue au niveau perceptif mais n'est pas correctement reproduite. Nous constatons donc que la perception précède la production mais, dans ce dernier exemple, la première n'entraîne pas la seconde ; il y a un décalage entre la structuration de la perception phonétique et celle de l'articulation. En fait, nous pouvons relier ce décalage aux apprenants espagnols produisant [e] à la place de [ø]. Selon Borrell, le mouvement articuloire nécessaire pour l'actualisation de l'unité phonologique identifiée pourrait ne pas être accompli. De plus, le témoignage des apprenants espagnols habitant en France depuis un certain temps, qui perçoivent bien le [y] ou le [ø] du français mais les réalisent [u] et [e] respectivement, suggère que la difficulté articuloire peut correspondre à une résistance « psychologique » puisque ces apprenants ont bien intégré les unités dans leur crible phonologique mais n'arrivent pas à les reproduire (Borrell, 1996 :114).

D'autre part, la littérature a beaucoup insisté sur l'influence de l'âge des apprenants comme étant un facteur déterminant dans les processus de perception et production des sons non-natifs (parmi d'autres, Bongaerts, 2003 ; Flege, Munro & MacKay, 1995 ; Flege, Yeni-Komshian & Liu, 1999 ; Kuhl, Williams, Lacerda, Stevens, & Lindblom, 1992 ; Long, 1990 ; Moyer, 1999 ; Patkowski 1990). Il existe une grande différence de prononciation entre les natifs et les apprenants d'une LE, notamment lorsque ces derniers sont des adolescents ou des adultes au moment où ils commencent leur apprentissage de la LE (Flege, 2003:2) ; c'est la *période*

*critique* où les capacités des apprenants de la LE sont limitées par une perte de plasticité neuronale (McLaughlin 1977 ; Patkowski 1990). Bever (1981) suggère qu'il existe une « asymétrie » entre perception et production chez les apprenants de plus de 5 ans résultant de la désactivation d'une « psychogrammaire », ce qui indiquerait la fin de la période critique, mais que la perception et la production se développent de manière indépendante.

Cependant, il est nécessaire de prendre en compte d'autres facteurs que l'âge, parce que la capacité de développer une connaissance linguistique ne décline pas avec l'âge (Neufeld, 1988). La différence de production de la LE entre les adultes et les enfants est déterminée, en plus de l'âge (les enfants sont plus réceptifs que les adultes), par des difficultés non pas relatives à la capacité d'apprendre, mais relatives à la manière d'apprendre. C'est-à-dire que l'ensemble des stratégies non adaptées aux besoins de l'apprentissage, ainsi que le manque de pratique, rendent difficile la convergence entre perception et production des sons de la LE (Neufeld, 1988), notamment pour tout ce qui a à voir avec l'organisation des gestes articulatoires.

Pour Llisterri (1995), il n'est pas possible de montrer que le développement des habilités de production provient des habilités de perception ou l'inverse. Il insiste, en plus de l'âge, sur le type de sons auquel les apprenants sont exposés dans contexte de la LE, sur la similitude entre les sons de la L1 et la LE, et sur la pression sociale appelant un progrès phonologique dans la production, comme des facteurs qui ont une influence tant sur la perception que sur la production des sons de la LE.

Cette étude vise à examiner les relations entre la perception et la production des voyelles nasales du français par des apprenants hispanophones d'Espagne et de Colombie. Elle se place dans le cadre de la phonétique expérimentale. L'objectif de cette thèse est de mieux connaître les processus de perception et de production des voyelles nasales par des hispanophones provenant de deux pays différents, et de proposer, éventuellement, des stratégies didactiques de remédiation.

L'expérience personnelle d'enseignement du français langue étrangère nous a mené à considérer de plus près l'apprentissage des voyelles nasales par les apprenants hispanophones. Le français et l'espagnol ont des origines linguistiques communes mais il y a beaucoup de différences aux niveaux phonétique et phonologique. En particulier, les voyelles nasales sont propres au système phonologique français, et leur nature articulatoire, perceptive ainsi qu'acoustique est assez complexe (Delattre, 1966 ; Delvaux, 2012). De même, les outils didactiques actuels semblent ne pas combler les besoins pédagogiques de l'enseignement et de l'apprentissage de ces voyelles. Même si la priorité est donnée aux échanges verbaux, la gestion

pédagogique du traitement de la matière phonique de la langue étrangère est restreinte à un rôle subsidiaire (Harmegnies, Delvaux, Huet, et Piccaluga, 2005). Il est assez courant d'entendre dire par des hispanophones ayant décidé de poursuivre leurs études dans un pays francophone qu'ils se sentent frustrés face à la complexité phonologique du français et particulièrement face aux voyelles nasales. Étant donné le caractère identitaire de la prononciation, dimension qui renvoie à « un accent » voire un « accent étranger », certaines personnes décident de minimiser leur accent en se rapprochant d'une norme phonétique, ou bien de le conserver, comme marque d'appartenance à une certaine communauté (Detey, 2005), ou bien par peur de se sentir frustrés dans l'interlocution (Lauret, 2007). Il y a également le témoignage des enseignants du français langue étrangère (FLE) sur les difficultés et les erreurs de prononciation de leurs apprenants, lesquelles s'accroissent au lieu de diminuer. L'étude de Deswarte, Baquero, Reyes-Rincón, et Plata-Peñafort, (2019) rend compte des « erreurs fossilisables de prononciation du français chez des apprenants hispanophones » colombiens. Ces auteurs abordent la notion d'erreur comme un élément inévitable dans l'interlangue de l'apprenant. Ils distinguent entre les erreurs de développement et les erreurs fossilisables : les premières sont transitoires, et les deuxièmes sont des erreurs qui réapparaissent dans les étapes successives de l'apprentissage de la LE. Deswarte et al. (2019) ont analysé les erreurs collectées à partir d'un questionnaire en ligne pour les apprenants, d'entretiens semi-dirigés avec les professeurs de FLE, et des enregistrements de production orale par les apprenants. Les erreurs ont été traitées comme des difficultés de prononciation par rapport aux voyelles orales (distinction des paires /œ/-/ø/, /ɛ/-/e/ ; mauvaise réalisation de /y/) et les voyelles nasales du français, ainsi qu'aux consonnes (distinction des paires /v/-/b/, /s/-/z/, /ʃ/-/ʒ/). À partir de ces données, les auteurs constatent un déficit d'exposition à la langue française chez les apprenants, ainsi que la nécessité d'améliorer la méthodologie des enseignants par rapport au traitement de l'erreur : il ne suffit pas de corriger mais il faut aussi analyser les erreurs et faire prendre conscience aux apprenants des dimensions articulatoire et acoustique des différents phonèmes pour qu'ils progressent.

L'enseignement actuel de la compétence orale en langue étrangère repose sur une approche traditionnelle dont les principes didactiques ne donnent pas une place importante à la phonétique comme matière première de la communication orale. En outre, dans le *Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues* (Conseil de l'Europe, 2001), il est proposée une diversification des sphères langagières pour l'enseignement des langues mais la place réservée à la phonétique reste assez réduite par rapport aux autres domaines ; même dans son volume complémentaire du CECR, (2018), la révision laisse cette place inchangée. Toutefois, l'intérêt pour les différences entre L1 et L2, ainsi que les difficultés chez les apprenants, a récemment et considérablement augmenté. Mais l'application des connaissances expérimentales



des travaux effectués en est toujours à ses débuts. Concrètement, les travaux en phonétique concernant la prononciation du français chez des apprenants hispanophones ont pris un essor relatif dans les dernières années. Ils portent sur divers aspects servant à mieux comprendre l'acquisition des sons du français par des non-natifs hispanophones : l'analyse contrastive (Companys, 1966), la correction phonétique<sup>2</sup> (Silva, 2005), la perception de phonèmes vocaliques et consonantiques (Tomé, 1997 ; Kartushina & Frauenfelder, 2013), celle des voyelles nasales (Bustamante, Hallé et Pillot-Loiseau, 2018), la production des voyelles orales (Detey et Racine, 2019 ; Racine, Detey, et Kawaguchi, 2012 ; Santiago et Mairano, 2021) et celle des nasales (Bustamante, Amelot, et Pillot-Loiseau, 2014 ; Detey, Racine, Kawaguchi, Zay, Buehler, et Schwab, 2010), le rôle du niveau suprasegmental (par exemple : Santiago, 2014 ; Santiago et Delais-Roussarie, 2015), et le rapport entre perception et production (Kartushina & Frauenfelder, 2014).

Plusieurs travaux se sont récemment consacrés à l'étude de l'acquisition des voyelles nasales du français langue étrangère. Par exemple, Kakoyianni-Doa, Monville-Burston, et Armostis (2017) ont réalisé une étude longitudinale auprès d'apprenants chypriotes hellénophones portant sur la perception ( $n=14$ ) et la production ( $n=17$ ) des voyelles nasales / $\tilde{e}$ / et / $\tilde{a}$ /. Les résultats de cette étude montrent que les performances en production des apprenants hellénophones a un certain retard sur leurs performances en perception, avec une meilleure performance pour la discrimination et l'identification de / $\tilde{e}$ / et de / $\tilde{a}$ /, particulièrement en position finale de mot, que pour la lecture où les difficultés reposent sur la confusion entre les deux voyelles, et sur la présence d'une consonne nasale épenthétique.

Les difficultés de perception et production des voyelles nasales ont également été mises en évidence auprès des apprenants arabophones. Nawafleh (2013) a effectué des expériences de perception et de production auprès d'apprenants jordaniens. Il a réalisé un test d'identification des voyelles orales / $i$ ,  $y$ ,  $e$ ,  $\emptyset$ ,  $\text{œ}$ ,  $\text{ɛ}$ ,  $a$ ,  $\text{ɔ}$ ,  $o$ ,  $u$ / et des voyelles nasales / $\tilde{e}$ ,  $\tilde{a}$ ,  $\tilde{\text{ɔ}}$ / auprès de 40 apprenants jordaniens classés selon la durée de leur apprentissage du français : de la première à la quatrième année du français (10 apprenants par année). Les résultats ont montré que les apprenants des premières années ont plus de difficulté à identifier correctement les voyelles orales que ceux des dernières années : les apprenants progressaient au fur et à mesure que leur expérience avec le français augmentait. À la fin de leur formation, les voyelles / $\emptyset$ / et / $y$ / sont mieux identifiées que / $u$ /, qui est confondu avec / $\emptyset$ / et / $o$ /. Cependant, les difficultés persistent et même augmentent pour les voyelles nasales: les apprenants confondent les voyelles / $\tilde{a}$ / et / $\tilde{e}$ /

---

<sup>2</sup> Une vision de « médiation de la prononciation », comme le signale Miras (2019 :14), redéfinirait mieux les représentations enseignantes sur la didactique de la prononciation, en plus des construits terminologiques.

entre elles et même avec /a/ ; /ã/ est confondue avec /õ/, et cette dernière est confondue non seulement avec les autres voyelles nasales mais aussi avec les orales /o/ et /ø/.

Dans une autre expérience de perception, réalisée afin de compléter la précédente, [Nawafleh](#) a aussi étudié la perception de 10 sujets naïfs n'ayant jamais étudié le français, en plus des apprenants. Ils devaient discriminer les voyelles qui avaient été confondues en identification et en production (d'après une évaluation perceptive par des auditeurs natifs du français). Les résultats montrent que les sujets naïfs discriminent sans difficulté la plupart des contrastes entre voyelles orales et nasales, ainsi qu'entre les voyelles orales, sauf pour les contrastes ayant eu 70% des réponses correctes comme /i/-/e/, /œ/-/ø/, /o/-/ø/, /o/-/u/, pour les voyelles nasales comme /ɛ̃/-/ã/, et /ã/-/õ/. Les contrastes les plus difficiles sont /e/-/ɛ/ et /ɔ/-/õ/. Pour les apprenants, les performances de discrimination s'améliorent mais quelques difficultés persistent : les contrastes posant le plus de difficultés sont /i/-/e/, /e/-/ɛ/, /ø/-/œ/, et /o/-/ɔ/, mais aussi /ɔ/-/õ/, et plus encore ceux entre les voyelles nasales /ɛ̃/-/ã/ et /ã/-/õ/.

Enfin, pour la production, l'étude de [Nawafleh](#) a inclus les données aérodynamiques de deux apprenants jordaniens et deux locuteurs natifs du français. Les résultats montrent que le débit nasal des voyelles nasales est plus élevé chez les natifs, et que les apprenants anticipent l'apparition du débit d'air nasal par rapport au début acoustique des voyelles nasales, et la tenue du débit d'air nasal dépasse celle du débit d'air buccal, contrairement aux locuteurs natifs du français. Ces patterns aérodynamiques ne sont pas présents chez les locuteurs natifs, car la nature distinctive de la nasalité des voyelles en français leur permet de synchroniser le débit d'air nasal et le débit d'air buccal. Finalement, [Nawafleh](#) a effectué des mesures de formants dans la portion initiale non nasalisée des voyelles nasales produites par les locuteurs natifs et les apprenants. Les résultats indiquent que la cible articulatoire "orale" des voyelles nasales diffère entre apprenants et natifs ; seulement un apprenant sur quatre réussit à produire des valeurs formantiques proches de celles des natifs.

D'autres paramètres ont été examinés par [Montagu \(2002\)](#). S'inspirant des travaux de [Zerling \(1984, 1989, 1992\)](#), cette auteure a analysé l'articulation labiale des voyelles nasales postérieures du français dans une étude contrastive. Montagu a enregistré 11 locuteurs français et 11 locuteurs américains afin d'étudier 2 paramètres de l'articulation labiale : (1) l'arrondissement des lèvres correspondant aux gestes de rétrécissement et/ou écartement de l'espace inter-labial, qui peut être mesuré par l'aire inter-labiale ; (2) la protrusion, c'est-à-dire la projection des lèvres vers l'avant. Les résultats montrent que chez les locuteurs français et américains, l'aire inter-labiale de /ã/ est plus faible que celle de /a/, et que la protrusion de /ã/ est plus importante que celle de sa contrepartie orale. En ce qui concerne les différences entre

les voyelles /ɔ̃/ et /o/, seuls les locuteurs français montrent un espace inter-labial plus réduit pour la nasale, alors que pour les locuteurs américains, il n'y a pas de différences. Les considérations didactiques de cette étude signalent la nécessité d'insister sur le caractère labial complémentaire à l'articulation de ces deux voyelles postérieures du français.

Plus récemment, l'étude de [Li, Yin, et Pu \(2019\)](#) a examiné l'influence du cantonais en tant que L1 sur l'apprentissage des voyelles nasales du français. Dix-huit apprenants chinois cantonophones ont été classés en trois niveaux de français : débutant, intermédiaire, et avancé. Les résultats de production en lecture des voyelles nasales du français montrent des interférences de la L1 des apprenants : (i) une durée acoustique des voyelles nasales plus importante chez les apprenants que chez les natifs ; (ii) un taux de nasalité plus faible chez les apprenants (il n'atteint son maximum qu'à la fin du segment de la voyelle nasale en raison de l'épenthèse d'une obstruante nasale, typique de la coarticulation entre une voyelle et une consonne nasale en cantonais ; et (iii) les lèvres sont moins ouvertes et moins arrondies pour /ɑ̃/ chez les apprenants, la langue reste en contact avec les dents supérieures pour /ɛ̃/, et pour /ɔ̃/ la bouche reste ouverte et les lèvres beaucoup moins arrondies que chez les natifs. Ces auteurs soulignent l'importance de prendre en considération d'autres tâches de production telles que la répétition, la production de parole spontanée, et aussi des tâches de perception.

L'intérêt d'étudier l'acquisition des voyelles nasales du français langue étrangère augmente avec la diversité de techniques expérimentales et instrumentales permettant des descriptions scientifiques fines de la complexité des voyelles nasales en général et dans le contexte du FLE en particulier. L'étude de [Brkan, Amelot et Pillot-Loiseau \(2012\)](#) explore l'utilisation d'un accéléromètre piézoélectrique pour l'évaluation de la production des voyelles nasales du FLE. Il s'agit d'un instrument utilisé pour l'étude de la nasalité ([Horii, 1980](#) ; [Lippmann, 1981](#) ; [Stevens, Kalikow, & Willemain, 1975](#)), mais très peu employé pour l'étude de la nasalité en didactique du FLE ([Brkan et al., 2012](#)). [Brkan et al. \(2012\)](#) ont enregistré 5 locutrices bosniaques et 5 locutrices francophones natives. Les résultats montrent que les locutrices bosniaques produisent les voyelles nasales avec une durée plus longue que les locutrices natives, et des valeurs plus élevées du RMS (Root Mean Square), des signaux nasal et oral pour les locutrices bosniaques. Ceci indiquerait un geste articulaire moins bien contrôlé chez les apprenantes bosniaques lors de la production des voyelles nasales. Pour compléter ces résultats, les auteures mentionnent de nouveaux objectifs expérimentaux concernant particulièrement le comportement de la coarticulation nasale en fonction de la position de la voyelle, l'influence de la position prosodique, et l'analyse des mesures temporelles de l'apparition de la nasalité.

Concernant les apprenants hispanophones en particulier, les études en phonétique concernant la production et la perception des voyelles nasales du français comme langue étrangère sont peu nombreuses, mise à part l'analyse contrastive de [Company \(1966\)](#) qui sera abordée dans le deuxième chapitre concernant les systèmes phonologiques du français et de l'espagnol. L'étude de [Detey et al. \(2010\)](#) est la seule qui examine la production des voyelles nasales chez des apprenants hispanophones, en plus des apprenants japonophones. Les auteurs évaluent le degré de *consonantisation* des réalisations des voyelles nasales par des apprenants japonophones et hispanophones, c'est-à-dire la présence ou l'absence d'une consonne nasale post-vocalique. Ils ont trouvé que les apprenants produisent un degré de consonantisation plus élevé pour les productions issues de la tâche de lecture que celle de répétition, notamment dans des items de structure CVC où la dernière consonne est une occlusive (sourde ou sonore) de même lieu d'articulation que la nasale post-vocalique.

Notre étude se place dans le cadre de cette réflexion. Afin de rendre compte des difficultés des apprenants hispanophones pour l'acquisition des voyelles nasales, cette thèse s'inscrit dans un cadre de recherche où sont examinées les performances de perception et de production avec un nombre considérable de sujets hispanophones espagnols et colombiens. Nous tenterons de répondre aux questions suivantes : quelles sont les particularités du crible phonologique des apprenants hispanophones qui affectent l'acquisition des voyelles nasales ? Certaines de ces particularités favorisent-elles l'acquisition des voyelles nasales ?

Cette recherche se divise en deux grands volets concernant, d'une part, le cadre théorique de l'apprentissage des langues, et d'autre part, le volet expérimental d'un ensemble d'expériences en perception et en production des voyelles nasales par des apprenants hispanophones d'Espagne et de Colombie.

Le premier chapitre « Acquisition de la phonologie des sons non-natifs » présente les approches majeures sur les processus d'acquisition des unités phonétiques et phonologiques d'une langue étrangère. Ces travaux proposent des explications mettant en jeu diverses caractéristiques de la langue première (L1), ainsi que des prédictions sur les performances perceptives et articulatoires des apprenants. Les résultats de nos études expérimentales seront discutées sur la base de ces travaux.

Le deuxième chapitre « Les systèmes phonologiques du français et de l'espagnol » compare ces deux langues, permettant de préciser nos hypothèses de recherche, compte tenu des courants théoriques de la recherche sur la L2.

Le volet expérimental est divisé en cinq parties ou chapitres. La première partie est consacrée au profil des sujets participant à cette étude. Ensuite, la production des voyelles de l'espagnol constitue notre première expérience où sont examinées les ressemblances ainsi que les différences acoustiques entre les variétés d'espagnol de l'Espagne et de la Colombie. Les deux parties suivantes correspondent à deux types d'expériences de perception des voyelles du français : discrimination et identification. Enfin, pour ce cadre expérimental, une dernière tâche de production recueille des données concernant la réalisation des voyelles nasales du français par les apprenants et par les locuteurs natifs du français.

Finalement, la synthèse et les conclusions résument les résultats de nos études expérimentales et les mettent en perspective par rapport aux aspects théoriques abordés au début de ce manuscrit. Nous proposons également des perspectives de recherche non seulement en matière d'acquisition du FLE, mais aussi sur l'articulation des voyelles nasales et sur la didactique des voyelles du français.

# CHAPITRE 1

## Acquisition de la phonologie en langue étrangère

### Résumé

*Ce chapitre présente les principaux modèles relatifs à l'acquisition de la phonologie en langue étrangère. Ils proposent des approches expérimentales différentes pour comprendre tant les aspects favorisant les processus d'apprentissage que les difficultés rencontrées par les apprenants d'une langue étrangère. Parmi ces travaux, nous présentons le modèle magnétique de la langue native (NLM), le modèle d'assimilation perceptive (PAM), le Modèle d'apprentissage de la parole (SLM), et le Modèle de perception sélective (ASP).*

*Si ces modèles divergent notamment par les sujets et patterns sonores non natifs qu'ils considèrent, leurs principaux points communs sont : le lien entre la perception des sons non-natifs et la connaissance phonétique et phonologique de l'apprenant, la possibilité d'un apprentissage de ces sons à l'âge adulte, l'influence de leur plus ou moins grande similarité avec les catégories phonétiques de la L1, et l'importance des niveaux de représentation phonétique, allophonique ou phonémique de ces sons.*

La littérature scientifique sur les processus d'acquisition et d'apprentissage d'une langue étrangère s'est développée de façon considérable dans les dernières décennies. L'apprentissage d'une langue étrangère a été étudiée sous le même angle de développement cognitif que les processus d'acquisition de la langue native, d'où l'importance accordée au rôle de la langue maternelle pour l'apprentissage d'une langue l'étrangère. En effet, de nombreux travaux ont montré que la phonétique et la phonologie de la L1 a une influence importante sur l'acquisition de la phonologie de la L2 (parmi d'autres, [Best, 1995](#) ; [Flege, 1995](#) ; [Kuhl, 1991](#) ; [Odlin, 1989](#)).

La structure phonologique de notre langue maternelle conditionne l'interprétation d'un énoncé non-natif (système phonologique différent) en segmentant et catégorisant ses unités sonores selon nos représentations phonologiques ([Polivanov, 1931](#)). C'est ce que [Troubetzkoy \(1939/1967\)](#) a reformulé et développé comme le mécanisme d'un *crible phonologique* propre à notre langue maternelle pour l'interprétation des sons qui nous sont familiers, mais qui ne convient pas aux sons d'une langue étrangère, ce qui nous fait produire des « erreurs et incompréhensions ». Les implications de cette notion sont liées directement aux difficultés que rencontrent les apprenants d'une langue étrangère, car ils sont confrontés à des unités sonores qui n'ont pas d'équivalent dans leur langue maternelle.

À ce sujet, vers les années 50, *l'Hypothèse de l'analyse contrastive* suggère qu'il y a un procédé de transfert de la langue source (langue maternelle) vers la langue cible (langue étrangère) à travers lequel les apprenants comparent systématiquement les deux langues, ce qui est à l'origine des difficultés rencontrées. Développée par [Lado \(1957\)](#), l'analyse contrastive postule que les aspects non-natifs requièrent un même processus d'acquisition, et que les difficultés et les erreurs sont une conséquence directe des différences linguistiques entre la langue source et la langue cible ; la différence entre les deux langues serait la seule source de difficultés. L'objectif de base était qu'en réalisant une comparaison anticipée entre les deux langues en question, il serait possible de prédire l'influence des aspects formels de la langue source sur la langue cible, afin de prévoir les erreurs éventuelles de l'apprenant. Cependant, l'Hypothèse de l'analyse contrastive a fortement été critiquée en raison à son incapacité à expliquer précisément en quoi consistait l'avantage de l'apprentissage des phonèmes plus faciles que les autres. Les erreurs de réalisation ne seraient pas attribuées exclusivement à l'interférence de la langue source, mais une autre dimension fournirait plus d'éléments de recherche sur l'apprentissage d'une langue étrangère : *l'interlangue* ([Selinker, 1972](#)). En poursuivant le cours d'apprentissage de la langue cible, l'apprenant développe une langue intermédiaire dans laquelle il construit un système linguistique provisoire et en constante évolution. Les erreurs qui en résultent ne sont plus considérées comme telles mais comme des éléments d'évaluation

permettant à l'enseignant d'obtenir des informations sur l'apprenant, à savoir son mode et son stade d'apprentissage (Gass et Selinker, 1994).

D'autres éléments ont été étudiés afin de mieux comprendre les difficultés des apprenants, qui ne sont plus uniquement en rapport avec les différences entre systèmes linguistiques, mais aussi avec les processus de perception des sons de parole et les mécanismes d'assimilation des contrastes phonologiques de la langue étrangère dans la langue maternelle.

## 1.1 La perception et la production en langue étrangère

Plusieurs modèles théoriques ont été développés au début des années 90 pour répondre aux questions des difficultés rencontrées lors de l'apprentissage d'une langue étrangère, dues aux similarités et différences entre les catégories phonologiques de la langue source et de la langue cible. Ces modèles partent de la prémisse selon laquelle la perception des sons non-natifs met en jeu les propriétés non seulement phonologiques mais aussi phonétiques de la langue source.

### 1.1.1 *Modèle magnétique de la langue native (NLM)*

Le *Modèle magnétique de la langue native* (NLM en anglais) est développé à partir des données expérimentales de la théorie du 'Magnet Effect' en perception (PME) de Patricia Kuhl (Kuhl, 1991, 1993 ; Kuhl & Iverson 1995). Le modèle postule que l'expérience linguistique détermine l'organisation de l'espace perceptif en des catégories phonémiques de la langue maternelle et permet d'expliquer les stratégies perceptives concernant des sons non-natifs. Pour chaque catégorie, il y aurait un « prototype », (cf. Rosh, 1975, 1978 ; voir Kuhl et al. 1995 :123) notion employée pour désigner comme le meilleur exemplaire d'une catégorie, ici une classe de sons équivalents, qui fonctionnerait comme une référence phonétique ou 'perceptual magnet'. L'hypothèse de base est que dans l'espace perceptif les sons non-natifs seraient attirés autour d'un prototype de la langue native, qui agirait comme un aimant attirant vers lui les sons acoustiquement proches.

L'espace perceptif est ainsi « déformé » par l'expérience linguistique à travers l'organisation des catégories phonémiques. Autrement dit, l'espace acoustique est divisé par des frontières naturelles séparant les catégories. Pour les sons d'une langue étrangère, la difficulté à les discriminer sera importante s'ils sont acoustiquement similaires, et ce d'autant plus qu'ils



sont proches d'un prototype de la langue maternelle. Si par exemple une voyelle non-native est proche acoustiquement d'une voyelle native, il y aura un effet 'magnet' vers le prototype. Mais si la voyelle non-native n'est acoustiquement proche d'aucune voyelle native, elle sera facile à discriminer des autres voyelles natives. Par ailleurs, les frontières naturelles ne disparaissent pas chez l'adulte. Seul un entraînement intensif en discrimination des contrastes de la langue cible peut améliorer les performances de perception des sons non-natifs.

### *1.1.2 Modèle d'assimilation perceptive (Perceptual Assimilation Model, PAM)*

Le *Modèle d'assimilation perceptive*, Best, 1994, 1995 ; Best, McRoberts et Goodell, 2001 ; Best, Hallé, Bohn et Faber, 2003) est centré sur la perception des *contrastes* non-natifs de la L2. La discrimination des contrastes dépend non seulement des patterns d'assimilation des phonèmes non-natifs dans les catégories natives, mais aussi du bon appariement (*goodness of fit*) des sons non-natifs avec les catégories natives. C'est sur la base de similarités articulatoires et phonétiques que les auditeurs perçoivent la qualité des sons non-natifs comme plus ou moins bons exemplaires des catégories de la langue maternelle, donc les assimilent plus ou moins fortement à des sons de la L1. Les différents patterns d'assimilation des deux sons L2 d'un contraste non-natif déterminent différents scénarios de discrimination.

Selon PAM, il y a trois types d'assimilation perceptive des segments non-natifs, où sont prises en considération les similarités et les dissimilarités entre les sons de la L1 et la L2 pour les dimensions phonologique et phonétique. Le premier type consiste en l'assimilation d'un son non-natif à une catégorie native : le son non-natif peut être (i) un bon exemplaire de la catégorie, (ii) un exemplaire acceptable mais non optimal ( $\approx$  prototypique), ou (iii) un exemplaire clairement déviant de la catégorie. Le deuxième type consiste en l'assimilation d'un son non-natif à un son de parole dans l'espace phonétique des articulations possibles dans la L1 mais qui ne peut être classé dans aucune catégorie native. Enfin, le troisième type est la non assimilation : le son non-natif ne peut pas être assimilé à un son de parole possible dans la L1.

À partir de ces trois types d'assimilation, PAM propose six scénarios de discrimination des contrastes non-natifs pour lesquels divers niveaux de performance sont prédits (Best, 1995 : 195) :

- a. Deux catégories de la L1 (*Two-category assimilation, TC*) : les deux sons du contraste non-natif sont assimilés chacun (premier type) à une catégorie native différente : la discrimination est prédite excellente.<sup>3</sup>
- b. Différence de qualité d'appariement (*Category-Goodness, CG*) : les deux sons non-natifs sont assimilés (premier type) à une même catégorie native mais ils diffèrent pour le type d'assimilation (par exemple, l'un est acceptable, l'autre déviant). La discrimination est prédite de modérée à très bonne, en fonction de la différence d'appariement à la catégorie native entre chacun des deux sons non-natifs.<sup>4</sup>
- c. Une seule catégorie (*Single Category, SC*) : les deux sons non-natifs sont assimilés (premier type) à la même catégorie native mais avec le même type d'assimilation : tous les deux sont également bons, également acceptables, ou également déviants). La discrimination est prédite mauvaise (bien qu'elle puisse être au-dessus du hasard).<sup>5</sup>
- d. Les deux sont non catégorisables (*Both Uncategorizable, UU*) : les deux sons non-natifs rentrent dans l'espace phonétique de la L1, mais ne sont pas catégorisables (deuxième type d'assimilation). La discrimination est prédite de mauvaise à très bonne selon la proximité phonétique entre les deux sons.<sup>6</sup>
- e. Non catégorisé versus catégorisé (*Uncategorized versus Categorized, UC*) : l'un des deux sons non-natifs est assimilé à une catégorie native (premier type), et l'autre non, bien que perçu comme un son de parole (deuxième type). La discrimination est prédite très bonne.<sup>7</sup>

---

<sup>3</sup> “Two-Category Assimilation (TC Type) Each non-native segment is assimilated to a different native category, and discrimination is expected to be excellent.” (Best, 1995 : 195).

<sup>4</sup> “Category-Goodness Difference (CG Type) Both non-native sounds are assimilated to the same native category, but they differ in discrepancy from native "ideal" (e.g., one is acceptable, the other deviant). Discrimination is expected to be moderate to very good, depending on the magnitude of difference in category goodness for each of the non-native sounds.” (Best, 1995 : 195)

<sup>5</sup> “Single-Category Assimilation (SC Type) Both non-native sounds are assimilated to the same native category, but are equally discrepant from the native "ideal", that is, both are equally acceptable or both equally deviant. Discrimination is expected to be poor (although it may be somewhat above chance level).” (Best, 1995 : 195)

<sup>6</sup> “Both Uncategorizable (UU Type) Both non-native sounds fall within phonetic space but outside of any particular native category, and can vary in their discriminability as uncategorizable speech sounds. Discrimination is expected to range from poor to very good, depending upon their proximity to each other and to native categories within native phonological space.” (Best, 1995 : 195)

<sup>7</sup> “Uncategorized versus Categorized (UC Type) One non-native sound assimilated to a native category, the other falls in phonetic space, outside native categories. Discrimination is expected to be very good.” (Best, 1995 : 195)

- f. Non assimilables (*Nonassimilable, NA*) : aucun des deux sons non-natifs ne sont perçus comme des sons de parole. Selon la distance auditive entre les deux sons, la discrimination est prédite de bonne à très bonne.<sup>8</sup>

Ainsi, la discrimination serait excellente lorsque les sons d'un contraste non-natif sont assimilés à deux catégories natives différentes (TC). Ou bien la discrimination serait d'autant meilleure que les degrés de bon appariement des deux sons du contraste non-natif avec une même catégorie native diffèrent, par exemple si l'un des deux sons du contraste partage davantage de traits phonétiques avec le son natif que l'autre (CG). La discrimination serait mauvaise ou difficile lorsque les sons d'un contraste non-natif sont assimilés en tant qu'équivalents à une même catégorie native avec le même degré de bon (ou mauvais) appariement (SC). Par exemple, les apprenants américains du français assimilent les voyelles françaises /y/ et /œ/ aux voyelles de l'anglais américain /u/ et /ʊ/, respectivement, correspondant au pattern de l'assimilation à deux catégories (TC) ; les voyelles du norvégien /y/ et /i/ sont assimilées à la seule voyelle /i/ de l'anglais américain avec des degrés de bon appariement similaires : il s'agit donc d'une assimilation SC (Best et al., 1996, 2003).

Alors que le modèle PAM s'est focalisé sur la perception des contrastes non-natifs par des auditeurs monolingues, qui n'étudient aucune langue étrangère et qui sont linguistiquement *naïfs* par rapport à la L2, Best & Tyler (2007) ont étendu PAM à la perception d'une langue seconde : PAM-L2. Les mêmes principes de PAM concernant les prédictions des assimilations perceptives sont applicables à PAM-L2, qui propose de prédire la probabilité d'acquisition de nouvelles catégories de la L2 chez l'apprenant, pour qui l'assimilation des sons non-natifs ne se réalise pas dans un niveau exclusivement perceptif mais plutôt phonologique (Tyler, 2019). Les auditeurs naïfs ne sont pas conscients des rapports entre distinctions phonétiques et distinctions phonologiques entre les sons non-natifs de la langue cible, alors que les apprenants se trouvent dans un processus d'élaboration d'une *interlangue*, où la composante phonologique est centrale dans la perception des sons non-natifs (Best & Tyler, 2007).

Plusieurs travaux ont effectué des tests de discrimination du type AXB afin de rendre compte des principes de PAM (Tyler, 2014). Ce type de tests consiste en un triplet de sons non-natifs où le participant doit indiquer si le deuxième son (X) est de la même catégorie que le premier (A) ou le troisième (B).

---

<sup>8</sup> "Nonassimilable (NA Type) Both non-native categories fall outside of speech domain being heard as nonspeech sounds, and the pair can vary in their discriminability as nonspeech sounds; discrimination is expected to be good to very good." (Best, 1995 : 195)

### 1.1.3 Modèle d'apprentissage de la parole (*Speech Learning Model, SLM*)

Le *Modèle d'apprentissage de la parole* de [Flege \(1995\)](#) a été formulé pour rendre compte du développement de catégories phonétiques spécifiques à une langue étrangère chez l'apprenant, notamment en production. Quelques années plus tard le modèle a aussi pris en considération le développement des catégories en perception ([Flege, 2003](#)). SLM s'est focalisé sur les limites des capacités qui sont liées à l'âge des apprenants pour produire et percevoir des sons d'une langue étrangère. Dans ce sens, SLM concerne plutôt les locuteurs adultes en situation d'apprentissage de niveau avancé.

Quatre postulats de base permettent de présenter les grandes lignes de SLM ([Flege, 1995 :239](#)), dont dérivent sept hypothèses :

**P1** : Les apprenants d'une langue étrangère utilisent les mêmes mécanismes et processus qu'ils ont utilisés pour l'acquisition de leur L1, y compris la formation de nouvelles catégories ; ces mécanismes et processus restent intacts au cours de la vie<sup>9</sup>

**P2** : Les aspects des sons de parole qui sont spécifiques à une langue, sont définis dans des représentations de la mémoire à long terme appelées *catégories phonétiques*.<sup>10</sup>

**P3** : Les catégories phonétiques établies pendant l'enfance pour les sons de la L1, évoluent au cours de la vie pour refléter les propriétés de tous les sons de la L1 ou de la L2 qui ont été identifiés comme une réalisation de chacune des catégories.<sup>11</sup>

**P4** : Les locuteurs bilingues s'efforcent de maintenir les contrastes entre les catégories phonétiques de la L1 et la L2 qui existent dans un espace phonologique commun.<sup>12</sup>

Les hypothèses dérivant des postulats ci-dessus visent à prédire les capacités des apprenants adultes à acquérir de nouvelles catégories phonétiques pour la perception et la production d'une L2. Les hypothèses que formule SLM sont :

---

<sup>9</sup> "P1: The mechanisms and processes used in learning the L1 sound system, including category formation, remain intact over the life span, and can be applied to L2 learning." ([Flege, 1995 :239](#)).

<sup>10</sup> "P2: Language-specific aspects of speech sounds are specified in long-term memory representations called phonetic categories". ([Flege, 1995 :239](#)).

<sup>11</sup> "P3: Phonetic categories established in childhood for L1 sounds evolve over the life span to reflect the properties of all L1 or L2 phones identified as a realization of each category." ([Flege, 1995 :239](#)).

<sup>12</sup> "P4: Bilinguals strive to maintain contrast between L1 and L2 phonetic categories, which exist in a common phonological space." ([Flege, 1995 :239](#))

**H1** : Les sons de la L1 et de la L2 sont perceptivement liés les uns aux autres à un niveau allophonique et sensible à l'effet de la position dans le mot, plutôt qu'à un niveau phonémique plus abstrait.<sup>13</sup>

**H2** : Une nouvelle catégorie phonétique peut être établie pour un son de la L2 qui diffère phonétiquement du son de la L1 le plus proche si les bilingues discernent au moins certaines des différences phonétiques entre les sons de la L1 et de la L2.<sup>14</sup>

**H3** : Plus la dissimilarité phonétique perçue entre le son de la L2 et le son de la L1 le plus proche est grande, plus il est probable que les différences phonétiques entre les sons seront discernées<sup>15</sup>.

**H4** : La probabilité pour que les différences phonétiques entre les sons de la L1 et de la L2, et celles entre les sons de la L2 qui ne sont pas contrastifs dans la L1, soient discernées diminue au fur et à mesure que l'âge du début de l'apprentissage augmente.<sup>16</sup>

**H5** : La formation d'une catégorie pour un son de la L2 peut être bloquée par le mécanisme de classification d'équivalence. Si cela est le cas, une seule catégorie phonétique sera utilisée pour traiter des sons de la L1 et de la L2 qui sont perceptivement liés (diaphones). Il s'ensuit que les *diaphones* se ressembleront en production.<sup>17</sup>

**H6** : La catégorie phonétique établie pour un son de la L2 par un bilingue peut être différente de celle établie par un monolingue, si : 1) la catégorie chez le bilingue "s'écarte" d'une catégorie de la L1 afin de maintenir le contraste phonétique entre catégories dans un espace phonologique commun à L1 et L2, ou 2) la représentation chez le bilingue est basée sur des traits ou des pondérations de traits différents de ceux utilisés par le monolingue.<sup>18</sup>

---

<sup>13</sup> "H1: Sounds in the L1 and L2 are related perceptually to one another at a position-sensitive allophonic level, rather than at a more abstract phonemic level." (Flege, 1995 :239).

<sup>14</sup> "H2: A new phonetic category can be established for an L2 sound that differs phonetically from the closest L1 sound if bilinguals discern at least some of the phonetic differences between the L1 and L2 sounds." (Flege, 1995 :239).

<sup>15</sup> "H3: The greater the perceived phonetic dissimilarity between an L2 sound and the closest L1 sound, the more likely it is that phonetic differences between the sounds will be discerned." (Flege, 1995 :239).

<sup>16</sup> "H4: The likelihood of phonetic differences between L1 and L2 sounds, and between L2 sounds that are noncontrastive in the L1, being discerned decreases as AOL [Age of Learning] increases." (Flege, 1995 :239).

<sup>17</sup> "H5: Category formation for an L2 sound may be blocked by the mechanism of equivalence classification. When this happens, a single phonetic category will be used to process perceptually linked L1 and L2 sounds (diaphones). Eventually, the diaphones will resemble one another in production." (Flege, 1995 :239).

<sup>18</sup> "H6: The phonetic category established for an L2 sound by a bilingual may differ from a monolingual's if: 1) the bilingual's category is "deflected" away from an L1 category to maintain phonetic contrast between categories in a common L1 - L2 phonological space; or 2) the bilingual's representation is based on different features, or feature weights, than a monolingual's." (Flege, 1995 :239).

**H7** : La production d'un son correspond finalement aux propriétés présentes dans la représentation de sa catégorie phonétique.<sup>19</sup>

Ces hypothèses montrent que SLM traite des sons simples plutôt que des contrastes non-natifs de la L2. D'autre part, la formation d'une nouvelle catégorie pour un son de la L2 dépend du degré de dissimilarité entre le son de la L2 et le son de la L1 le plus proche. Enfin, la production des sons de la L2, en particulier les erreurs de production, dépend des catégories phonétiques qui ont été développées perceptivement

En 1987, [Flege](#) a formulé des hypothèses concernant les sons de la L2 au cours de l'apprentissage selon qu'ils sont identiques, nouveaux ou similaires à des sons de la L1. Il a examiné la production des voyelles françaises /y/ et /u/ par des apprenants américains vivant en France depuis 10 ans. Pour Flege, les apprenants américains sont capables de produire la voyelle /y/ du français plus correctement que la voyelle /u/ : son explication est que le /y/ du français est un son « nouveau » alors que le /u/ du français est un son « similaire » étant donné sa ressemblance acoustique avec le /u/ de l'anglais. Plus tard, en réexaminant la distinction entre sons nouveaux et sons similaires pour des apprenants néerlandophones de l'anglais, [Flege \(1992\)](#) a proposé que le /ɪ/ de l'anglais est « identique » au /ɪ/ du néerlandais. La voyelle de l'anglais /æ/ est considérée comme « nouvelle » car elle n'existe pas en néerlandais. Les résultats ont montré qu'il était possible pour les hollandais d'apprendre des voyelles « nouvelles » comme celle de l'anglais /æ/, mais les résultats n'ont pas été concluants pour la difficulté prédite des voyelles « similaires » : deux voyelles considérées similaires (/v/, /ʌ/) entre les deux langues ont été produites assez bien, alors que deux autres voyelles, également « similaires » (/i/, /u/), ont été produites de manière incorrecte. L'inconsistance de ces données ont conduit Flege à ne pas retenir la distinction « nouveau-similaire-identique » dans le modèle SLM ([Flege, 1992 :162](#)).

Le *Modèle d'apprentissage de la parole révisé* (SLM-r) ([Flege & Bohn, 2021](#)) propose une mise à jour des prémisses théoriques développées dans SLM grâce aux nombreuses études scientifiques publiées au cours des dernières années. Bien que le modèle SLM-r nécessite une recherche prospective afin d'être évalué, il présente de nouvelles considérations importantes pour l'étude de l'acquisition des catégories phonétiques d'une langue étrangère, notamment en ce qui concerne la réorganisation du système phonétique de la L1 durant l'apprentissage des sons de la L2 ([Flege & Bohn, 2021](#)).

Entre SLM et SLM-r, les différences principales sont :

---

<sup>19</sup>«H7: The production of a sound eventually corresponds to the properties represented in its phonetic category representation.»

- a. *Apprenants d'une L2 jeunes vs. adultes* : SLM-r ne tient plus compte des différences entre les deux populations, étant donné que les différences entre les apprenants adultes et les natifs de la L2 ne seraient pas attribuables à une perte de plasticité neuronale chez les apprenants adultes. En outre, [Flege et Bohn](#) considèrent que l'hypothèse de la *période critique*, basée sur l'évaluation de l'accent étranger des apprenants, est « erronée et incomplète » (2021 :24). L'exemple de l'immigrant sert à expliquer leur point de vue : lorsque l'immigrant arrive après la puberté dans un pays où la langue dominante est L2, son accent étranger est normalement plus fort que celui d'un immigrant qui serait arrivé plus jeune dans le pays. Cependant, il a été démontré que des immigrants arrivés jeunes parlent la L2 avec un accent étranger détectable, même après plusieurs années de pratique de la L2. De plus, l'accent étranger des immigrants peut se cristalliser s'ils ne reçoivent pas assez d'input en L2, ou bien s'ils reçoivent trop d'input avec accent étranger.
- b. *Niveau terminal de l'apprentissage de la L2* (“end state learning”) : SLM-r ne considère plus la notion de *niveau terminal* de l'apprentissage de la L2, car il est nécessaire d'examiner les niveaux initiaux de l'acquisition de la L2 afin de mieux comprendre les processus de formation de nouvelles catégories. Pour SLM, la population visée était celle des locuteurs expérimentés en L2, mais les postulats récents de SLM-r suggèrent qu'il est impossible pour des apprenants avancés de percevoir et produire les sons de la L2 exactement comme les natifs. D'après [Broersma \(2005 ; voir Flege & Bohn, 2021 :25-26\)](#), les différences d'exposition aux sons de la L2 peuvent générer elles-mêmes des différences subtiles entre les locuteurs non-natifs et les natifs, même chez les apprenants expérimentés et même pour les sons de la L2 qui sont censés être faciles.

Par ailleurs, les postulats de SLM-r ne comportent plus le rapport de dépendance où la perception domine la production. SLM-r ne considère plus cette hiérarchie, et propose plutôt que la perception et la production évoluent de manière complémentaire. D'autre part, la formation de catégories phonétiques est toujours possible tout au long de la vie, sans prendre en considération l'âge du début de l'apprentissage de la L2. Si une nouvelle catégorie phonétique ne peut pas être formée pour un son de la L2 différent phonétiquement du son le plus proche de la L1, un composite de la catégorie phonétique est formé, issu des deux langues.

Finalement, SLM se concentrait sur les différences entre les groupes de locuteurs, alors que SLM-r s'intéresse aux individus eux-mêmes, à la façon dont ils apprennent les sons de la L2, et au rôle de l'apprentissage de la L2 sur leur perception et production de sons de la L2. Ceci est



considéré comme fondamental en raison des différences individuelles entre apprenants dans l'acquisition de la L2 à partir des catégories phonétiques de la L1, et aussi parce que l'observation des groupes peut éclipser les différences entre individus.

#### *1.1.4 Modèle de perception sélective et automatique (Automatic selective perception, ASP)*

Le *Modèle de perception sélective automatique* de [Strange \(2011\)](#) propose d'expliquer les différences entre la perception des sons natifs et celle des sons non-natifs chez des auditeurs adultes naïfs et chez des apprenants adultes de la L2. Contrairement aux modèles présentés précédemment, le modèle ASP traite des *actes de perception* déterminés par diverses variables : sujet, tâche et stimulus. Il s'agit de détailler les activités perceptives de manière plus précise par rapport au seul traitement des patterns acoustiques qui permettent d'extraire les caractéristiques phonétiquement pertinentes pour la tâche à effectuer par le sujet-auditeur. En effet, les auditeurs naïfs peuvent discriminer des contrastes non-natifs à partir d'informations phonétiques précises lorsque les stimuli sont simples et que la tâche attire leur attention sur les paramètres acoustiques appropriés. Mais lorsque les stimuli deviennent complexes et les tâches sont proches des situations rencontrées dans la vie réelle, les auditeurs sont moins performants.

Selon [Strange \(2011\)](#), en manipulant les variables expérimentales, il est possible de mieux comprendre la façon dont l'auditeur traite les informations phonétiques ainsi que le type d'informations extraites dans les différentes conditions expérimentales. En définitive, il s'agit de prédire et de décrire des patterns comportementaux au fur et à mesure qu'ils révèlent la nature des processus d'extraction des informations phonétiques à partir des données acoustiques et des formes phonologiques identifiés dans la L1 et la L2.

Les procédés de perception des auditeurs naïfs sont vus comme des *routines de perception sélective* (Selective perception routines, SPRs) de leur langue maternelle dans le but de détecter les informations les plus pertinentes pour la reconnaissance des séquences phonologiques.

Dans ASP, il existe deux types de traitement pour la perception : un traitement automatique et un traitement conscient, attentionnel. Le traitement automatique est celui que réalise l'auditeur natif dans sa L1 à l'aide des routines de perception sélective. Chez l'auditeur non-natif, les routines de perception sélective développées pour sa L1 ne sont pas efficaces pour



interpréter les sons de la L2 et il doit avoir recours à un traitement attentionnel pour accéder aux informations phonétiques des sons de la L2.

Pour l'apprentissage de la L2, ASP propose la formation de nouvelles routines de perception sélective afin d'optimiser la détection des informations phonétiques et acoustiques les plus fiables pour la reconnaissance des syllabes constituant les mots de la L2. Plusieurs études sur la perception de contrastes vocaliques non-natifs considérés comme difficiles (Flege, 1995 ; Levy, 2009 ; Levy & Strange, 2008) montrent que les expériences d'immersion ne démontrent pas clairement la formation de nouvelles SPRs chez les apprenants. Selon Strange (2011), plusieurs de ses travaux n'ont pas montré de corrélation significative entre les performances de perception des apprenants non-natifs de l'anglais américain et la durée de résidence aux États-Unis (pays de la L2) ni entre les performances de perception et l'utilisation quotidienne de la L2. Mais, dans d'autres études, Strange a trouvé une corrélation entre perception correcte et maîtrise de l'anglais.

Le modèle ASP propose également des éléments de méthode pour l'apprentissage de la L2 par le biais de procédures expérimentales utilisant du matériel de parole continue ainsi que plusieurs types de tâches perceptives pour développer et consolider l'automatisation des routines de perception sélective de la L2.

Afin de récapituler les quatre modèles sur l'acquisition des sons d'une langue étrangère, nous reprenons les grands points théoriques principaux qui sont commun à ces modèles :

- La perception des sons non-natifs est systématiquement en rapport avec la connaissance phonétique et phonologique de l'apprenant, connaissance qui résulte de son expérience linguistique.
- L'apprentissage de nouveaux sons non-natifs n'est pas contraint par l'âge de l'apprenant ; l'apprentissage peut avoir lieu à l'âge adulte.
- Certains sons non-natifs peuvent être perçus comme faciles ou difficiles selon leurs similarités ou dissimilarités avec les catégories phonétiques de la L1.
- L'aspect le plus important est la spécification des catégories de sons sur plusieurs niveaux de représentation : phonétique, allophonique, ou phonémique.

Dans le Tableau 1, nous présentons les principales différences entre les modèles.

	<b>NLM</b>	<b>PAM</b>	<b>SLM</b>	<b>ASP</b>
<b>Auteur(s)</b>	Kuhl & Iverson	Best	Flege	Strange
<b>Langue cible</b>	L1 et L2	L2	L2	L2
<b>Sujets</b>	Naïfs, débutants et avancés	Naïfs, débutants et avancés	Avancés ( <i>débutants pour SLM-r</i> )	Naïfs et avancés
<b>Patterns non-natifs examinés</b>	Sons simples	Contrastes et sons simples	Sons simples	Sons simples
<b>Prédictions</b>	Attraction vers les catégories de la L1 ( <i>magnet effect</i> )	Assimilation perceptive dans le système phonologique de la L1	Assimilation dans des catégories de la L1 par similarités phonétiques	Non précisé, sauf pour les réponses comportementales de perception
<b>Formation de nouvelles catégories</b>	Possible mais il n'y aurait plus l'effet magnet	Possible mais pour les contrastes non assimilés	Oui. D'autant plus probable que les sons de L2, différent de ceux de la L1.	Non. Formation de routines de perception sélective (SRPs).

**Tableau 1.** Comparaison des quatre modèles d'acquisition d'une langue étrangère dans leurs grandes lignes.

Ayant considéré dans ce chapitre les approches majeures sur les processus d'acquisition des unités phonétiques et phonologiques d'une langue étrangère, et puisque nous nous intéressons à expliquer par ces modèles nos données de perception et de production des voyelles nasales du FLE par des sujets hispanophones, il nous est maintenant nécessaire d'établir un état de l'art sur les systèmes vocaliques du français et de l'espagnol, ce que nous allons aborder au chapitre suivant.

## CHAPITRE 2

# Systemes vocaliques du français et de l'espagnol

### Résumé

*Ce chapitre présente une description des systèmes vocaliques du français contemporain et de l'espagnol. Pour le français, une description générale est réalisée sur l'inventaire des voyelles de son système phonologique, et ensuite une présentation plus précise concernant la définition des voyelles nasales aux niveaux articulatoire, acoustique et perceptif. Pour l'espagnol, la description de son système vocalique inclut une caractérisation de l'espagnol d'Espagne et de Colombie. Le système vocalique de l'espagnol est invariable selon les dialectes, mais les variations ont été observées en situation de langues en contact. En outre, il existe des différences majeures entre les deux langues en matière de nasalisation vocalique.*

*De ces différences phonologiques entre les deux langues, et en nous appuyant sur les modèles exposés au chapitre précédent, nous émettons à la fin de ce chapitre les principales hypothèses de notre étude sur la difficulté de perception des voyelles nasales françaises par des sujets hispanophones, dépendant de la voyelle nasale, de sa position, et du niveau de langue de ces sujets. A ces difficultés de perception sont supposées être associées des difficultés de production, principalement sous la forme de voyelles nasales plus longues chez les hispanophones, en raison d'un degré de consonantisation plus important par rapport à celui de sujets natifs.*

## 2.1 Les voyelles du français contemporain

Le système phonologique du français possède seize voyelles dont douze sont des voyelles orales (/i, y, e, ø, ə, ε, œ, a, ɔ, o, u/), et quatre sont des voyelles dites nasales (/ẽ, œ̃, ã, õ/), « oralo-nasales » d'après Léon (2011), ou « oro-nasales » car il n'existe pas de voyelles « nasales » au sens strict (Delvaux, 2012). Le français est une des langues indoeuropéennes possédant des voyelles nasales ainsi que le polonais, le portugais, et le breton (Carton, 1983).

Cependant, le système vocalique du français contemporain présente une réduction de ses unités à dix voyelles orales (/i, y, e, ø, ε, œ, a, ɔ, o, u/) et trois voyelles nasales (/ẽ, ã, õ/); plusieurs auteurs attestent de cette simplification en raison de neutralisations phonologiques (Lyche 2010; Léon 2011), et des tendances évolutives du français (Carton 2000). L'opposition de /a/ et /ɑ/ ne se présente presque plus dans la production orale de la nouvelle génération de locuteurs français; la première est une voyelle antérieure et la deuxième, une voyelle dite postérieure. On constate donc une neutralisation au profit de /a/ (Léon, 2011). Par ailleurs, le statut phonologique de /ə/ a généré plusieurs débats concernant sa singularité de pouvoir apparaître ou disparaître selon l'entourage et le registre de langue (Carton, 1983:63). Quant à la voyelle nasale /œ̃/, elle est présente selon une norme régionale (Detey & Le Gac 2010), mais elle est aussi considérée comme une voyelle en voie de disparition (Lyche 2010).

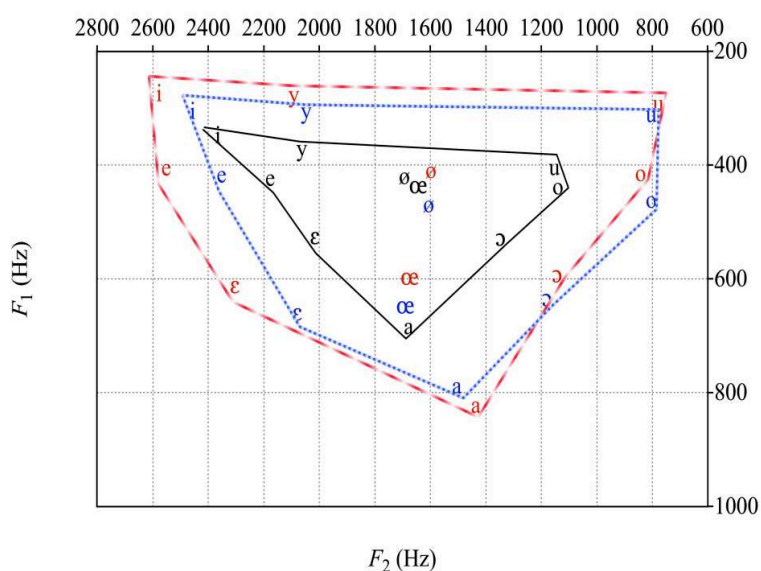
Dans le Tableau 2, nous présentons le système phonologique du français pour les dix voyelles orales.

Lieu d'articulation Degré d'aperture	<i>antérieur</i>		<i>postérieur</i>
	<i>non arrondie</i>	<i>arrondie</i>	<i>arrondie</i>
<i>fermé</i>	<b>i</b>	<b>y</b>	<b>u</b>
<i>Semi-fermé</i>	<b>e</b>	<b>ø</b>	<b>o</b>
<i>Semi-ouvert</i>	<b>ε</b>	<b>œ</b>	<b>ɔ</b>
<i>ouvert</i>	<b>a</b>		

**Tableau 2.** Voyelles orales du français selon trois dimensions d'articulation : lieu d'articulation de la langue, aperture, et labialité.  
(Tableau élaboré par l'auteur de la présente thèse).

Actuellement, la littérature en phonétique française dispose des valeurs formantiques de référence des voyelles du français. Par exemple, l'ouvrage du groupe [Calliope \(1989\)](#) présente les valeurs des formants des dix voyelles en contexte [pV] et [pVʁ] : les voyelles /y, e, ø, o, u/ étaient réalisées dans le contexte [p\_], et les voyelles /i, ε, œ, a, ə/ dans le contexte [p\_ʁ]. Il faut considérer que les valeurs de ces dernières voyelles peuvent subir l'effet de la coarticulation du /ʁ/. Pareillement, les données de [Gendrot et Adda-Decker \(2005\)](#) ont été obtenues sur un grand corpus d'émissions radiophoniques et télévisées. Plus récemment, le corpus du groupe PhoDiFLE ([Landron et al., 2011 ; Georgeton et al., 2012](#)) du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) de l'Université Sorbonne Nouvelle, a publié les valeurs de formants de toutes les voyelles du français parisien, prononcées en contexte isolé [CVCVCVC] par 40 locutrices natives.

La figure 1 montre une comparaison des triangles vocaliques sur le plan F1-F2 selon les données des trois références ci-haut mentionnées. [Georgeton et al. \(2012\)](#) présentent des valeurs de formants plus extrêmes que celles de [Calliope \(1989\)](#) et [Gendrot et Adda-Decker \(2005\)](#), car ces voyelles ont été calculées à partir de voyelles hyperarticulées hors contexte. En contexte isolé, les voyelles peuvent occuper des positions acoustiques plus extrêmes. En revanche, les valeurs de formants de [Gendrot et Adda-Decker \(2005\)](#) montrent une réduction de l'espace vocalique en raison de l'effet de l'articulation en parole continue.



**Figure 1.** Comparaison des valeurs de F1 et F2 des voyelles françaises pour les données d'après [Calliope \(1989\)](#) (en bleu), [Gendrot & Adda-Decker \(2005\)](#) (en noir), et [Georgeton et al. \(2012\)](#) (en rouge). Tiré de [Georgeton et al. \(2012\)](#).

Récemment, on peut trouver dans des manuels de phonétique le système de voyelles nasales du français standard constituant trois voyelles nasales uniquement : une antérieure, /ɛ̃/ comme dans *lin*, et deux postérieures, /ɑ̃/ et /ɔ̃/ dans *lent* et *long* respectivement (Hansen, 2001). En effet, on a signalé souvent une confusion de la voyelle nasale /œ̃/ au profit de /ɛ̃/ (Carton, 2000 ; Léon, 2011), dont sa disparition est attribuée au faible rendement fonctionnel de l'opposition /ɛ̃/ et /œ̃/ (Martinet, 1945, 1985). Les exemples servant à illustrer cette opposition tels que *brin/brun* ou bien *empreint/emprunt*, deviennent caducs et la seule présence du phonème /œ̃/ se manifeste dans l'article, *un* (Léon, 2011). Enfin, la différence entre ces deux voyelles nasales, /œ̃/ et /ɛ̃/, du point de vue perceptif, est que l'on perçoit /œ̃/ moins nettement (Carton, 1983 : 62). On constate également d'autres variations phonétiques par rapport à la voyelle nasale /ɑ̃/ présentant un déplacement vers /ɔ̃/ (Carton, 2000 ; Lyche, 2010 ; Hansen, 1998), et /ɔ̃/ à son tour tend à se fermer. Pour Hansen (2001), ces réalisations phonétiques des « variantes décalées vers l'arrière » ont plus tendance à se générer en position accentuée qu'en position inaccentuée d'un mot. Pour ce même auteur, /œ̃/ n'est pas complètement intégré en /ɛ̃/, mais ce phonème manifeste des « variantes décalées » en /ɛ̃/ et aussi en /œ̃-ɛ̃/, ce qui rendrait sa description phonologique très liée, dans une période d'évolution constante, des processus de neutralisations phonologiques comme nous l'avons signalé.

### 2.1.1 La nasalité vocalique

L'aspect de la nasalité vocalique est caractéristique du français, comme dans d'autres langues indoeuropéennes comme le breton, le polonais et le portugais. En espagnol, au contraire, cet aspect est inexistant, mais son inventaire phonologique répertorie l'aspect de la nasalité consonantique, et la diffusion de ce trait peut se présenter dans des processus de coarticulation et d'assimilation aux voyelles contextuellement proches (Detey et al., 2010). Effectivement, les voyelles qui sont entre deux consonnes nasales peuvent présenter un indice considérable de nasalisation, comme dans le mot espagnol *semana* (Hualde & Colina, 2014 :102). La nasalité vocalique constitue un des traits distinctifs du français qui peut changer un phonème en un autre phonème, comme l'opposition phonologique entre *cinq* [sɛ̃k] et *sec* [sɛk] qui se distinguent par la présence ou l'absence de nasalité vocalique, ou dans *boue* [bu] et *doux* [du] qui s'opposent à *pou* [pu] et *toux* [tu] respectivement par l'absence ou présence du voisement (Delattre 1965).

Le trait distinctif représente un ensemble de propriétés d'un phonème qu'on peut identifier sommairement dans le tableau de l'Alphabet Phonétique International. La classification proposée des unités phonémiques montre des caractéristiques particulières à

chaque unité, notamment en fonction, par exemple, de leur mode d'articulation (occlusive, vibrante, nasale, battue, fricative, fricative latérale, approximante, approximante latérale), et leur lieu d'articulation (bilabiale, labiodentale, dentale, alvéolaire, post-alvéolaire, rétroflexe, palatale, vélaire, uvulaire, pharyngale, glottale). En effet, « on ne perçoit, en tant que catégorie définissant une unité des sons d'une langue, que les caractéristiques phoniques *susceptibles de distinguer des mots différents* », et ces catégories déterminées par une fonction distinctive, s'appellent des « phonèmes » (Brandao de Carvalho, Nguyen, et Wauquier, 2010:69). Donc, les propriétés d'un phonème correspondent à l'ensemble de traits distinctifs qui réunissent des aspects (Brandao de Carvalho *et al.*, 2010:70) :

- communs à un certain nombre de sons en distribution complémentaire,
- nécessaires et suffisants pour opposer ces sons à tous les autres sons qui ont la même distribution et dont la substitution est susceptible de changer le sens des mots.

Pour Troubetzkoy (1967), les oppositions entre segments forment des oppositions binaires, et il en relève deux possibilités : les deux phonèmes se distinguent par l'absence ou présence d'un élément et vice-versa : par exemple, l'opposition entre /p/ et /b/ représente une opposition dite privative, car le trait qui les sépare c'est celui du voisement : /p/ contient le trait [sourd] qui manque à /b/, ou c'est /b/ qui a le trait [voisé] qui manque à /p/. L'autre possibilité porte sur une opposition équipollente où certaines paires de phonèmes ont tous leurs traits en commun, à l'exception d'un trait (ou deux ou plus) qui les distingue.

L'aspect nasal constitue un trait distinctif qui est relié aussi bien aux systèmes vocaliques qu'aux systèmes consonantiques des langues du monde. La nasalité vocalique constitue un trait distinctif qui est employé dans 22,62% de langues dans le monde d'après la base de données UPSID ; il y a 63 phones portant la nasalité vocalique correspondant au 6,86% des 919 phones inventoriés<sup>20</sup>. Par contre, le trait de nasalité consonantique est présent dans la majorité des langues (Maddieson 1987), soit un pourcentage de 98%.

La plupart des consonnes nasales se réalisent avec une obstruction dans le conduit vocal en plus de l'abaissement du voile du palais. Le lieu d'articulation des consonnes nasales le plus commun est dental-alvéolaire (Maddieson 1987). D'autre part, les voyelles nasales n'impliquent pas une obstruction dans le conduit vocal, et selon une configuration articulaire spécifique à chacune d'elles par rapport à la langue et aux lèvres, elles sont réalisées aussi avec un abaissement du voile du palais.

---

<sup>20</sup> La base des données UPSID est consultable à [http://web.phonetik.uni-frankfurt.de/upsid\\_find.html](http://web.phonetik.uni-frankfurt.de/upsid_find.html).

Chomsky et Halle (1968 :316) fournissent une description du trait [nasal] sur un plan articulatoire, mais leur définition se limite au mouvement du voile du palais, dont l'abaissement permettrait la production des sons nasals [+nasal] ; le voile du palais relevé supposerait la production des sons oraux exclusivement [-nasal] :

*« Nasals sounds are produced with a lowered velum which allows the air to escape through the nose; non nasal sounds are produced with a raised velum so that the air from the lungs can escape only through the mouth ».*<sup>21</sup>

Cependant, comme l'observe Van Reenen (1982), l'utilisation du terme « air » pourrait générer des confusions, vu que le passage de l'air par les fosses nasales n'est pas suffisant pour la production d'un son nasal. Nécessairement, la nasalité vocalique exige des précisions descriptives tant au niveau articulatoire qu'aux niveaux acoustique et perceptif.

Finalement, quant à la distinction entre les voyelles nasales elles-mêmes, nous trouvons, d'après les spécifications de Delattre (1965), qu'il est possible d'utiliser deux traits distinctifs pour les comparer : antérieur/postérieur en tant que trait lingual, et écarté/arrondi pour le trait labial. En termes de propriétés phonétiques, la distinction est déterminée par l'aperture, le lieu d'articulation, et l'arrondissement (Ladefoged et Maddieson, 1996), ce qui permet de mentionner également le trait de la hauteur.

### 2.1.2 Définition de la nasalité vocalique du point de vue articulatoire

La nasalité vocalique peut être définie comme l'abaissement du voile du palais représentant une forme arquée, caractéristiques des voyelles nasales (Delattre, 1965), de sorte que le voile du palais est détaché de la paroi pharyngée. Cet abaissement met en communication la cavité nasale et la cavité pharyngale permettant le passage d'air pour la production des voyelles nasales.

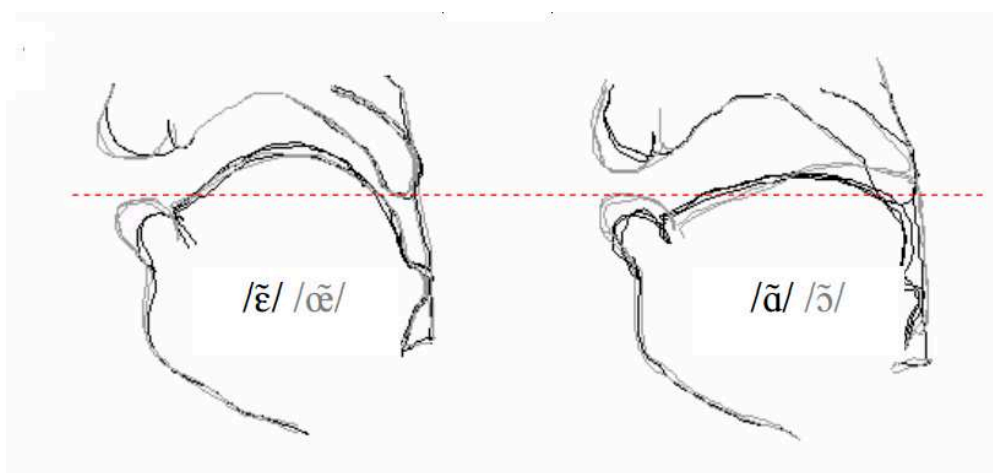
La Figure 2 montre une comparaison de l'articulation des voyelles nasales chez une locutrice belge, à gauche pour les voyelles antérieures /ẽ/ et /œ̃/ et à droite, les voyelles postérieures /ã/ et /õ/. Étant très proches au niveau phonétique, la voyelle /ẽ/ se distingue de /œ̃/ seulement par la position des lèvres. La voyelle /ã/ est plus ouverte et moins postérieure que /õ/. Pour Delvaux (2012), la position élevée de la langue pour /õ/ peut déterminer une élévation plus

---

<sup>21</sup> Les sons nasals sont produits avec le voile du palais abaissé permettant la sortie de l'air par le nez. Les sons non nasals sont produits avec le voile du palais relevé pour que l'air provenant des poumons puisse sortir uniquement par la bouche. Traduction de l'auteur.

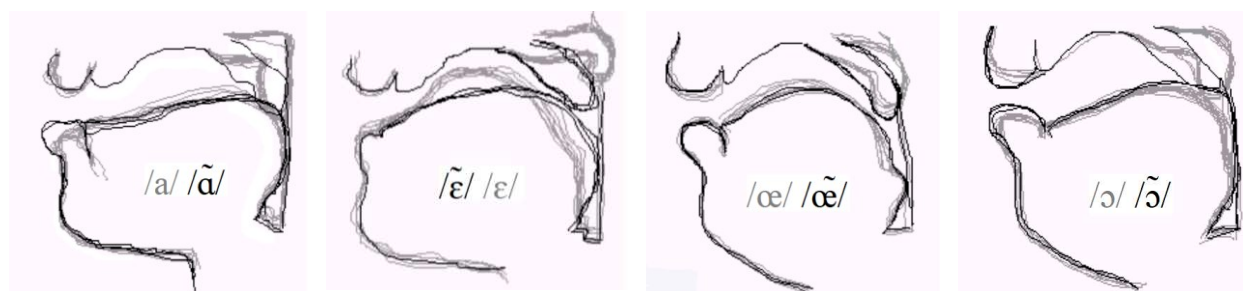


importante du voile du palais pour cette voyelle, alors que le voile du palais semble descendre le plus pour /ã/<sup>22</sup>.



**Figure 2.** Profils articulatoires des voyelles nasales issus des données IRM dans des séquences VVV par un sujet féminin : à gauche, les voyelles antérieures /ẽ/ (en noir) et /œ/ (en gris), et à droite, les voyelles postérieures /ã/ (en noir) et /õ/ (en gris) D'après [Delvaux \(2003\)](#).

L'articulation des voyelles nasales par rapport à celle des voyelles orales se distingue notamment par l'abaissement du voile du palais, mais il y a aussi une configuration orale, donc les articulations linguale et labiale s'intègrent au trait nasal.



**Figure 3.** Profils articulatoires comparés entre les voyelles orales (en gris) et les voyelles nasales « correspondantes » (en noir). De gauche à droite : /a/-/ã/, /ẽ/-/ẽ/, /œ/-/œ/, /ɔ/-/õ/. Données IRM dans des séquences VVV par un sujet féminin. D'après [Delvaux, Metens et Soquet \(2002\)](#).

La Figure 3 montre les profils superposés des voyelles orales et nasales afin de comparer les trois propriétés phonétiques de leur articulation. Pour /ẽ/, le degré d'ouverture est majeur par

<sup>22</sup> Même si cette étude se centre sur les trois voyelles nasales du français parisien, il nous semble convenable de proposer théoriquement une définition au niveau articulatoire, acoustique ainsi que perceptif, des quatre voyelles nasales existantes en français.

rapport à /ɛ/, et il est plus postérieur (Delvaux et al., 2002) ; la voyelle correspondante serait plutôt [æ] (Carton, 1983:39). Zerling (1984) indique qu'il y a, pour /ẽ/ par rapport à /ɛ/, un recul horizontal de la langue vers l'arrière. Pour /ã/, la langue recule un peu plus que pour /a/, la cavité buccale est plus proche de /o/ mais la différence réside dans l'arrondissement des lèvres (Delattre, 1965:98 ; Delvaux et al., 2002).

Quant à /œ̃/, son articulation linguale est très similaire à celle de /œ/. Toutefois, pour Delattre (1965), /œ̃/ présente un arrondissement plus prononcé, de même que Lonchamp (1988) observe une articulation semblable sur un des deux locuteurs concernant la comparaison de Zerling (1984). En revanche, Montagu (2007 : 88) précise que /œ̃/ et /œ/ comportent la même ouverture labiale, particulièrement pour les locuteurs qui discriminent encore la voyelle nasale, mais /œ̃/ présente une ouverture intermédiaire « entre /ɛ/ et /œ/, ni écartée ni arrondie pour le(s) locuteur(s) qui la confond(ent) avec /ẽ/ ».

Pour Delattre (1965), la cavité buccale de /õ/ ressemble à celle de /o/, la cavité pharyngale reste à peu près la même que pour /ɔ/ ; le degré d'aperture est très étroit et les lèvres plus arrondies que pour /ɔ/. Pour Delvaux et al. (2002), /õ/ est plus arrondie que la voyelle orale correspondante, et, particulièrement chez les femmes, /õ/ est plus postérieure et plus fermée que /ɔ/. Montagu (2007) signale, en plus de la postériorité par rapport à /ɔ/, que « les lèvres sont plus projetées et arrondies », que cette voyelle est « surlabialisée » ; ou bien qu'il y a « surlabialisation » selon Lonchamp (1988 :31).

Nous pouvons alors établir un tableau (Tableau 3) pour classer les caractéristiques articulatoires des voyelles nasales selon le degré d'aperture, la position de la langue, et la position des lèvres :

Lieu d'articulation Degré d'aperture	<i>antérieur</i>		<i>postérieur</i>
	<i>étirée</i>	<i>arrondie</i>	<i>arrondie</i>
<i>fermé</i>			
<i>semi-fermé</i>			<b>õ</b>
<i>semi-ouvert</i>	<b>ẽ</b>	<b>œ̃</b>	<b>ã</b>
<i>ouvert</i>			

**Tableau 3.** Classement des voyelles nasales du français selon la position de la langue et selon la position des lèvres.

### *2.1.3 Définition de la nasalité vocalique du point de vue acoustique*

De façon générale, sur le plan acoustique, le trait distinctif des voyelles nasales par rapport aux voyelles orales se définit d'abord par l'abaissement du voile du palais qui met en relation un système des résonateurs supra-laryngés tels que la cavité pharyngale, la cavité nasale et la cavité buccale pour la production des voyelles nasales (Delvaux, 2012).

Lorsque l'énergie acoustique provenant de la source glottique traverse le conduit vocal, sortant par la bouche et selon une configuration articuloire déterminée, on obtient un ensemble de résonances propres du conduit vocal. La structure acoustique des résonances concernant les voyelles orales, présente des bandes d'énergie appelées « formants » résultant de la fréquence de ces résonances. Pour les voyelles nasales, l'ouverture du port vélo-pharyngé s'ouvre et permet le couplage acoustique entre les cavités nasale et buccale produisant un amortissement de l'onde acoustique. Sur le plan spectral, il est possible de visualiser la présence des formants, que Delattre (1954) appelle « formants nasals », ainsi que des antiformants, car le couplage acoustique modifie la distribution des résonances. Cet amortissement acoustique fournit une diminution de l'intensité et représente un indice perceptif de la nasalité. En conséquence, la diminution d'intensité est un autre indice phonétique permettant de distinguer les voyelles nasales des voyelles orales.

Alors qu'il est possible d'établir une corrélation entre des indices articuloires et acoustiques pour les voyelles orales, l'analyse acoustique des voyelles nasales est pourtant plus complexe. Cependant, pour caractériser l'acoustique de la nasalité vocalique, Delattre (1954:106) signale une faible intensité du premier formant nasal, vers 250 Hz, ainsi que l'apparition d'un deuxième formant nasal vers 2000 Hz : plus ouvert est la voyelle, plus faible sera son amplitude. Quant au deuxième formant oral, il ne change presque pas son niveau d'intensité pour la nasalisation.

Les formants et les formants nasals sont appelés aussi « pôles » et les antiformants qui constituent les antirésonances sont appelés « zéros ». Lorsque la cavité nasale est intégrée au conduit vocal, la fonction de transfert renseigne l'apparition de pôles accompagnés de zéros. En fait, le degré du couplage modè le position fréquentielle de ces paires « pôle-zéro », et il est déterminé par l'abaissement du voile du palais. Cependant, il y a d'autres facteurs liés à la configuration du conduit vocal qui affectent le résultat acoustique du couplage ; chaque voyelle nasale possède des caractéristiques acoustiques qui lui sont spécifiques (Maeda 1993). Le couplage nasal dépend donc des caractéristiques articuloires des voyelles nasales et, pour autant de l'articulation dans le conduit buccal (Fant 1960 ; Lonchamp 1988 ; Maeda 1993).

A travers la modélisation acoustique du conduit vocal, plusieurs auteurs ont abordé les phénomènes acoustiques complexes, en l'occurrence celui de la nasalité, afin d'étudier plus en détail le fonctionnement articulaire des organes de la parole et les patterns acoustiques. [Maeda \(1993\)](#) par exemple, montre qu'il y a un aplatissement du spectre dans la zone entre le premier formant et le deuxième formant, entre 200 Hz et 2000 Hz. De plus, il a pu identifier quatre types de modifications spectrales qui rendent compte des caractéristiques spécifiques de nasalisation selon la voyelle.

Enfin, pour compléter cette caractérisation acoustique des voyelles nasales, [Delattre \(1954\)](#) rappelle qu'elles sont plus longues que les voyelles orales, notamment en syllabe fermée finale, la différence est très marquée ; mais dans les autres positions la différence est moins repérée.

Les tendances acoustiques des voyelles nasales par rapport aux voyelles orales peuvent se résumer ainsi :

- /a/ – /ã/ : [Delattre \(1965\)](#) constate ici l'abaissement de F1 et F2 pour /ã/. [Delvaux et al. \(2002\)](#) affirment que F2 est plus bas que pour /a/ et /ɑ/, ainsi que [Lonchamp \(1988\)](#) : parfois F1 et F2 peuvent fusionner en un seul pôle vers 900 Hz ([Delvaux et al., \(2002\)](#)). Pour [Delvaux et al. \(2002\)](#), l'arrondissement des lèvres peut contribuer à l'abaissement du F2.
- /ɛ/ – /ẽ/ : F1 est plus élevé ([Delattre, 1965](#)) et F2 est plus bas pour /ẽ/ ([Delvaux et al., 2002](#)). [Lonchamp \(1988\)](#) attribue le recul de la langue comme une condition pour l'abaissement de F2.
- /œ/ – /œ̃/ : Pour [Delattre \(1965\)](#), /œ̃/ a un premier formant plus haut que /œ/. De plus, les différences étant moins marquées entre la voyelle nasale et la voyelle orale, [Delvaux et al. \(2002\)](#) montrent qu'il y a un F1 plus élevé pour /œ̃/ et un F2 plus bas.
- /ɔ/ – /õ/ : [Delattre \(1965\)](#) indique le premier formant de /õ/ est comme celui de /ɔ/, et son deuxième formant ressemble à celui de /o/. Basé sur sa propre production, [Lonchamp \(1988\)](#) formule que /õ/ est une voyelle compacte qui possède un premier formant nasal à la place du deuxième formant oral. En revanche, pour [Delvaux et al. \(2002\)](#), un zéro tend à se placer sur F2.

### *2.1.4 Définition de la nasalité vocalique du point de vue perceptif*

L'indice perceptif le plus important de la nasalisation correspond à la réduction de l'intensité du premier formant (Fant 1960). En effet, d'après Delattre (1954), la diminution de l'intensité du premier formant fait ressortir l'intensité du deuxième formant se trouvant dans une région de hautes fréquences, ce qui fait qu'il y a perception d'un ton haut accompagnant les voyelles nasales.

Maeda (1993) indique que les voyelles fermées sont susceptibles d'être perçues comme nasalisées avec un faible degré de couplage, qui n'est pas le même pour les voyelles ouvertes qui ont besoin d'un degré de couplage majeur. Montagu (2007) a montré que la voyelle nasale la plus fermée, [ɔ̃], présente un pourcentage de nasalisation perçue le plus faible par rapport aux autres voyelles nasales.

Delvaux, Demolin, Soquet, & Kingston (2004) proposent que le couplage acoustique entre les cavités orale et nasale révèle une « compacité » correspondant à une dimension acoustique qui aide à la perception de la nasalité, soit une augmentation de la fréquence du F1. Mais ce caractère de compacité n'est pas suffisant pour percevoir une voyelle comme nasale ; il faut une autre dimension acoustique qu'ils appellent « gravité » : il s'agit d'une caractéristique acoustique que les voyelles nasales ont en commun, la postériorisation articulaire des voyelles nasales générant l'abaissement fréquentiel du deuxième formant.

## 2.2 Le système vocalique de l'espagnol

L'espagnol est un système simple et symétrique, composé de cinq phonèmes vocaliques correspondant à /i/, /e/, /a/, /o/, et u/, qui peuvent s'opposer entre eux-mêmes, par exemple : [péro] pero, « *mais* », [páro] paro, « *grève* », [póro] poro, « *pore* » [púro] puro, « *pure* ». Le système vocalique le plus commun dans les langues du monde est celui à cinq voyelles comme celui de l'espagnol, et parmi les systèmes symétriques, ils représentent la majorité (Maddieson, 2011).

L'espagnol présente trois paramètres articulatoires pour classer les voyelles :

- la position de la langue (antérieure/centrale/postérieure)
- l'aperture de la mandibule (pour classer les voyelles comme haute/moyenne/basse)
- et la position des lèvres (arrondies/non arrondies).

Le Tableau 4 montre l'organisation schématique sous forme de triangle afin de mieux caractériser les voyelles espagnoles. Au niveau vertical, il y a deux voyelles hautes /i/ et /u/, deux moyennes /e/ et /o/, et une voyelle basse /a/. Par rapport au niveau horizontal, il existe deux voyelles antérieures /i/ et e/, une voyelle centrale /a/, et deux voyelles postérieures /o/ et /u/. Les deux voyelles postérieures sont articulées avec un arrondissement des lèvres, et ce trait de labialité permet de les opposer aux autres voyelles.

	<i>antérieures</i>	<i>centrale</i>	<i>postérieures</i>
<i>hautes</i>	<b>i</b>		<b>u</b>
<i>moyennes</i>	<b>e</b>		<b>o</b>
<i>basses</i>		<b>a</b>	
	<i>non arrondies</i>		<i>arrondies</i>

**Tableau 4.** Les voyelles de l'espagnol. D'après Hualde & Colina (2014).

Cette schématisation fournit des informations relatives à la caractérisation acoustique de l'espagnol, étant donné que les deux premiers formants sont suffisants pour identifier les cinq voyelles (Hualde & Colina, 2014 ; Martínez Celdrán, 1995). Selon la variante dialectale, le timbre des voyelles ne varie pas (Quilis et Esgueva, 1983), et les différences entre dialectes sont

assez petites (Hualde & Colina, 2014). D'ailleurs, d'après Hualde et al. (2014 :283), le dialecte est un terme utilisé pour parler d'une diversité linguistique, associée à des lieux différents, dans une langue en particulier, et qui n'a pas de frontières géographiques définies comme les états ou les départements. Dans ce qui suit, nous présentons deux références du système vocalique de l'espagnol d'Espagne et de Colombie.

### 2.2.1 Le système vocalique de l'espagnol en Espagne

Plusieurs variations dialectales existent en Espagne, qui peuvent être classées comme l'espagnol septentrional et l'espagnol méridional. La Figure 4 montre ce classement dialectal entre la partie septentrionale et méridionale de l'Espagne, mais aussi pour d'autres variétés. Elles sont d'abord caractérisées par le *seseo*, où [s] prédomine sur /θ/, avec une confusion entre /s/ et /θ/, et par conséquent l'emploi massif de [θ]). Sont présentées dans cette figure d'autres variétés déterminées par langues régionales, et la zone du dialecte des îles Canaries.



**Figure 4.** Dialectes de l'espagnol en Espagne d'après García Mouton (1994). En violet foncé, les variétés septentrionales ; violet clair, les variétés méridionales ; en traits verticaux, les zones où la prononciation de /s/ prédomine au détriment de /θ/ (perte du contraste) ; en traits horizontaux, les zones où il y a une confusion entre /s/ et /θ/, et /θ/ tend à remplacer /s/ (perte du contraste) ; et en couleurs, les zones bilingues, où il existe une langue régionale.

Pour [Hualde et al. \(2014\)](#), la variante standard ou normative se place dans la partie centrale et au nord du pays : un contraste canonique du système consonantique de cette zone est l'opposition /s/ - /θ/, comme dans /r̄ósa/ - /r̄óθa/ (« rose » vs. « il frôle »). Cependant, dans cette zone, /θ/ est réalisé dans deux autres contextes comme <ct> comme dans /r̄éθta/ (« droite », pour une ligne), ou /diθtár/ (« dicter »). Ces réalisations ne font pas partie de la norme, mais elles sont communes dans plusieurs parties de la Castille (*Castilla*, d'où vient le castillan) même chez des personnes qui ont un haut niveau éducatif ([Hualde et al, 2014 :286](#)).

Les variations dialectales se trouvent au niveau consonantique et prosodique, mais ce n'est pas le cas au niveau vocalique, sauf pour la variante de l'Andalousie orientale. Cette variante andalouse orientale possède huit voyelles /i, e, ε, æ, a, ɔ, o, u/ ([Hualde, 2005](#)). Pour [Martínez Melgar \(1994\)](#), ces transformations de timbre dans les voyelles sont dues au processus d'aspiration du /s/ en fin de mot correspondant à la forme du pluriel des noms. Lorsque /s/ est aspiré en position finale de mot, la voyelle précédente a pour fonction d'assumer la charge sémantique du pluriel. [Martínez Melgar \(1994\)](#) a observé ce phénomène d'aperture notamment dans les villes de Jaén, Grenade et Almería, ainsi que dans 17 villages autour de ces villes d'Andalousie orientale.

Afin de caractériser le système vocalique espagnol, nous présentons les valeurs moyennes de F1 et F2 obtenues d'une population de 10 locuteurs espagnols (5 femmes et 5 hommes ; âge moyen 25 ans) lors de la production de cinq répétitions dans des logatomes (pamp/bVna, tant/dVna, kank/gVna, où V correspond à une des cinq voyelles de l'espagnol) ([Martínez Celdrán, 1995](#)). Le Tableau 5 présente les valeurs formantiques pour les locuteurs, et le Tableau 6, pour les locutrices. Dans la Figure 5, nous reproduisons les valeurs formantiques de [Martínez Celdrán \(1995\)](#) dans une représentation acoustique pour F1 et F2 en superposant les données correspondant aux locutrices (en vert) et aux locuteurs (en rouge).

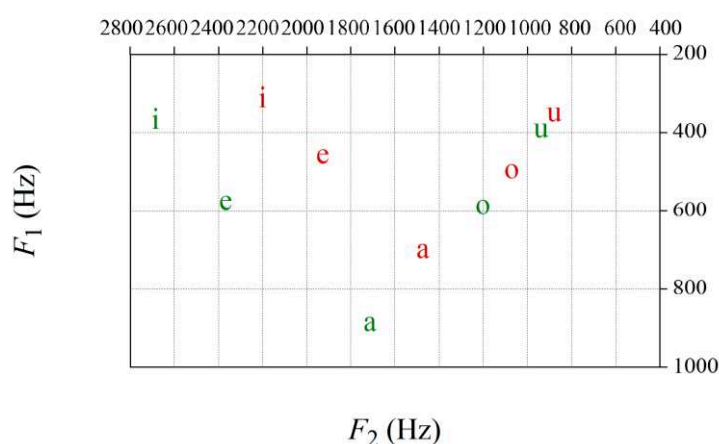
	<b>F1</b>	<b>ET</b>	<b>F2</b>	<b>ET</b>
<b>i</b>	313	29	2200	153
<b>e</b>	457	40	1926	117
<b>a</b>	699	83	1471	84
<b>o</b>	495	56	1070	114
<b>u</b>	349	38	877	128

**Tableau 5.** Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets masculins espagnols ([Martínez Celdrán, 1995](#)).



	<b>F1</b>	<b>ET</b>	<b>F2</b>	<b>ET</b>
<b>i</b>	369	50	2685	85
<b>e</b>	576	105	2367	96
<b>a</b>	886	90	1712	92
<b>o</b>	586	80	1201	148
<b>u</b>	390	48	937	158

**Tableau 6.** Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets féminins espagnols (Martínez Celdrán, 1995).

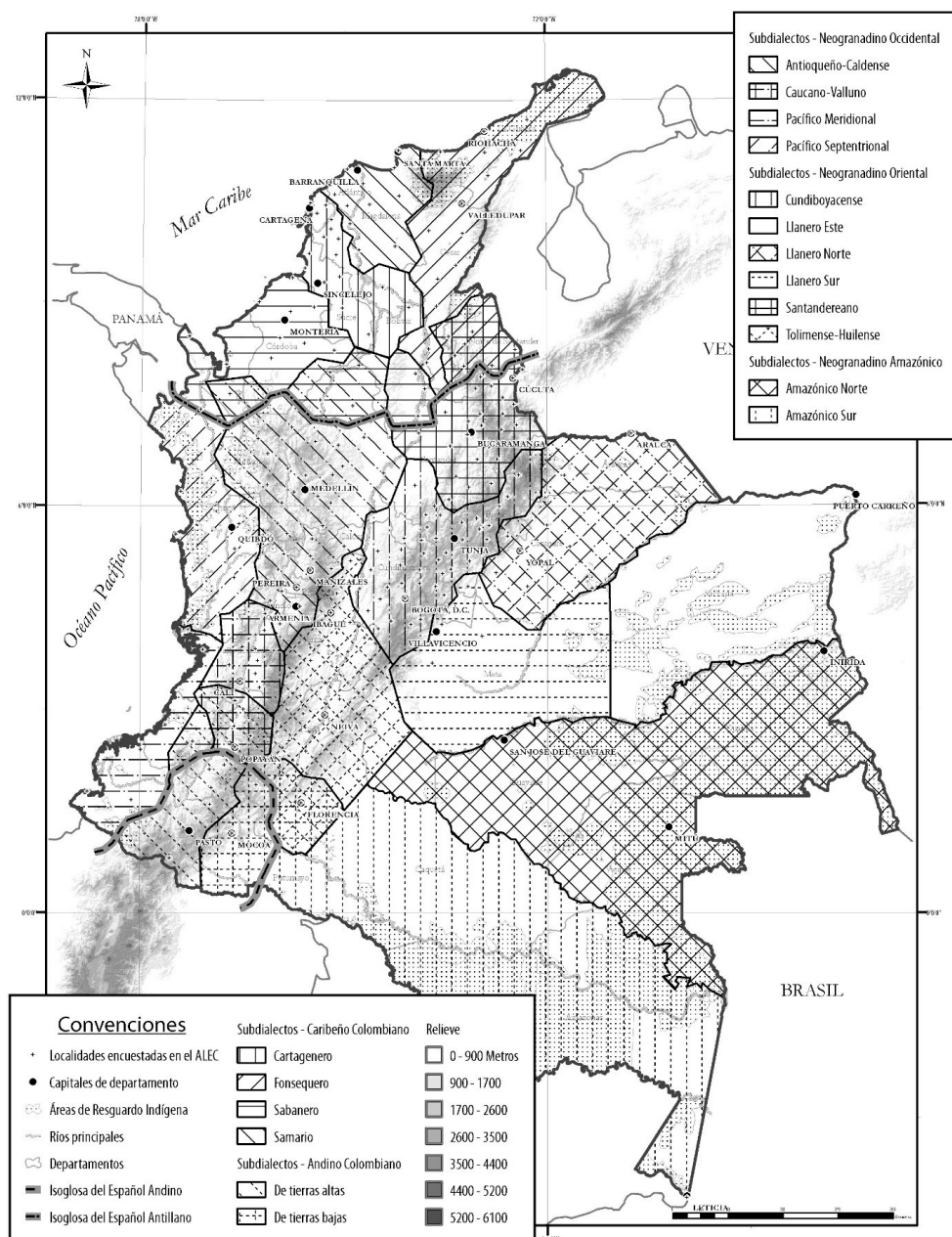


**Figure 5.** Triangle vocalique de F1 et F2 moyens des voyelles de l'espagnol à partir des valeurs formantiques de Martínez Celdrán (1995). Pour les locutrices, les voyelles sont représentées en vert, et pour les locuteurs, en rouge.

### 2.2.2 Le système vocalique de l'espagnol en Colombie

Le système phonologique de l'espagnol en Colombie connaît des variations dialectales qui nécessitent actuellement une redéfinition de leur étendue géographique (Ruiz Vásquez, 2020). La Figure 6 montre une proposition de redéfinition des sous-dialectes de l'espagnol colombien, et qui doit se compléter avec plus d'études dialectologiques que phonétiques.

Comme mentionné plus haut, le système vocalique de l'espagnol est invariable selon les dialectes (Quilis & Esgueva, 1987), mais les variations ont été observées en situation de langues en contact. Par exemple, Guion (2003) a trouvé une réduction vocalique chez des locuteurs bilingues espagnol-quechua en Équateur.



**Figure 6.** Distribution régionale des dialectes de l'espagnol en Colombie. D'après Ruíz Vásquez (2020).

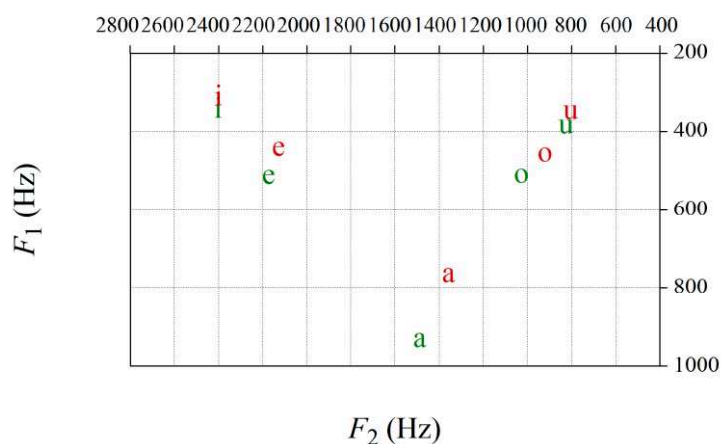
Afin de caractériser les voyelles de l'espagnol en Colombie, nous présentons les valeurs formantiques moyennes d'une étude descriptive Rangel, Chinchilla et Espinosa (2017) sur la production des cinq voyelles de l'espagnol par 111 participants (45 locuteurs et 66 locutrices) de plusieurs départements de la Colombie. Les valeurs moyennes des formants sont présentés dans les Tableaux 7 et 8. Nous présentons également une représentation acoustique pour le plan de F1 et F2 des voyelles de l'espagnol en Colombie à partir des données de Rangel et al. (2017) dans la Figure 7.

	<b>F1</b>	<b>ET</b>	<b>F2</b>	<b>ET</b>
<b>i</b>	311	N/D	2399	N/D
<b>e</b>	441	N/D	2126	N/D
<b>a</b>	764	N/D	1356	N/D
<b>o</b>	455	N/D	919	N/D
<b>u</b>	346	N/D	802	N/D

**Tableau 7.** Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets masculins colombiens (Rangel Navia et al. 2017).

	<b>F1</b>	<b>ET</b>	<b>F2</b>	<b>ET</b>
<b>i</b>	343	N/D	2401	N/D
<b>e</b>	512	N/D	2171	N/D
<b>a</b>	930	N/D	1486	N/D
<b>o</b>	509	N/D	1027	N/D
<b>u</b>	383	N/D	825	N/D

**Tableau 8.** Valeurs moyennes des formants F1 et F2 avec leurs écarts-types pour les cinq voyelles de l'espagnol produites par cinq sujets féminins colombiennes (Rangel Navia et al. 2017).



**Figure 7.** Triangle vocalique de F1 et F2 moyens des voyelles de l'espagnol à partir des valeurs formantiques de Rangel Navia et al. (2017). Pour les locutrices, les voyelles sont représentées en vert, et pour les locuteurs, en rouge.

D'après les figures 5 et 7, la comparaison qualitative des valeurs des deux premiers formants des voyelles de l'espagnol d'Espagne et de Colombie met en évidence que [e] et [o] sont réalisées comme plus fermées pour l'espagnol de Colombie que celui de l'Espagne.

Abordons à présent les phénomènes qui intéressent plus directement la problématique de cette recherche, à savoir le rapport à la nasalité qu'entretient la langue espagnole.

## 2.3 Nasalisation en espagnol

Le système vocalique espagnol ne possède pas de voyelles nasales, mais les voyelles orales ont cinq allophones nasals correspondant aux voyelles orales : /i/, /e/, /a/, /o/, /u/, dont leur allophones sont [ĩ], [ê], [ã], [õ], [ũ] en distribution complémentaire (Quilis, 2006).

Le trait de nasalité en espagnol se manifeste avec trois phonèmes consonantiques, qui se réalisent avec le voile du palais abaissé permettant la sortie du flux d'air par le nez et obstruant partiellement la sortie du flux d'air par la cavité buccale. Nous constatons les phonèmes suivants :

- une consonne bilabiale /m/ : [káma] *cama* « lit »,
- une consonne alvéolaire /n/ : [kána] *cana* « cheveu blanc »,
- et une consonne palatale /ɲ/ : [káɲa] *caña* « canne ».

Quilis (2006) présente ces consonnes comme des phonèmes qui s'opposent lorsqu'ils se trouvent en position syllabique pré-nucléaire ou explosive, c'est le cas des mot comme *tima*, *tina*, *tiña*, ou bien *mama*, *mana*, *maña*. Cependant, lorsqu'ils se trouvent en position syllabique post-nucléaire ou implosive, ils perdent leurs traits distinctifs donnant lieu à une neutralisation des trois phonèmes nasals ; on a à faire à un archiphonème [N] conservant le trait de nasalité. Étant donné que ces phonèmes ne peuvent plus s'opposer dans cette position syllabique, certaines assimilations vont se produire comme résultat du processus de coarticulation avec la consonne suivante.

Cet auteur signale deux explications qui motivent ces réalisations : d'abord, c'est le fait qu'il n'y a plus de distinctions phonologiques en position post-nucléaire, de sorte que le lieu d'articulation n'est plus pertinent ; et d'autre part, comme les phonèmes nasals ne s'opposent plus dans cette position, ce qui compte c'est qu'il y ait une occlusion buccale tout en conservant une résonance nasale.

Nous présentons les allophones suivants tenant compte des diverses assimilations :

- Bilabial, [m] : il se produit lorsque la consonne nasale est suivie d'une occlusive bilabiale, [p], [b], ou [m]. Par exemple :

[úN básɔ] [’ũm ‘baso] *un vaso* « *un verre* »

[úN pié] [’ũm pj’e] *un pie* « *un pied* »

[úN més] [’ũm ‘mes] *un mes* « *un mois* »

- Labiodental, [m] : lorsque la consonne nasale est devant [f] ; il s’agit d’une articulation de la lèvre inférieure contre les incisives supérieures. Par exemple :

[iNfáme] [ĩm’fame] *infame* « *infâme* »

[koNfúso] [kom’fuso] *confuso* « *confus* »

- Inter-dental, [n] : précédant [θ]. Il s’agit d’une articulation avec la pointe de la langue entre les incisives. Par exemple :

[úN θapáto] [’ũŋ θa’pato] *un zapato* « *une chaussure* »

[óNθe] [’õŋθe] *once* « *onze* »

- Dental, [n] : lorsqu’elle précède [t] ou [d]. Par exemple :

[úN djéNte] [’ũn dj’ente] *un diente* « *une dent* »

- Alvéolaire, [n] : lorsque la nasale est suivie de voyelle, de consonne alvéolaire, ou pause. Par exemple :

[úN éxe] [’ũn ‘exe] *un eje* « *un axe* »

[úN lóko] [’ũn ‘loko] *un loco* « *un fou* »

[óNra] [’õnra] *honra* « *honneur* »

[dáme páN] [’dame ‘pan] *dame pan* « *donne-moi du pain* »

- Palatalisé, [ɲ] : lorsqu’elle précède une consonne palatale. Par exemple :

[úN tʃíko] [’ũŋ ‘tʃiko] *un chico* « *un garçon* »

- Vélaire, [ŋ] : il se produit lorsqu’elle précède une consonne vélaire [k], [g], [x]. L’occlusion est produite entre le post-dos de la langue et le voile du palais. Par exemple :

[úN kuéNto] [’ũŋ kw’ento] *un cuento* « *un récit* »

[táNgo] [’taŋgo] *tango* ; [axéNxo] [a’xeŋxo] *ajenjo* « *absinthe* »

La neutralisation de ces phonèmes en position finale de syllabe ou de mot, permet une grande variété de réalisations allophoniques, ayant comme un facteur en commun une résonance

nasale qui doit toujours être présente. Il existe des phénomènes dialectaux de l'espagnol où l'on constate une perte du segment consonantique nasal favorisant la nasalisation de la voyelle précédente que l'interlocuteur hispanophone perçoit comme une voyelle suivie d'une consonne nasale (Quilis, 2006). Autrement, et c'est le cas le plus répandu, il peut y avoir une vélarisation de la consonne nasale en coda fournissant un degré élevé ou non de nasalisation au noyau vocal de la syllabe.

Les cas d'assimilations des consonnes nasales espagnoles sont un sujet déjà observé par Tomás Navarro dans son *Manual de pronunciación española* (1918), où il signale l'existence des phénomènes de nasalisation des voyelles partiellement ou totalement. En outre, des assimilations déjà mentionnées, Navarro Tomás rend aussi compte de la nasalisation des voyelles précédant la consonne nasale en position finale de syllabe et de mot, aussi que d'une perte possible de cette consonne. Il attribue à la réalisation vélaire des consonnes nasales une possible influence dialectale considérant, à son époque, que la conservation de [n] correspond à un parler culte. Les processus de nasalisation vocalique en espagnol sont spécifiques aux conditions suivantes (D'Introno, Del Teso, et Weston, 1995 ; Navarro Tomás 1918 ; Quilis 2006) :

- Une voyelle entre deux nasales résulte en une voyelle nasalisée :

*nunca* – [ˈnũŋka] « jamais »

*monte* – [ˈmõnte] « mont »

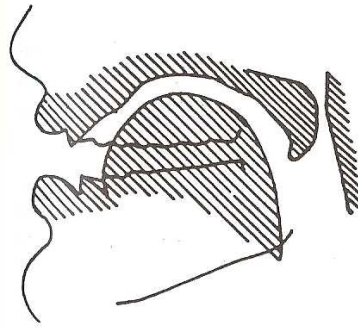
*mano* – [ˈmãno] « main »

*eminencia* – [emĩˈnẽŋθja] « éminence »

- En position initiale absolue, suivie de [m] ou de [n], il est aussi souvent question de la nasalisation de la voyelle :

*enfermo* – [ẽŋˈfermo] « malade »

*infeliz* – [ĩŋfeˈliθ] « malheureux »



**Figure 8.** Réalisation nasale du phonème /e/ dans [ũ'mãñã'mẽnte] *humanamente* (Quilis, 2006).

Vu que nous traitons de cette terminologie de nasalisation vocalique, nous considérons pertinente l'explication que fait Quilis par rapport à la nature articulaire des voyelles nasalisées en espagnol. D'après la figure 8, il présente la réalisation nasale d'un phonème vocalique entre deux consonnes nasales, en l'occurrence /m/ et /n/, précisant que le voile du palais se trouve dans une position intermédiaire entre la langue et la paroi pharyngale permettant la sortie de l'onde sonore en même temps par la cavité buccale que par la cavité nasale. Il préfère appeler ce type de sons vocaliques « oronasals » que sons vocaliques nasals.

Dans une étude comparative sur le type de nasalisation contextuelle en anglais et en espagnol, Solé (1992) a trouvé que la portée de la nasalisation des voyelles, en espagnol, précédant une consonne nasale en position coda présente les mêmes caractéristiques de coarticulation, même à différents débits de production de parole. Cependant, en anglais, la voyelle est nasalisée pendant toute sa durée et s'adapte aux différents débits de parole. Cette différence de comportement de la nasalisation anticipatoire est spécifique aux deux langues ; il s'agit d'une nasalisation phonétique en espagnol, alors qu'en anglais il y a une nasalisation phonologique.

Par ailleurs, la réalisation vélaire des consonnes nasales de l'espagnol est un cas d'assimilation attestée dans la plupart des pays de l'Amérique hispanique et en Espagne. Les variantes de l'espagnol en Amérique, notamment dans les zones du littoral du Mexique, Venezuela, et du reste des pays de l'Amérique Centrale, se caractérisent par une production vélaire de la consonne nasale post-nucléaire (Quilis, 2006 ; Lipski, 2007). À Cuba, par ailleurs, on trouve [ŋ] devant pause nasalisant la voyelle précédente, [pãŋ] pan « pain » ; souvent la consonne nasale n'est pas articulée mais la voyelle reste nasalisée [pã].

Au Porto Rico, la vélarisation correspond à une réalisation très fréquente de la consonne nasale devant pause, et on trouve [ŋ] moins souvent. La réalisation [ŋ] est attesté devant pause permettant la nasalisation de la voyelle précédente, et on constate la tendance des jeunes à ne

pas articuler la consonne nasale dans la même position (cf. López Morales, 1980 ; voir [Quilis 2006](#)).

À Santo Domingo, en République Dominicaine, on réalise généralement [ŋ] en position finale de mot, mais on observe sa perte aussi, nasalisant la voyelle précédente : lorsque la voyelle initiale de mot suivant est accentuée, c'est [ŋ] qui prédomine, mais si cette voyelle est non-accentuée, la perte de la nasale se produit et la voyelle précédente reste nasalisée.

Au Panama et au Pérou, on constate la réalisation de [ŋ] devant pause nasalisant la voyelle précédente et l'élision de la consonne nasale dans cette position est aussi très fréquente. De même, en Équateur ce trait vélaire est attesté dans les zones du littoral et dans le centre montagneux du pays mais on conserve le trait alvéolaire dans le nord du pays. Par contre, au Paraguay, en Uruguay, en Argentine et au Chili, on trouve une réalisation alvéolaire de la consonne nasale en position finale de syllabe et de mot, et elle se produit rarement vélaire. En Bolivie, il existe une variabilité entre les deux réalisations, alvéolaire et vélaire, et on peut rendre compte également d'une perte de la consonne nasale post-nucléaire.

En Colombie, on produit fréquemment [ŋ] dans les côtes Atlantique et Pacifique, et à Leticia, au sud dans la région de l'Amazonie colombienne, mais à l'intérieur du pays on constate la réalisation alvéolaire de la consonne nasale en fin de syllabe et de mot. Dans petites zones de la côte du Pacifique, on peut trouver des exemples d'élision de la nasale post-nucléaire ([Lipski, 2007](#)).

On a attribué à cette réalisation vélaire de la consonne nasale post-nucléaire une possible influence de l'espagnol de l'Andalousie, et pour certaines régions du Pérou et de l'Équateur, des traces phonétiques du quechua ([Canfield 1962](#)). En effet, selon [Zamora Vicente \(1967\)](#) la vélarisation de la consonne nasale est un phénomène assez répandu dans toute l'Espagne en plus de l'Andalousie, et particulièrement dans cette région, il constate des indices de perte de la nasale tout en gardant certains degrés de nasalisation de la voyelle précédente [melō] *melon*, « *melon* » [portō] *portón* « *grande porte* » ([Zamora Vicente, 1967](#)). Ce même auteur insiste sur le caractère fréquent de la nasalisation vocalique qui tend à devenir un trait distinctif dans ce dialecte espagnol ; dans la conjugaison par exemple de « (él) canta », « (ellos) cantan » [kanta], [kantã], « *il chante* » « *ils chantent* », où il attribue une opposition phonologique de voyelle orale et voyelle nasale.

Ce phénomène d'assimilation de la nasalité fait partie d'un processus d'affaiblissement organique de la consonne, lequel « se manifeste toujours dans un état latent dans l'articulation de toutes les consonnes implosives » selon [Straka \(1979 : 459\)](#), d'où la première phase implique



la perte de la réalisation alvéolaire de la consonne nasale devant une pause favorisant l'anticipation de la descente du voile du palais. L'important pour l'articulation nasale post-nucléaire est justement une résonance nasale et non pas forcément le lieu d'articulation. La nasalisation de la voyelle correspond, dans une deuxième phase, à une faute de synchronisation des mouvements articulatoires : le voile du palais ne commence à descendre que lorsque l'articulation de la voyelle est en train de se produire, même avant que la langue se place pour la configuration de la consonne nasale: il anticipe alors son mouvement d'abaissement même avec le début de la voyelle.

## 2.4 Hypothèses de notre étude

Selon SLM, les voyelles nasales du français représenteraient une difficulté d'apprentissage au niveau articulatoire pour les apprenants hispanophones, car ces voyelles et les voyelles nasalisées de l'espagnol sont proches phonétiquement. Les voyelles nasales du français seraient alors des sons « similaires », donc difficiles à acquérir. Pour PAM, qui ne concerne que la perception, les contrastes oral-nasal (e.g., /a/-/ã/) devraient être SC (*Single category*) pour les hispanophones, donc difficiles aussi. Toutefois, le modèle PAM prédit la discrimination de ces contrastes en fonction d'une assimilation CG (*Category goodness*), donc moins difficiles. Nous tenterons d'analyser les indices phonétiques dans la perception et la production des voyelles nasales du français chez les hispanophones avec les hypothèses suivantes :

**H1 :** Compte tenu des études présentées précédemment, les voyelles /ã/ et /ẽ/ seront plus difficiles à percevoir et à produire que /õ/, notamment par les sujets naïfs et les apprenants de niveau débutant ou intermédiaire. Les apprenants de niveau avancé auront de meilleurs résultats sur le plan perceptif et articulatoire en raison de leur expérience d'apprentissage.

**H2 :** Certains travaux en phonétique sur l'espagnol ont mis en évidence une assimilation de nasalisation dans certains dialectes d'Espagne et d'Amérique hispanique : les consonnes nasales en position finale de mot ont très souvent tendance à être réalisées comme des nasales vélaires ; parfois elles tendent à disparaître tout en nasalisant la voyelle précédente. À ce propos, sur le plan perceptif des voyelles nasales, nous pouvons proposer l'hypothèse que les apprenants auront une meilleure performance de perception des voyelles nasales du français lorsque celles-ci se trouvent en position finale de mot.

**H3 :** [Detey et al. \(2010\)](#) évaluent le degré de « consonantisation » des réalisations des voyelles nasales par des apprenants japonophones et hispanophones, c'est-à-dire la présence ou l'absence d'une consonne nasale post-vocalique. Ils ont trouvé que les apprenants produisent un degré de consonantisation plus élevé pour les productions issues de la tâche de lecture que de répétition, notamment dans des items à structure CVC où la dernière consonne est une occlusive (sourde ou sonore), consonne identique quant au point d'articulation de la nasale post-vocalique. Dans une tâche de lecture des voyelles nasales, nos apprenants auront tendance à produire des voyelles nasales plus longues que les voyelles orales correspondantes en raison de la coarticulation nasale de l'espagnol, et encore plus longues que celles des natifs du français.

À partir de l'inventaire des principaux modèles relatifs à l'acquisition des sons d'une langue étrangère (chapitre 1), et sous le prisme de l'étude théorique des systèmes phonologiques français et espagnol nous laissant supposer d'évidentes difficultés de perception et de production des voyelles nasales du français par des sujets espagnols et colombiens (chapitre 2), nous allons maintenant aborder le volet expérimental de notre recherche au chapitre suivant en présentant le profil linguistique de nos 56 hispanophones et des 18 francophones natifs qui ont participé à nos expériences. Nous exposons ensuite la vue d'ensemble de nos huit expériences.

# CHAPITRE 3

## Participants

### Résumé

*Dans cette section, nous présentons le profil des 56 hispanophones et des 18 francophones natifs majoritairement parisiens participant à notre étude, le niveau de français pour les apprenants ainsi que l'analyse de leurs avis concernant leur méthodologie d'apprentissage du français et leurs difficultés de prononciation. Ainsi, 30 apprenants espagnols et 26 apprenants colombiens, également répartis en trois niveaux de français débutant (entre 6 mois et 1.5 ans d'apprentissage), intermédiaire (entre 1.5 et 2.5 ans) et avancé (au-delà de trois ans d'apprentissage), ainsi que 25 espagnols et 20 colombiens n'ayant aucune connaissance du français, ont participé à nos expériences. Le français est la deuxième langue apprise pour 37% des espagnols, mais pour seulement 4% des colombiens. Ces derniers reçoivent dans leur apprentissage moins de matières en rapport avec le français que les espagnols. Seulement 19% des apprenants colombiens ont séjourné dans un pays francophone, contre 60% des apprenants espagnols. Les voyelles nasales sont considérées comme première source de difficultés pour tous les apprenants, surtout les colombiens.*

*Nous présentons ensuite un aperçu du volet expérimental de notre thèse : celle-ci comprend huit expériences dont six sont consacrées à la perception des voyelles nasales et orales du français (assimilation perceptive, discrimination AXB, catégorisation à choix forcé).*

## 3.1 Participants

Cinquante-six apprenants hispanophones ont participé à l'ensemble des expériences de cette recherche sur la perception et la production des voyelles nasales du français : 26 Colombiens, et 30 Espagnols. Un de nos objectifs était d'avoir à peu près le même nombre de participants pour les diverses tâches de perception et de production. Cependant, pour des problèmes techniques d'enregistrement mais aussi pour des motifs externes à notre recherche, le nombre d'apprenants pour la tâche de production a été réduit à 50 sujets : les données de deux des apprenants présentaient un problème technique de gain pour les deux signaux (oral et nasal) ; ces données n'ont pas été retenues ; pour les données de production restantes, trois apprenants ne sont pas présentés au rendez-vous pour l'enregistrement, et une apprenante a refusé de faire l'enregistrement en raison d'une allergie au latex présent dans le ruban adhésif servant à fixer sur le nez les pastilles de l'accéléromètre piézoélectrique.

Les apprenants ont été classés en trois niveaux de français en fonction de la durée de leur apprentissage et de leur niveau de français institutionnel. Entre six mois à un an et demi d'apprentissage, les apprenants ont été classés comme *débutants* ; entre un an et demi et deux ans et demi, ils sont classés dans le niveau *intermédiaire* ; pour trois ans d'apprentissage ou plus, on considère qu'ils sont dans le niveau *avancé*.

En outre, 45 sujets naïfs pour le français, n'ayant jamais étudié cette langue ou en y ayant été le moins exposés que possible, dont 20 Colombiens et 25 Espagnols, ont uniquement passé les trois tests de discrimination, et le test d'assimilation des voyelles nasales du français selon les catégories vocaliques de l'espagnol. Nous préciserons leur participation, le moment venu, dans les expériences correspondantes.

Le Tableau 9 montre le nombre de participants dans les deux groupes hispanophones, classés par niveau de français, y compris les sujets naïfs (niveau "zéro") : Donc quatre niveaux de français : naïfs, débutants, intermédiaires, et avancés. Étant donné quelques données manquantes (productions de cinq apprenants), nous préciserons à chaque fois le nombre de sujets qui ont participé aux deux types d'expériences : perception et production. Par ailleurs, la répartition des apprenants hispanophones selon le genre est de 19 apprenantes colombiennes et 7 apprenants colombiens (sur l'ensemble des trois niveaux de français) ; pour les espagnols, il y a 21 femmes et 9 hommes (également sur les trois niveaux).

Groupe	Niveau de français						
	naïfs	débutant		intermédiaire		avancé	
COL	20	10	→ 8	9	→ 8	7	7
ESP	25	12	→ 9	9	9	9	9
Modalités d'expérience	<i>perception</i>	<i>perception</i>	<i>production</i>	<i>perception</i>	<i>production</i>	<i>perception</i>	<i>production</i>

**Tableau 9.** Nombre d'apprenants hispanophones selon leur niveau de français et le type d'expériences : perception et production. COL: colombiens ; ESP: espagnols

Chez les sujets naïfs espagnols, la moyenne d'âge est de 26 ans (ET = 11.4) ; l'âge minimal étant de 16 ans, et l'âge maximal 55 ans. Tous les sujets naïfs espagnols sont nés à Séville et y habitent, sauf une personne née à Madrid mais qui habite à Séville depuis plus de cinq ans. Tous ces sujets ont une expérience de l'anglais, car ils sont étudiants de la Licence en Études Anglaises à l'Université de Séville, sauf deux sujets (une personne au chômage et un doctorant en Histoire).

Quant aux naïfs colombiens, la moyenne d'âge est de 21 ans (ET = 3.9), l'âge minimal est 18 ans, et l'âge maximal est 34 ans. Treize sujets sont originaires de Bogota et y habitent, et 6 sont de Cali, au sud-ouest de la Colombie. Parmi les sujets naïfs colombiens, la plupart faisant des études supérieures, il y a des étudiants en Médecine, Infirmierie, Architecture, Ingénierie de l'Environnement, Ingénierie Industrielle, et Ingénierie Informatique.

### 3.1.1 Niveau de français des apprenants hispanophones

Le niveau de français institutionnel représente le niveau officiel de français dans lequel se trouvent les apprenants dans leur établissement d'enseignement, et il correspond presque toujours avec la durée d'apprentissage du français. L'équivalence de ces niveaux dans les niveaux officiels de leur établissement d'enseignement peut être vue en termes de semestres : six mois correspondraient à un semestre, un an correspondrait à deux semestres, etc. La moyenne d'âge des apprenants colombiens (Tableau 2) est de 20.2 (ET = 2.3), ils sont tous de Bogota, ou des alentours de la capitale colombienne. Ils sont inscrits en Licence de Langues Modernes (*Licenciatura en Lenguas Modernas*), anglais et français, dans la *Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá*, avec 8 heures de français par semaine.

Cette formation s'inspire de l'approche actionnelle du *Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues* (CECRL), pour la programmation des différents enseignements de

langue. La licence de Langues modernes propose simultanément sept niveaux d'anglais et de français, à raison de deux niveaux par an : *Niveaux élémentaire, Basique I, Basique II, Intermédiaire I, Intermédiaire II, Avancé I, et Avancé II*. Pendant le premier semestre (niveau "primero"), les sujets qui n'ont jamais appris de langues étrangères, peuvent suivre un cours d'introduction (niveau élémentaire). Ceux qui ont déjà une expérience de l'anglais ou du français peuvent passer un test de niveau ; une possibilité pour les étudiants ayant suivi des cours personnalisés d'une de ces deux langues avant leurs études supérieures. Cette formation a une durée de 5 ans (dix semestres), les trois derniers semestres sont destinés à des enseignements approfondis dans les domaines de l'enseignement d'une L2, de l'enseignement de l'espagnol comme langue étrangère, de la traduction, et de la réalisation de stages d'enseignement.

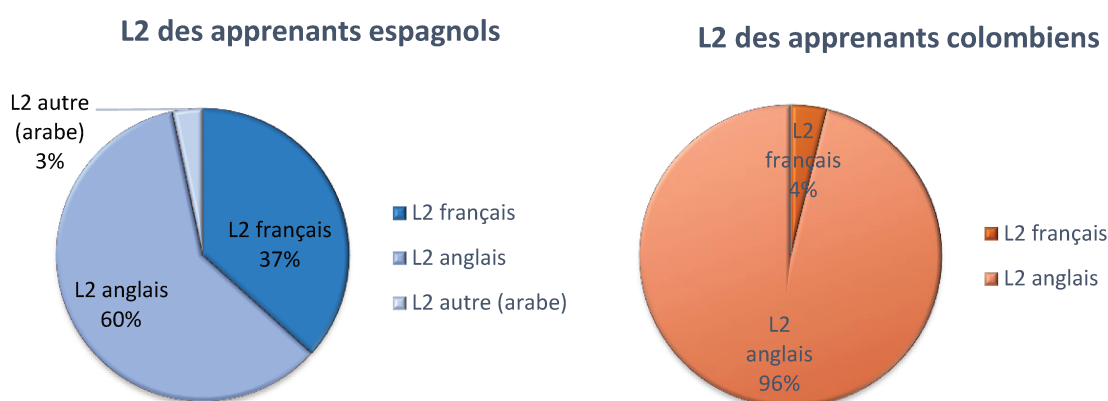
Nous avons constaté qu'il n'y a pas de laboratoire de langues où les apprenants peuvent faire des exercices de compréhension orale ou de production orale, ou de prononciation. Ce type d'exercices est réalisé dans la salle de classe, tout comme les autres compétences linguistiques et communicatives. En revanche, les salles de cours sont équipées d'un vidéoprojecteur et d'enceintes audio pour l'exploitation des ressources audio-visuelles. Enfin, il y a aussi plusieurs cabines ou petits bureaux, à côté de la salle de professeurs, permettant aux apprenants d'avoir un accompagnement personnalisé avec un professeur, ou de réaliser de courtes présentations orales, ou simplement de faire une réunion de travail.

Les apprenants espagnols (Tableau 9) ont 21 ans en moyenne (ET = 5.2) et viennent tous de Séville, Espagne. Leur variante *andalou* de l'espagnol n'inclut la complexité d'aperture vocalique du vocalisme andalou observé et documenté à l'est de l'Andalousie. Leur formation est la "Licence en Études Françaises" (*Grado en Estudios Franceses*) à l'Université de Séville. Les étudiants de cette licence ont 6 heures de cours de français par semaine, réparties en sept niveaux (*Français I, II, III, IV, V, VI, VII*) pendant quatre ans. Chaque niveau correspond à une période de quatre mois, c'est-à-dire un quadrimestre, avec deux quadrimestres par an. En plus de ces cours de langue, les étudiants doivent suivre un cours de Phonétique et Phonologie du français lorsqu'ils font leur *Niveau IV de français*, et un cours de Phonétique historique française pendant leur *Niveau VI de français*.

La Faculté de Philologie de l'Université de Séville a un laboratoire de phonétique où il y a une chambre insonorisée et des équipements d'enregistrement, mais il est très peu utilisé par les étudiants du français ; les étudiants de Philologie Anglaise y font parfois des travaux en phonétique. La plupart des apprenants hispanophones ont commencé à apprendre l'anglais comme langue étrangère depuis l'enfance dans un contexte scolaire. Cependant, nombreux sont

ceux qui affirment ne pas l’avoir vraiment appris malgré plusieurs années d’exposition dans le cadre scolaire, soit par manque de motivation, soit en raison d’un faible nombre d’heures de cours. C’est le cas des apprenants espagnols qui considéraient qu’ils n’avaient pas beaucoup appris l’anglais à l’école, et que c’est plutôt le français qu’ils ont commencé à considérer comme une L2 pendant leur formation universitaire (Figure 9). Ces apprenants étaient inscrits en “Licence en Études Françaises” à l’Université de Séville, en Espagne, où l’anglais était pour eux une matière facultative.

Quant aux apprenants colombiens, tout comme les apprenants espagnols, ils avaient aussi suivi des cours d’anglais comme première langue étrangère à l’école, mais contrairement aux espagnols, les apprenants colombiens valorisent bien leurs années d’apprentissage de l’anglais, même s’il y avait un faible nombre d’heures de cours. La Figure 9 montre aussi que la L2 des apprenants hispanophones est principalement l’anglais, beaucoup plus chez les Colombiens (96%), probablement en raison de l’enseignement obligatoire de cette langue comme langue étrangère dans les écoles primaire et secondaire.



**Figure 9** L2 des apprenants hispanophones (Espagnols à gauche, et Colombiens à droite).

En revanche, un nombre non négligeable d’apprenants espagnols (37%) affirment que le français est leur L2, probablement parce qu’ils se trouvent dans une formation universitaire qui est dédiée exclusivement à l’apprentissage du français. Le nombre d’heures des cours principaux de français est de 4 heures et 30 minutes par semaine pour les apprenants espagnols, et ils ont aussi d’autres enseignements sur la langue et la culture françaises (Tableau 10), alors que pour les apprenants colombiens, le nombre d’heures est de 8 par semaine.



Concrètement, pour les apprenants colombiens, les cours sont donnés par deux professeurs : un professeur chargé de proposer des activités pour le développement des compétences à l’oral, la production et la compréhension, et un autre professeur chargé de faire travailler la grammaire ainsi que la production et la compréhension de l’écrit. Les autres enseignements proposés correspondent au socle fondamental de formation en langues et à un socle d’approfondissement. Tant pour les Colombiens que pour les Espagnols, les salles d’enseignement ont un écran et des enceintes pour la reproduction des documents audiovisuels.

## ORGANISATION DES ENSEIGNEMENTS

<b>Formation des apprenants colombiens</b>	<b>Formation des apprenants espagnols</b>
○ <i>Français élémentaire</i>	○ <i>Français I, II, III, IV, V, VI, VII</i>
○ <i>Français basique I et II</i>	○ <i>Histoire culturelle de la France</i>
○ <i>Français intermédiaire I et II</i>	○ <i>Histoire littéraire française du Moyen âge</i>
○ <i>Français avancé I et II</i>	○ <i>Analyse grammaticale et discursive des textes français</i>
○ <i>Anglais élémentaire</i>	○ <i>Théorie et pratique de la traduction espagnol-français</i>
○ <i>Anglais basique I et II</i>	○ <i>Phonétique et phonologie françaises</i>
○ <i>Anglais intermédiaire I et II</i>	○ <i>Histoire des idées de la France</i>
○ <i>Anglais avancé I et II</i>	○ <i>Narrative française</i>
○ <i>Fondements de linguistique générale</i>	○ <i>Traduction non littéraire espagnol-français</i>
○ <i>Structure linguistique</i>	○ <i>Histoire littéraire moderne et contemporaine française</i>
○ <i>Fonctions linguistiques</i>	○ <i>Analyse linguistique des textes français modernes</i>
○ <i>Fonctionnement linguistique</i>	○ <i>Didactique du FLE</i>
○ <i>Linguistique appliquée en L2</i>	○ <i>Théâtre français</i>
○ <i>Fondements de la recherche en linguistique appliquée</i>	○ <i>Sémantique de la langue française</i>
○ <i>Recherche en linguistique appliquée</i>	○ <i>Phonétique historique de la langue française</i>
○ <i>Monographie I et II</i>	○ <i>Morphologie et syntaxe de la langue française</i>
○ <i>Pensée pédagogique</i>	○ <i>Imaginaires mythiques de la culture française</i>
○ <i>Curriculum et législation éducative</i>	○ <i>Littératures francophones I et II</i>
○ <i>Éducation inclusive</i>	○ <i>Méthodologie de l’enseignement du FLE</i>
○ <i>Psychologie évolutive et de l’apprentissage</i>	○ <i>Pragmatique de la langue française</i>
○ <i>Modèles pédagogiques pour l’enseignement de L2</i>	○ <i>Littérature française comparée</i>
○ <i>Méthodologie et didactique de L2</i>	○ <i>Français médiéval</i>
○ <i>Pédagogie et didactique de L2 I, II, et III</i>	○ <i>Critique littéraire française</i>
○ <i>Pratique de l’enseignement I, II, et III</i>	○ <i>Littérature française, communication, cinéma et image</i>
○ <i>Atelier de la lecture et l’écriture</i>	○ <i>Syntaxe discursive de la langue française</i>
○ <i>Interlocution et argumentation</i>	○ <i>Poésie française</i>
○ <i>Constitution politique</i>	○ <i>Grammaire contrastive espagnol-français</i>
○ <i>Anthropologie et théologie</i>	
○ <i>Théologie et société</i>	
○ <i>Philosophie du langage</i>	
○ <i>Étique</i>	
○ <i>Utilisation de l’information</i>	
○ <i>Éléments de mathématiques</i>	

**Tableau 10.** Enseignements de la formation de français pour les apprenants hispanophones (Colombiens à gauche et Espagnols à droite). Nous avons listé ces enseignements dans un ordre progressif à partir des cours d’un niveau débutant à un niveau avancé dans chaque formation.

Le Tableau 10 résume l'ensemble des enseignements suivis par les apprenants colombiens et espagnols. Nous constatons que les cours de français vont jusqu'au septième niveau pour les apprenants colombiens et espagnols ; chaque niveau correspond à un semestre : en fait, un quadrimestre pour les deux groupes, mais que l'on continue à appeler semestre pour simplifier. Bien que les Espagnols aient le même nombre d'heures de cours de français que les Colombiens, ils ont plus de matières en rapport avec le français que les Colombiens.

### *3.1.2 Situation d'apprentissage du français chez les apprenants hispanophones*

Avant de faire passer les tests de perception aux apprenants, nous leur avons demandé de remplir un questionnaire portant en particulier sur leur expérience de l'apprentissage du français. Ce questionnaire était uniquement destiné aux apprenants hispanophones ayant participé à notre étude. Dans le Tableau 11, nous reproduisons le questionnaire que les apprenants ont rempli avant de passer l'ensemble des expériences de perception et de production sur les voyelles nasales du français.

Les premiers renseignements portent sur les données personnelles telles que le nom, l'âge, le sexe, et la nationalité des participants. Nous avons évoqué plus haut (cf. § 3.2) le nombre de participants ainsi que la moyenne de leurs âges. Il y a un nombre important de sujets féminins par rapport aux sujets masculins dans les deux groupes (73% d'apprenantes chez les Colombiens, et 70% chez les Espagnols).

La question 2 porte sur une exposition plus directe avec le français : 60% des apprenants espagnols ont indiqué avoir effectué un séjour en France : 42% chez les débutants, 56% chez les intermédiaires et 89% chez les avancés. Seulement 19% des apprenants colombiens ont séjourné dans un pays francophone : aucun apprenant de niveau débutant, 29% des apprenants de niveau intermédiaire et 43% des apprenants de niveau avancé ont fait un séjour linguistique en France ou au Québec.

Les réponses des apprenants sur leur exposition au français dans le contexte de l'enseignement nous renseignent sur la méthode d'enseignement qu'ils ont reçue mais aussi sur leur capacité à évaluer leur propre travail d'acquisition de la prononciation du français. Nous avons demandé aux apprenants de répondre si, dans leur formation, plus de temps était consacré à l'écrit que l'oral pour l'apprentissage du français, ou si la même importance était donnée aux deux modalités, sans préciser sur quelles compétences langagières.

QUESTIONNAIRE SUR L'APPRENTISSAGE DU FLE  
DES APPRENANTS HISPANOPHONES

NOM, prénom : \_\_\_\_\_ Âge : \_\_\_\_\_

- Âge du début de l'apprentissage du français : ( ) mois ( ) ans Sexe : ( ) F ( ) M

- Temps d'apprentissage du français ? ( ) heures ( ) mois ( ) ans Nationalité : \_\_\_\_\_

1) Faites une estimation de 1 à 10 sur :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
vosre compréhension										
vosre fluidité										
vosre prononciation										

2) Avez-vous déjà effectué un séjour dans un pays francophone ? ( ) Oui ( ) Non  
Si oui, où et pendant combien de temps ? \_\_\_\_\_ ( ) jours ( ) mois ( ) ans

3) Concernant vosre apprentissage du français,  
Etudiez-vous surtout : ( ) l'écrit ( ) l'oral ( ) les deux équilibrés

4) Avez-vous déjà suivi des cours de français pour améliorer la prononciation ? ( ) Oui ( ) Non

5) Avez-vous déjà suivi des cours pour améliorer le rythme et l'intonation ? ( ) Oui ( ) Non

6) Connaissez-vous l'Alphabet Phonétique International ? ( ) Oui ( ) Non

7) Estimez-vous avoir des difficultés pour prononcer le français ? ( ) Oui ( ) Non  
Si oui, lesquelles ? Marquez une croix pour l'option qui vous correspond le mieux :

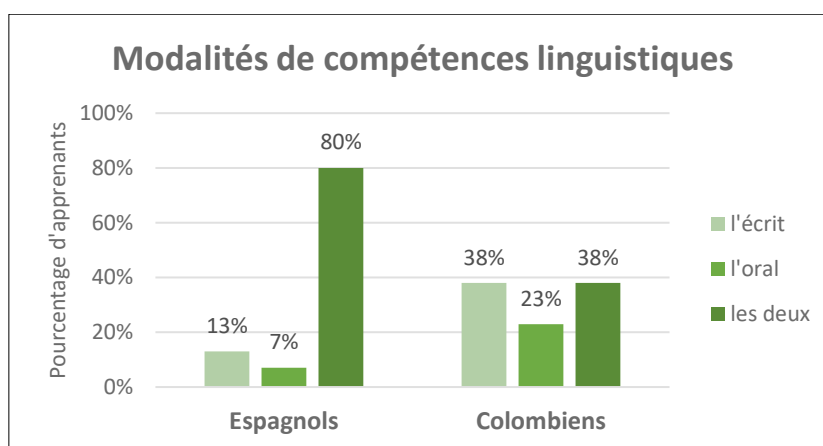
- ( ) Certains sons de consonnes : comme par exemple \_\_\_\_\_
- ( ) Les voyelles arrondies : [y, ø, œ, o, u] (comme dans *tu, deux, cœur, veau, tout*, respectivement)
- ( ) Les voyelles non-arrondies : [i, ε, e, ə, a] (comme dans *lit, père, thé, je, tas*, respectivement)
- ( ) Les voyelles nasales : [ã, ê, ð] (comme dans *vent, vin, vont*, respectivement)

8) Quels sont vos points forts en français ? \_\_\_\_\_

**Tableau 11.** Questionnaire sur l'apprentissage du français adressé aux apprenants hispanophones participant à notre étude. (Adapté d'un questionnaire de [Pillot-Loiseau, C., Amelot, A., & Fredet, F., 2010](#)).

En analysant les réponses à la question 3, nous avons trouvé que 80% des apprenants espagnols considèrent que leur apprentissage du français est équilibré entre l'écrit et l'oral, 13% considèrent que l'écrit est dominant, et 7% trouvent que c'est l'oral. Comme l'illustre la Figure

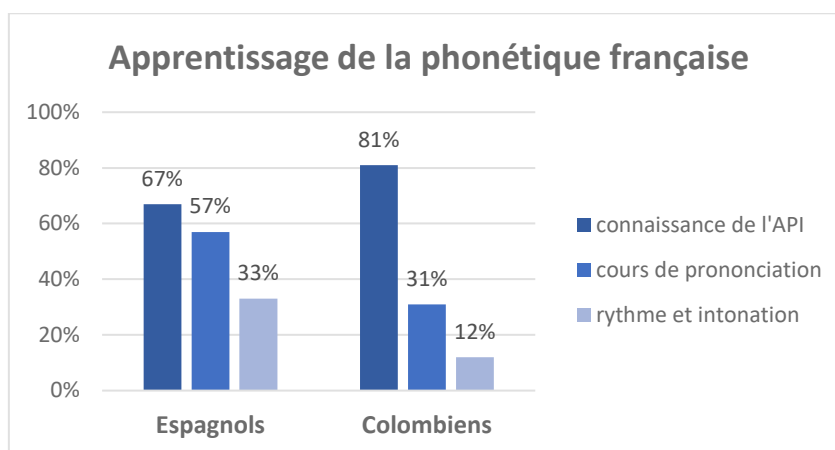
10, la majorité des apprenants espagnols affirme donc qu'il y a un équilibre entre l'oral et l'écrit dans leur apprentissage du français. Cependant, chez les apprenants colombiens, les avis sont plus partagés : 38% trouvent qu'ils étudient plus l'écrit que l'oral, 38% affirment que leur apprentissage se fait de manière équilibrée entre l'écrit et l'oral, et 23% indiquent que c'est plutôt l'oral qui est privilégié dans leur formation.



**Figure 10.** Avis des apprenants hispanophones sur la focalisation donnée à une ou aux deux modalités d'apprentissage du français (apprenants espagnols à gauche, colombiens, à droite).

Afin d'élaborer un profil linguistique plus complet des apprenants, nous les avons interrogés sur leurs connaissances en phonétique du français (questions 4-6). Dans la Figure 11, nous observons qu'un nombre important des apprenants colombiens (81%) et espagnols (67%) affirment connaître l'Alphabet phonétique international (API). Concernant les cours de prononciation et de rythme et intonation, les réponses diffèrent entre les deux groupes d'apprenants.

Pour les cours de prononciation, 57% des apprenants espagnols affirment en avoir eu, et 33% incluent aussi des cours de rythme et intonation ; alors que pour les apprenants colombiens, 31% affirment avoir suivi des cours de prononciation, et 12% mentionnent des cours de rythme et intonation. Il se peut que les cours de rythme et intonation aient peu de place dans l'apprentissage du français des deux groupes, notamment chez les apprenants colombiens. En outre, étant donné l'écart des réponses entre l'API et les cours de prononciation et de rythme et intonation, nous pouvons imaginer que dans le groupe d'apprenants colombiens, l'utilisation de l'API et même la pratique générale en phonétique doit être faible. Alors que pour les apprenants espagnols, il semble que les aspects théoriques de la phonétique sont en meilleure relation avec la pratique de la prononciation.



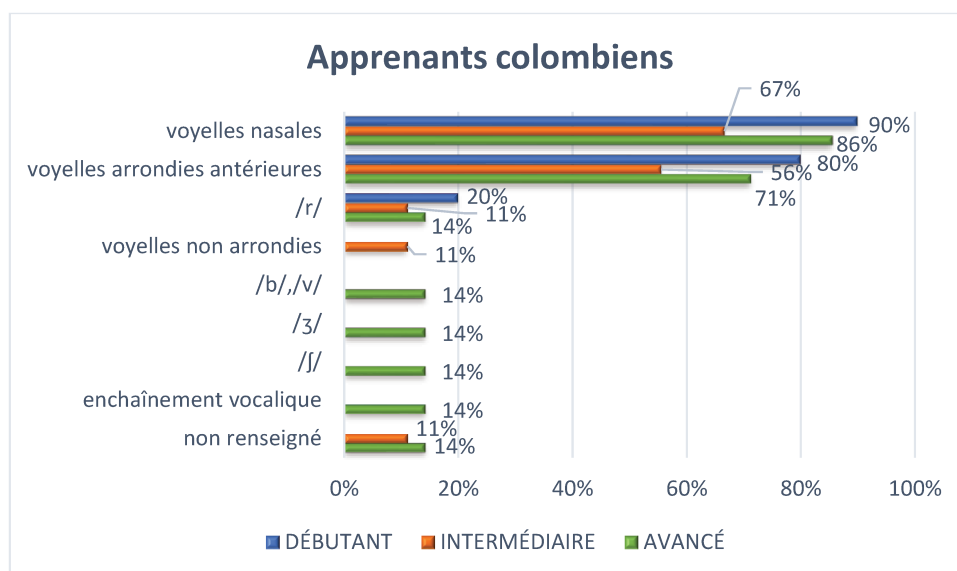
**Figure 11.** Pourcentage d'apprenants hispanophones qui rapportent étudier la prononciation du français au moyen de l'alphabet phonétique international (API), de cours de prononciation, ou des cours de rythme et intonation.

Par ailleurs, le questionnaire nous a aussi permis de récolter des informations sur les difficultés de prononciation du français que rencontrent les apprenants par niveau de français. À la question 7 (*Estimez-vous avoir des difficultés pour prononcer le français ?*), les apprenants colombiens sont presque à l'unanimité avec 96% des réponses affirmatives, et pour les espagnols il y a 70% des réponses affirmatives.

La Figure 12 détaille les difficultés que rencontrent les apprenants colombiens (10 débutants, 9 intermédiaires, et 7 avancés). Elle montre le pourcentage d'apprenants rencontrant des difficultés pour chacun des points de la question 7 du questionnaire en fonction de leur niveau de français. Nous avons détaillé le premier point sur les consonnes en fonction des réponses. La catégorie "non renseigné" correspond aux apprenants ayant répondu "non" à la question 7 (i.e., disant n'avoir rencontré aucune difficulté). Les voyelles nasales représentent une source de difficulté pour la plupart des apprenants : 90% des débutants, 86% des avancés, et 67% du niveau intermédiaire. Ensuite, les voyelles orales arrondies sont trouvées difficiles par 80% des débutants, 71% des avancés, et 56% des intermédiaires. Pour les voyelles non arrondies, seulement 11% des apprenants de niveau intermédiaire les ont indiquées comme difficiles.

Pour le premier point sur les consonnes, le /r/ a été indiqué comme difficile par 20% des débutants, 14% des avancés, et 11% des intermédiaires. Par ailleurs, seulement les apprenants avancés ont mentionné d'autres consonnes dont la prononciation serait difficile à apprendre : 14% (une personne) mentionnent la distinction entre /b/ et /v/, et entre /z/ et /j/. Enfin, un autre apprenant de niveau avancé a ajouté un autre type de réponse à la question 7 concernant les difficultés de prononciation du français : l'enchaînement vocalique.

La catégorie « non renseigné » indique que 14% des avancés et 11% des intermédiaires répondent n'avoir rencontré aucune difficulté avec les sons du français. Il se peut que ces apprenants pensent avoir un bon niveau, ou au contraire qu'ils ne sont pas capables de cerner précisément leurs difficultés phonétiques.

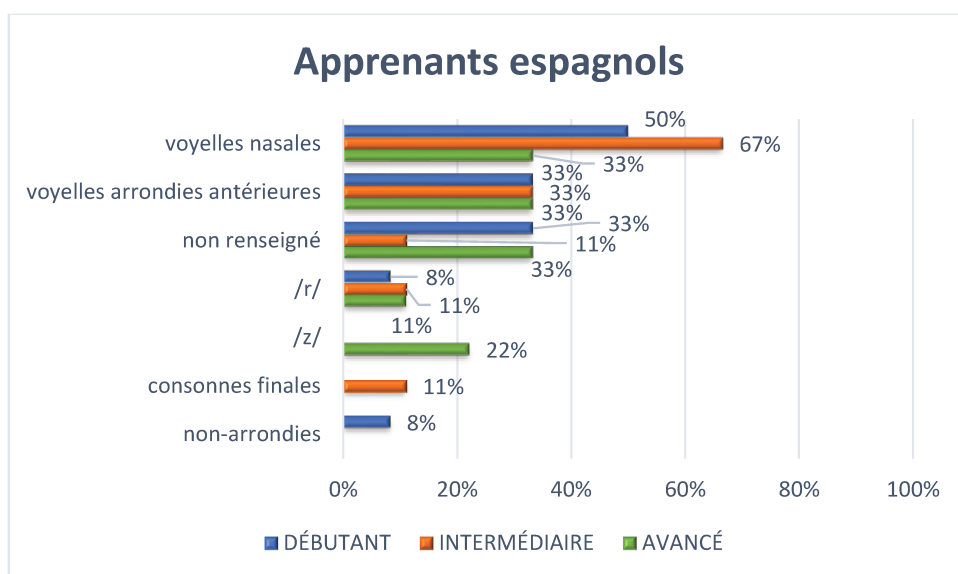


**Figure 12.** Synthèse des difficultés de prononciation du français rencontrées par les apprenants colombiens selon leur niveau de français. Les difficultés ont été ordonnées des plus au moins fréquentes et exprimées en pourcentages des apprenants pour chaque niveau.

La Figure 13 détaille les difficultés rapportées par les apprenants espagnols (12 débutants, 9 intermédiaires, et 9 avancés). Les plus fréquentes sont celles avec les voyelles nasales et les orales arrondies antérieures. À la différence des apprenants colombiens, ce sont les apprenants espagnols de niveau intermédiaire qui sont les plus nombreux à signaler des difficultés avec les voyelles nasales (50%), suivis par les intermédiaires (38%), et enfin les avancés (25%).

Concernant les voyelles arrondies antérieures, les commentaires des apprenants pour les trois niveaux montrent qu'ils ont la même autoévaluation de leurs difficultés avec ces voyelles (33%). Par ailleurs, il est intéressant de noter que 33% des débutants, 33% des avancés, et 11% des intermédiaires apparaissent sur la catégorie « non renseigné ». Comme nous l'avons noté plus haut, il se peut que ces apprenants pensent de bonne foi avoir un bon niveau et ne pas avoir de problèmes, ou bien, au contraire, qu'ils ne sont pas capables d'évaluer leurs difficultés de prononciation.

Nous observons aussi d'autres difficultés sur la prononciation de certaines consonnes telles que /z/ (22% des avancés rapportent que /z/ est difficile). De la même manière, /r/ est aussi source de difficulté mais dans une moindre mesure : 8% des débutants, 11% des intermédiaires, et 11% des avancés trouvent /r/ difficile à apprendre. Les consonnes finales sont aussi considérées comme difficiles par 8% des intermédiaires. Un seul débutant (8%) trouve que les voyelles non-arrondies posent des problèmes de prononciation. Les options de réponses telles que « /z/ » et « consonnes finales » diffèrent des réponses données par les apprenants colombiens, de sorte que les Figures 12 et 13 diffèrent aussi dans la synthèse des difficultés.



**Figure 13.** Synthèse des difficultés de prononciation du français rencontrées par les apprenants espagnols selon leur niveau de français. Les difficultés ont été ordonnées des plus au moins fréquentes et exprimées en pourcentages des apprenants pour chaque niveau.

### 3.1.3 Le groupe contrôle des francophones natifs

Enfin, 18 francophones natifs ont uniquement passé le test de discrimination AXB des voyelles nasales du français et les tests d'identification à choix forcé (mais, naturellement, pas ceux d'assimilation perceptive selon les catégories vocaliques de l'espagnol) afin de comparer leur perception des voyelles nasales à celle des apprenants. Ce sont 16 femmes et 2 hommes (moyenne d'âge = 29.2 ; ET = 5.6), tous et toutes originaires de Paris sauf quatre sujets. Le recueil des données des sujets natifs ayant été fait en 2015, nous devons préciser ces exceptions d'origines : une francophone native est née à Rennes mais habite à Paris depuis 2010 ; une autre francophone est originaire de Bordeaux mais demeure à Paris depuis 2007 ; une autre native

vient de Saint-Etienne mais habite à Paris depuis 2009 ; enfin un francophone natif est né à Châlons en Champagne mais habite à Paris depuis 2010.

## 3.2 Vue d'ensemble du volet expérimental

Cette partie présente la méthodologie et les résultats des différentes expériences de perception et de production des voyelles nasales du français que nous avons effectuées auprès de sujets hispanophones tant naïfs qu'apprenants du français, et de sujets natifs du français.

Les sujets hispanophones sont répartis en deux groupes : Espagnols et Colombiens ; chaque groupe comprenant des sujets naïfs pour le français et des apprenants du français de 3 niveaux (débutants, intermédiaires et avancés). Le nombre des sujets est de 119 : 26 apprenants colombiens, et 30 apprenants espagnols ; les sujets naïfs comprennent 20 colombiens et 25 espagnols. Les sujets francophones natifs sont au nombre de 18.

En premier lieu, nous avons enregistré six sujets hispanophones (trois colombiens et trois espagnols) pour la production des cinq voyelles de l'espagnol afin de les caractériser acoustiquement.

Ensuite, nous avons conduit trois séries de tests de perception des voyelles du français :

1) un test d'assimilation perceptive des voyelles nasales du français (catégorisation selon les catégories vocaliques de l'espagnol /i, e, a, o, u/), uniquement par les sujets hispanophones (sujets naïfs et apprenants), dont les résultats nous ont permis de prédire les performances de discrimination des voyelles nasales. L'objectif de cette expérience est, d'une part, de déterminer quelle est l'assimilation perceptive que réalisent les sujets hispanophones naïfs et ceux apprenant le français des voyelles nasales du français, et d'autre part, de formuler des prédictions sur la performance de discrimination des voyelles nasales par les sujets hispanophones.

2) trois tests de discrimination AXB auprès de tous les sujets hispanophones (sujets naïfs et apprenants) : contrastes entre voyelles orales (/i-y/, /u-y/, /ø-ε/, /ø-o/, /e-i/) ; entre voyelles nasales et voyelles orales "correspondantes" (/a-ã/, /ε-ẽ/, /o-õ/, /ɔ-õ/) ; enfin entre les seules voyelles nasales (/ã-ẽ/, /ã-õ/, /ẽ-õ/) ;



3) deux tests de catégorisation à choix forcé selon les catégories du français des voyelles nasales /ã-ẽ-õ/ par les apprenants hispanophones et les natifs du français : dans des mots monosyllabiques et dans des logatomes dissyllabiques selon trois positions syllabiques (initiale absolue, initiale post-consonantique, et finale).

Pour tous les tests de catégorisation, il est demandé aux sujets de donner une note de confiance subjective en leur réponse (entre 1 et 5) pour chaque stimulus (une mesure de “*category goodness*”). Finalement, nous proposons une modélisation quantitative des résultats de discrimination entre voyelles nasales à partir des données d’assimilation perceptive (notes de confiance comprises) de ces voyelles.

Ensuite, nous présentons une expérience de production des voyelles nasales. Parmi les sujets hispanophones, seuls les apprenants ont été enregistrés, étant donné leur expérience linguistique du français, afin de pouvoir examiner la relation possible entre leur perception et leur production des voyelles nasales. Nous avons enregistré aussi le signal de parole et le signal produit par un accéléromètre piézoélectrique permettant de mesurer les vibrations acoustiques au niveau du nez. Nous avons examiné la production des voyelles nasales dans trois positions syllabiques : initiale absolue, initiale post-consonantique, et finale. En outre, deux caméras vidéo ont été également utilisées pour enregistrer le mouvement des lèvres des locuteurs afin de mesurer l’arrondissement (de face) et la protrusion (de profil) des lèvres lors de la production des voyelles.

Une discussion est menée au terme de chaque expérience sur les résultats obtenus, sur les difficultés de perception ou de production chez les sujets hispanophones, ainsi que sur les difficultés techniques rencontrées.

Le Tableau 12 de la page suivante résume l’ensemble des expériences de perception et de production, les sujets concernés, leur principe et leur intérêt : 1 expérience de production des voyelles de l’espagnol, 6 expériences de perception des voyelles orales et nasales du français, et 1 expérience de production des voyelles nasales.

Dans ce troisième chapitre, nous avons montré que nos expériences ont été effectuées sur un grand nombre de sujets, et nous avons insisté sur le profil linguistique des 56 individus hispanophones ayant participé à nos huit expériences. Ce profil est différent entre les apprenants espagnols et les colombiens, notamment différemment exposés au français dans leurs séjours à l’étranger et dans leurs modalités d’apprentissage de cette langue. Nous allons maintenant nous consacrer au chapitre suivant au début de notre partie expérimentale, avec en premier lieu la caractérisation acoustique du système vocalique de référence de la L1 de nos hispanophones.

	EXPERIENCE	SUJETS	PRINCIPE	INTÉRÊT
<b>Production L1</b>	<b>Exp. 1</b> : Production des voyelles de l'espagnol (N=300)	Apprenants espagnols et colombiens	Lecture des voyelles de l'espagnol dans des phrases cadre.	Examiner la production des voyelles de l'espagnol selon l'origine des locuteurs hispanophones.
<b>PERCEPTION</b>	<b>Exp. 2</b> : Assimilation perceptive des voyelles nasales du français selon les catégories vocaliques de l'espagnol (N=132)	Sujets naïfs et apprenants espagnols et colombiens	L'auditeur indique à quelle voyelle de l'espagnol (/i, e, a, o, u/) la voyelle nasale entendue correspond le mieux, et avec quel degré de ressemblance.	Assimilation perceptive des voyelles nasales du français dans la langue des hispanophones.
	<b>Exp. 3</b> : Discrimination AXB des voyelles orales du français (N=216)		Avec le paradigme AXB, l'auditeur doit réaliser une distinction phonémique des paires minimales proposées.	Évaluer la discrimination des voyelles orales du français.
	<b>Exp. 4</b> : Discrimination AXB des voyelles nasales et orales du français (N=192)		Avec le paradigme AXB, l'auditeur doit réaliser une distinction phonémique du trait distinctif oral/nasal.	Évaluer la discrimination entre les voyelles nasales et orales du français.
	<b>Exp. 5</b> : Discrimination AXB entre les seules voyelles nasales du français (N=144)		Avec le paradigme AXB, l'auditeur doit réaliser une distinction phonémique entre les voyelles nasales.	Évaluer la discrimination entre les voyelles nasales du français.
	<b>Exp. 6</b> : Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (N=144)	Apprenants espagnols et colombiens et natifs du français	Sur le clavier d'un ordinateur, l'auditeur indique si le son vocalique entendu correspond à /ɛ̃/, /ã/, ou /ɔ̃/.	Examiner l'identification des voyelles nasales du français dans des mots monosyllabiques en CV et CVC.
	<b>Exp. 7</b> : Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques (N=108)		Sur le clavier d'un ordinateur, l'auditeur indique si le son vocalique entendu correspond à /ɛ̃/, /ã/, ou /ɔ̃/.	Identification perceptive des voyelles nasales en fonction de trois positions syllabiques : initiale absolue, initiale post-consonantique, et finale.
	<b>PRODUCTION</b>	<b>Exp. 8</b> : Production des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques en trois positions syllabiques : initiale absolue, initiale interconsonantique, et finale. (N=11882)	Apprenants espagnols et colombiens et les natifs du français	Lecture des voyelles nasales à l'aide d'un accéléromètre piézoélectrique et des capteurs du mouvement des lèvres.

**Tableau 12.** Expériences de perception et de production effectuées auprès des sujets hispanophones espagnols et colombiens, ainsi que des natifs du français.

# CHAPITRE 4

## Production des voyelles de l'espagnol

### Résumé

*La première étude expérimentale que nous présentons consiste à caractériser en termes acoustiques les cinq voyelles de l'espagnol (/i/, /e/, /a/, /o/, /u/) produites par douze sujets hispanophones, dont six Espagnols originaires de Séville (trois femmes et trois hommes, moyenne d'âge : 21 ans, ET : 2.4), et six Colombiens de Bogota (trois femmes et trois hommes, moyenne d'âge : 22 ans, ET : 2.9). Les sujets ont également participé à la production des voyelles nasales du français de l'expérience 8. Les résultats confirment la description symétrique des cinq voyelles du point de vue du triangle acoustique, dont F1 et F2 permettent de caractériser les voyelles, et confirment une stabilité du système vocalique par rapport aux deux variantes de l'espagnol, le castillan et le colombien.*

## 4.1 Méthode

Les cinq voyelles de l'espagnol ont été prononcées de manière isolée à travers une tâche de lecture dans le contexte de la phrase cadre : *Yo digo V cuando digo M seis veces* (Je dis *V* lorsque je dis *M* six fois), où *V* est une des cinq voyelles de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, et *M*, un mot contenant la voyelle (e.g., « asa », « ese », « isa », « oso », « uso »). Les phrases ont été présentées une par une sur un écran d'ordinateur portable, avec six répétitions pour chaque voyelle, mais nous n'avons pas retenu la première répétition à cause de possibles hésitations pour cette occurrence, réduisant ainsi le nombre d'occurrences analysées à cinq. La production des sujets a été enregistrée à la fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz avec un microphone serre-tête (AKG C420L), branché sur une carte son externe Edirol UA25 EX reliée à l'ordinateur portable. L'enregistrement des sujets espagnols a été effectué dans une chambre insonorisée du laboratoire de phonétique du Département de Philologie de l'Université de Séville, en Espagne. Pour les sujets colombiens, l'enregistrement a eu lieu dans une cabine de réunion de la salle des professeurs du Département de Langues de l'Université Pontificale Javeriana à Bogota, en Colombie. Le nombre total des productions retenues est de 300 pour toutes les voyelles et tous les sujets.

## 4.2 Analyse

Les productions ont été segmentées manuellement à partir des oscillogrammes et des spectrogrammes à bande large, avec le logiciel Praat ([Boersma & Weenink, 2020](#)). Les frontières des segments correspondent à celles des voyelles cibles isolées où les premiers trois formants sont clairement visibles, notamment le F2, où il y a peu, voire pas de transitions formantiques ([Turk, A., Nakai, S., & Sugahara, M., 2012](#)). Nous avons utilisé un script écrit par Angélique Amelot pour rééchantillonner le signal de parole à 16000 Hz, afin de mesurer de manière plus fiable les trois premiers formants des voyelles sur cinq points de leur durée : du premier jusqu'au dernier cinquième du segment. Étant donnée la différence de production entre les hommes et les femmes, nous avons regroupé les moyennes des formants en fonction du sexe des sujets et de leur groupe d'origine : espagnol et colombien.

## 4.3 Résultats

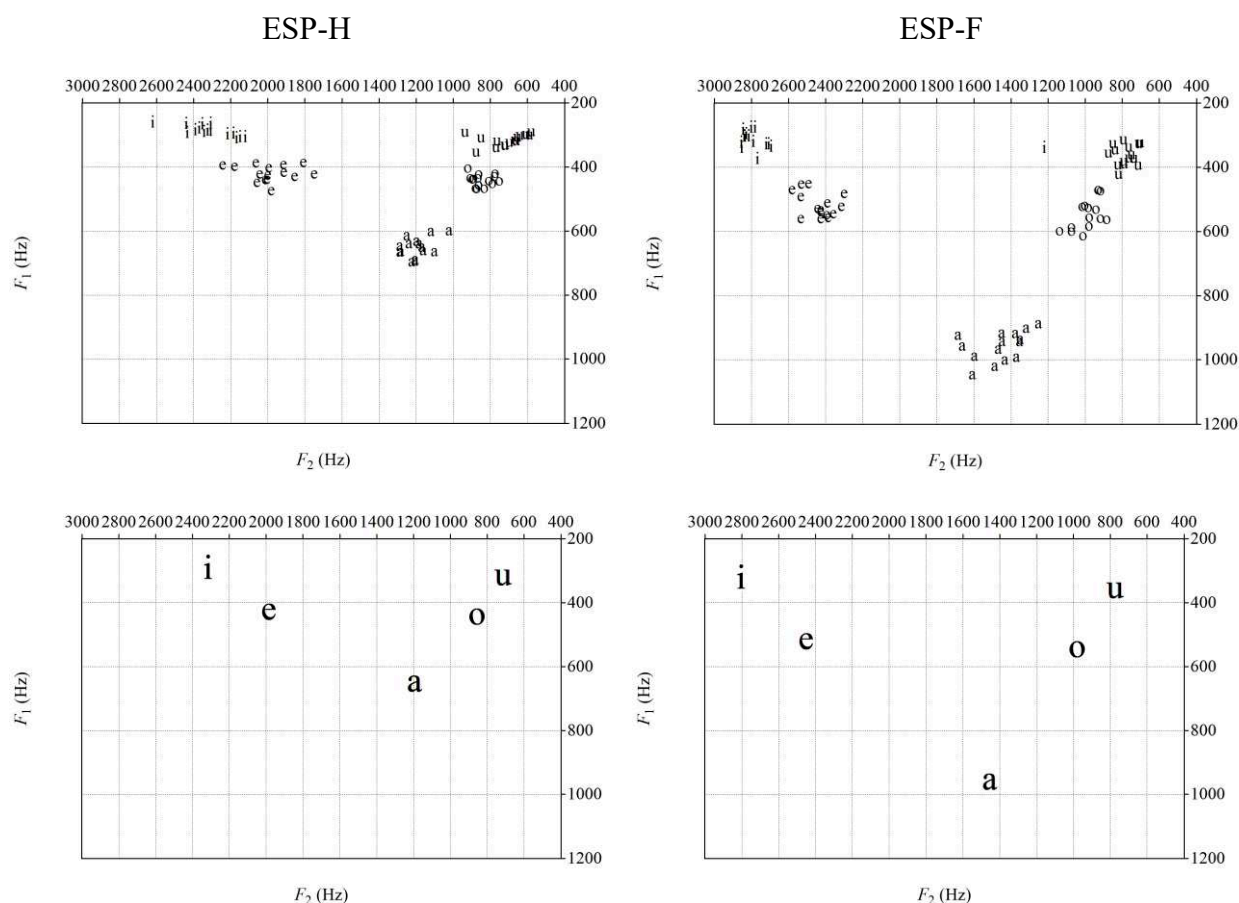
Le débit de parole est normal et les durées des voyelles diffèrent peu entre les groupes de locuteurs, comme nous pouvons l'observer dans le Tableau 13 :

Sujet	Nombre	Sexe	Moyenne de la durée des voyelles	Écart-type
ESP-H	3	homme	138 ms	42.8
ESP-F	3	femme	166 ms	30.7
COL-H	3	homme	159 ms	43.5
COL-F	3	femme	187 ms	28.5

**Tableau 13.** Durée des voyelles de l'espagnol par 4 locuteurs hispanophones : 2 locuteurs espagnols (une femme et un homme), et 2 locuteurs colombiens (une femme et un homme).

Les résultats sont présentés dans les Figures 14 et 15 pour les sujets espagnols (ESP-H et ESP-F pour les locuteurs et les locutrices, respectivement), et dans les Figures 16 et 17 pour les Colombiens (COL-H pour les locuteurs et COL-F pour les locutrices). Les deux formants F1 et F2 suffisent pour caractériser les voyelles de l'espagnol (Martínez Celadrán, 1995), c'est pourquoi les résultats n'incluent pas F3. La différence entre les locuteurs et les locutrices est que les premiers utilisent un espace vocalique plus réduit que les femmes, et ce pour les deux groupes de sujets hispanophones, espagnol et colombien.

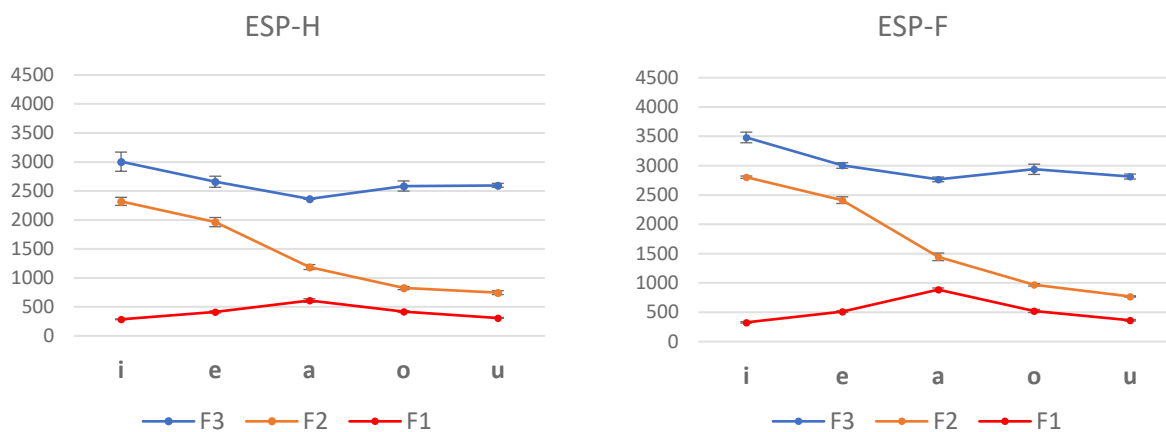
Pour les locuteurs espagnols, nous observons que le F1 de /a/ se situe entre 600 et 610 Hz, et le F2 autour de 1200 Hz. Le F1 de /i/ est assez bas (286 Hz en moyenne) et le F2 se déploie entre 2100 et 2600 Hz. Dans le même sens, le F1 de /e/ se trouve autour de 410 Hz, alors que le F2 s'étale entre 1900 et 2200 Hz. Quant aux voyelles postérieures, elles sont un peu proches tant sur le plan du F1 que sur celui de F2 : le F1 de /u/ descend jusqu'à 310 Hz et celui de /o/ se trouve à 419 Hz en moyenne ; pour le F2 de /u/, il est entre 600 et 830 Hz environ, alors que pour le F2 de /o/, il est autour de 820 Hz. Concernant les locutrices espagnoles, le F1 de /a/ s'élève à 886 Hz en moyenne, et le F1 est autour de 144 Hz. Le F1 et le F2 de /i/ présentent très peu d'écart : en moyenne 328 Hz pour le premier, et 2804 Hz pour le deuxième. Pour les voyelles postérieures, le F1 de /o/ est entre 500 et 600 Hz, et le F2 se trouve à 967 Hz en moyenne ; alors que le F1 de /u/ est plus bas (363 Hz) et le F2 est autour de 770 Hz.



**Figure 14.** Formants des cinq voyelles de l’espagnol produites par six sujets hispanophones d’Espagne. À gauche, la production de trois hommes (ESP-H), à droite, celle de trois femmes (ESP-F). En haut, les cinq répétitions de chaque sujet ; en bas, la moyenne de chaque voyelle pour F1 et F2. Logiciel Praat (Boersma et Weenink, 2020).

La Figure 15 indique les valeurs moyennes et écarts-types de F1 à F3 pour le groupe espagnol pour les cinq voyelles. Toutefois, l’arrondissement des lèvres étant négligeable redondant dans des systèmes à cinq voyelles comme l’espagnol, dans la mesure où la rétraction de la langue cherche à agrandir la cavité antérieure pour l’articulation des voyelles postérieures, le geste de l’arrondissement et la protrusion des lèvres cherche et contribue à voir le même effet acoustique (Hualde & Colina, 2014). C’est pourquoi nous ne commenterons pas le F3.

La montée de F1 de /i/ à /a/ puis sa baisse de /a/ à /u/ (i-e-a-o-u), avec donc un maximum pour /a/, correspondent bien aux caractéristiques acoustiques des systèmes vocaliques à cinq voyelles (cf. Liénard, 1977, pour le français). Il en est de même pour la baisse de F2 de /i/ à /u/, de la constriction la plus antérieure à la plus postérieure (Quilis, 1993). Les valeurs F1-3 confirment la différence de réalisation des cinq voyelles de l’espagnol entre locuteurs et locutrices illustrée pour F1-2 dans la Figure 15.



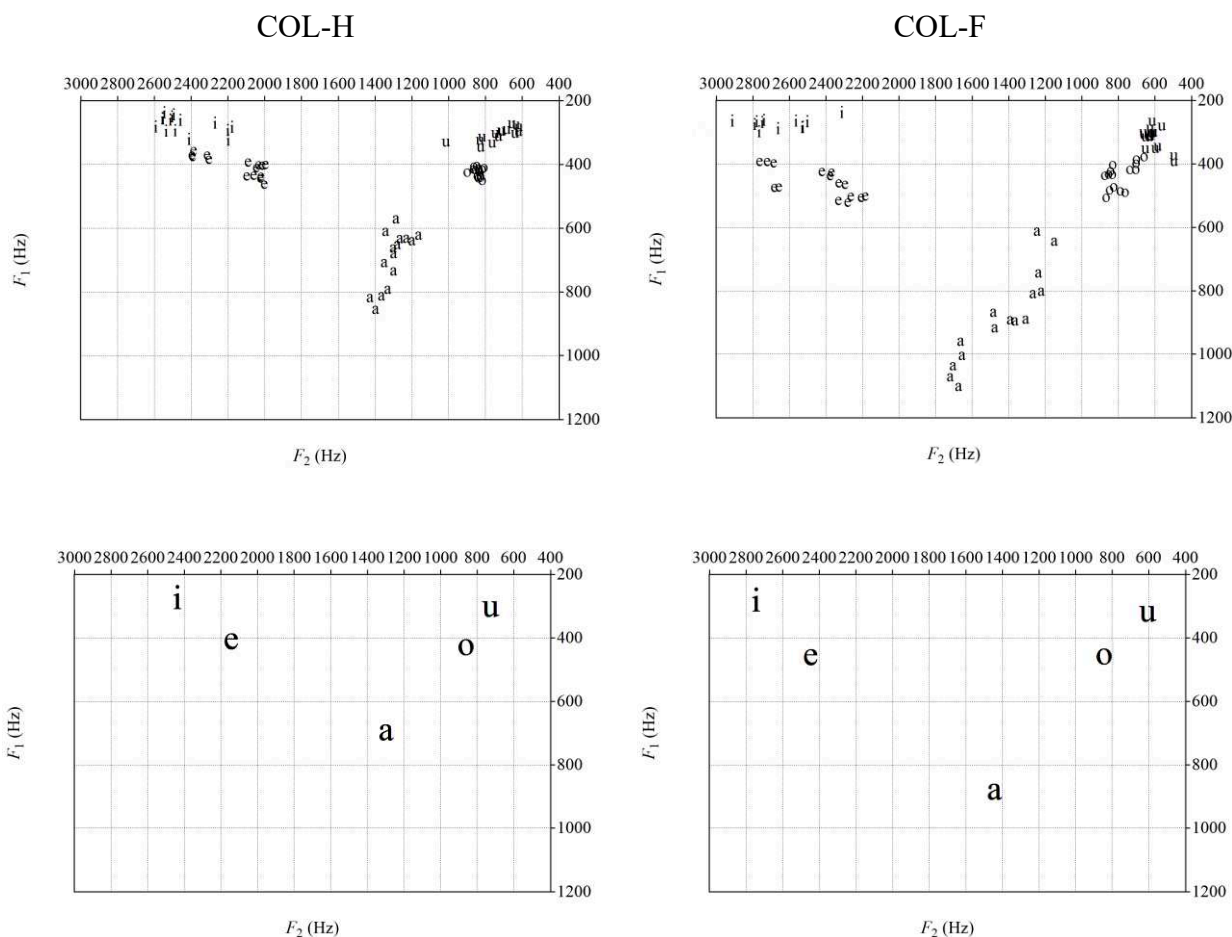
	<b>i</b>	<b>e</b>	<b>a</b>	<b>o</b>	<b>u</b>
<b>F3</b>	<b>3005</b> (331)	<b>2659</b> (191)	<b>2363</b> (11)	<b>2585</b> (175)	<b>2597</b> (67)
<b>F2</b>	<b>2320</b> (140)	<b>1962</b> (159)	<b>1187</b> (84)	<b>824</b> (54)	<b>746</b> (66)
<b>F1</b>	<b>286</b> (14)	<b>414</b> (37)	<b>610</b> (62)	<b>419</b> (30)	<b>310</b> (15)

	<b>i</b>	<b>e</b>	<b>a</b>	<b>o</b>	<b>u</b>
<b>F3</b>	<b>3481</b> (181)	<b>3003</b> (95)	<b>2766</b> (80)	<b>2938</b> (175)	<b>2815</b> (84)
<b>F2</b>	<b>2804</b> (39)	<b>2412</b> (115)	<b>1445</b> (128)	<b>967</b> (40)	<b>770</b> (21)
<b>F1</b>	<b>328</b> (27)	<b>512</b> (29)	<b>886</b> (57)	<b>522</b> (53)	<b>363</b> (25)

**Figure 15.** En haut, valeurs moyennes des trois premiers formants des cinq voyelles de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, produites par les six sujets hispanophones d'Espagne ; les locuteurs à gauche (ESP-H), et les locutrices à droite (ESP-F). L'axe vertical représente la fréquence en Hz. En bas, moyennes (en gras) et écarts-types (entre parenthèses) des valeurs formantiques.

La Figure 16 montre les espaces vocaliques des sujets colombiens. La différence de réalisation des voyelles entre locutrices et locuteurs est aussi observée dans le groupe colombien : les locutrices ont un espace vocalique plus large que les locuteurs. Il y a une dispersion importante des réalisations des voyelles chez les locutrices colombiennes, notamment pour /a/ sur l'axe F1, entre 600 Hz et 1100 Hz.

Une situation similaire de dispersion acoustique pour /i/ et /e/ peut être observée mais plutôt sur l'axe F2, entre 3000 Hz et 2300 Hz pour le premier, et entre 2800 Hz et 2100 Hz pour le deuxième. Pour les voyelles postérieures, il y a un rapprochement entre /o/ et /u/ tant chez les locuteurs que chez les locutrices. Pour les locuteurs, le F1 de /o/ est très bas (390 Hz) et celui de /u/ l'est juste un peu plus (300 Hz), alors que le F2 de /o/ se trouve à 837 Hz avec très peu d'écart, et celui de /u/ est à 767 Hz. Quant aux locutrices, le F1 de /o/ est de 467 Hz et celui de /u/ se trouve à 341 Hz, et le F2 de /o/ est entre 800 et 850 Hz, et celui de /u/ est à 639 Hz.

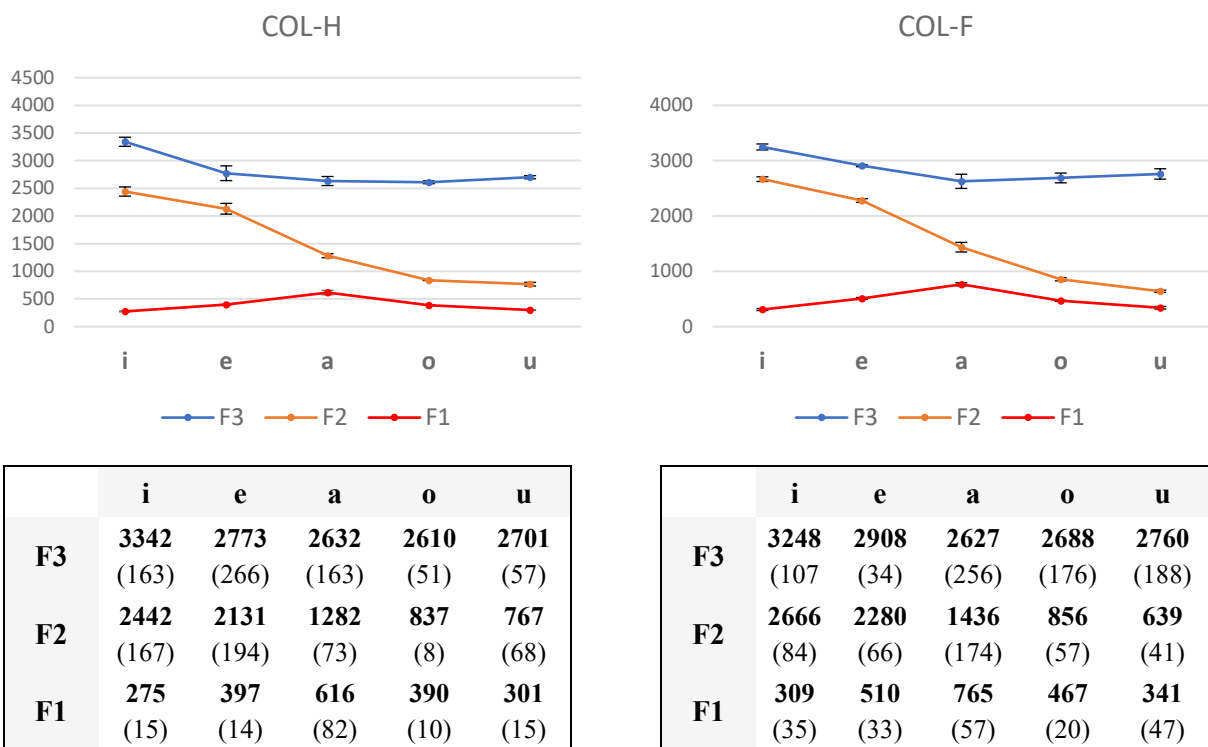


**Figure 16.** Formants des cinq voyelles de l’espagnol produites par six sujets hispanophones de Colombie. À gauche, la production de trois hommes (COL-H), à droite, celle de trois femmes (COL-F). En haut, les cinq répétitions de chaque sujet ; en bas, la moyenne de chaque voyelle pour F1 et F2. Logiciel Praat (Boersma et Weekink, 2020)

Dans la Figure 17, nous présentons les valeurs moyennes des trois premiers formants pour les sujets colombiens. Nous y observons à peu de chose près la même configuration formantique que pour le groupe des sujets espagnols : F1 est plus élevé pour /a/ que pour les autres voyelles : 616 Hz pour les locuteurs, et 765 Hz pour les locutrices. De même, F2 baisse de façon monotone de la voyelle la plus antérieure /i/ à la plus postérieure /u/.

Entre les locuteurs espagnols et les colombiens, il n’y a pas de grandes différences. Quant aux locutrices, les différences concernent les voyelles /o/ et /u/ qui sont plus postérieures chez les colombiennes : respectivement pour /o/ et /u/, 856 et 639 Hz, contre 967 et 770 Hz chez les locutrices espagnoles. Par ailleurs, la symétrie du système vocalique de l’espagnol est plus remarquable chez les locutrice hispanophones que chez les locuteurs, pour qui le F2 de /a/ est plus bas.





**Figure 17.** En haut, valeurs moyennes des trois premiers formants des cinq voyelles de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, produites par les six sujets hispanophones de Colombie ; les locuteurs à gauche, et les locutrices à droite. L'axe vertical représente la fréquence en Hz. En bas, moyennes (en gras) et écarts-types (entre parenthèses) des valeurs formantiques.

## 4.4 Discussion

Les cinq voyelles de l'espagnol ont été produites par six sujets espagnols, dont trois hommes et trois femmes, et six sujets colombiens, trois hommes et trois femmes également. Les résultats montrent une différence de production des voyelles entre locuteurs et locutrices dans les deux groupes d'hispanophones : les hommes ont un espace vocalique plus réduit que les femmes.

Nos résultats sont en accord avec d'autres travaux sur la différence de réalisation des voyelles entre hommes et femmes, dans le sens où les valeurs des formants sont plus élevées chez les femmes que les hommes, en particulier pour F1 et F2. Les résultats de [Quilis et Esgueva \(1983\)](#), par exemple, indiquent une différence des valeurs formantiques entre six femmes et seize hommes hispanophones, aussi bien d'Espagne que d'autres pays hispanoaméricains, notamment pour /i/, /e/, et /u/, dans le sens où l'espace vocalique des femmes est plus large. Le travail de [Chládková et al. \(2001\)](#) atteste de cette différence en fonction du genre (masculin, féminin) chez des sujets péruviens et espagnols. Cependant, ces

auteurs présentent des valeurs formantiques des voyelles de l'espagnol différentes des nôtres, car leurs voyelles ont été analysées dans un contexte consonantique initial : /p/, /b/, /m/, dans [Quilis et Esgueva \(1983\)](#), et /p/, /t/, /k/, /f/, /s/ dans [Chládková et al. \(2001\)](#). Le contexte phonétique des voyelles dans notre étude correspond à la production de la voyelle cible en isolation dans la phrase cadre « *Yo digo V cuando digo MOT seis veces* », où *V* est la voyelle cible et *MOT* est la référence (un mot portant cette voyelle) de la phrase pour le locuteur. Par ailleurs, [Morrison et Escudero \(2007\)](#) attestent d'une stabilité du système vocalique entre les variantes de l'espagnol du Pérou et celui d'Espagne.

Les valeurs formantiques de nos résultats sont difficilement comparables à ceux de [Quilis et Esgueva \(1983\)](#), et de [Chládková et al. \(2001\)](#), mais en les regroupant à titre informatif (Tableaux 14 et 15), nous pouvons remarquer que les zones de dispersion acoustique des voyelles conservent une certaine cohérence par rapport aux valeurs des formants, d'un côté entre les différents groupes de locuteurs, et de l'autre, entre les groupes de locutrices hispanophones.

Voyelles	Notre étude				Quilis et al. (1983)		Chládková et al. (2001)			
	ESP-H		COL-H		Espagnols		Péruviens		Espagnols	
	N=3		N=3		N=16		N=10		N=10	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
/i/	286	2320	275	2442	264	2317	323	2186	327	2195
/e/	414	1962	397	2131	453.8	1995	455	1929	464	1832
/a/	610	1187	616	1282	657	1215	612	1356	658	1389
/o/	419	824	390	837	474	888	483	942	488	1003
/u/	310	746	301	767	293	669	371	824	361	799

**Tableau 14.** Moyennes de F1 et F2 des voyelles de l'espagnol produites par des hommes hispanophones de notre étude, *ESP-H* et *COL-H*, et par des locuteurs des travaux de [Quilis et Esgueva \(1983\)](#) et [Chládková et al. \(2001\)](#).

La production par nos locuteurs de voyelles isolées entraîne une meilleure stabilité des valeurs formantiques, avec moins d'influence des transitions consonne-voyelle ou voyelle-consonne. Par exemple, les valeurs formantiques de nos locuteurs (Tableau 14 : *ESP-H* et *COL-H*) suggèrent une position articulaire très fermée pour /i/, dont le F1 est entre 275 et 286 Hz ; les valeurs de [Quilis et al. \(1983\)](#) suggèrent une position encore plus fermée pour les locuteurs : 264.5 Hz ; les valeurs de [Chládková et al. \(2001\)](#) pour F1 sont plus élevées, ce qui suggère un

effet du contexte consonantique (323 Hz à 327 Hz). Le F2 de /i/ pour ESP-H, COL-H et les locuteurs de [Quilis et al. \(1983\)](#) est plus élevé que celui des locuteurs de [Chládková et al. \(2001\)](#), mais cela est probablement dû au contexte consonantique et aussi à des conduits vocaux de longueur différentes. Par ailleurs, les valeurs formantiques de [Quilis et al. \(1983\)](#) semblent plus « neutres » que ceux de [Chládková et al. \(2001\)](#), en raison du contexte phonétique plus restreint (labiales vs. labiales, dentales, alvéolaires, et vélaires).

Les valeurs de F1 de /e/ sont les plus basses pour ESP-H et COL-H (entre 397 Hz et 414 Hz) par rapport aux deux autres études, dont les valeurs de F1 sont entre 454 et 464 Hz. Concernant /o/, ESP-H et COL-H réalisent une articulation (encore une fois) plus fermée que les locuteurs des autres études (entre 390 et 419 Hz comparé à environ 480 Hz), particulièrement les Colombiens. Le F2 de nos locuteurs et ceux de [Quilis et al. \(1983\)](#) (entre 824 Hz et 888 Hz) suggère une articulation plus postérieure que celle des Péruviens et Espagnols de [Chládková et al. \(2001\)](#) (entre 942 Hz et 1003 Hz). Enfin, le F1 de /u/ est plus élevé pour les locuteurs de [Chládková et al. \(2001\)](#) (361 Hz et 371 Hz) que les nôtres et ceux de [Quilis et al. \(1983\)](#). Il en est de même pour le F2 (799 Hz et 824 Hz) : l'effet du contexte consonantique tendant à centraliser les valeurs formantiques des réalisations des locuteurs de [Chládková et al. \(2001\)](#).

Les réalisations des locutrices semblent parallèles à celles des locuteurs (Tableau 8). Le F1 des voyelles est plus fermé pour les locutrices dans l'étude de [Quilis et al. \(1983\)](#) (/i/ = 241 Hz ; /e/ = 492 Hz ; /a/ = 664 Hz ; /o/ = 510 Hz ; /u/ = 243 Hz), suivi du F1 de nos locutrices pour toutes les voyelles, sauf le /a/ des Espagnoles (ESP-F) : /i/ = entre 309 et 328 Hz ; /e/ = environ 510 Hz ; /o/ entre 467 et 522 Hz ; et enfin /u/ = entre 341 et 363 Hz. Le F2 de /i/ de nos locutrices espagnoles (2804 Hz) et celles de [Quilis et al. \(1983\)](#) (2835 Hz) est plus antérieur par rapport aux autres locutrices (COL-F = 2666 Hz ; locutrices de [Chládková et al. \(2001\)](#) : Péruviennes = 2669 Hz, Espagnoles = 2560 Hz). C'est le /e/ de nos locutrices espagnoles qui est le plus antérieur de tous (2412 Hz).

Quant au /a/, il est plus central pour les locutrices de [Chládková et al. \(2001\)](#) (autour de 1650 Hz), et plus postérieur pour les locutrices de [Quilis et al. \(1983\)](#) (1168 Hz), alors que le F2 de nos locutrices pour cette voyelle se trouve entre ces deux valeurs (autour de 1440 Hz). Le /o/ est plus postérieur pour nos locutrices colombiennes (F2 = 856 Hz), suivi de celui de nos locutrices espagnoles (967 Hz), puis celles de [Quilis et al. \(1983\)](#) (981 Hz), et moins postérieur pour les locutrices péruviennes et espagnoles de [Chládková et al. \(2001\)](#) (1121 Hz et 1155 Hz, respectivement). Finalement, le /u/ de nos locutrices colombiennes et celui des espagnoles de [Quilis et al. \(1983\)](#) sont les plus postérieurs (F2 = 639 Hz et 629 Hz, respectivement), suivi de celui de nos locutrices espagnoles (770 Hz).

	Notre étude		Quilis et al. (1983)		Chládková et al. (2001))					
	ESP-F		COL-F		Espagnoles		Péruviennes		Espagnoles	
	N=3		N=3		N=6		N=9		N=10	
Voyelles	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
/i/	328	2804	309	2666	241	2834	400	2669	400	2560
/e/	512	2412	510	2280	4916	2252	525	2223	531	2159
/a/	886	1445	765	1436	664	1168	762	1610	801	1691
/o/	522	967	467	856	511	981	580	1121	568	1155
/u/	363	770	341	639	243	629	430	954	431	921

**Tableau 15.** Moyennes de F1 et F2 des voyelles de l'espagnol produites par des locutrices hispanophones de notre étude, *ESP-F* et *COL-F*, et par des locutrices des travaux de [Quilis et Esgueva \(1983\)](#) et [Chládková et al. \(2001\)](#).

De multiples facteurs peuvent expliquer les différences entre les trois études des voyelles de l'espagnol que nous avons examinées, le contexte phonétique et la variété d'espagnol en particulier. Il faut aussi tenir compte du fait que le système à 5 voyelles de l'espagnol pourrait laisser plus de marge de liberté à la variation. Mais l'étude de [Meunier et al. \(2003\)](#) montre que la densité du système vocalique n'a que peu d'influence sur la variabilité des valeurs formantiques, l'espace vocalique occupé lors de la production est constant et cela même dans des systèmes comme le français et l'anglais. Malgré cette variabilité, les données de production de nos locuteurs et locutrices montrent une stabilité du système vocalique de l'espagnol.

Pour résumer, les résultats de cette expérience de production des voyelles de l'espagnol montrent une relative similarité des réalisations entre sujets hispanophones, avec une différence attendue entre hommes et femmes : un espace vocalique plus réduit pour les locuteurs que pour les locutrices, espagnols ou colombiens. Seuls l'aperture du conduit vocal et le trait antérieur/postérieur de la langue permettent de classer et opposer phonologiquement les voyelles de l'espagnol.

La référence acoustique en termes de système vocalique de la L1 de nos sujets hispanophones étant établie dans ce chapitre 4, nous allons ensuite nous consacrer à la description de nos six expériences de perception dans les chapitres suivants. Il nous est maintenant possible de décrire une expérience d'assimilation perceptive des voyelles françaises dans ces catégories vocaliques de l'espagnol, ce que nous allons entreprendre au chapitre suivant.

## CHAPITRE 5

# Assimilation perceptive des voyelles françaises dans les catégories vocaliques de l'espagnol

### Résumé

*Dans cette section nous présentons une expérience d'assimilation perceptive de 11 voyelles du français /i, y, ø, œ, ε, ɔ, o, u, ã, ê, õ/ selon les catégories vocaliques de l'espagnol /i, e, a, o, u/. Deux populations d'auditeurs espagnols et colombiens non-natifs ont participé à cette expérience : des sujets n'ayant jamais étudié le français et des apprenants de français. Après la catégorisation de chaque voyelle entendue, les auditeurs devaient indiquer si la voyelle entendue était un bon exemplaire de l'espagnol sur une échelle de 1 à 5 (1 = non assimilé à la parole ; 5 = bon exemplaire). Les résultats sont discutés selon les prédictions du Modèle d'assimilation perceptive, PAM (Perceptual Assimilation Model).*

Le Modèle d'Assimilation Perceptive (PAM, Best, 1995) propose une typologie des contrastes non-natifs basée sur les relations phonétiques et phonologiques entre sons non-natifs (ceux du contraste) et sons natifs (cf. §1.1.1 de l'introduction pour une description détaillée de PAM). Les différents scénarios proposés par PAM correspondent à différents scénarios d'assimilation perceptive des deux sons d'un contraste non-natif en son(s) (un ou plusieurs) de l'inventaire phonémique natif. Comme PAM prédit des niveaux de difficulté de perception des contrastes selon ces divers scénarios (e.g., TC plus difficile que SC, etc.), nous présentons tout d'abord, avant les données de discrimination, celles d'une expérience d'assimilation des voyelles du français (dont les voyelles nasales) par nos sujets hispanophones (naïfs et apprenants du français, d'Espagne et de Colombie). Ces données d'assimilation devraient permettre d'interpréter les données de discrimination dans le cadre du modèle PAM.

## 5.1 Participants

Les sujets participant à cette expérience sont au nombre de 45 sujets hispanophones "naïfs" (aucune expérience du français), dont 25 espagnols (moyenne d'âge 26, ET = 11.4 ; 21 femmes et 4 hommes) et 20 colombiens (moyenne d'âge 21, ET = 3.9 ; 11 femmes et 8 hommes). Cinquante-six apprenants hispanophones du français ont également participé à cette étude : 30 espagnols et 26 colombiens (cf. § 2.1).

## 5.2 Stimuli

Nous avons utilisé 11 voyelles du français : /i, y, ø, œ, ε, ɔ, o, u, ã, ẽ, õ/, insérées dans 66 mots monosyllabiques du français. Nous n'avons pas inclus les voyelles /a/ et /e/ du français, pour des raisons méthodologiques : nous nous sommes concentrés sur les voyelles françaises qui n'ont pas d'équivalent en espagnol, notamment celles que les apprenants hispanophones trouvent difficiles à apprendre (cf. § 2.2). Chacune des 11 voyelles apparaît dans 6 mots qui ont été produits par 2 locuteurs natifs du français de la région parisienne (une femme, LF, et un homme, LM, âgés de 29 ans tous les deux), soit au total 132 tokens. Le contexte phonétique où apparaissent les onze voyelles est volontairement assez varié pour éviter que la tâche soit trop monotone (Tableau 16).

• /i/ : /di, zi, li, pli, vi, si/ (dit, gis, lit, pli, vit, si)	• /o/ : /bo, lo, so, to, tro, vo/ (beau, lot, seau, tôt, trop, veau)
• /y/ /ly, my, py, sy, ty, vy/ (lu, mu, pu, su, tu, vu)	• /u/ : /du, lu, pu, su, tu, vu/ (doux, loue, poux, sous, tout, vous)
• /ø/ : /sø, dø, ø, pø, kø, vø/ (ceux, deux, eux, peut, queue, veut)	• /ã/ : /lã, mã, pã, sã, tã, vã/ (lent, ment, paon, sang, tant, vent)
• /œ/ : /kœr, œr, mœr, pœr, sœl, sœr/ (cœur, heure, meurt, peur, seul, sœur)	• /ẽ/ : /fẽ, lẽ, mẽ, sẽ, tẽ, vẽ/ (fin, lin, main, sein, teint, vin)
• /ɛ/ : /bɛt, dɛt, dɛ, lɛ, plɛ, vɛr/ (bête, dès, dette, lait, plaie, verre)	• /õ/ : /fõ, lõ, põ, sõ, tõ, võ/ (font, long, pont, son, ton, vont)
• /ɔ/ : /bɔt, kɔl, kɔt, lɔt, mɔr, sɔl/ (botte, col, cote, lotte, mort, sol)	

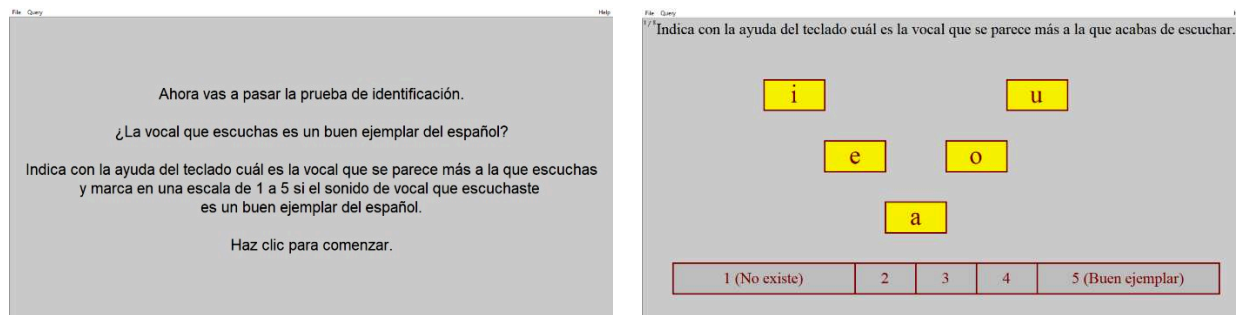
**Tableau 16.** Mots utilisés pour le test d’assimilation perceptive contenant les voyelles françaises /i, y, ø, œ, ε, ɔ, o, u, ã, ẽ, õ/.

Nous n’avons pas cherché à équilibrer les structures syllabiques (fermé vs. ouvert) pour les paires /ø/-/œ/ et /o/-/ɔ/, étant donné que les mi-ouvertes /œ/ et /ɔ/ n’apparaissent qu’en syllabe fermée et les mi-fermées /ø/ et /o/ apparaissent le plus souvent en syllabe ouverte. Nous avons donc donné la préférence aux contextes phonétiques qui nous semblaient les plus familiers.

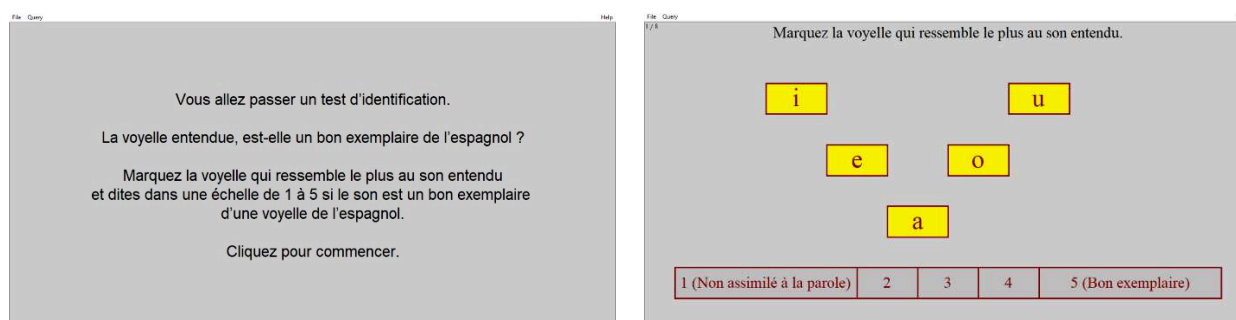
### 5.3 Procédure

Ce test de catégorisation (assimilation perceptive) comprend deux phases : une phase d’entraînement et une phase de test. Dans la phase d’entraînement, destinée à familiariser les sujets avec la tâche (catégorisation selon les voyelles de l’espagnol), les sujets reçoivent comme stimuli 4 mots monosyllabiques du français contenant une voyelle orale (e.g., *ta, fit, zoo, mais*). Ces mots ne sont présentés qu’une seule fois chacun et n’apparaissent pas dans la phase de test (stimuli listés dans le tableau 8). Également pour le test, les stimuli ont été présentés une seule fois chacun. La tâche des sujets (dans les deux phases) est (1) d’indiquer pour chaque mot français présenté laquelle des cinq voyelles de l’espagnol /i/, /e/, /a/, /o/, /u/ correspond le mieux à celle du mot français et (2) de donner une note de “bon appariement” (*goodness of fit*) entre réponse et voyelle entendue, sur une échelle de 1 à 5 (de 1=“mauvais” à 5=“bon” exemplaire).

L'expérience a été conduite avec le logiciel Praat (*ExperimentMFC*, Boersma et Weenink, 2020). Les figures 17 et 18 montrent les écrans présentés aux sujets naïfs et aux apprenants du français. Dans les deux cas, pour s'assurer que les sujets comprenaient bien la tâche, des explications complémentaires ont été données oralement en espagnol.



**Figure 18.** Écrans présentés aux sujets naïfs : à gauche, instructions en espagnol ; à droite, écran de réponse (voyelle puis score entre 1 et 5).



**Figure 19.** Écrans présentés aux apprenants : à gauche, instructions en français ; à droite, écran de réponse (voyelle puis score entre 1 et 5).

## 5.4 Résultats

Les résultats du test d'assimilation perceptive de ces 11 voyelles du français par les sujets hispanophones sont présentés dans des matrices de confusion. Chaque cellule indique (1) le nombre de réponses, (2) le pourcentage correspondant (entre parenthèses), et (3) le score moyen de "bon appariement" (en italique). Les réponses les plus fréquentes sont en gras.

Nous présentons d'abord les résultats des sujets colombiens (Tableau 17) et ensuite ceux des sujets espagnols (Tableau 18).



### 5.4.1 Colombiens

Pour le groupe de sujets colombiens, le nombre total des réponses par voyelle est de 540 (45 sujets x 6 mots x 2 locuteurs).

réponses stimuli	i	e	a	o	u
<b>i</b>	<b>536 (99%)</b> 4.2	4 (1%) 2.8			
<b>y</b>	48 (9%) 2.1	1 2.0	1 5.0	5 (1%) 1.5	<b>485 (90%)</b> 2.8
<b>ø</b>	1 4.0	<b>175 (32%)</b> 2.0	3 (1%) 2.7	95 (18%) 2.5	<b>266 (49%)</b> 2.4
<b>œ</b>	2 2.0	<b>376 (70%)</b> 2.3	10 (2%) 2.3	<b>142 (26%)</b> 2.9	10 (2%) 1.7
<b>ɛ</b>	1 4.0	<b>536 (99%)</b> 4.2	2 2.5	1 3.0	
<b>ɔ</b>		8 (1%) 1.9	31 (6%) 2.8	<b>468 (87%)</b> 3.8	33 (6%) 2.9
<b>o</b>		2 2.0		<b>502 (93%)</b> 3.7	36 (7%) 3.3
<b>u</b>		1 1.0		6 (1%) 4.4	<b>533 (99%)</b> 4.0
<b>ẽ</b>	10 (2%) 2.1	1 5.0	<b>528 (98%)</b> 3.4		1 4.0
<b>ã</b>	3 (1%) 1.8	7 (1%) 2.7	<b>202 (37%)</b> 2.5	<b>328 (61%)</b> 3.0	
<b>õ</b>	1 3.0	2 5.0	6 (1%) 1.7	<b>462 (86%)</b> 2.8	69 (13%) 2.7

**Tableau 17.** Matrice de confusion pour l'assimilation des voyelles françaises selon les catégories vocaliques de l'espagnol par les sujets colombiens. Les résultats sont présentés en nombre de réponses, et entre parenthèses, en pourcentages.

Pour la /i/ française, nous observons qu'elle a été assimilée à /i/ espagnole dans 99% des cas et très rarement à /e/ (1%). La /y/ a été assimilée principalement à /u/ dans 90% des cas, et de manière moins importante, à /i/ (9%). Le score moyen du "bon appariement" est plus important pour l'assimilation en /u/ (2.8) qu'en /i/ (2.1). Nous ne reportons pas les autres scores étant donné leur faible nombre de réponses. Or, /u/ est aussi assimilée à /u/ de l'espagnol avec 99% des cas.

Quant à la /ø/, elle est assimilée à deux catégories vocaliques de l'espagnol : /u/, avec 49% des cas de catégorisation, et un peu moins en /e/ (32% des cas). Mais il y a aussi un faible pourcentage d'assimilation de /ø/ à /o/ (18%). Le score moyen du "bon appariement" est plus important pour l'assimilation en /o/ (2.5), suivie de celle en /u/ (2.4), et enfin en /e/ (2.0). En revanche, /œ/ a été assimilée dans 70% des cas à la /e/ de l'espagnol, et 26% en /o/, le score du *goodness of fit* étant plus important pour ce dernier, /o/, (2.9) que pour /e/ (2.3). En termes de traits phonétiques, nous observons que dans 67% des réponses (49+18% des cas), les assimilations seraient motivées par [+rounded] et dans 32% des cas par [+front]. C'est l'inverse pour /œ/ qui est surtout assimilée à /e/.

Pour /ɛ/, nous observons qu'elle a été assimilée dans 99% des réponses à la /e/ de l'espagnol. Le score de bon exemplaire est assez haut (4.2) pour le confirmer.

Quant à /ɔ/ et /o/, nous observons que les deux sont assimilées à /o/ de l'espagnol, 87% pour la première, et 93% pour la deuxième, le taux moyen du "bon appariement" étant 3.8 et 3.7 respectivement. La différence des pourcentages d'assimilation de /ɔ/ et /o/ en /o/ de l'espagnol est très faible: il n'y aurait pas donc de différence quant au degré d'aperture entre les deux voyelles par les sujets colombiens. Les bas pourcentages d'assimilation de /ɔ/ en /a/ et /u/ (6% dans les deux cas) ne permettent pas de les examiner.

Enfin, concernant les voyelles nasales, nous observons que /ɛ̃/ est assimilée à /a/ dans 98% des réponses, et rarement en /i/ (2%). Ensuite, /ã/ est assimilée à deux catégories : /o/ (61%) et /a/ (37%), et le score moyen du "bon appariement" est de 3.0 et 2.5 respectivement. Finalement, /õ/ a été assimilée notamment à /o/ de l'espagnol avec 86% des cas de catégorisation, et dans une moindre mesure à /u/ (13%). L'assimilation de /ã/ et /õ/ serait motivée par [+rounded] et [+back], compte tenu aussi de l'assimilation de /õ/ en /u/, malgré le bas pourcentage des réponses.

### 5.4.2 Espagnols

Dans le Tableau 18, nous présentons la matrice de confusion pour les assimilations perceptives des sujets espagnols. Le nombre total des réponses par voyelle est de 660 (55 sujets x 6 mots x 2 locuteurs).

Comme chez les sujets colombiens, la /i/ a été assimilée à la /i/ de l'espagnol sans moindre indice de confusion (100%). Ensuite, /y/, elle a été majoritairement assimilée à /u/ dans 85% des cas, et un peu moins à /i/ (13%), et /u/ a été aussi assimilée à /u/ dans 99% des cas. La

moyenne du rating pour le “bon appariement” est un peu plus importante pour /i/ (2.5) que pour /u/ (2.3). Nous observons ici que les sujets espagnols assimilent /y/ et /u/ à une même catégorie comme les sujets colombiens.

réponses stimuli	i	e	a	o	u
i	<b>660 (100%)</b> 4.1				
y	85 (13%) 2.5	5 (1%) 2.6		8 (1%) 2.0	<b>562 (85%)</b> 2.3
ø	3 1.0	<b>362 (55%)</b> 2.0	4 (1%) 2.2	121 (18%) 2.2	<b>170 (26%)</b> 2.2
œ	2 1.5	<b>528 (80%)</b> 2.2	14 (2%) 1.4	<b>116 (18%)</b> 2.4	
ε	1 1.0	<b>658 (99%)</b> 4.2	1 5.0		
ɔ		12 (2%) 1.8	<b>71 (11%)</b> 2.4	<b>535 (81%)</b> 3.7	42 (6%) 4.0
o		1 1.0		<b>624 (95%)</b> 3.8	35 (5%) 2.4
u				6 (1%) 2.3	<b>654 (99%)</b> 4.2
ẽ	26 (4%) 2.4	20 (3%) 2.8	<b>613 (93%)</b> 3.5	1 3.0	
ã	6 (1%) 2.0	25 (4%) 1.6	<b>304 (46%)</b> 2.4	<b>324 (49%)</b> 3.0	1 5.0
õ			8 (1%) 1.8	<b>590 (89%)</b> 3.0	62 (9%) 2.8

**Tableau 18.** Matrice de confusion pour l’assimilation des voyelles françaises selon les catégories vocaliques de l’espagnol par les sujets espagnols. Les résultats sont présentés en nombre de réponses, et entre parenthèses, les pourcentages.

Cependant, /ø/ est assimilée plus à /e/ (55%) qu’à /u/ (26%) contrairement aux sujets colombiens, mais la variabilité d’assimilation concerne aussi /o/ dans 18% des cas. Or, /œ/ est aussi assimilée à /e/ dans 80% des cas, à /o/ dans 18%, et très rarement à /a/ dans 2%. L’assimilation de /ø/ et /œ/ serait motivée plutôt par [+front]

Quant à /ε/, l’assimilation est dans la catégorie de /e/ dans 99% des cas.

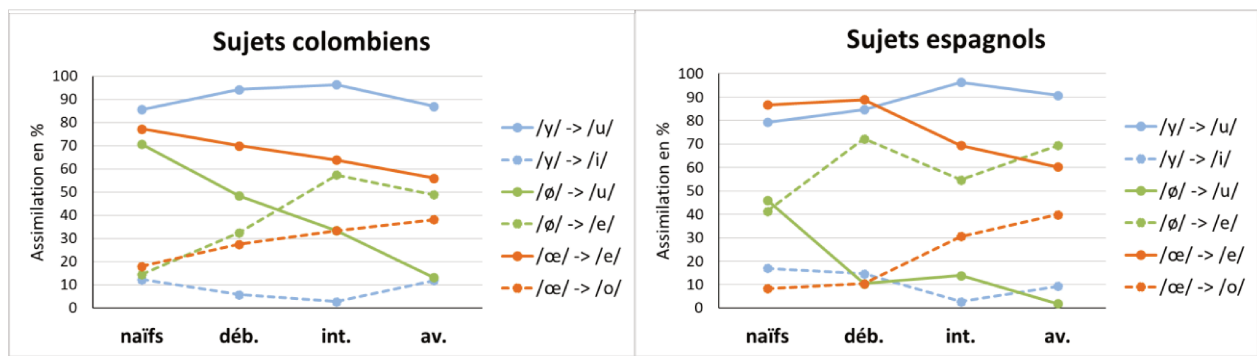
Comme chez les sujets colombiens, nous observons que /ɔ/ et /o/ ont été assimilées à une même catégorie de l’espagnol, /o/ : 81% des cas pour la première, et 95% pour la deuxième.

Pour les voyelles nasales, /ẽ/ est assimilée à /a/ dans 93%, et très rarement à /i/ (4%), et à /e/ (3%). Tout comme les sujets colombiens, /ã/ est assimilée à deux catégories chez les sujets espagnols : /o/ dans 49% des cas, et /a/ dans 46%. Nous observons aussi qu'elle a été assimilée avec un faible pourcentage à /e/ (4%) et encore moins à /i/ (1%). Enfin, /õ/ est notamment assimilée à /o/ dans 89%, et à /u/ dans 9% des cas.

Si nous examinons les résultats selon le niveau de français des sujets hispanophones, nous pouvons constater que l'assimilation des voyelles françaises change avec l'expérience d'apprentissage. Dans la Figure 20, nous présentons l'assimilation des voyelles orales /y/, /ø/, et /œ/ que réalisent les sujets hispanophones en fonction de leur niveau de français, et pour lesquelles l'assimilation est réalisée dans deux, voire trois catégories vocaliques. Nous n'incluons pas les voyelles /i/, /ε/, /ɔ/, /o/ et /u/ en raison d'une assimilation importante à une seule catégorie de l'espagnol : /i/ ⇨ /i/, /ε/ ⇨ /e/, /ɔ/ ⇨ /o/, /o/ ⇨ /o/, /u/ ⇨ /u/.

D'un côté, nous observons un aspect commun aux sujets naïfs et apprenants hispanophones sur l'assimilation de la /y/ française en /u/ espagnole : dans le groupe colombien, les naïfs obtiennent 85.5% en moyenne sur cette assimilation, les débutants ont 94.2%, les intermédiaires 96.3%, et les avancés 86.9% ; de la même façon, dans le groupe espagnol, les naïfs ont 79.3%, les débutants 84.7%, les intermédiaires 96.3%, et les avancés 90.7%. Alors que l'assimilation de /y/ en /i/ a des pourcentages très faibles dans les deux groupes, entre les naïfs et les apprenants.

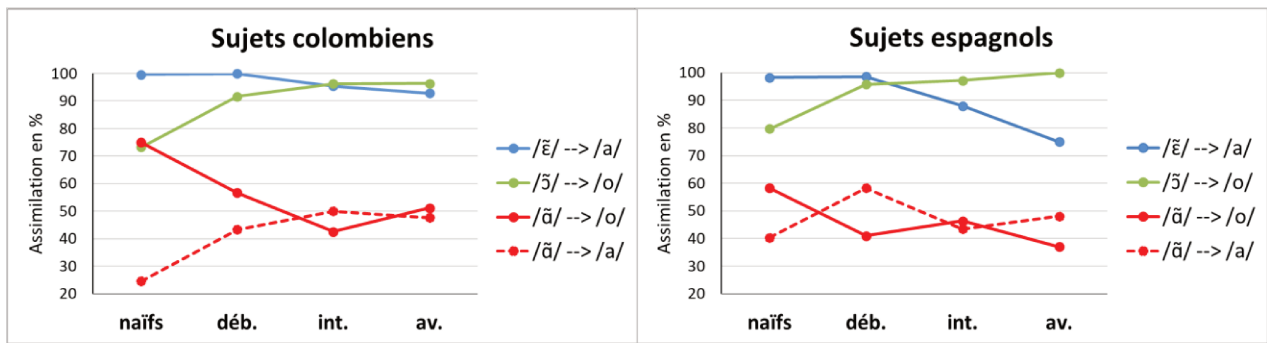
Nous avons précédemment vu que l'assimilation de /ø/ à /u/ constituait un pourcentage considérable pour les sujets colombiens (49%), suivie de l'assimilation de /ø/ à /e/ (32%). Or, ce sont les sujets naïfs qui entendent plutôt /u/ (70.6%), et cette assimilation tend à disparaître avec l'expérience d'apprentissage du français (débutant = 48.3% ; intermédiaire = 33.3% ; avancé = 13.1%), et l'assimilation en /e/ augmente (naïfs = 14.5% ; débutant = 32.5% ; intermédiaire = 57.4% ; avancé = 48.8%). Également pour les sujets espagnols, /ø/ n'est plus assimilée à /u/ au fur et à mesure que les apprenants acquièrent de l'expérience avec le français (naïfs = 46% ; débutant = 10.4% ; intermédiaire = 13.9% ; avancé = 1.9%), et l'assimilation en /e/ augmente à sa place (naïfs = 41.3% ; débutant = 72.2% ; intermédiaire = 54.6% ; avancé = 69.4%). Dans les deux groupes, /ø/ est aussi assimilée à /o/ mais cette assimilation n'augmente que légèrement avec l'expérience d'apprentissage du français (Colombiens : naïfs = 14% ; débutant = 18.3% ; intermédiaire = 8.3% ; avancé = 38.1% ; et Espagnols : naïfs = 10.3% ; débutant = 17.4% ; intermédiaire = 31.5% ; avancé = 28.7%).



**Figure 20.** Pourcentages d'assimilation perceptive des voyelles françaises /y/, /ø/, /œ/ selon le niveau de français des sujets hispanophones : *Ss naïfs* = sans aucune expérience ; *déb.* = débutant ; *int.* = intermédiaire ; *av.* = avancé.

Enfin, l'assimilation de /œ/ a une évolution perceptive similaire à celle de /ø/, à savoir que /œ/ est assimilé à /e/ de l'espagnol, et cette assimilation diminue avec l'expérience avec le français : Colombiens : sujets naïfs = 77.2% ; débutant = 70% ; intermédiaire = 63.9% ; et avancé = 56% ; et Espagnols : naïfs = 86.7% ; débutant = 88.9% ; intermédiaire = 69.4% ; avancé = 60.2%. Simultanément, l'assimilation de /œ/ en /o/ augmente dans une progression avec l'expérience d'apprentissage : Colombiens : sujets naïfs = 18% ; débutant = 27.5% ; intermédiaire = 33.3% ; avancé = 38.1% ; et Espagnols : naïfs = 8.3% ; débutant = 10.4% ; intermédiaire = 30.6% ; avancé = 39.8%.

De l'autre côté, l'assimilation des voyelles nasales selon le niveau du français des sujets est présentée dans la Figure 21. Nous observons dans le groupe de sujets colombiens une progression monotone de l'assimilation de /ẽ/ à /a/ des sujets naïfs aux apprenants de niveau avancé (99.6%, 100%, 95.4%, 92.9% respectivement). En revanche, dans le groupe espagnol, les sujets naïfs assimilent aussi /ẽ/ à /a/ de l'espagnol (98.3%) mais l'expérience d'apprentissage des apprenants fait descendre cette assimilation : débutant = 98.6% ; intermédiaire = 88% ; avancé = 75%. A cet égard, une autre assimilation que nous ne reportons pas dans la Figure 16, pour possible interférence avec l'orthographe entre le français et l'espagnol chez les apprenants des niveaux supérieurs, c'est l'assimilation de /ẽ/ en /e/ dans 9.3% et en /i/ dans 2.8% par les apprenants intermédiaires, ainsi que les apprenants de niveau avancé l'ont aussi assimilée à /i/ dans 19.4%, et à /e/ dans 5.6%. D'autre part, /ã/ est assimilée à deux catégories de l'espagnol, /a/ et notamment à /o/. Pour les Colombiens, l'assimilation de /ã/ en /a/ est de 24.6% chez les sujets naïfs, alors que l'assimilation de /ã/ en /o/ s'élève à 75% des cas. Cette double assimilation est observée aussi chez les sujets espagnols : l'assimilation de /ã/ en /a/ est de 40.3% chez les sujets naïfs, alors que l'assimilation de /ã/ en /o/ augmente à 58.3%.



**Figure 21.** Pourcentages d'assimilation perceptive des voyelles nasales du français /ã/, /ẽ/, /õ/ selon le niveau de français des sujets colombiens à gauche, et espagnols à droite : *naïfs* = sans aucune expérience de français ; *déb.* = débutant ; *int.* = intermédiaire ; *av.* = avancé.

Outre l'assimilation de /ã/ chez les sujets naïfs, nous observons que l'expérience avec le français des apprenants leur fait converger cette doublement assimilation en /a/ et en /o/ en dessous 50%.

Le score moyen du “bon appariement” est 3.5 chez les sujets naïfs colombiens concernant l'assimilation de /ã/ à /o/, alors qu'il est de 3.2 pour l'assimilation à /a/. Chez les naïfs espagnols, le score moyen est de 2.7 pour l'assimilation à /o/, et de 2.0 pour l'assimilation à /a/. Par rapport aux apprenants, malgré des taux d'assimilation similaires pour /o/ et /a/, le score moyen du “bon appariement” est plus important pour le premier que pour le deuxième : pour /o/ il est de 2.8, alors qu'il est de 2.2 pour /a/ chez les apprenants colombiens ; et nous observons la même situation chez les apprenants espagnols où le score moyen est de 3.0 pour /o/, et de 2.5 pour /a/.

Finalement, l'assimilation de /õ/ correspond à /o/ de l'espagnol pour les sujets naïfs colombiens dans 73.2% des cas, et 79.7% chez les naïfs espagnols. Toutefois, 26.3% des cas correspondent à l'assimilation de /õ/ à /u/ pour les naïfs colombiens, et même situation pour les naïfs espagnols où ils assimilent /õ/ à /u/ dans 19.3% des cas. Enfin, cette assimilation à /o/ se consolide avec l'expérience d'apprentissage dans 98% en moyenne pour les niveaux avancés des deux groupes.

## 5.5 Discussion

Nous avons effectué une expérience d'assimilation perceptive de 11 voyelles françaises, /i, y, ø, œ, ε, ɔ, o, u, ã, ẽ, õ/, selon les catégories vocaliques de l'espagnol, /i, e, a, o, u/, par 45

sujets hispanophones d'Espagne et de Colombie, sans aucune expérience avec le français, et 55 apprenants également espagnols et colombiens. Les stimuli ont été prononcés par deux francophones natifs de la région parisienne (LM et LF), une seule fois. L'objectif a été d'examiner la façon comment les sujets hispanophones, en fonction de leur expérience avec le français, perçoivent les voyelles françaises selon les catégories vocaliques de leur langue maternelle, spécifiquement quelle voyelle de l'espagnol ils entendent. Après avoir réalisé la catégorisation, les sujets devaient indiquer juste après si la voyelle entendue est un bon exemplaire de l'espagnol ou non sur une échelle de 1 à 5 (1 = *non assimilé à la parole* ; 5 = *bon exemplaire*).

Nous ne connaissons pas d'études de perception au sujet de l'assimilation des voyelles françaises par des hispanophones, seulement l'étude préliminaire que nous avons menée sur la catégorisation des voyelles nasales selon les voyelles de l'espagnol par des hispanophones d'Espagne et de Colombie (Bustamante, Hallé et Pillot-Loiseau, 2018).

Nous avons présenté les résultats d'assimilation notamment par les sujets naïfs du français, car l'expérience d'apprentissage des apprenants peut influencer la catégorisation à travers une conscience des différences phonologiques entre les deux langues en question. Cependant, nous avons aussi observé l'assimilation chez les apprenants afin d'examiner l'évolution de l'assimilation perceptive.

Les résultats de catégorisation analysés dans des matrices de confusion, tous les sujets confondus, ceux ayant un niveau de français et ceux qui n'en ont pas, montrent que la voyelle française /i/ est entièrement assimilée à /i/ de l'espagnol dans les deux groupes hispanophones, donc une seule catégorie vocalique de l'espagnol. Concernant /y/, tous les sujets colombiens et espagnols l'assimilent majoritairement à /u/, alors qu'un faible pourcentage de cas l'assimilent à /i/ (>20%) ; il s'agit donc d'une assimilation à une seule catégorie vocalique aussi. En outre, il s'avère que la catégorisation de la /u/ française résulte complètement dans l'assimilation à la /u/ de l'espagnol aussi (99%).

Quant à /ø/, les résultats montrent qu'elle est assimilée dans trois catégories vocaliques principalement : /u/, /e/ et /o/. Chez les sujets colombiens, /u/ domine l'assimilation (49%), alors que chez les sujets espagnols, c'est /e/ (55%). En effet, les sujets naïfs colombiens assimilent de manière importante /ø/ à /u/ dans 70.6% des cas, et cette assimilation décroît considérablement avec l'expérience avec le français (1.9% pour les apprenants de niveau avancé). Mais pour les sujets espagnols, il y a une double assimilation de /ø/ par les sujets naïfs, /u/ dans 46% des cas, et /e/ dans 41.3%, et l'assimilation en /u/ décroît chez les apprenants espagnols jusqu'à

disparaître, alors que l'assimilation à /e/ augmente avec l'expérience d'apprentissage du français.

Le cas contraire est observé pour /œ/, qui est assimilée principalement à /e/ dans les deux groupes de sujets hispanophones, notamment chez les sujets naïfs (colombiens = 77.2% ; et espagnols = 86.7%). Au fur et à mesure que les sujets acquièrent de l'expérience avec le français, cette assimilation diminue, et augmente l'assimilation à /o/. En outre, /ɛ/ est massivement assimilée à /e/, il se peut que les hispanophones ne perçoivent pas le degré d'aperture entre /e/ et /ɛ/ du français, et possiblement c'est le cas aussi entre /ø/ et /œ/.

À cet égard, suivant des considérations articulatoires et phonétiques (Hallé, Best, & Levitt, 1999), il faut noter que [ $\pm$ rounded] n'a pas valeur distinctive en espagnol : les voyelles non-basses et d'arrière ([+back, -low]) sont toutes [+rounded]. C'est pourquoi, nous pourrions penser que la détection phonétique du trait [+rounded] par les sujets hispanophones, notamment les naïfs, est interprétée comme signalant une voyelle d'arrière non-basse. C'est le cas de /y/ et /ø/, donc /u/ dans les deux cas. Par ailleurs, n'ayant pas de demi-degré d'aperture en espagnol, l'assimilation de /œ/ en /e/ serait motivé par le trait [+low] chez les sujets naïfs, étant donné l'assimilation de /ɛ/ en /e/. Enfin, concernant la trajectoire de l'assimilation chez les apprenants, nous pouvons considérer la présence d'une interférence de l'expérience d'apprentissage du français où ils cherchent à trouver une affinité phonétique à tel point de faire converger cette double assimilation en /e/ et /o/.

D'autre part, les résultats de la matrice de confusion concernant l'assimilation des voyelles nasales ont montré que /ẽ/ est assimilée à /a/ dans la majorité des cas, et en fonction du niveau de français, ce sont les sujets naïfs qui réalisent cette assimilation dans 99%. Les niveaux supérieurs de français ont montré une descente du pourcentage d'assimilation, particulièrement les apprenants espagnols de niveau intermédiaire (88%) et avancé (75%) ; il semblerait que, face à une catégorie phonologique de /ẽ/ peut-être déjà acquise par ces apprenants, ils trouvaient un peu difficile à associer une des voyelles de l'espagnol à /ẽ/, et ils cherchaient plutôt dans la transcription orthographique proposée pour les réponses un rapport orthographique : << i >> dans 19.4% par les apprenants de niveau avancé, et << a >> dans 9.3% par les apprenants de niveau intermédiaire. Ce n'est peut-être pas une question de l'influence orthographique, mais une difficulté à se détacher de la représentation phonologique de /ẽ/ pour associer à une catégorie phonétique de l'espagnol.



Quant à /õ/, elle est assimilée à /o/ dans la plupart des cas par tous les sujets hispanophones, naïfs et apprenants, malgré des pourcentages faibles d'assimilation à /u/ chez les sujets naïfs colombiens et espagnols.

Pour /ũ/, l'assimilation est double chez les sujets hispanophones : /ũ/ est majoritairement assimilée à /o/ par les sujets naïfs colombiens (75%) et espagnols (58%), et dans une moindre mesure à /a/ par les naïfs colombiens (25%) et espagnols (40%). Chez les apprenants, la catégorisation reste double entre /o/ et /a/, quoique dans des pourcentages similaires, autour de 50%. En outre, tous les sujets, naïfs et apprenants, qualifient l'assimilation de /ũ/ à /o/ avec un score de "bon appariement" plus important que l'assimilation à /a/.

Finalement, l'ordre des assimilations ici examinées peut nous permettre d'évoquer des oppositions phonologiques qui représenteraient des difficultés pour les apprenants hispanophones. Par exemple, en termes de PAM, le contraste /y/-/i/ serait TC (*Two category assimilation*), donc facile à discriminer étant donné l'assimilation que les sujets hispanophones font de ces voyelles, /u/-/i/. En revanche, pour le contraste /y/-/u/, la discrimination serait difficile, car l'assimilation des ces voyelles a été /u/-/u/ respectivement, le contraste serait SC (*Single category*) ou CG (*Category goodness*) selon le score important de "bon appariement" attribué à la deuxième catégorie, notamment par les sujets colombiens. Pour les voyelles nasales, l'assimilation de /ẽ/-/ũ/ est /a/-/a/ et /a/-/o/, ce contraste représenterait une discrimination facile, donc TC ou CG, étant donné que le score de "bon appariement" a été plus élevé pour l'assimilation de /ẽ/ à /a/, que celle de /ũ/ à /a/. La discrimination de /ũ/-/õ/ serait difficile étant donné l'assimilation à /a/-/o/, respectivement, mais aussi /o/-/o/, donc TC ou CG car le score de "bon appariement" est similaire pour l'assimilation à /o/ des deux voyelles.

Dans le chapitre suivant, nous verrons la perception d'une série de voyelles orales du français ainsi que des voyelles nasales par les sujets hispanophones d'Espagne et de Colombie dans des expériences de discrimination et de catégorisation. Les résultats de ces expériences seront analysés à la lumière des résultats de l'assimilation perceptive ici présentés.

# CHAPITRE 6

## Expériences de discrimination AXB

### Résumé

*Deux expériences de discrimination ont été effectuées auprès de deux populations d'hispanophones espagnols et colombiens : des sujets n'ayant jamais étudié le français et des apprenants de français, classés dans trois niveaux (débutant, intermédiaire, avancé). La première expérience a consisté à discriminer les contrastes des voyelles orales (/i/-/y/, /u/-/y/, /ø/-/ε/, /ø/-/o/, /e/-/i/) dans deux modalités de locuteur : C1, avec une voix femme, et C2 avec une voix de femme et une voix d'homme. Les résultats montrent que les sujets hispanophones ont des difficultés à discriminer /u/-/y/, /ø/-/o/, et aussi /ø/-/ε/. Les contrastes /i/-/y/ et /e/-/i/ sont plus faciles pour la discrimination.*

*La deuxième expérience porte sur la discrimination des voyelles orales et nasales (/a/-/ã/, /ε/-/ẽ/, /o/-/õ/, /ɔ/-/õ/), également avec deux modalités de locuteur (C1 et C2). Les résultats indiquent que les hispanophones n'ont pas de difficultés à faire la distinction oral/nasal des voyelles du français, sauf pour /o/-/õ/.*

*La troisième expérience de discrimination porte sur les seules voyelles nasales du français (/ã/-/ẽ/, /ã/-/õ/, /ẽ/-/õ/). Cette expérience a été réalisée auprès des apprenants hispanophones et des auditeurs francophones natifs. Deux modalités de locuteur ont aussi été proposées pour cette tâche de discrimination. Les résultats montrent que les natifs du français discriminent correctement les voyelles nasales, alors que les apprenants rencontrent des difficultés avec les contrastes /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/.*

*Pour ces expériences de discrimination, il y a un effet du facteur Niveau de français, sauf pour la discrimination des voyelles nasales.*

*Les résultats sont discutés à la lumière des prédictions du Modèle d'assimilation perceptive, PAM (Perceptual Assimilation Model).*

Cette étude s'intéresse dans un premier temps à examiner la capacité de discrimination des apprenants hispanophones d'Espagne et de Colombie des voyelles nasales du français. Outre l'absence de voyelles nasales en espagnol, les témoignages des apprenants indiquent que non seulement ces voyelles constituent une source de difficulté pour l'apprentissage du français, mais aussi certaines voyelles orales qui ne font également pas partie du répertoire vocalique de l'espagnol, notamment /y/ et /ø/. Nous présenterons plus en détail les difficultés de prononciation du français rencontrées par les hispanophones dans la section dédiée aux participants de cette étude, (cf. § 3.2.2). L'objectif central de notre étude est la perception des voyelles nasales par des hispanophones. Nous présentons également une expérience préliminaire portant sur leur discrimination des voyelles orales du français, suivie d'une expérience de discrimination entre les voyelles nasales et les voyelles orales dites « correspondantes » (e.g., /a/-/ã/), afin d'examiner si les sujets hispanophones sont capables d'abstraire le trait [ $\pm$ nasal] des voyelles nasales.

Trois expériences de discrimination AXB ont ainsi été conduites :

- Discrimination des voyelles orales : /i/-/y/, /u/-/y/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/, /e/-/i/.
- Discrimination des voyelles nasales et voyelles orales : /a/-/ã/, /ɛ/-/ẽ/, /o/-/õ/, /ɔ/-/õ/.
- Discrimination des voyelles nasales : /ã/-/ẽ/, /ã/-/õ/, /ẽ/-/õ/.

Nous présenterons d'abord trois aspects communs aux trois expériences de discrimination, à savoir les participants, le design et la procédure de discrimination utilisés. Ensuite, pour chaque expérience de discrimination, nous présenterons les stimuli, les résultats, et la discussion correspondante.

## 6.1 Design

Toutes les expériences de discrimination AXB des voyelles du français ont en commun le facteur Locuteur à deux niveaux (deux conditions 1 vs. 2 : une seule voix vs. deux voix). Dans la condition 1 (désormais C1), tous les stimuli de chaque essai ont été produits par le même locuteur, en l'occurrence une locutrice, LF (Tableau 19). Dans la condition 2 (désormais C2), les stimuli A et B de chaque essai (1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> stimuli) ont été produits par la locutrice LF, mais le stimulus X a été produit par un autre locuteur masculin, LM (Tableau 20). La condition C2 augmente la nécessité pour les sujets de s'abstraire des détails phonétiques et de baser leur réponse sur des représentations phonémiques (Dupoux, Pallier, Sebastian, & Mehler, 1997 ; Dupoux, Kakehi, Hirose, Pallier, & Mehler, 1999). Nous nous attendons naturellement à ce que

la condition C2 soit plus difficile que la condition C1. Pour chaque contraste, 4 patterns AXB sont présentés (AAB, ABB, BBA, et BAA) et chaque pattern est présenté trois fois avec des *tokens* différents en sorte que (i) le même *token* n'apparaisse jamais deux fois dans le même triplet, et (ii) que chaque *token* apparaisse de façon équiprobable dans les trois positions (voir Tableaux 19 et 20). Par exemple, pour la condition 1, AAB apparaît 3 fois : comme (a1, a2, b1), (a2, a3, b2) et (a3, a1, b3). Il s'agit des *tokens* ai et bi produits par la locutrice LF.

<b>AAB</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	a1-LF	a2-LF	b1-LF
	a2-LF	a3-LF	b2-LF
	a3-LF	a1-LF	b3-LF
<b>ABB</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	a1-LF	b2-LF	b1-LF
	a2-LF	b3-LF	b2-LF
	a3-LF	b1-LF	b3-LF
<b>BBA</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	b1-LF	b2-LF	a1-LF
	b2-LF	b3-LF	a2-LF
	b3-LF	b1-LF	a3-LF
<b>BAA</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	b1-LF	a2-LF	a1-LF
	b2-LF	a3-LF	a2-LF
	b3-LF	a1-LF	a3-LF

**Tableau 19.** Construction des triplets pour C1 pour les 4 patterns AXB, exploitant les 3 répétitions des 'a' et 'b' produits par LF. En grisé : stimuli de même catégorie.

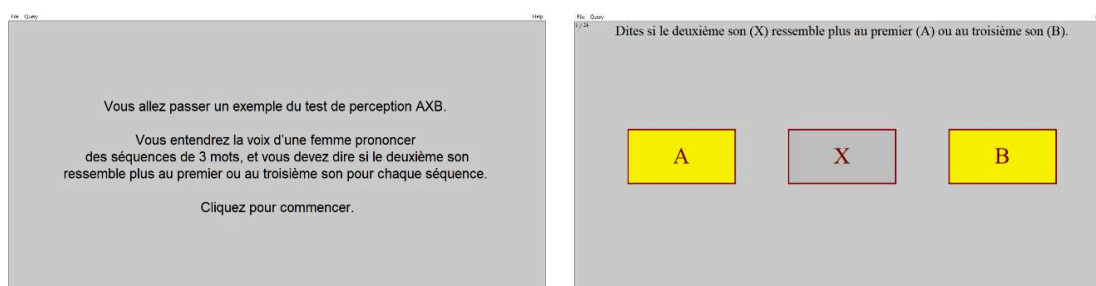
<b>AAB</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	a1-LF	a2-LM	b1-LF
	a2-LF	a3-LM	b2-LF
	a3-LF	a1-LM	b3-LF
<b>ABB</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	a1-LF	b2-LM	b1-LF
	a2-LF	b3-LM	b2-LF
	a3-LF	b1-LM	b3-LF
<b>BBA</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	b1-LF	b2-LM	a1-LF
	b2-LF	b3-LM	a2-LF
	b3-LF	b1-LM	a3-LF
<b>BAA</b>	<b>A</b>	<b>X</b>	<b>B</b>
	b1-LF	a2-LM	a1-LF
	b2-LF	a3-LM	a2-LF
	b3-LF	a1-LM	a3-LF

**Tableau 20.** Construction des triplets pour C2. Même principe que pour C1, sauf que les 'a' ou 'b' ont été produits par LM dans la position 2 (X) et par LF dans les positions 1 et 3 (A et B).

Reprenant l'exemple du pattern AAB pour la condition 2, AAB apparaît 3 fois : comme (a1-LF, a2-LM, b1-LF), (a2-LF, a3-LM, b2-LF) et (a3-LF, a1-LM, b3-LF). Il s'agit donc des *tokens* ai et bi produits par la locutrice LF en position 1 et 3 ou par LM en position 2.

## 6.2 Procédure

Une phase d'entraînement est proposée afin de familiariser les auditeurs à la tâche. Pour les sujets naïfs et les apprenants débutants, les instructions sont données en espagnol à l'oral, alors que les instructions sont données en français à l'oral pour les apprenants intermédiaires et avancés (Figure 22).



**Figure 22.** Tâche de discrimination AXB : écrans d'accueil et de réponse.

La tâche d'entraînement porte sur les deux contrastes du français /i-e/ et /o-u/ ('*si-ses*', '*dos-doux*') qui existent aussi en espagnol. Il s'agit donc d'une tâche sans doute facile pour les sujets. Elle doit leur permettre d'être rapidement à l'aise avec le paradigme AXB. Une seule condition de locuteur (C1) est présentée pour cette phase introductive, avec les quatre déclinaisons des triplets AAB, ABB, BBA, et BAA, c'est-à-dire 24 stimuli.

La phase de test (expérience proprement dite) porte sur les contrastes de l'expérience correspondante (/i-y/, /u-y/, /ø-ε/, /ø-o/, /e-i/, pour la tâche de discrimination des voyelles orales ; /a-ã/, /ε-ẽ/, /o-õ/, /ɔ-õ/ pour la discrimination des voyelles nasales et orales ; et /ã-ẽ-õ/ pour la discrimination des voyelles nasales. Cette phase comporte deux parties. La première pour la condition 1, la seconde pour la condition 2. Le sujet est prévenu de la structure du test en deux parties et du fait que les stimuli sont produits par la même locutrice dans la première partie, et par cette locutrice et un second locuteur dans la seconde partie. Nous avons proposé

une pause de passation lorsque l'auditeur arrive à l'essai numéro 30 ; l'auditeur peut décider de faire une pause, sinon il peut continuer jusqu'à la fin du test.

## 6.3 Expérience 3 : Discrimination des voyelles orales

Avant d'aborder la perception des voyelles nasales, il est intéressant d'examiner la perception des voyelles *orales* du français qui n'existent pas en espagnol (comme /ɛ/, /y/ et /ø/) qui sont aussi une source de difficulté d'après les témoignages des apprenants hispanophones eux-mêmes (cf. § 2.2) et aussi selon des travaux de correction phonétique comme [Companys \(1966\)](#) qui trouve que les voyelles antérieures arrondies sont difficiles à apprendre par les hispanophones. Notre première expérience de perception examine comment les sujets hispanophones, naïfs et apprenants, perçoivent cinq contrastes non-natifs des voyelles du français, /i/-/y/, /u/-/y/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/, et /e/-/i/, en contexte CV (voir ci-après pour plus de détail). Comme /œ/ et /ɔ/ ne peuvent occuper la position V d'une syllabe ouverte CV en français, nous ne les incluons pas dans cette expérience de perception. Nous avons construit un test de discrimination AXB pour examiner les performances de discrimination des sujets hispanophones sur ces contrastes.

### 6.3.1 Participants

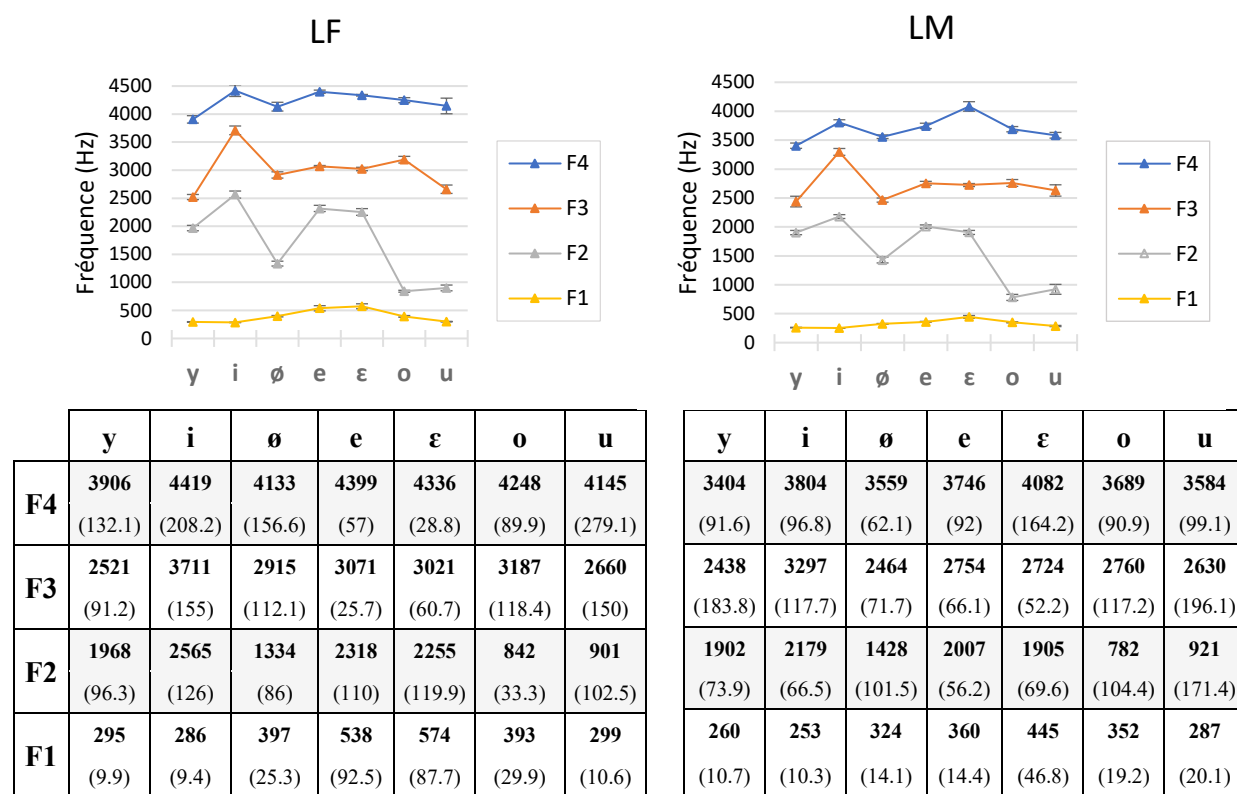
Tous les sujets hispanophones ont participé à cette expérience : groupes colombien et espagnol pour les quatre niveaux de français de naïf à avancé, soit un total de 101 sujets : 46 Colombiens et 55 Espagnols (cf. Tableau 9 pour plus de détails).

### 6.3.2 Stimuli

Cette expérience comprend les cinq contrastes suivants entre voyelles orales du français : /i/-/y/, /u/-/y/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/ et /e/-/i/. Le dernier contraste /e/-/i/ sert de contraste contrôle car il existe aussi en espagnol : on s'attend à des performances plafond sur ce contraste /e/-/i/. Nous avons choisi deux paires minimales pour chaque contraste, sauf pour /e/-/i/ pour lequel nous nous sommes limités à une seule paire minimale : 'du-dit', 'fut-fit', 'lu-loup', 'pu-poux', 'eux-haie', 'peut-paix', 'eux-haut', 'veut-veau', et 'les-lit', donc un total de 9 contrastes et 18 mots. Les 18 mots ont été prononcés trois fois dans la phrase cadre « *Vous dites (MOT) trois fois* » (où

MOT est monosyllabique et porte une des voyelles orales cibles) par deux locuteurs natifs du français, une femme et un homme (désormais LF et LM, respectivement, âgés de 29 ans au moment de l'enregistrement), enregistrés dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) de l'Université de la Sorbonne Nouvelle. Les 108 *tokens* (18 items × 3 répétitions × 2 locuteurs) ont été combinés comme expliqué dans la section “3.3 Design” pour construire 12 triplets AXB par contraste pour chacune des deux conditions “locuteur” C1 et C2 (voir plus haut). Comme il y a 9 contrastes dans cette expérience, nous avons donc construit 108 triplets pour C1 et 108 pour C2, soit 216 triplets au total.

Pour chacune des voyelles cibles enregistrées, nous avons mesuré les quatre premiers formants sur trois tiers successifs de la durée vocalique, c'est-à-dire sur le premier (début), le deuxième (milieu), et le troisième (fin) tiers de la voyelle, ainsi que la moyenne sur toute la voyelle. La Figure 23 montre les valeurs moyennes et écarts-types des quatre premiers formants pour les 7 voyelles /y, i, ø, e, ε, o, u/ intervenant dans les 5 contrastes.



**Figure 23.** Moyennes (avec écarts-types) des quatre premiers formants des voyelles /y, i, ø, e, ε, o, u/ prononcées par la locutrice (LF) et le locuteur (LM). Les barres d'erreur représentent l'écart-type. Les valeurs précises sont montrées dans les tableaux en-dessous de la figure.

D'une manière générale, les voyelles produites par LF et LM sont conformes à ce que l'on connaît des voyelles du français standard (Calliope, 1989). Relevons quelques-unes de leurs caractéristiques.

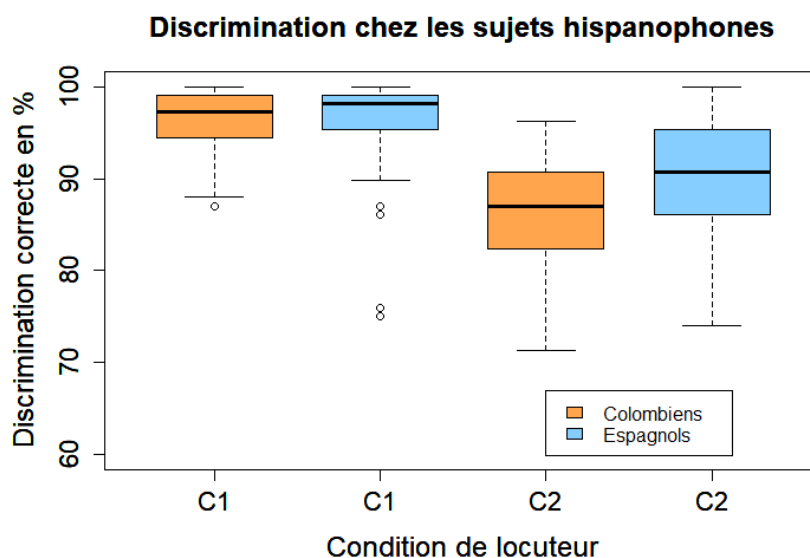
- /y/ vs. /i/ : F2 et F3 sont plus bas pour /y/ que pour /i/, reflétant l'arrondissement ; la "focalisation" de /i/ et /y/ est typique du français : rapprochement de F2 et F3 pour /y/, de F3 et F4 pour /i/ (Gendrot, Adda-Decker, & Vaissière, 2008 ; cf. Schwarz, Boë, Vallée, & Abry, 1997, pour une théorie de la dispersion/focalisation des voyelles).
- /o/ vs. /u/ : ici, focalisation pour les deux formants inférieurs F1 et F2, avec /u/ plus fermé et moins postérieur que /o/ (Gendrot et Adda-Decker, 2004).
- /ø/ : voyelle non-focale ; F1 à F3 sont plus bas que pour la contrepartie non-arrondie /e/, reflétant l'arrondissement ([+arrondi]).
- /e/ vs. /ɛ/ : la différence acoustique est subtile mais va dans le sens, comme on s'y attend, d'une aperture plus grande pour /ɛ/ que /e/ (F1 plus élevé : la différence est plus nette pour LM que LF) ; de plus, /ɛ/ semble moins antérieur que /e/ (F2 un peu plus bas).

### 6.3.3 Résultats

Pour analyser les données, nous avons utilisé des modèles linéaires mixtes généralisés de régression logistique (en raison de la nature binaire des données : correct vs. incorrect), tels qu'implémentés dans R (R Core team, 2016). Les modèles incorporent maximalement les effets fixes suivants : Condition de locuteur (C1, C2), Groupe de sujets (Colombiens, Espagnols), Niveau de français (naïfs, débutants, intermédiaires, avancés), et Contraste vocalique (/i-y/, /u-y/, /ø-ɛ/, /ø-o/, /e-i/) ; le facteur structurel Pattern (AAB vs. ABB : "primacy" vs. "recency"), facteur structurel Cible (pour chaque contraste v1-v2, X=v1 vs. X=v2) ainsi qu'un possible facteur Consonne initiale (pour 4 des 5 contrastes : e.g., C1=/d/ vs. /f/ pour /y/-/i/) ont été ignorés étant donné qu'ils ne font l'objet d'aucune hypothèse particulière. Les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items. La contribution de chaque effet a été évaluée en comparant modèle complet et modèle amputé de l'effet indiquant la vraisemblance d'une différence.

Les pourcentages de réponses correctes selon la Condition de locuteur (C1 vs. C2) et le Groupe de participants (Colombiens vs. Espagnols) sont montrés en Figure 24. Nous n'avons pas analysé les temps de réponse enregistrés par le logiciel *ExperimentMFC* de Praat en raison, principalement, d'une trop grande hétérogénéité entre participants.





**Figure 24.** Pourcentages de discrimination correcte des voyelles orales du français, tous contrastes confondus, par les sujets colombiens et espagnols dans les deux conditions de locuteur C1= une locutrice ; C2= une locutrice et un locuteur).

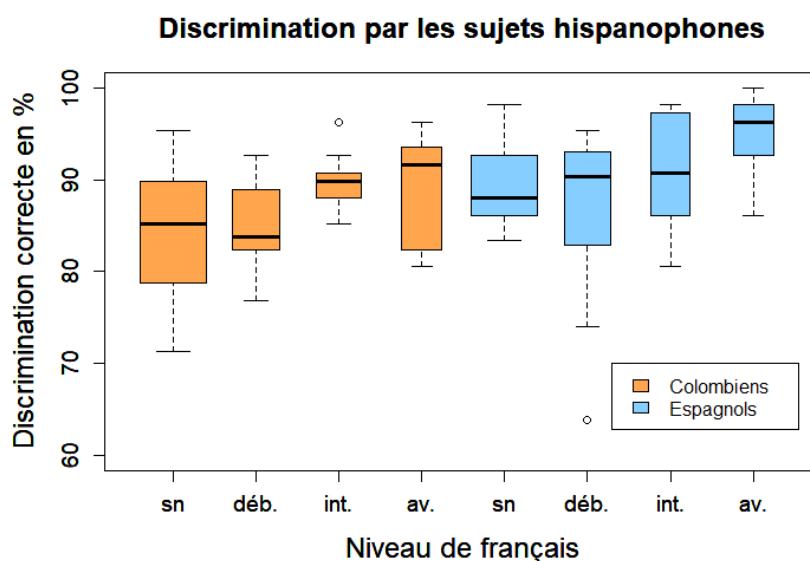
**Groupe de sujets et Condition C1 vs. C2 :** Ces deux effets sont significatifs. Pour la Condition de locuteur, les performances sont bien meilleures pour C1 que C2 (96% > 88%) ( $\chi^2(2)=(1)=570.55, p<.001$ ). Pour le Groupe de sujets, les Espagnols ont globalement (sur l'ensemble des deux conditions C1 et C2) une meilleure performance que les Colombiens (92.7 > 91.4%) ( $\chi^2(2)=(1)=4.06, p<.05$ ). L'interaction Groupe x Condition de locuteur est significative ( $\chi^2(2)=(3)=582.41 p<.001$ ), suggérant que l'effet de Groupe diffère selon la condition C1 vs. C2. En effet, l'effet de Groupe n'est significatif que pour C2 ( $\chi^2(2)=(1)=6,5, p<.05$ ). Il n'est pas significatif pour C1 ( $\chi^2(2)=(1)=0.02, p=.89$ ).

Dans ce qui suit, nous examinons les effets Niveau et Contraste *pour la seule condition C2* où les effets sont plus marqués.

**Niveau de français :** La Figure 25 montre les réponses de discrimination correcte des voyelles orales en fonction du Groupe et du Niveau pour la seule condition C2. Les sujets naïfs (sn) sont considérés comme ayant le niveau "zéro" suivis des débutants, intermédiaires et avancés : quatre niveaux en tout. Globalement (pour l'ensemble des sujets), l'effet du facteur Niveau est significatif ( $\chi^2(2)=(3)=14.94 p<.01$ ). Les données vont dans le sens d'une amélioration des performances avec le niveau (Figure 13). L'interaction Groupe x Niveau est significative ( $\chi^2(2)=(7)=25.08 p<.001$ ). L'effet du facteur Niveau est significatif pour les Espagnols

( $\chi^2(2)=3$ )=11.28,  $p<.05$ ), mais pas pour les Colombiens ( $\chi^2(2)=3$ )=7.44,  $p=.059$  (marginal), suggérant que l'apprentissage du français améliore les performances de discrimination des voyelles orales dans les deux groupes d'hispanophones.

Plus en détail, la moyenne des réponses correctes, en pourcentages, pour les différents niveaux des sujets espagnols est : naïfs = 88.2% ; débutant = 86.7% ; intermédiaire = 90.7% ; et avancé = 94.8%. Les différences inter-niveau pour le groupe espagnol sont significatives entre "avancé" et "naïfs", et entre "avancé" et "débutant" ( $ps<.01$ ) ; entre "avancé" et "intermédiaire", la différence est marginalement significative ( $p=.068$ ). Aucune des autres différences inter-niveau n'est significative. Pour les sujets colombiens, la moyenne des réponses correctes est : naïfs = 84.5% ; débutant = 85.2% ; intermédiaire = 89.6% ; et avancé = 89.7%. Les différences inter-niveau sont significatives entre "avancé" et "naïfs" et entre "intermédiaire" et "naïfs" ( $ps<.05$ ) ; mais entre "avancé" et "débutant" ainsi qu'entre "intermédiaire" et "débutant", les différences sont marginalement significatives ( $p=.073$ ). Aucune des autres différences inter-niveau n'est significative.

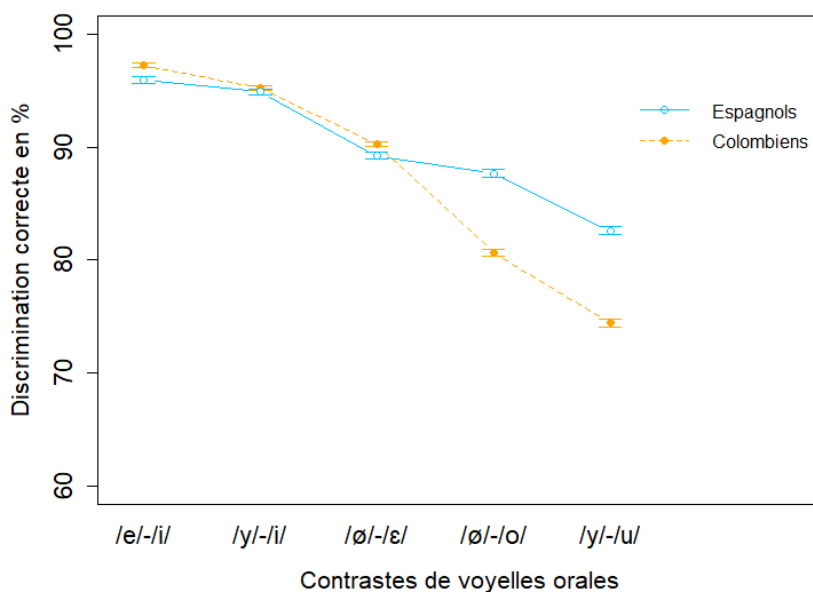


**Figure 25.** Pourcentages de discrimination correcte des voyelles orales du français, tous contrastes confondus, en C2 par les sujets colombiens et espagnols selon leur niveau de français : *sn* = sujets naïfs ; *déb.* = débutants ; *int.* = intermédiaires ; et *av.* = avancés.

Le profil de performance de discrimination en fonction du niveau est grosso modo similaire pour les deux groupes colombien et espagnol. Pour les Colombiens, l'ordre des performances est : *avancé* = *intermédiaire* > *débutant* = *naïf*. Pour les Espagnols, la progression est plus marquée entre niveaux de français : *avancé* > *intermédiaire* > *débutant* = *naïf*.

**Contrastes de voyelles :** La Figure 26 montre les résultats de discrimination en fonction du type de contraste des voyelles orales en C2. L'effet du facteur Contraste est significatif pour les Colombiens ( $\chi^2(2)=(4) = 82.09, p<.001$ ), et pour les Espagnols ( $\chi^2(2)=(4)=38.96, p<.001$ ), suggérant qu'il y a des de contrastes plus difficiles que d'autres. La Figure 26 suggère aussi que l'avantage global des Espagnols sur les Colombiens (pour la condition C2) est concentré sur les contrastes /ø/-/o/ et /y/-/u/. En effet, le facteur Groupe est effet significatif sur la discrimination de /y/-/u/ ( $\chi^2(2)=(1)=11.13 p<.001$ ), et de /ø/-/o/ ( $\chi^2(2)=(1)=10,13 p<.01$ ).

Le contraste /e/-/i/ est le mieux perçu dans les deux groupes (Colombiens : 97.2% ; Espagnols : 95.9%) : il s'agit du contraste contrôle, parallèle au contraste /e/-/i/ de l'espagnol. Les résultats montrent bien que ce contraste est perçu sans difficulté par les sujets. Nous observons presque le même résultat pour le contraste /y/-/i/ qui est lui aussi mieux perçu que /y/-/u/, /ø/-/o/ et /ø/-/ε/ (Colombiens : 95.3% ; Espagnols : 94.9%). Le contraste /y/-/u/ est le plus difficile à discriminer pour les deux groupes, suivi par /ø/-/o/ et /ø/-/ε/ (pour les Colombiens : 74.4%, 80.6%, 90.3% ; pour les Espagnols : 82.6%, 87.6%, 89.2%).



**Figure 26.** Pourcentages de discrimination correcte selon les 5 contrastes /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ε/, /ø/-/o/, /y/-/u/ et le groupe de sujets (condition C2, tous niveaux de français confondus). Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

Pour les deux groupes, les performances de discrimination sont, en ordre numérique décroissant : (a) /e/-/i/ ≥ /y/-/i/ > /ø/-/ε/ > /ø/-/o/ > /y/-/u/ (Fig. 26). Pour les Colombiens, toutes les différences entre deux contrastes successifs de l'ordre (a) sont significatives ( $ps<.05$ ), sauf pour /e/-/i/ vs. /y/-/i/ ( $p=.164$ ). Du point de vue statistique, le pattern est donc : /e/-/i/ = /y/-/i/ >

$/\emptyset/-\varepsilon/ > / \emptyset/-o/ > /y/-u/$ . Pour les Espagnols, toutes les différences entre deux contrastes successifs de l'ordre (a) sont significatives ( $p < .01$ ), sauf pour  $/e/-i/$  vs.  $/y/-i/$  ( $p = .302$ ), et  $/\emptyset/-\varepsilon/$  vs.  $/\emptyset/-o/$ , ( $p = .259$ ). Du point de vue statistique, le pattern est donc :  $/e/-i/ = /y/-i/ > / \emptyset/-\varepsilon/ = / \emptyset/-o/ > /y/-u/$ .

**Interaction Contraste x Niveau :** Nous examinons pour finir la perception de chacun des cinq contrastes par les hispanophones, selon leur niveau de français. Les données sont regroupées dans la Figure 27 où chaque contraste vocalique occupe un panneau montrant les performances pour les deux groupes selon le niveau de français.

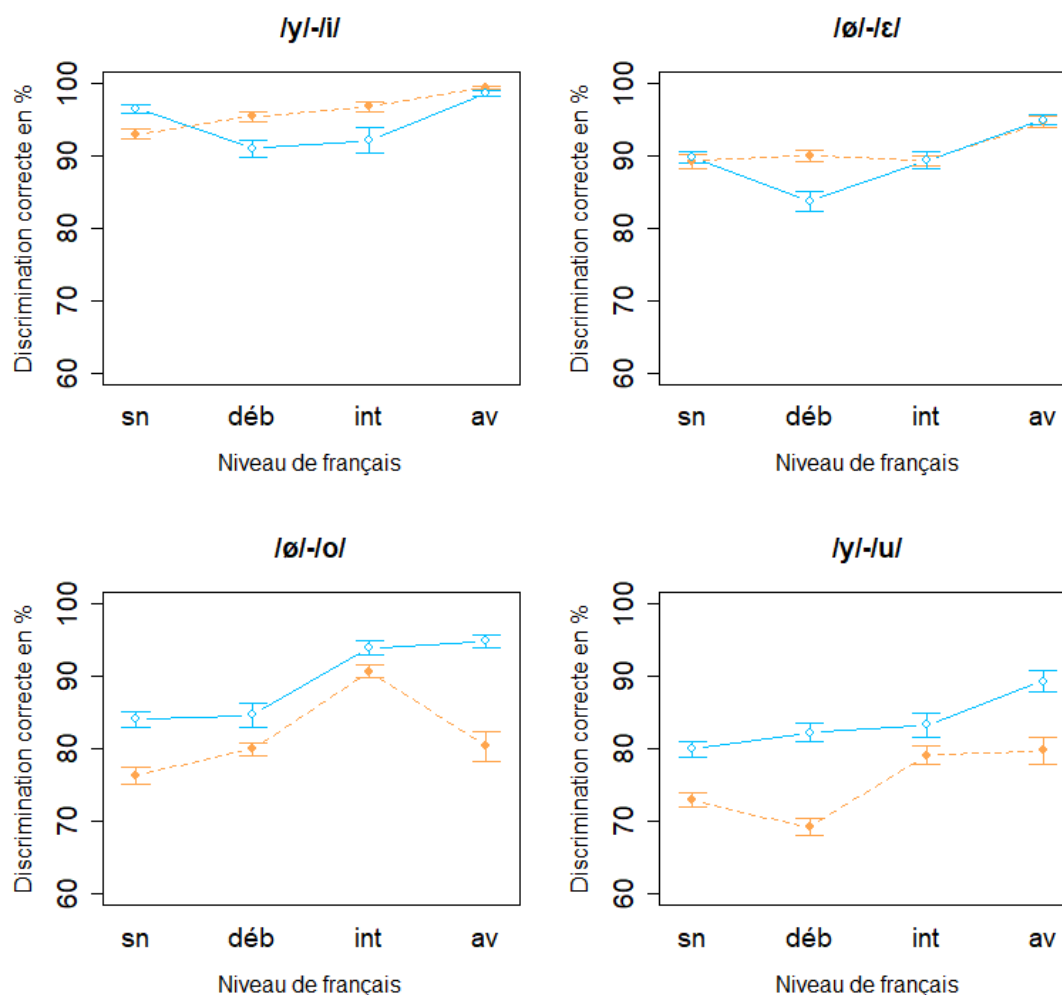
**$/e/-i/$  :** le facteur Niveau n'a pas d'effet significatif pour ce contraste contrôlé pour aucun des deux groupes (Colombiens :  $\chi^2(3) = 3.77$ ,  $p = .287$  ; Espagnols :  $\chi^2(3) = 6.22$ ,  $p = .101$ ). Ce contraste ne pose pas de difficulté aux sujets hispanophones sans doute parce qu'il a son parallèle  $/e/-i/$  en espagnol. Les performances proches du plafond de nos sujets ( $>95\%$  correct) laissent peu de place à une modulation par le Niveau ou le Groupe.

**$/y/-i/$  :** l'effet de Niveau est globalement significatif pour les Colombiens ( $\chi^2(2) = (3) = 8.63$ ,  $p < .05$ ), avec une progression monotone de la performance avec le niveau, suggérant que l'apprentissage du français contribue à une meilleure discrimination de ce contraste. Pour les Espagnols, l'effet est marginal ( $\chi^2(2) = (3) = 6.78$ ,  $p = .079$ ), sans progression monotone des performances avec le niveau (les naïfs ont par exemple une meilleure performance que les débutants ou intermédiaires).

**$/\emptyset/-\varepsilon/$  :** l'effet de Niveau est globalement significatif pour les Espagnols ( $\chi^2(2) = (3) = 8.09$ ,  $p < .05$ ), mais pas pour les Colombiens ( $\chi^2(2) = (3) = 2.98$ ,  $p = .395$ ). Plus en détail, seule la différence inter-niveau entre avancés et débutants espagnols est significative, ( $p < .01$ ) ; aucune autre différence inter-niveau n'est significative. Numériquement, la performance tend à progresser avec le niveau pour les deux groupes pour les non-naïfs, mais la performance des naïfs est étonnamment bonne, similaire à celle des intermédiaires.

**$/\emptyset/-o/$  :** l'effet de Niveau est globalement significatif pour les deux groupes (Colombiens :  $\chi^2(3) = 12.60$ ,  $p < .01$ ) ; Espagnols :  $\chi^2(3) = 11.54$ ,  $p < .01$ ). Cependant, la progression de la performance selon le niveau n'est monotone croissante que pour les Espagnols. Pour les Colombiens, la performance progresse jusqu'à un maximum pour les intermédiaires puis chute pour les avancés. La performance des Colombiens est significativement meilleure pour le niveau intermédiaire que pour les autres niveaux ( $p < .05$ ).

/y/-/u/ : l'effet de Niveau n'est significatif pour aucun des deux groupes (Colombiens :  $\chi^2(3)=5.91, p=.116$  ; Espagnols :  $\chi^2(3)=5.12, p=.163$ ), bien que la Figure 27, panneau /y/-/u/, montre une progression monotone croissante de la performance selon le niveau, du moins numériquement.



**Figure 27.** Pourcentages de discrimination correcte selon le contraste de voyelles orales, /y/-/i/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/, /u/-/y/, en C2, en fonction du niveau de français des sujets colombiens (ligne orange) et espagnols (ligne bleue). Le contraste contrôle /e/-/i/ est exclu de cette figure. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

### 6.3.4 Discussion

Nous avons examiné les performances de discrimination de sujets colombiens et espagnols sur cinq contrastes entre voyelles orales du français –/e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/ et /y/-/u/– choisis comme potentiellement problématiques pour des hispanophones, à l'exception

du contraste /e-/i/, parallèle au contraste /e-/i/ de l'espagnol, qui a servi de contraste contrôle. Les sujets hispanophones étaient soit apprenants du français du niveau débutant au niveau avancé, soit naïfs vis à vis du français. Nous avons utilisé deux conditions “de locuteur” pour le test de discrimination AXB : C1, où A, X et B sont produits par une seule locutrice, et C2, où A et B sont produits par la même locutrice mais X est produit par un locuteur. Dans la condition C1, les performances des sujets étaient proches du plafond (~95% de discrimination correcte). La condition C2 était beaucoup plus difficile (nous discuterons plus loin la raison de cette difficulté) et permettait de tester l'effet des facteurs manipulés : Groupe de sujets (Colombiens vs. Espagnols), Niveau de français (de naïf à avancé), et Contraste vocalique. Les résultats indiquent que les Espagnols ont globalement de meilleures performances de discrimination que les Colombiens sur les contrastes testés. Pour les deux groupes, le niveau de français module les performances dans le sens attendu (meilleures performances pour les avancés). Pour les deux groupes, la performance est maximale pour le contraste “contrôle” /e-/i/, mais aussi, de façon inattendue, pour le contraste /y-/i/ ; les trois autres contrastes sont plus difficiles, surtout /ø-/o/ et plus encore /y-/u/. C'est sur ces deux derniers contrastes que se concentre l'avantage des Espagnols sur les Colombiens.

Il était prévisible que la condition C2 soit plus difficile que la C1. En effet, le changement de locuteur entre le stimulus “cible” X et les stimuli de “comparaison” A et B impose un traitement des stimuli à un niveau de représentation phonologique pour pouvoir donner une réponse. C'est déjà en principe le cas pour un design monolocuteur AXB (condition C1) à condition que l'intervalle inter-stimulus (ISI) soit suffisamment long (Højen & Flege, 2006), ce qui est le cas dans notre montage (ISI de 1 s). Malgré tout, il reste possible de répondre en partie sur la base d'une comparaison auditive. Le changement de voix (timbre et hauteur) entre une locutrice et un locuteur que nous introduisons avec la condition C2 rend ce type de comparaison pratiquement impossible et rend la tâche plus difficile (Dupoux et al., 1999). Grâce à cela, la condition C2 permet de mettre en évidence des différences de performance qu'il est difficile d'observer dans la condition C1 : différences entre groupes, entre niveaux de français, et entre contrastes de voyelles. Dans ce qui suit, nous résumons et discutons les différences trouvées entre les cinq contrastes vocaliques.

Pour les deux groupes, le contraste “contrôle” /e-/i/ est le mieux perçu. Pour le modèle PAM (Best, 1994, 1995 ; Best & Tyler, 2007), il s'agit d'un contraste TC (“two categories”) pour lequel on s'attend à des performances optimales. Ce résultat était attendu : les hispanophones doivent assimiler la /e/ française à la /e/ espagnole et la /i/ française à la /i/ espagnole. L'expérience 2 montre en effet que les hispanophones (tous groupes et niveaux de

français confondus) assimilent la /i/ française à la /i/ espagnole (100%) et il en va sans doute de même pour /e/ : /e/ n'a pas été testée, mais /ɛ/ (que les hispanophones non catalans confondent avec /e/ : Pallier, Bosch, & Sebastián-Gallés, 1997) est assimilée à /e/ (99%). Toujours pour les deux groupes, le contraste /y/-/i/ est le mieux perçu des quatre contrastes autres que /e/-/i/, pratiquement à égalité avec /e/-/i/; /y/-/u/ est de loin le moins bien perçu ; enfin, /ø/-/ɛ/ et /ø/-/o/ sont entre les deux, avec un avantage de /ø/-/ɛ/ sur /ø/-/o/ très net pour les Colombiens et non-significatif pour les Espagnols. Les cas de /y/-/i/ et /y/-/u/ s'interprètent assez naturellement dans le cadre du modèle PAM. En effet, comme le /y/ français est assimilé massivement à la /u/ espagnole (~88%) et la /i/ et la /u/ françaises à leur contrepartie espagnole (~99%), /y/-/i/ est un contraste TC (interprété la plupart du temps par les hispanophones comme /u/-/i/) et /y/-/u/ est un contraste SC ou CG (interprété comme /u/-/u/). Les cas intermédiaires de /ø/-/ɛ/ et /ø/-/o/ sont plus difficiles pour PAM. En effet, tandis que /ɛ/ et /o/ (françaises) sont massivement assimilés à /e/ et /o/, respectivement, /ø/ présente un pattern d'assimilation dispersé entre /e/ (~44%), /u/ (38%) et /o/ (18%). Comme /ø/ est globalement plus souvent assimilée à /e/ qu'à /o/, PAM prédirait sans doute que /ø/-/ɛ/ est plus difficile que /ø/-/o/. Or c'est plutôt l'inverse qui est trouvé. Sans doute faudrait-il aussi tenir compte des scores de bon appariement.

Les valeurs de formants (Figure 23) suggèrent une plus grande distance acoustique entre /y/ et /u/ qu'entre /y/ et /i/ : F2 est par exemple bien plus bas pour /u/ que /y/. Mais il faut aussi tenir compte du fait que /y/ et /i/ sont, en français, deux voyelles focales bien marquées, /y/ par une concentration F2/F3 vers 2-2.5 kHz et /i/ par une concentration F3/F4 vers 4 kHz (LF) ou 3.5 kHz (LM). En termes de traits phonétiques, /y/ et /i/ ne diffèrent que par [ $\pm$ rounded] et /y/ et /u/ ne diffèrent que par [+front] vs. [+back]. Les différences de traits en elles-mêmes ne permettent donc pas de prédire la plus grande difficulté pour /y/-/u/ que /y/-/i/. Cependant, il faut remarquer que [ $\pm$ rounded] n'a pas valeur distinctive en espagnol : les voyelles non-basses et d'arrière ([+back, -low]) sont toutes [+rounded]. Par conséquent, on peut penser que la détection phonétique du trait [+rounded] par des hispanophones est interprétée comme signalant une voyelle d'arrière non-basse. Autrement dit, les auditeurs hispanophones devraient assimiler /y/ à une voyelle espagnole de hauteur comparable, c'est à dire, le plus probablement /u/. C'est en effet ce qui est observé dans l'expérience 2. Cette assimilation /y/ > /u/ expliquerait la difficulté du contraste /y/-/u/ et l'absence de difficulté de /y/-/i/. Pour PAM, /y/-/u/ serait pour les hispanophones un contraste SC ou CG tandis que /y/-/i/ serait un contraste TC.

Entre /y/-/i/ et /y/-/u/ par ordre de difficulté, nous trouvons un avantage (plus net pour les Colombiens que les Espagnols) de /ø/-/ɛ/ sur /ø/-/o/. D'après la Figure 23, /ø/ et /ɛ/ diffèrent principalement dans les valeurs de F2 et F1 (arrondissement et aperture) ; /ø/ et /o/ diffèrent

aussi sur F2 mais moins que /ø/ et /ɛ/. En termes de traits, le contraste /ø/-/ɛ/ porte sur [±rounded] et le degré d'aperture (nous le considérons comme équivalent à un seul trait) ; /ø/-/o/ porte uniquement sur [+front] vs. [+back]. Il y a donc en effet un avantage de /ø/-/ɛ/ sur /ø/-/o/ en termes du nombre de traits qui les distingue. Cependant, les hispanophones sont sans doute peu sensibles à la différence d'aperture entre /ø/ et /ɛ/ qui est équivalente à celle entre /e/ et /ɛ/ (cf. Pallier, Bosch, & Sebastián-Gallés, 1997, sur la surdité des hispanophones non-catalans à /e/-/ɛ/ ; voir aussi Lauret, 2007, sur les difficultés avec /e/-/ɛ/ ou /o/-/ɔ/ des locuteurs dont la langue maternelle n'a pas quatre degrés d'aperture). Une analyse en termes d'assimilation perceptive est-elle plus pertinente ? Ce serait le cas si les hispanophones assimilaient /ø/ à une voyelle d'arrière comme la /o/ espagnole plutôt qu'à une voyelle d'avant comme la /e/ : il s'ensuivrait davantage de confusions SC ou CG pour /ø/-/o/ que /ø/-/ɛ/, ce qui expliquerait l'avantage global de /ø/-/ɛ/ sur /ø/-/o/. Or, comme nous l'avons vu plus haut, /ø/ est plus souvent assimilée à /e/ qu'à /o/. Nos données d'assimilation perceptive n'expliquent donc pas la meilleure performance, globalement, sur /ø/-/ɛ/ que sur /ø/-/o/. La plus grande différence de performance observée chez les Colombiens que les Espagnols pourrait cependant s'expliquer par la fréquence plus élevée des assimilations /ø/ > /e/ chez les Espagnols (55%) que les Colombiens (32%).

En conclusion, les hispanophones rencontrent quelques difficultés pour discriminer certains contrastes entre voyelles orales du français, notamment les contrastes /y/-/u/ et /ø/-/o/. Les voyelles arrondies antérieures /y/ et /ø/ qui entrent dans ces contrastes ne font pas partie du système vocalique de l'espagnol. La difficulté de /y/-/u/ s'explique bien en termes d'assimilation (/y/ > /u/) tandis que celle de /ø/-/o/ (en particulier comparé à /ø/-/ɛ/) s'accorde moins bien à cette analyse. Le problème vient peut-être du fait que /ø/ ne donne pas lieu à un pattern simple et stable d'assimilation : les hispanophones l'interprètent comme /e/, /o/, ou /u/.

Nous analysons ensuite la perception des voyelles nasales, autres voyelles du français qui n'entrent pas dans le système vocalique de l'espagnol. Dans l'expérience 4, nous examinons la discrimination entre voyelles nasales et voyelles orales correspondantes (e.g., /ẽ/-/ɛ/).



## 6.4 Expérience 4 : Discrimination des voyelles nasales et orales

Notre troisième expérience de perception a consisté à examiner si les sujets hispanophones, naïfs et apprenants, perçoivent le contraste entre les voyelles nasales et les voyelles orales “correspondantes” du français /a/-/ã/, /ɛ/-/ẽ/, /o/-/õ/, /ɔ/-/õ/. L’objectif était donc d’observer si les sujets hispanophones sont capables de faire la distinction entre ces voyelles, donc s’ils perçoivent le trait nasal comme une composante essentielle des voyelles nasales. Nous avons effectué un test de discrimination AXB suivant le même principe que le test précédent.

### 6.4.1 Participants

Les sujets ayant participé à cette expérience sont les mêmes que pour l’expérience précédente : 45 sujets hispanophones naïfs pour le français, dont 20 colombiens et 25 espagnols, 26 apprenants colombiens et 30 apprenants espagnols (apprenants colombiens : 10 débutants, 9 intermédiaires, et 7 avancés ; apprenants espagnols : 12 débutants, 9 intermédiaires, et 9 niveau avancés).

### 6.4.2 Stimuli

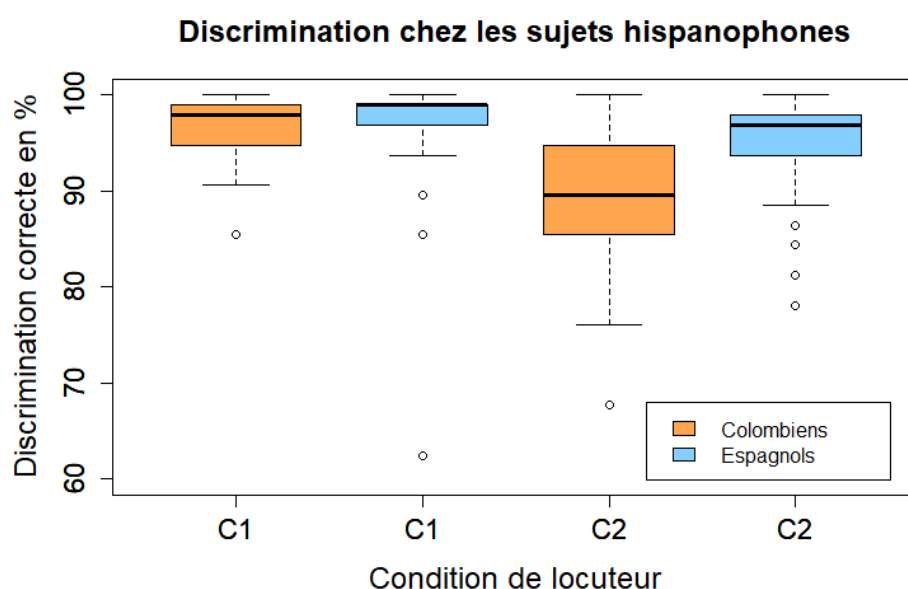
Nous avons utilisé deux paires minimales de mots monosyllabiques pour les quatre contrastes vocaliques, /ɛ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /o/-/õ/ et /ɔ/-/õ/ (*fait-fin*, *plâit-plein* ; *pas-paon*, *ta-tant* ; *faux-font*, *lot-long* ; et *loge-longe*, *hotte-honte*), soit en tout huit contrastes. Nous avons choisi de contraster /õ/ avec chacune des deux voyelles /o/ et /ɔ/ en raison de la difficulté à décider laquelle de ces deux voyelles orales « correspond » à la nasale /õ/. Certaines études ont en effet relevé l’ambiguïté de la transcription phonémique /õ/ (Zerling, 1984 ; Montagu, 2002, 2004, 2007). Les 16 mots ont été enregistrés dans la même phrase cadre que pour l’expérience 3. Nous avons enregistré cinq répétitions afin d’avoir un nombre important de répétitions pour pallier les cas où les locuteurs auraient « trébuché » en début d’enregistrement. En effet, nous avons remarqué quelques hésitations pour la première répétition et une chute intonative sur la dernière répétition. Nous avons finalement sélectionné trois répétitions en éliminant la première et la dernière, conservant donc les répétitions 2, 3, et 4. Nous considérons que trois répétitions suffisent pour les stimuli de notre expérience. Tous les mots ont été prononcés par deux locuteurs natifs du français, une femme et un homme (LF et LM, respectivement) dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) de l’Université de la Sorbonne Nouvelle. Les 96 stimuli (16 mots monosyllabiques, 3 répétitions, 2 locuteurs) ont été

combinés afin de former trois triplets pour chaque pattern AXB (AAB, ABB, BBA, BAA), soit 12 essais par contraste pour chaque condition de locuteur : Condition 1 (C1), une voix de femme ; Condition 2 (C2), une voix de femme et une voix d'homme (cf. § 3.3 Design, concernant la condition de locuteur).

### 6.4.3 Résultats

Nous avons utilisé des modèles linéaires mixtes généralisés de régression logistique (en raison de la nature binaire des données : correct vs. incorrect), tels qu'implémentés dans R (R Core team, 2016). Les modèles incorporent maximalelement les effets fixes suivants : Condition de locuteur (C1, C2), Groupe de sujets (Colombiens, Espagnols), Niveau de français (naïfs, débutants, intermédiaires, avancés), et Contraste vocalique (/a-ã/, /ε-ẽ/, /o-õ/, /ɔ-õ/) ; les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items. La valeur prédictive de chaque effet a été évaluée en comparant modèle complet et modèle amputé de l'effet examiné sur les estimations de maximum vraisemblance.

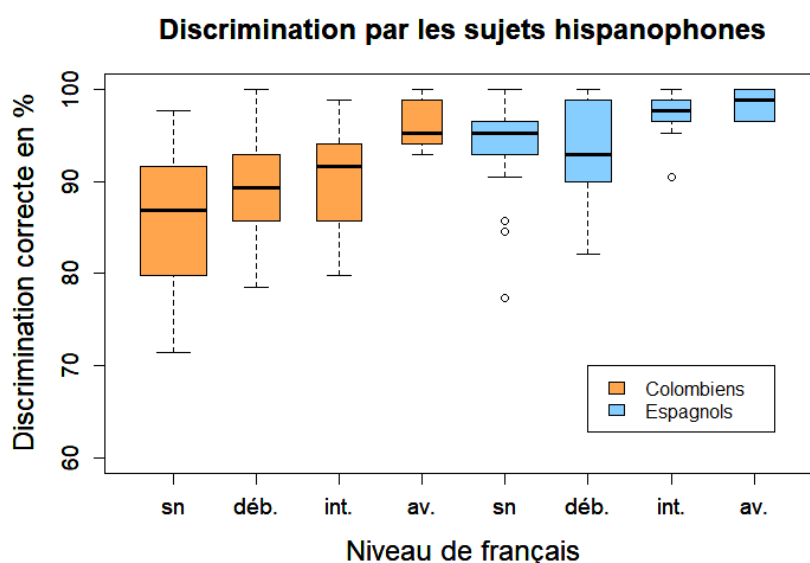
La Figure 28 montre les résultats de discrimination correcte selon la Condition de locuteur (C1 vs. C2) et le Groupe de sujets hispanophones (Colombiens vs. Espagnols), naïfs et apprenants confondus.



**Figure 28.** Pourcentages de discrimination correcte des contrastes vocaliques nasal-oral par les sujets naïfs et les apprenants colombiens et espagnols dans les deux conditions de locuteur : C1= une locutrice ; C2= une locutrice et un locuteur.

**Groupe de sujets et Condition C1 vs. C2 :** Ces deux effets sont significatifs (C1/C2 :  $\chi^2(1)=257.56$ ,  $p<.001$ ) ; Groupe :  $\chi^2(1)=12.20$ ,  $p<.001$ ), de même que leur interaction ( $\chi^2(2)=(3)=286.82$ ,  $p<.001$ ). Globalement (pour l'ensemble des conditions C1 et C2), les performances de discrimination des Espagnols sont meilleures que celles des Colombiens (96% > 93%). Les performances sont nettement supérieures pour C1 que pour C2 (97% > 92%), avec donc des performances proches du plafond pour C1 (comme c'était le cas pour l'expérience 2), ce qui ne permet pas d'observer les effets des facteurs que nous avons manipulés dans la condition C1. Par exemple, comme le suggérait l'interaction Groupe x Condition de locuteur, l'effet de Groupe n'est significatif que pour la condition C2 ( $\chi^2(2)=(1)=16.77$ ,  $p<.001$ ) (Espagnols : 95% ; Colombiens : 89%) (Fig. 28). Nous n'examinerons donc les effets des autres facteurs manipulés (Niveau et Contraste) que *pour la seule condition C2*.

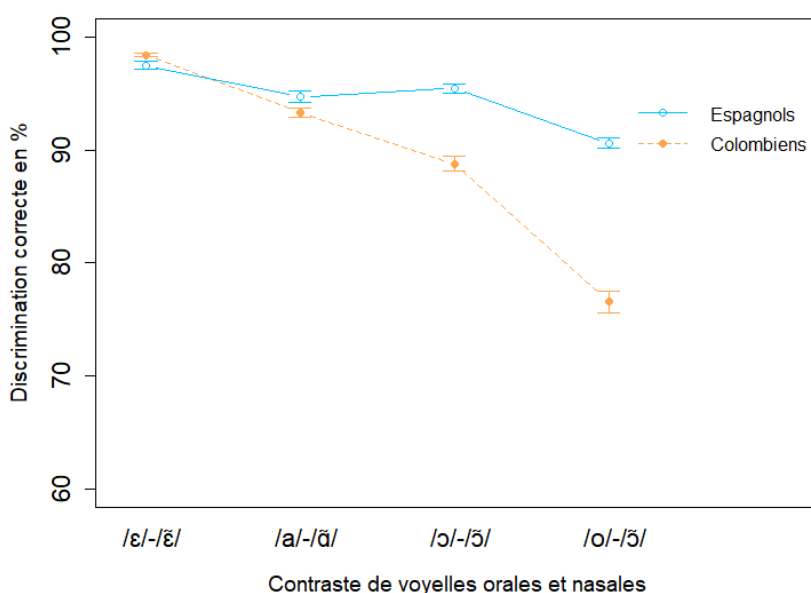
**Niveau de français :** La Figure 29 montre les performances de discrimination en fonction du niveau de français des sujets hispanophones (condition C2). Les naïfs (sn) sont intégrés avec le niveau "zéro". La figure suggère que plus le niveau de français est élevé, mieux les contrastes vocaliques oral-nasal sont perçus. Au niveau "avancé" le pourcentage de discrimination correcte est de 97% pour les Colombiens, et de 98% pour les Espagnols. Les sujets naïfs discriminent moins bien les voyelles nasales des voyelles orales (92% pour les Espagnols, et 85% pour les Colombiens).



**Figure 29.** Pourcentages de discrimination correcte des contrastes vocaliques oral-nasal (condition C2, toutes paires confondues) par les sujets colombiens et espagnols selon leur niveau de français :  
*sn* = sujets naïfs ; *déb.* = débutants ; *int.* = intermédiaires ; et *av.* = avancés.

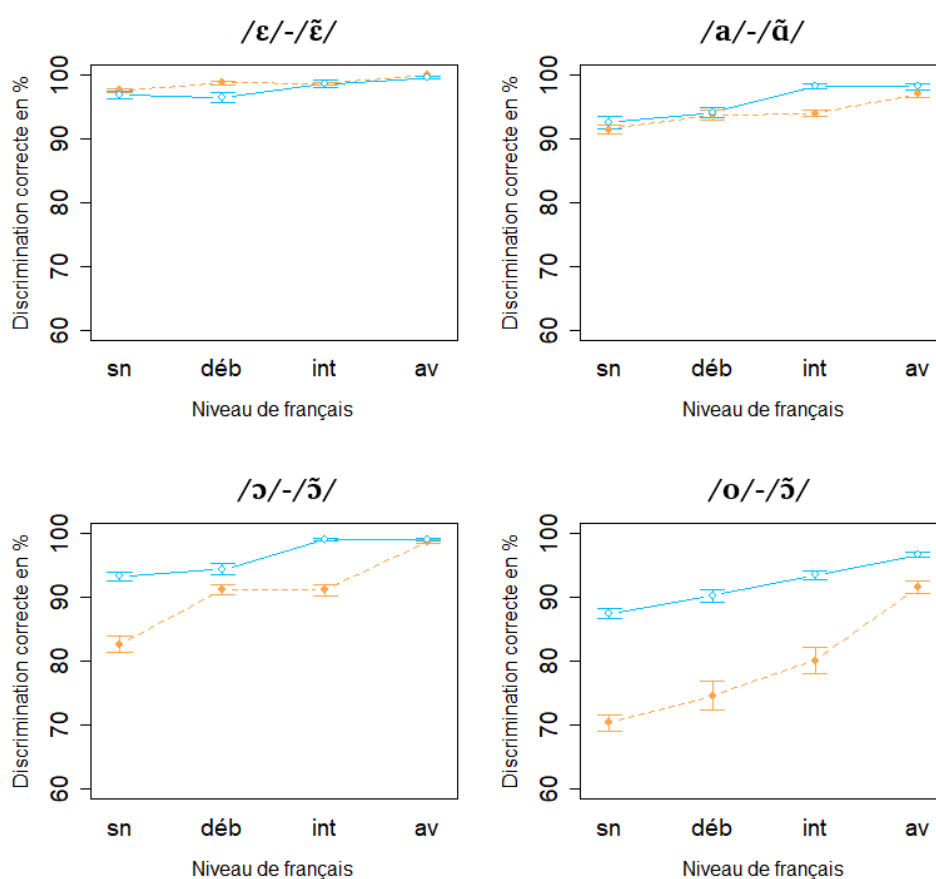
Globalement, Niveau a un effet significatif sur la discrimination entre voyelles nasales et orales ( $\chi^2(3)=24.30, p<.001$ ). L'interaction Groupe x Niveau est significative ( $\chi^2(2)=(7)=48.32, p<.001$ ), suggérant que l'effet de Niveau diffère selon le Groupe. Pour les Espagnols, la différence entre “avancé” et “débutant” est significative ( $p<.01$ ), tout comme la différence entre “avancé” et “naïfs” ( $p<.01$ ), et “intermédiaire” et “naïfs” ( $p<.05$ ). Entre “intermédiaire” et “débutant” la différence est marginalement significative ( $p<.075$ ). Il n'y a pas de différences significatives entre “avancé” et “intermédiaire” ( $p=.39$ ), ni entre “débutant” et “naïfs” ( $p=.60$ ). Pour les Colombiens, les différences entre “avancé” et “débutant”, “intermédiaire” ou “naïfs” sont toutes significatives ( $ps<.01$ ), ainsi qu'entre “intermédiaire” et “naïfs” ( $p<.05$ ). Aucune autre différences inter-niveau n'est significative.

**Contrastes de voyelles et Niveau de français :** l'effet du facteur Contraste est significatif dans les deux groupes de sujets hispanophones (condition C2) ( $\chi^2(2)=(3)=84.25, p<.001$ ), suggérant qu'il y a des contrastes qui sont mieux discriminés que d'autres. En effet, la Figure 30 montre que le contraste / $\epsilon$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / est le mieux discriminé dans chacun des deux groupes : 98% pour les Colombiens, et 97% pour les Espagnols ; / $\epsilon$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / est mieux discriminé que les autres contrastes dans chacun des deux groupes ( $ps<.001$ ) ; / $o$ /-/ $\tilde{o}$ / est le contraste le moins bien discriminé : 77% pour les Colombiens, et 91% pour les Espagnols.



**Figure 30.** Pourcentages de discrimination correcte selon le contraste vocalique oral-nasal / $\tilde{\epsilon}$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ /, / $a$ /-/ $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ /-/ $\tilde{o}$ /, et / $o$ /-/ $\tilde{o}$ / (condition C2), tous niveaux confondus, par les sujets colombiens et espagnols. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

L'interaction Contraste x Niveau est significative ( $\chi^2(2)=(15)=116.71, p<.001$ ) (Fig. 31), suggérant que l'effet de Contraste diffère selon le *Niveau* (zéro, débutant, intermédiaire, avancé). En effet, Niveau a un effet significatif pour les contrastes /a/-/ã/ ( $\chi^2(2)=(3)=8.12, p<.05$ ), /o/-/õ/ ( $\chi^2(2)=(3)=18.27, p<.001$ ), et /ɔ/-/õ/ ( $\chi^2(2)=(3)=21.27, p<.001$ ), suggérant que les apprenants ayant un bon niveau de français discriminent mieux ces contrastes que les apprenants avec peu d'expérience. Mais Niveau n'a pas d'effet significatif pour /ɛ/-/ẽ/ ( $\chi^2(2)=(3)=5.74, p=.125$ ). Ceci est sans doute dû aux taux élevés de discrimination correcte de ces deux contrastes pour les deux groupes d'hispanophones, indépendamment du niveau.



**Figure 31.** Pourcentages de discrimination correcte par contraste (/ɛ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) (condition C2) pour les sujets espagnols (bleu) et colombiens (orange), selon leur niveau de français : *sn* = sujets naïfs ; *déb.* = débutant ; *int.* = intermédiaire ; et *av.* = avancé. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

En résumé, le contraste /ɛ/-/ẽ/ est relativement plus facile à distinguer dans les deux groupes, suivi de /a/-/ã/ et /ɔ/-/õ/. Quant à la paire /o/-/õ/, il s'agit du contraste le plus difficile à discriminer dans les deux groupes mais il devient moins difficile au fur et à mesure que les apprenants progressent dans leur apprentissage du français. Enfin, les résultats suggèrent aussi que les Espagnols discriminent mieux les voyelles nasales des orales que les Colombiens.

#### 6.4.4 Discussion

Nous avons examiné la perception des contrastes vocaliques oral-nasal du français dans une tâche de discrimination AXB par des sujets hispanophones d'Espagne et de Colombie. Ils ont été classés dans quatre niveaux d'apprentissage : les sujets naïfs avec un niveau zéro, les apprenants de niveau débutant, intermédiaire, et avancé. Comme dans l'expérience 2, deux conditions de stimuli ont été utilisées afin d'augmenter la difficulté de discrimination : Condition 1, une locutrice, et Condition 2, une locutrice et un locuteur. Nous avons examiné les contrastes suivants : /ɛ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /ɔ/-/õ/, ainsi que /o/-/õ/ (pour les possibles correspondances entre /õ/ et sa contrepartie orale : /ɔ/ ou /o/).

Nous avons observé un effet clair de la condition de locuteur : la difficulté de discrimination est plus importante lorsque les stimuli sont produits par deux voix qu'avec une seule voix. C'est ce que nous avons déjà trouvé pour l'expérience 3 et c'est ce qui est attendu d'après la littérature (Dupoux et al., 1999, Pallier et al., 1997). Seule la condition C2 avec deux voix (un homme et une femme) permettent de faire émerger des effets pour les facteurs manipulés : Groupe d'hispanophones, Contraste, ou encore Niveau de français.

Le contraste /ɛ/-/ẽ/ est relativement plus facile à discriminer que les autres contrastes et ce dans les deux groupes, alors que /o/-/õ/ est le contraste le plus difficile. Ces résultats peuvent être expliqués sur la base de quelques études mesurant les pics spectraux pour les voyelles nasales et orales correspondantes :

**/o/-/õ/ et /ɔ/-/õ/ :** Les résultats de Montagu (2007) sur la comparaison du début non nasalisé des voyelles nasales avec chacune des voyelles orales les plus proches montrent que les deux premiers formants de /o/ ont des valeurs quasi-identiques à celles de /õ/, contrairement à /ɔ/ dont les deux premiers formants sont très différents. De même, les résultats de Borel (2015) dans une étude sur la perception des voyelles nasales du français par des sujets ayant des implants cochléaires et des normo-entendants, montrent que le contraste /o/-/õ/ est moins bien perçu que /ɔ/-/õ/, justement en raison de la plus petite distance acoustique des pôles spectraux des voyelles pour le premier contraste. La proximité des deux premiers pôles spectraux des voyelles /õ/ et /o/ pourrait expliquer la plus grande difficulté du contraste /o/-/õ/.

**/ɛ/-/ẽ/ :** Les indices acoustiques pour ces deux voyelles sont très différents, notamment le F1 plus haut et le F2 plus bas pour /ẽ/ que pour /ɛ/ (Delvaux, Metens, et Soquet, 2002 ; Carignan, 2012 ; Montagu, 2007 ; Borel, 2015), ce qui permettrait d'expliquer la facilité relative de discrimination de ce contraste par les sujets hispanophones.

/a/-/ã/ : Les deux premiers formants de /a/ sont plus élevés que ceux de /ã/ (Montagu, 2007). Delvaux et al. (2002) et Carignan (2012) montrent un abaissement du F2 de /ã/ par rapport à /a/. Ces différences permettent d'expliquer que cette opposition ne représente pas une grande difficulté de discrimination pour les sujets hispanophones comme le montrent nos résultats.

Les performances de discrimination pour les quatre contrastes sont en accord avec nos données d'assimilation perceptive (expérience 2), si l'on suppose que la /a/ française est massivement assimilée à la /a/ espagnole (tout comme /i/ > /i/ et /u/ > /u/ dans plus de 99% des cas). En effet, /ẽ/ est assimilée à /a/ et /ɛ/ à /e/ dans plus de 95% des cas (96% et 99%, respectivement), donc /ɛ/-/ẽ/ est un cas typique de contraste TC. À l'inverse, /õ/ est massivement assimilé à /o/ (~88%), de même que /ɔ/ (~84%) et plus encore /o/ (~94%). Donc les deux contrastes /ɔ/-/õ/ et /o/-/õ/ sont de type SC ou CG, avec une plus grande difficulté pour le dernier qui refléterait la plus fréquente assimilation de /o/ que /ɔ/ au /o/ de l'espagnol. Le contraste /a/-/ã/ est quant à lui intermédiaire en termes de patterns d'assimilation et donc de difficulté : /ã/ est assimilé tantôt à /a/ tantôt à /o/ et l'on peut supposer que /a/ est presque toujours assimilé à /a/ ; contraste /a/-/ã/ est donc tantôt SC (ou CG), tantôt TC.

En général, les sujets hispanophones distinguent bien entre voyelles nasales et voyelles orales "correspondantes", c'est-à-dire qu'ils perçoivent le trait distinctif oral/nasal des voyelles du français. Cette relative facilité pourrait être liée au fait que le trait de nasalité est présent dans leur langue maternelle, bien qu'il ne soit distinctif que pour les consonnes. Cependant, les hispanophones ont des difficultés pour discriminer /o/-/õ/.

## 6.5 Expérience 5 : Discrimination des voyelles nasales

L'objectif de cette expérience est d'examiner comment les sujets hispanophones perçoivent les contrastes non-natifs des voyelles nasales du français, /ã/-/ẽ/, /ẽ/-/õ/, et /ã/-/õ/, en contexte CV et CVC. Les stimuli correspondent aux trois voyelles nasales de la région l'Île-de-France, /ã, ẽ, õ/, c'est pourquoi nous n'avons pas intégré la voyelle /œ/ à cette expérience de perception. Comme pour les expériences précédentes, nous avons conduit un test de discrimination AXB pour étudier les performances de discrimination des sujets hispanophones sur ces contrastes entre voyelles nasales.

### 6.5.1 Participants

Tous les sujets hispanophones ont participé à cette expérience : groupes colombien et espagnol pour les quatre niveaux de français de naïf à avancé, soit un total de 101 sujets : 46 Colombiens et 55 Espagnols. En outre, un groupe de 18 locuteurs natifs du français de la région d'Île-de-France a aussi participé à cette expérience de discrimination des voyelles nasales en tant que groupe contrôle.

### 6.5.2 Stimuli

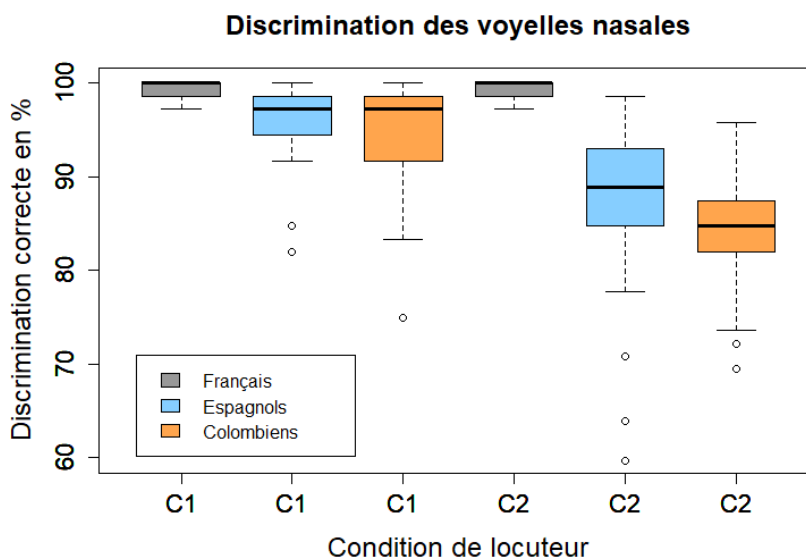
Pour cette expérience, nous avons utilisé les contrastes / $\tilde{a}$ /-/ $\tilde{e}$ /, / $\tilde{e}$ /-/ $\tilde{o}$ /, / $\tilde{a}$ /-/ $\tilde{o}$ / en contexte CV et CVC. Les stimuli ont été extraits de la même phrase cadre que nous avons utilisée pour les Expériences 3 et 4. Comme pour les expériences 3 et 4, les locuteurs ont produit cinq répétitions de chaque phrase, afin d'avoir un nombre important de répétitions (cf. Expérience 3), et nous avons sélectionné les trois répétitions 2, 3, et 4, éliminant donc la première et la dernière répétition. Nous considérons que trois répétitions sont suffisantes pour construire les triplets de l'expérience AXB. Nous avons enregistré 12 mots monosyllabiques : 6 CV (*vent, vont, fin, fend, lin, long*) et 6 CVC (*tende, tonde, pince, panse, quinte, conte*), avec 3 répétitions pour chacun, soit un total de 36 tokens. Pour chacun des 6 contrastes correspondants (*vent-vont, fin-fend, lin-long, et tende-tonde, pince-panse, quinte-conte*), nous avons construit 12 essais (triplets AXB, cf. § 3.3 Design).

### 6.5.3 Résultats

Comme pour les Expériences 3 et 4, nous avons ajusté aux données un modèle linéaire mixte généralisé de régression logistique sous R ([R Core team, 2016](#)) pour traiter nos données de discrimination des voyelles nasales. Les analyses réalisées montrent la significativité des effets fixes suivants : Condition (C1 vs. C2), Groupe de sujets (Colombiens, Espagnols, et Français), Niveau de français (zéro, débutants, intermédiaires, avancés), Contraste (/ $\tilde{a}$ /-/ $\tilde{o}$ /, / $\tilde{e}$ /-/ $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ /-/ $\tilde{e}$ /), et Contexte syllabique (CV vs. CVC) ; les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items. La valeur prédictive de chaque effet a été évaluée en comparant modèle complet et modèle amputé de l'effet examiné sur les estimations de maximum de vraisemblance.

Nous présentons les pourcentages de réponses correctes selon la Condition de locuteur (C1 vs. C2) et le Groupe de participants (Français, Espagnols, Colombiens) dans la Figure 32.



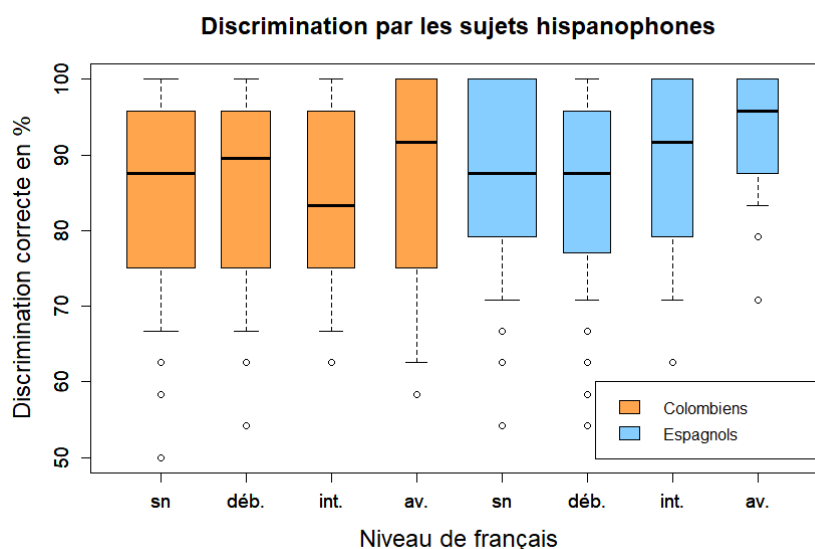


**Figure 32.** Pourcentages de discrimination correcte des voyelles nasales par les sujets français, espagnols, et colombiens en fonction des deux conditions de locuteur :  
*C1*= une locutrice ; *C2*= une locutrice et un locuteur.

**Groupe de sujets et Condition C1 vs. C2 :** Autant l'effet Groupe que l'effet Condition sont significatifs. Pour l'effet de Groupe, les natifs du français discriminent correctement les voyelles nasales (99%), suivis des Espagnols (92%), et enfin des Colombiens (90%) ( $\chi^2(2)=(2)=98.12$ ,  $p<.001$ ). Effectivement, les performances des Français sont bien meilleures que celles des hispanophones ( $p<.001$ ). L'effet de Groupe n'est globalement pas significatif entre sujets colombiens et espagnols ( $p=.069$ ), bien que les Espagnols aient, numériquement, une meilleure performance que les Colombiens. L'interaction Groupe x Condition de locuteur est significative ( $\chi^2(2)=(5)=464.35$ ,  $p<.001$ ), reflétant la plus grande difficulté des hispanophones en C2 qu'en C1 ; les natifs ont des performances plafond dans les deux conditions comme on s'y attendait. Si l'on se restreint à la condition C2, les Espagnols ont une meilleure performance que les Colombiens (88 vs. 85%) ( $\chi^2(2)=(1)=5.04$ ,  $p<.05$ ). Le taux de réponses correctes en C1 et C2 est, respectivement de 95% et 85% (Colombiens,  $p<.001$ ), ou bien 95% et 88% (Espagnols,  $p<.001$ ), alors qu'il est de 99% dans les deux conditions pour les natifs du français. Nous n'analyserons donc que les données correspondant à *la seule condition C2* et aux seuls sujets hispanophones.

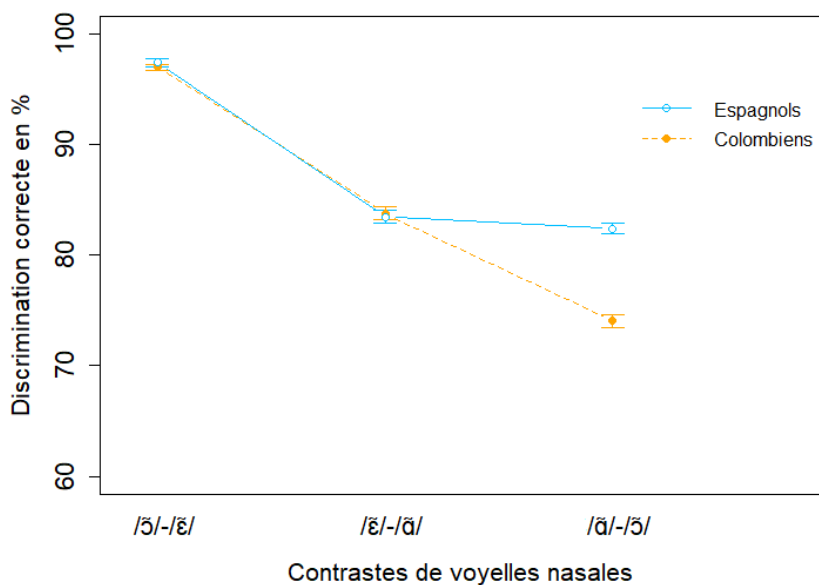
**Niveau de français :** La Figure 33 montre les résultats de discrimination des voyelles nasales selon le niveau de français des apprenants colombiens et espagnols. Les sujets naïfs (sn) sont considérés comme ayant le niveau "zéro" suivis des débutants, intermédiaires et avancés : quatre niveaux en tout. Le taux moyen de réponses correctes, pour les Colombiens, est de 85% chez les

sujets naïfs et les avancés, 86% pour les débutants, et 84% pour les intermédiaires. Quant aux Espagnols, les avancés ont 92% de réponses correctes, les intermédiaires ont 88%, les débutants, 85%, et les naïfs, 87%. Globalement, Niveau n'a pas d'effet significatif ( $\chi^2(2)=(3)=3.27$ ,  $p=.352$ ). L'expérience d'apprentissage du français ne joue donc pas un rôle déterminant sur la discrimination des voyelles nasales, ni pour les Colombiens ( $p=.86$ ), ni pour les Espagnols ( $p=.103$ ). Toutefois, deux différences significatives sont à noter dans le groupe espagnol : "avancé" vs. "naïfs", et "avancé" vs. "débutant" ( $ps<.05$ ).



**Figure 33.** Pourcentages de discrimination correcte selon le niveau de français des apprenants colombiens et espagnols (condition C2), tous contrastes confondus ; *sn* = sujets naïfs ; *déb.* = débutant ; *int.* = intermédiaire ; *av.* = avancé.

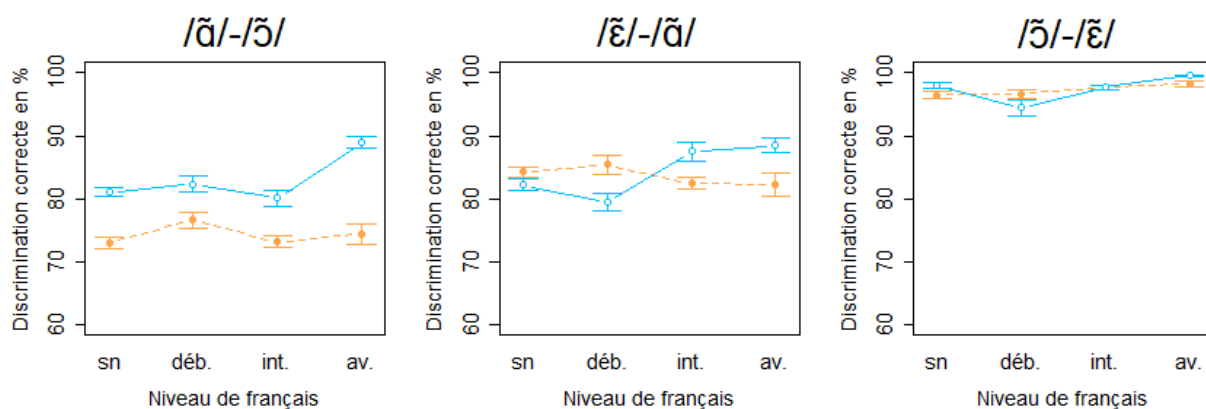
**Contrastes :** L'effet Contraste est significatif ( $\chi^2(2)=(2)=81,33$   $p<.001$ ), suggérant qu'il y a des contrastes qui sont plus difficiles à discriminer que d'autres. En effet, le contraste / $\tilde{\epsilon}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / est significativement mieux discriminé que / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / et / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / ( $ps<.001$ ) : pour / $\tilde{\epsilon}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ /, les performances des Colombiens, et des Espagnols sont proches du plafond (97.1% et 97.4%, respectivement), comme le montre la Figure 34. L'interaction Groupe x Contraste est significative ( $\chi^2(2)=(5)=101.03$   $p<.001$ ), suggérant que l'effet Contraste diffère selon l'effet Groupe. En effet, dans le groupe colombien il y a des différences significatives entre toutes les paires de contrastes ( $ps<.001$ ) : pour / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / les performances de discrimination correspondent à 83.7% des réponses correctes ; et pour / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ /, les performances descendent à 74.1%. Alors que dans le groupe espagnol, il n'y a pas de différence significative entre / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / et / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / ( $p=.67$ ), les performances de discrimination correcte étant de 83.4% pour le premier, et 82.4% pour le deuxième. Les différences sont significatives pour / $\tilde{\epsilon}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / vs. / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / et pour / $\tilde{\epsilon}$ /-/ $\tilde{\sigma}$ / vs. / $\tilde{\alpha}$ /-/ $\tilde{\epsilon}$ / ( $ps<.001$ ).



**Figure 34.** Pourcentages de discrimination correcte selon les contrastes /õ/-/ẽ/, /ẽ/-/ã/, et /ã/-/õ/ (condition C2), tous niveaux confondus, par les sujets espagnols et colombiens. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

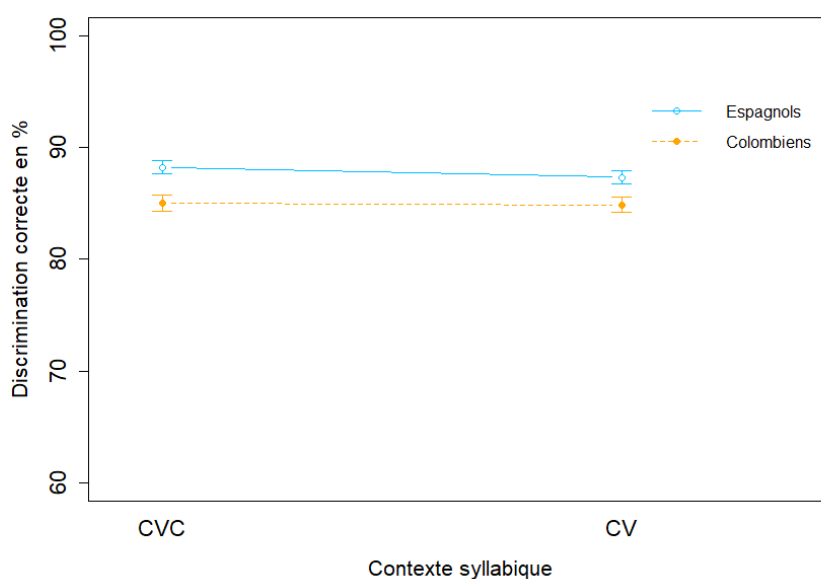
Comme nous l'avons vu plus haut, le Niveau de français n'a pas d'effet significatif sur les résultats de discrimination des voyelles nasales, tous contrastes confondus, pour aucun des deux groupes (Figure 33). Si l'on examine plus en détail l'effet du niveau de français pour chacun des trois contrastes (Figure 35), aucun pattern clair n'apparaît non plus, excepté une légère progression chez les Espagnols pour /ã/-/õ/ et /ẽ/-/ã/.

La figure 35 montre bien l'ordre de difficulté des contrastes : /õ/-/ẽ/ > /ẽ/-/ã/ > /ã/-/õ/ pour les Colombiens (en orange), et /õ/-/ẽ/ > /ẽ/-/ã/ = /ã/-/õ/ pour les Espagnols (en bleu).



**Figure 35.** Pourcentages de discrimination correcte pour chacun des contrastes /ã/-/õ/, /ẽ/-/ã/ et /õ/-/ẽ/, selon le niveau de français des sujets espagnols (bleu) et colombiens (orange) ; *sn* = sujets naïfs, *déb.* = débutant, *int.* = intermédiaire, *av.* = avancé.

Par ailleurs, la Figure 36 montre les performances de discrimination des sujets hispanophones selon le contexte syllabique (CV vs. CVC) des voyelles nasales. Pour les sujets espagnols, le taux moyen de discrimination correcte est de 88% en CVC, et de 87% en CV, alors que pour les sujets colombiens, il est de 85% en CVC, et de 84,8% en CV. En effet, ce facteur n'a pas d'effet significatif sur la discrimination ( $\chi^2(2)=(1)=0.09, p=.762$ ), suggérant que les sujets hispanophones discriminent les voyelles nasales indépendamment de la structure syllabique dans laquelle elles se trouvent.



**Figure 36.** Pourcentages de discrimination correcte selon le contexte syllabique (CVC vs. CV), tous niveaux confondus, par les sujets espagnols et colombiens. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

#### 6.5.4 Discussion

Nous avons examiné la capacité des apprenants et sujets naïfs hispanophones à discriminer les voyelles nasales du français dans deux conditions de locuteur (C1 vs. C2), pour chacun des trois contrastes /ã/-/õ/, /ê/-/â/, et /õ/-/ê/, et en fonction du niveau de français des participants (sujets naïfs, niveaux débutant, intermédiaire, et avancé). Un groupe contrôle de locuteurs natifs du français (de la région de l'Île-de-France) a aussi participé à cette expérience. Nous avons aussi analysé l'effet possible du contexte syllabique (CV vs. CVC). Restreignant les analyses à la seule condition C2 et aux deux groupes d'hispanophones (les performances étant proche du plafond pour C1 et pour les sujets contrôles français), nous trouvons que ni le Niveau de français ni le Contexte syllabique n'ont pas d'effet significatif. Les Espagnols ont une

meilleure performance que les Colombiens. Enfin les performances diffèrent significativement selon le Contraste.

Nos résultats montrent que la discrimination du contraste /*ẽ*/-/*õ*/ ne présente pas de difficulté pour les hispanophones, étant donné le taux élevé de bonnes réponses. Le contraste /*ã*/-/*õ*/ est le plus difficile à discriminer pour les sujets colombiens, le contraste /*ã*/-/*ẽ*/ présentant une difficulté intermédiaire. Pour les sujets espagnols, le degré de difficulté est le même pour /*ã*/-/*õ*/ et /*ã*/-/*ẽ*/.

Ces différentiels de difficulté sont largement prédictibles à partir des données d'assimilation perceptive (Expérience 2). En effet, les hispanophones assimilent massivement /*ẽ*/ à la voyelle espagnole /*a*/ (93% ou 98% pour les Espagnols ou les Colombiens, respectivement) et /*õ*/ à l'espagnole /*o*/ (89% ou 86%) ou parfois /*u*/ (9 et 13%). Le contraste français /*ẽ*/-/*õ*/ est donc typique d'un contraste TC (two categories) pour les hispanophones, Espagnols ou Colombiens, qui le perçoivent sans doute comme semblable à leur contraste /*a*/-/*o*/ ou parfois /*a*/-/*u*/. Les deux autres contrastes /*ã*/-/*ẽ*/ et /*ã*/-/*õ*/ font intervenir la nasale /*ã*/ qui donne lieu à des patterns d'assimilation plus partagés (cf. Tableaux 17 et 18), en accord avec les observations de [Detey et al. \(2010\)](#) qui trouvent que la /*ã*/ française n'a pas de voyelle "équivalente" en espagnol : elle est assimilée soit à /*a*/ soit à /*o*/, avec un avantage pour /*o*/ plus prononcé pour les Colombiens (61% vs. 37%) que les Espagnols (49% vs. 46%). Cet avantage se retrouve aussi dans les scores de bon appariement plus élevés pour l'assimilation à /*o*/ qu'à /*a*/ (3.0 vs. 2.5). Il est donc prédictible que /*ã*/-/*õ*/ soit perçu moins souvent comme semblable à /*a*/-/*o*/ (facile) que /*o*/-/*o*/ (difficile) et, par le même raisonnement, que /*ã*/-/*ẽ*/ soit perçu moins souvent comme semblable à /*a*/-/*a*/ (difficile) que /*o*/-/*a*/ (facile). Ceci expliquerait donc (i) que /*ã*/-/*õ*/ soit globalement plus difficile que /*ã*/-/*ẽ*/, (ii) que la différence soit plus marquée pour les Colombiens que les Espagnols (avantage plus net de l'assimilation /*ã*/ > /*o*/ sur /*ã*/ > /*a*/), et (iii) que ces deux contrastes soient plus difficiles que le contraste /*ẽ*/-/*õ*/ (uniformément TC pour les deux groupes). Il faudrait aussi tenir compte des scores de bon appariement pour faire des prédictions plus fines. Nous présenterons une tentative de prédiction quantitative en fin de discussion. Pour l'instant, nous allons discuter quels autres aspects des stimuli utilisés, perceptifs ou acoustiques, pourraient contribuer à expliquer les différences observées entre contrastes et entre groupes.

Selon les travaux de [Montagu \(2004, 2007\)](#), l'articulation sous-jacente à la voyelle /*ã*/, ou plus précisément le début non-nasalisé de la voyelle nasale, est identifié par des français natifs de la région parisienne à la voyelle /*ɔ*/ dans 58% des cas, mais également à /*a*/ dans 10 à 42% des cas selon le contexte consonantique. Cette hésitation entre /*ɔ*/ et /*a*/, observée pour des

auditeurs francophones, est similaire aux patterns d'assimilation de /ã/ observés chez les hispanophones, qui "hésitent" entre /o/ et /a/. En outre, selon Montagu, les voyelles orales sous-jacentes dominantes pour les trois voyelles nasales /ã, ê, õ/ sont /ɔ, a, o/, respectivement. Ceci suggère une difficulté décroissante de /ã/-/õ/ à /ã/-/ê/ à /ê/-/õ/ tout au moins pour ce qui concerne le début non-nasalisé des voyelles nasales. Cet ordre de difficulté est bien celui que nous observons chez les hispanophones. Les qualités des voyelles orales sous-jacentes expliqueraient-elles donc les patterns d'assimilation perceptive et les difficultés de discrimination des hispanophones ? Il faut rester prudents sur ce point car la qualité des contreparties orales des voyelles nasales reste largement débattue (Straka, 1965 ; Brichler-Labaeye, 1970 ; Zerling, 1984 ; Montagu, 2002 ; Delvaux et al., 2002 ; Delvaux, 2004). En particulier, se limite-t-elle à la qualité du début non-nasalisé des voyelles nasales ?

En ce qui concerne la condition de locuteur, les résultats de nos trois expériences de discrimination montrent que la discrimination est plus difficile lorsque les stimuli sont à deux voix (une féminine et une masculine) qu'à une seule voix. L'hétérogénéité des voix accentuerait les difficultés des sujets à discriminer les contrastes. C'est évidemment le cas pour les contrastes de voyelles nasales tout comme pour les autres contrastes des expériences 3 et 4.

De façon surprenante, le niveau de français des sujets hispanophones n'a pas un effet significatif sur la discrimination des voyelles nasales, suggérant que la bonne discrimination des voyelles nasales ne dépend pas de leur expérience d'apprentissage du français. L'apprentissage du français (en Colombie ou en Espagne) semblerait donc avoir de pauvres résultats sur le plan de la compréhension orale puisqu'il n'y a pas de progrès notable entre naïfs et avancés dans la perception des contrastes de voyelles nasales du français.

En ce qui concerne les groupes, les résultats montrent que les natifs du français discriminent correctement leurs voyelles nasales, ce qui était attendu pour ce groupe contrôle. Il est cependant possible que les auditeurs français aient des difficultés avec le contraste /ê/-/õ/ qui est largement dans l'oubli pour la plupart des francophones. Mais cette question sort du cadre de ce travail de thèse. Quant aux deux groupes de sujets hispanophones, les Espagnols sont significativement meilleurs que les Colombiens, bien que la différence soit numériquement faible (88 > 85%).

Les commentaires des apprenants (cf. § 3.2.2) concernant leur apprentissage du français indiquent que 57% des apprenants espagnols ont suivi des cours de prononciation contre 31% des apprenants colombiens. Même si 81% des apprenants colombiens affirment connaître l'API

contre 67% des apprenants espagnols, il semblerait que la place et la pratique de la phonétique du français sont plus importantes dans l'apprentissage du français pour ces derniers.

En outre, plus d'un tiers des apprenants colombiens (38%) indiquent qu'ils étudient le français dans deux modalités d'apprentissage, l'oral et l'écrit, de manière équilibrée, alors que chez les apprenants espagnols, ils sont beaucoup plus nombreux à affirmer cet équilibre de ces modalités d'apprentissage du français (80%). Enfin, ce qui aiderait aussi à expliquer la différence entre les deux groupes est que parmi les sujets espagnols, 18 sur 30 ont effectué un séjour dans un pays francophone, alors que chez les colombiens seulement 5 sur 26 apprenants ont effectué un tel séjour, et uniquement des apprenants de niveau avancé.

Par ailleurs, comme nous l'avons mentionné plus haut, les résultats d'assimilation des voyelles nasales peuvent nous aider à mieux comprendre les difficultés de perception des apprenants hispanophones, notamment à partir des résultats observés chez les sujets naïfs. Afin de vérifier ces résultats, nous nous sommes proposés de formuler des prédictions sur les performances de discrimination des voyelles nasales par des hispanophones à la lumière des prédictions du PAM sur la discrimination des contrastes non-natifs. Nous présenterons cette tentative de prédiction uniquement pour les voyelles nasales du français.

Rappelons que lors des résultats de catégorisation des voyelles nasales du français en catégories vocaliques de l'espagnol, nous avons trouvé que /ẽ/ est assimilée massivement à /a/, et /õ/ à /o/, tandis que /ã/ est assimilée soit à /a/ soit à /o/ (/o/ étant dominante). Par conséquent, /ẽ/-/õ/ est un contraste TC (*two category assimilation* : catégories /a/ et /o/) que PAM prédit bien discriminé. Pour /ã/-/õ/, comme /õ/ est assimilée à /o/, et /ã/ le plus souvent à /o/, il est le plus souvent SC (*single category assimilation*) ou CG (*category goodness assimilation*) que PAM prédit difficile ou relativement facile. Quant à /ã/-/ẽ/, comme /ẽ/ est assimilée à /a/, et /ã/ le plus souvent à /o/, il est le plus souvent TC, donc facile, mais parfois SC ou CG, donc plus difficile, lorsque /ã/ est assimilée à /a/.

À partir de nos données d'assimilation, PAM prédirait donc la meilleure discrimination pour /ẽ/-/õ/, suivi par /ã/-/ẽ/, et la moins bonne pour /ã/-/õ/. Pour affiner ces prédictions, il serait souhaitable de savoir dans quelle mesure un contraste est plutôt CG que SC. Typiquement, cette distinction est reflétée par des différences de rating, c'est à dire de *goodness of fit* dans une tâche d'assimilation perceptive (Best, 1995). Ces données de rating ont été recueillies dans l'Expérience 2, tant pour la plupart des voyelles orales du français que pour les trois voyelles nasales, pour chacune desquelles les sujets hispanophones devaient indiquer la voyelle espagnole la plus proche et un score de "bon appariement". Une tâche classique d'assimilation

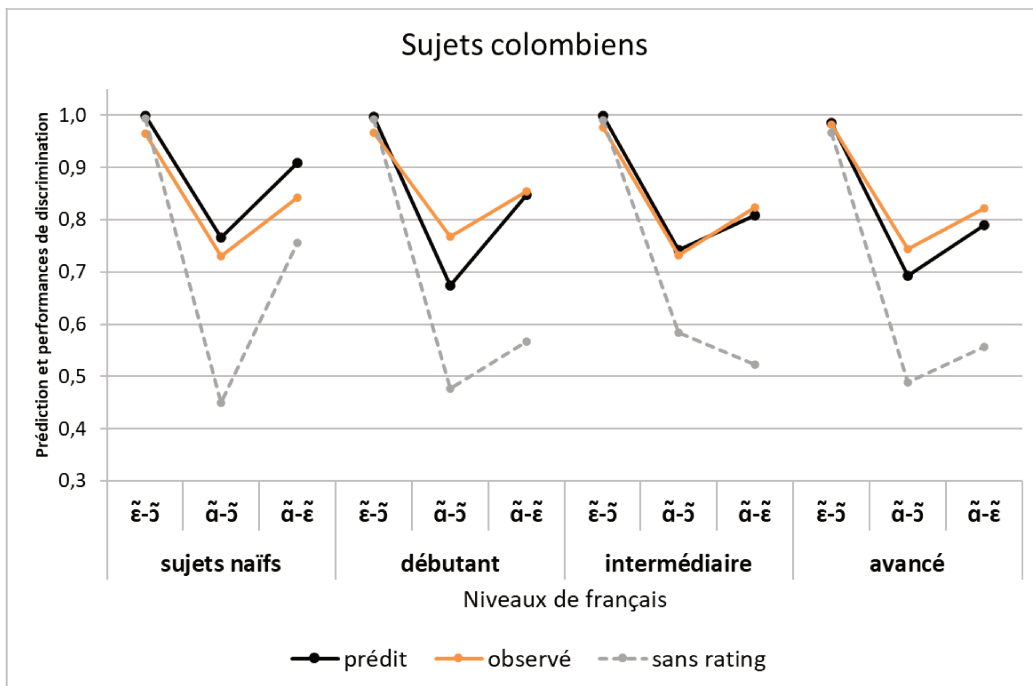
perceptive. Nous avons tenté de prédire quantitativement les performances de discrimination à partir des données d'assimilation perceptive pour chacune des trois voyelles nasales.

La formule suivante prédit la performance de discrimination du contraste x-y à partir des seules données de catégorisation, *sans tenir compte des ratings* :  $P(x \neq y) = 1 - \sum_{i=1}^5 P(x = ci) \times P(y = ci)$ , *ci* étant les 5 catégories vocaliques /a, i, e, o, u/ de l'espagnol. La somme sur les 5 catégories vocaliques de l'espagnol représente la probabilité "brute" d'avoir catégorisé x et y de la même façon : par exemple le terme de la somme  $P(x = /a/) \times P(y = /a/)$  représente d'assimiler x et y tous les deux au /a/ espagnol. Pour tenir compte des ratings, notre idée est de pondérer ce terme par un facteur d'autant plus grand que la différence de rating est petite, renforçant pour ainsi dire la probabilité de catégoriser x et y de la même façon. Comme une première approximation, nous avons essayé la pondération suivante :  $(4 - |\text{rating}(x=ci) - \text{rating}(y=ci)|) / 4$ , qui varie de 1 (ratings identiques) à 0 (ratings maximalement différents : l'un de 5 et l'autre de 1). (Rappelons que les ratings sont donnés sur l'échelle 1-5.).

Les Figures 37 et 38 montrent les données de discrimination observées et prédites par deux types de modélisation : sans pondération ou avec pondération par les différences de rating. Cette dernière donne un poids aux différences de "category goodness", tout en restant basée sur les probabilités de catégorisation dans les différentes catégories natives. La Figure 36 montre les discriminations observées et prédites pour les sujets colombiens, naïfs et apprenants.

Notre tentative de prédiction quantifiée approche assez bien les données observées et l'on peut noter que la version avec pondération donne une bien meilleure prédiction. La prise en compte des ratings et de leurs différences (absolues) peut être vue comme une (tentative de) modélisation du scénario CG de PAM. L'autre modélisation, qui ne tient pas compte des ratings revient à considérer que les ratings sont identiques pour x et y pour chacune des catégories d'assimilation (i.e.,  $\text{rating}(x = ci) = \text{rating}(y = ci)$  pour toutes les catégories natives *ci*), ce qui modélise le scénario SC de PAM où deux sons non-natifs sont assimilés à un même son natif sans différence de "category goodness". Cette modélisation "SC" sous-estime de beaucoup la performance de discrimination de /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/. La meilleure modélisation obtenue en prenant en compte les ratings suggère donc que les contrastes /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/, pour lesquels nous hésitions entre SC et CG, sont plutôt du type CG que PAM prédit plus facile que SC. Quant à /ẽ/-/õ/, nous avons déjà vu qu'il est du type TC (/ẽ/ assimilée à /a/ et /õ/ à /o/) : pour ce contraste, la prise en compte des ratings ne modifie guère les prédictions puisque les probabilités de catégorisation identique pour /ẽ/ et /õ/ sont négligeables.

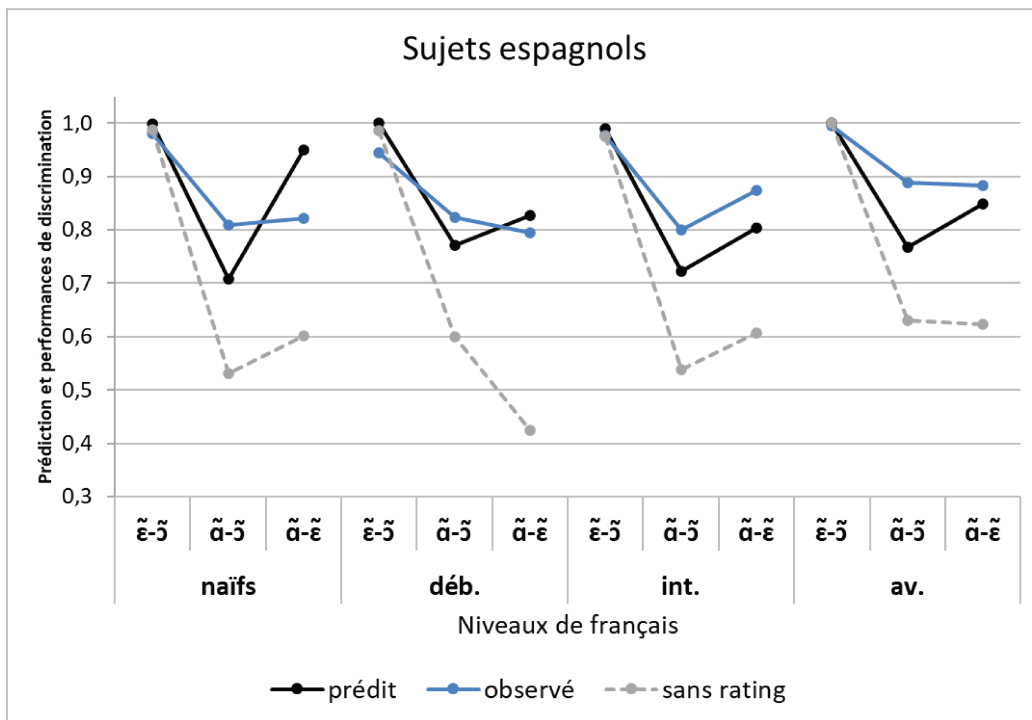




**Figure 37.** Prédications de la discrimination des contrastes /ẽ/-/ĩ/, /ã/-/õ/, et /ã/-/ẽ/ par les sujets colombiens selon leur niveau de français : *naïf*, *débutant*, *intermédiaire*, et *avancé*. Prédications avec et sans ratings : noir plein et en pointillé ; discrimination observée : orange.

La Figure 38 montre les discriminations observées et prédites pour les sujets espagnols, naïfs et apprenants. Les patterns de discriminations prédites et observées sont similaires à ceux obtenus pour les Colombiens, suggérant là encore que le contraste /ẽ/-/ĩ/ est de type TC et les deux autres de type CG. Cependant, pour les sujets espagnols, la performance de discrimination observée est pratiquement équivalente pour /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/, à la différence des sujets colombiens pour lesquels /ã/-/õ/ est plus difficile que /ã/-/ẽ/. Le modèle avec ratings prédit bien cette différence pour les Colombiens mais la prédit aussi à tort pour les Espagnols. Le modèle sous-estime la performance des Espagnols sur /ã/-/õ/ et tend aussi à surestimer celle sur /ã/-/ẽ/. Mais globalement, le modèle est cohérent pour les deux groupes en ce qu'il suggère que /ẽ/-/ĩ/ est de type TC et /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/ de type CG, d'où l'ordre de difficulté suivant :

$/ẽ/-/ĩ/ < /ã/-/ẽ/ \leq /ã/-/õ/$  compatible avec les prédictions de PAM.



**Figure 38.** Prédictions de la discrimination des contrastes /ẽ/-/õ/, /ã/-/õ/, et /ã/-/ẽ/ par les sujets espagnols selon leur niveau de français : naïf, débutant, intermédiaire, et avancé. Prédiction avec et sans ratings : noir plein et en pointillé ; discrimination observée : bleu.

En résumé, les contrastes /ã/-/õ/ et /ã/-/ẽ/ sont difficiles à discriminer pour les apprenants hispanophones, et surtout le premier contraste pour les apprenants colombiens. La difficulté de discrimination est accentuée par l'hétérogénéité des voix produisant les stimuli. Entre les deux groupes, les performances sont meilleures pour le groupe espagnol que colombien : les cours de prononciation du français ainsi que les séjours linguistiques dans un pays francophone pourraient expliquer la meilleure performance des apprenants espagnols comparés aux colombiens sur les voyelles nasales du français. Enfin, les données d'assimilation perceptive (Expérience 2) ont permis de proposer un modèle prédisant les performances de discrimination des voyelles nasales à partir des données d'assimilation (ratings compris), confirmant les difficultés de discrimination des sujets hispanophones pour les deux contrastes /ã/-/õ/ et /ã/-/ẽ/.

## 6.6 Conclusions partielles

Dans cette première partie expérimentale, nous avons présenté quatre expériences de perception conduites sur deux groupes de participants hispanophones : espagnols et colombiens, comprenant apprenants et sujets naïfs pour le français. Un groupe d'auditeurs natifs du français a aussi participé mais seulement pour l'expérience de discrimination des voyelles nasales, en tant que groupe contrôle. La première expérience était un test d'assimilation perceptive de la plupart des voyelles du français. Les trois suivantes étaient des tests de discrimination (format AXB) de contrastes vocaliques du français :

voyelles orales : /i/-/y/, /u/-/y/, /ø/-/ɛ/, /ø/-/o/, et /e/-/i/,

voyelles nasales et orales “correspondantes” : /ɛ/-/ẽ/, /a/-/ã/, /o/-/õ/ et /ɔ/-/õ/ ;

voyelles nasales : /ã/-/ẽ/, /ẽ/-/õ/, /ã/-/õ/.

L'expérience d'assimilation perceptive a permis d'observer quelle voyelle de l'espagnol entendent les sujets hispanophones lorsqu'ils sont confrontés à des voyelles du français, notamment les sujets naïfs du français. Nous avons examiné l'assimilation perceptive en espagnol de la plupart des voyelles françaises. (Nous avons en particulier fait l'économie des voyelles françaises /e/ et /a/ que nous supposons devoir être assimilées à leur contrepartie espagnole, comme c'est le cas pour /i/, /o/ et /u./) Les patterns d'assimilation perceptive permettent d'expliquer la plupart des performances de discrimination observées dans les Expériences 3 à 5.

Les résultats des trois expériences de discrimination ont un point commun : la condition 2 où alternent une voix de femme et une voix d'homme, rend la tâche de discrimination plus difficile que pour la condition 1 (une seule voix de femme), car il exige des auditeurs hispanophones de traiter des représentations phonologiques plutôt que phonétiques ou acoustiques. Dans ces trois expériences, les performances des sujets espagnols sont meilleures que celles des sujets colombiens, et nous avons vu que les réponses au questionnaire sur l'apprentissage du français des apprenants indiquent que les Espagnols ont une expérience plus grande que les Colombiens concernant les séjours linguistiques dans un pays francophone, bénéficient d'une part plus grande donnée à l'oral (comparé à l'écrit) dans l'apprentissage et de plus de ressources didactiques orientées sur la prononciation du français.

Dans la première expérience de discrimination sur les voyelles orales, les sujets hispanophones rencontrent des difficultés à discriminer /ø/-/o/ et plus encore /y/-/u/. Le contraste

contrôle /e/-/i/ recueille les meilleurs résultats de discrimination, suivi de /i/-/y/. Ceci s'explique assez bien par l'assimilation de la /y/ française à la /u/ espagnole, ce qui donne un contraste SC (*single category*) selon la terminologie de PAM, ou plutôt un contraste CG (*category goodness*) car la /y/ française est un moins bon exemplaire de la /u/ espagnole que la /u/ française (cf. les scores de bon appariement). L'assimilation /y/ > /u/ explique aussi le peu de difficulté rencontrée pour /y/-/i/ (typiquement un contraste TC). Par ailleurs, nous avons observé de meilleures performances pour le contraste /ø/-/ɛ/ que pour /ø/-/o/ et cette différence va plutôt à l'encontre des prédictions de PAM : /ɛ/ est assimilée à /e/, /o/ à /o/, et /ø/ plus souvent à /e/ qu'à /o/ : on s'attendrait donc, sur la base de ces patterns d'assimilation, que /ø/-/ɛ/ soit plus difficile que /ø/-/o/ or c'est le contraire qui est observé, du moins pour les Colombiens. Nous avons exploré une explication alternative en termes de différences de traits phonétiques : /ø/ et /ɛ/ diffèrent par [±rounded] et le degré d'aperture, auquel les hispanophones sont notoirement peu sensibles, mais le trait [+rounded] est associé en espagnol à [+back] : il est donc possible que, perceptivement, les hispanophones interprètent /ø/ comme [+rounded, +back] et /ɛ/ comme une voyelle [-rounded, -back], ce qui représenterait une plus grande différence en termes de traits que pour /ø/-/o/ où les deux voyelles pourraient même être perçues [+back].

Pour la discrimination des voyelles orales et voyelles nasales, les hispanophones font bien la distinction entre les deux types de voyelles : le trait nasal est présent en espagnol uniquement pour les consonnes et phonétiquement pour les voyelles, ce qui peut aider à expliquer les bonnes performances de discrimination chez les hispanophones. Cependant, on notera aussi que sur le plan acoustique /ɛ/ et /ẽ/ sont très différents, ainsi que /a/ et /ã/, ce qui permettrait de bien les distinguer, mais les difficultés apparaissent pour les contrastes /ɔ/-/õ/, et notamment pour /o/-/õ/, dont les deux premiers formants ont des valeurs presque identiques.

Enfin, les résultats de discrimination des voyelles nasales ont montré que le groupe contrôle discrimine correctement ces voyelles, et que les sujets hispanophones rencontrent des difficultés pour distinguer les contrastes /ã/-/ẽ/ et /ã/-/õ/ : chez les sujets espagnols le degré de difficulté est le même pour les deux contrastes, alors que chez les sujets colombiens la difficulté est plus importante pour /ã/-/õ/ que pour /ã/-/ẽ/.

Dans le chapitre qui suit, nous examinerons directement comment les apprenants hispanophones catégorisent les voyelles nasales du français selon les catégories du français qu'ils ont apprises. Nous utilisons pour cela des mots monosyllabiques du français et des non-mots dissyllabiques.

# CHAPITRE 7

## Expériences de catégorisation

### Résumé

*Deux expériences de catégorisation à choix forcé des voyelles nasales du français (/ẽ/, /ã/, /õ/) ont été effectuées auprès des apprenants hispanophones espagnols et colombiens, ainsi que des auditeurs natifs du français en tant que groupe contrôle. Les sujets sont les mêmes que pour l'expérience de discrimination des voyelles nasales du français. La première expérience porte sur l'identification des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français, et la deuxième, dans des logatomes dissyllabiques. Il a été demandé aux auditeurs de donner un score à leur réponses d'identification juste après le son de la voyelle entendu, afin de fournir un degré de confiance de leurs réponses sur une échelle allant de 1 à 5. Les résultats montrent que natifs du français identifient correctement les voyelles nasales, alors que les apprenants les identifient moins bien : ils ont des difficultés à identifier correctement notamment /ẽ/ et /ã/. Dans les deux expériences, l'effet Niveau de français n'est pas significatif, suggérant que les difficultés d'identification des apprenants sont indépendantes de leur expérience d'apprentissage.*

Nous avons mené deux expériences de catégorisation des voyelles nasales, exclusivement auprès des apprenants hispanophones, afin d'étudier leur capacité à identifier les voyelles dans des mots monosyllabiques du français, et dans des logatomes dissyllabiques. Les deux types d'items pour ces deux expériences ont été choisis avec l'idée de comparer une situation purement phonétique (logatomes) avec une situation où pourraient jouer des prédictions top-down (mots), dont l'influence serait d'autant plus forte que le niveau de français (qui inclut des connaissances lexicales) serait élevé.

Nous avons donc conduit les deux tests suivants :

- Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales du français dans des mots monosyllabiques.
- Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales du français dans des non-mots dissyllabiques.

## 7.1 Expérience 6 : Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques

Nous avons conduit un test de catégorisation à choix forcé dans des mots monosyllabiques afin d'observer la capacité des apprenants à identifier les voyelles nasales dans deux contextes syllabiques : ouvert (CV), et fermé (CVC). L'objectif de cette première tâche consiste à examiner si la perception des apprenants hispanophones est influencée par le type de structure syllabique.

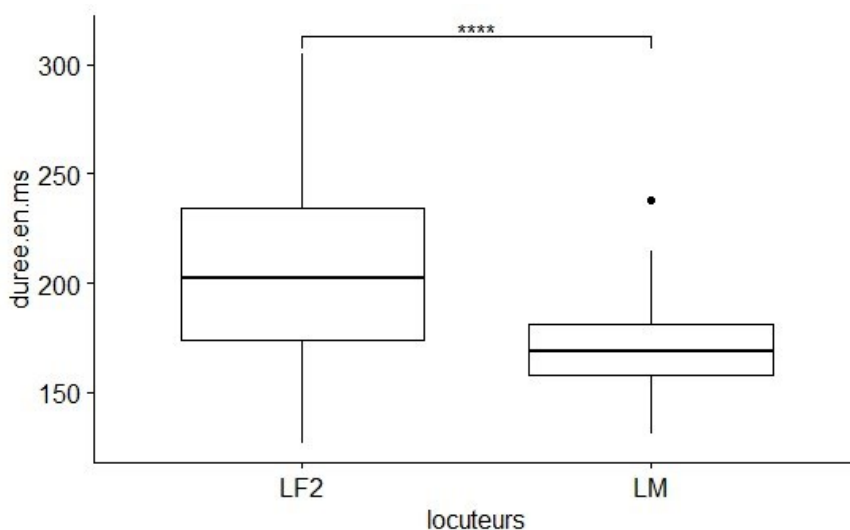
### 7.1.1 Stimuli

Les stimuli ont été produits par deux locuteurs francophones natifs (le même locuteur LM pour les expériences précédentes, et une locutrice LF2 âgée de 29 ans aussi). Ils ont été enregistrés pour la production de 24 mots monosyllabiques contenant les trois voyelles nasales du français de la région parisienne / $\tilde{\epsilon}$ ,  $\tilde{\alpha}$ ,  $\tilde{\omega}$ /, dans la phrase-cadre « *Vous dites ... trois fois* ». Ces 24 mots se répartissent en 12 mots pour chacun des deux contextes CV et CVC. Les 12 mots CV ou CVC se répartissent en 4 mots pour chaque voyelle nasale (cf. Annexe 1). Ils ont effectué trois répétitions de chaque phrase. L'enregistrement a été effectué dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LLP), de l'Université de la Sorbonne-Nouvelle, avec

un microphone serre-tête AKG C420L pour enregistrer le signal oral. Le corpus a été enregistré à 44.1 kHz sous le format .wav.

Pour LF2, la durée moyenne de toutes voyelles nasales est de 180 ms (ET : 22.1) en CV et 232 ms (ET : 34.7) en CVC. Pour LM les durées sont, 177 ms (ET : 23.0) en CV et 167 ms (ET : 15.7) en CVC. LF2 allonge donc bien les voyelles nasales en syllabe fermée, mais pas LM. Concernant les durées des mots CV, pour LF2, elles sont en moyenne de 410 ms (ET : 68.8) et pour LM de 373 ms (ET : 63.7). Les durées des mots CVC sont de 667 ms (ET : 66.7) pour LF2, et de 377 ms (ET : 75.8) pour LM. Ceci nous indique que le débit de parole est plus rapide chez le locuteur que chez la locutrice, surtout pour les mots CVC.

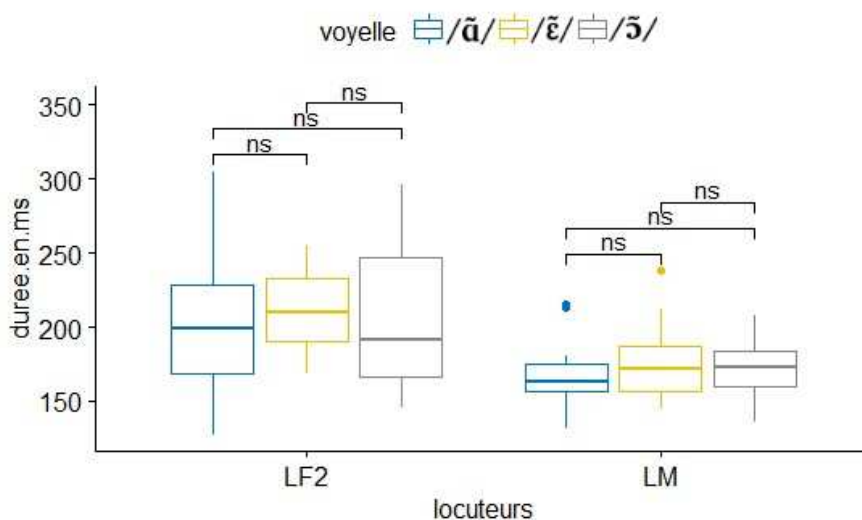
Nous avons analysé les données de durée et de F0 sur tous les stimuli produits par LF2 et LM (trois répétitions de chaque mot, soit 72 stimuli pour chaque locuteur) à l'aide de trois ANOVAs, avec pour facteurs Locuteur (LF2 vs. LM), Voyelle (/ɛ̃, ɑ̃, õ/) et Type de syllabe (CV vs. CVC). L'ANOVA à un facteur a été réalisée pour évaluer si la durée des voyelles nasales était différente pour les 2 locuteurs : LF2 ( $n = 72$ ), et LM ( $n = 72$ ). La différence de durée des voyelles est statistiquement significative entre les deux locuteurs,  $F(1,142)=44.05$ ,  $p<.001$  (Figure 39) : LF2 produit des voyelles nasales en moyenne plus longues que LM (206 > 172 ms).



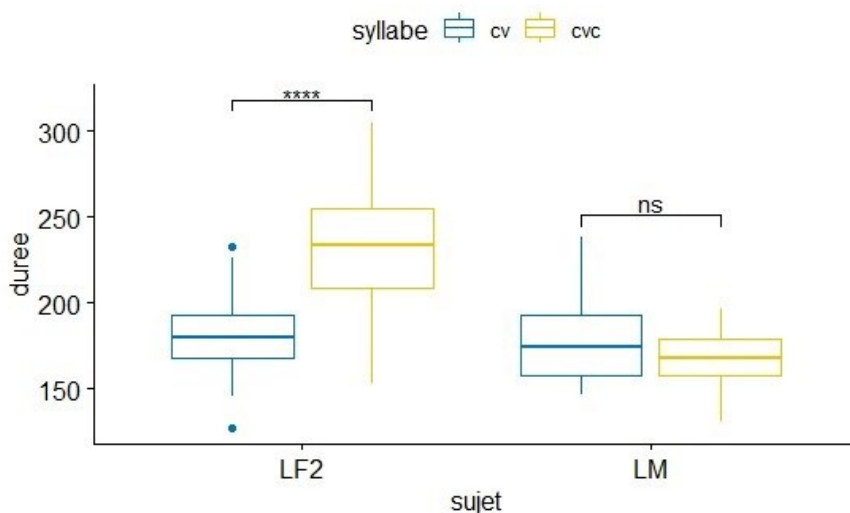
**Figure 39.** Effet de locuteur (LF2 vs LM) sur la durée voyelles nasales, toutes les voyelles nasales confondues, produites dans des mots monosyllabiques.

Une ANOVA a aussi été réalisée pour évaluer si la différence de durée était influencée par la voyelle. Les résultats indiquent que le facteur Voyelle n'est significatif pour aucun des

locuteurs,  $F(2,141)=0.74$ ,  $p=.48$  (Figure 40). En outre, il n'y a pas d'interaction entre les facteurs Locuteurs et Voyelle,  $F(2,138)=0.01$ ,  $p=.99$ . Quant au facteur Type de syllabe, il a un effet significatif sur la durée des voyelles nasales,  $F(1,142)=13.91$ ,  $p<.001$ ), et il y a une interaction pour les facteurs Locuteur\*Type de syllabe,  $F(1,140)=56.14$ ,  $p<.001$ ), suggérant que la durée des voyelles nasales est influencée par le type de syllabe uniquement chez LF2 comme le montre la Figure 41.



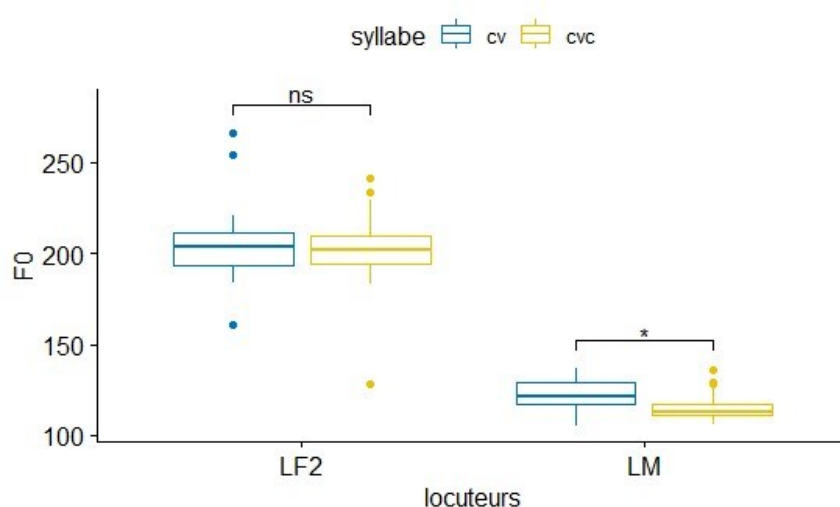
**Figure 40** Effet de Voyelle (/ã/, /ẽ/, /õ/) sur la durée par les locuteurs natifs du français LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques.



**Figure 41.** Effet du Type de syllabe (CV vs CVC) sur la durée voyelles nasales, toutes les voyelles nasales confondues, par les locuteurs natifs du français LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques.



La Figure 42 montre la différence de F0 entre LF2 et LM en fonction du type de syllabe. Une ANOVA à un facteur a été réalisée pour évaluer si la F0 était différente entre les deux locuteurs. En effet, la différence de F0 entre les deux locuteurs est bien sûr attendue : F0 beaucoup plus élevée pour LF2 que LM (203 Hz > 119 Hz),  $F(1,142)=129$ ,  $p<.001$ ). Les facteurs Voyelle et Type de syllabe ne sont pas significatifs, globalement  $F(1,141)=0.195$ ,  $p=.82$ , et  $F(2,142)=0.526$ ,  $p=.47$ , respectivement. En effet, la F0 est pratiquement la même pour toutes les voyelles chez les deux locuteurs (LF2 :  $p=.226$  ; LM :  $p=.62$ ). Le type de syllabe est cependant significatif pour LM (CV : 122 Hz ; CVC : 115 Hz ;  $p<.05$ ), mais pas pour LF2 (CV : 205 Hz ; CVC : 201 Hz ;  $p=.41$ ).



**Figure 42.** Effet du type de syllabe (CV vs CVC) sur la F0 des voyelles nasales par les deux natifs du français, LF2 et LM, produites dans des mots monosyllabiques.

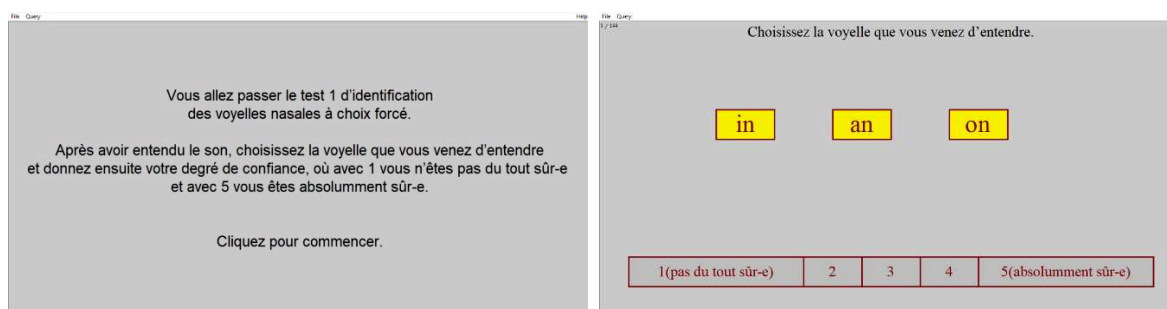
Nous avons sélectionné un exemplaire de chaque mot pour chaque locuteur : 24 mots et 2 locuteurs, soit un total de 48 stimuli. Pour l'ensemble des mots prononcés par chaque locuteur, 12 items constituent des mots monosyllabiques en syllabe ouverte CV, et 12 en syllabe fermée CVC. Tant pour les items CV que CVC, le contexte phonétique initial C est /l, m, p, t/. Pour les items CVC, les consonnes en coda sont /ʒ, t, s, t/ (voir Annexe 1 et 2).

## 7.1.2 Procédure

Le test de catégorisation avec choix forcé a été conduit sur place, auprès des apprenants colombiens, dans une salle de réunion du Département de Langues de l'Université Pontificale Javeriana à Bogota (Colombie), et auprès des apprenants espagnols dans le Laboratoire de phonétique du Département de Philologie de l'Université de Séville (Espagne).

Le test de catégorisation à choix forcé consiste à indiquer, à l'aide des touches du clavier d'un ordinateur portable, si le son vocalique du mot présenté correspond à l'une des trois représentations orthographiques des voyelles nasales du français : <in, an, on> pour /ɛ̃, ɑ̃, ɔ̃/ respectivement. Ces choix de réponses ont été présentés sur les touches du clavier préalablement préparées par nos soins. Nous n'avons pas utilisé les symboles phonétiques car la plupart des apprenants ne sont pas familiarisés avec les transcriptions phonétiques. En outre, nous avons demandé aux apprenants d'indiquer, avec la souris de l'ordinateur, un *degré de confiance* en chacune de leurs réponses (ce qui revient à un score de *goodness of fit* entre stimulus et réponse) sur une échelle de 1 à 5. L'expérience a été programmée avec Praat, *ExperimentMFC* (Multiple Forced Choice, [Boersma et Weekink, 2020](#)).

Avant de passer le test, chaque sujet devait remplir du questionnaire présenté en §3.2.2, (Tableau 11). Les consignes ont été données en français pour les apprenants des niveaux intermédiaire et avancé, et en espagnol pour les apprenants débutants. Une phase d'entraînement précédait le test proprement dit afin que les apprenants se familiarisent avec la tâche. Pour cette phase d'entraînement, nous avons précisé aux apprenants que la correspondance entre orthographe et prononciation dans les trois choix proposés n'est pas celle de l'espagnol mais est spécifique au français. La Figure 43 montre les écrans proposés aux apprenants avant de commencer le test (écran à gauche), et pendant le test (à droite).



**Figure 43.** Tâche de catégorisation des voyelles nasales : écrans d'accueil et de réponse. L'entraînement utilise trois mots monosyllabiques du français avec les trois voyelles nasales.

Ces stimuli sont répétés chacun trois fois aléatoirement. Le principe est le même pour les 48 stimuli du test, ils sont répétés trois fois chacun, ce qui fait 144 stimuli au total. La durée totale de la session expérimentale est de 10 minutes environ. Le test est programmé pour s'arrêter au stimulus numéro 70 pour que les apprenants puissent faire une petite pause s'ils le souhaitent.

### 7.1.3 Résultats

Nous présenterons d'abord les résultats de la catégorisation des voyelles nasales par tous les sujets. Ces résultats seront présentés sous forme de matrices de confusion indiquant les difficultés d'identification des apprenants. Ensuite, nous présenterons des analyses quantitatives des taux de réponses correctes afin d'examiner l'influence possible de différents facteurs : Groupe de sujets (Français, Colombiens, Espagnols), Voyelle nasale (/ẽ, ã, õ/), Structure syllabique (CV vs. CVC), Niveau de français (débutant, intermédiaire, avancé), Locuteur des stimuli (LF2 vs. LM) et Consonne initiale ([l, m, p, t]). Enfin, nous passerons aux résultats statistiques que nous discuterons pour chaque facteur mentionné.

#### 7.1.3.1 Résultats des analyses perceptives : matrices de confusion

Les résultats du test de catégorisation des voyelles nasales à choix forcé ont été analysés en termes de taux d'identification correcte pour chaque population (colombiens, espagnols, et français). Dans un premier temps, nous avons effectué cette analyse auprès des auditeurs natifs, d'une part pour vérifier la bonne catégorisation des voyelles nasales chez les natifs du français, et d'autre part pour avoir une performance de référence à laquelle comparer la perception des voyelles nasales par les apprenants. Rappelons le nombre de sujets : il y a 18 auditeurs natifs de France métropolitaine, 30 apprenants espagnols, et 26 apprenants colombiens.

La matrice de confusion montre deux types d'informations. D'une part, elle montre le nombre des réponses de catégorisation, en gras pour les plus fréquentes, et entre parenthèses le pourcentage, et d'autre part, en italique, la moyenne du degré de confiance que les sujets ont attribué à leurs réponses. Le Tableau 21, montre la matrice de confusion pour le groupe des natifs du français. Les résultats indiquent 99% de réponses correctes et un taux de confusion de 1% chez les auditeurs français. Le taux d'erreur étant très bas, nous pouvons valider notre test et comparer ces résultats à ceux des apprenants. En effet, les voyelles nasales sont correctement identifiées, le degré de confiance est en moyenne 5/5. La voyelle /ã/ a été aussi confondue avec

/ɔ̃/ et la moyenne du degré de confiance est de 4.2, mais le résultat d'identification est très faible (2.4%). C'est aussi le même cas pour les confusions /ã/ comme /ẽ/, et /ẽ/ comme /ã/ dont le degré de confiance est de 3.0 dans les deux cas, mais le taux de confusion est très bas (1 et 2 réponses, respectivement).

Stimuli \ Réponses	ã	ẽ	ɔ̃
ã	<b>842</b> (97%) <i>5.0</i>	1 (0.1%) <i>3.0</i>	21 (2.4%) <i>4.2</i>
ẽ	2 (0.2%) <i>3.0</i>	<b>860</b> (99%) <i>5.0</i>	0
ɔ̃	0	0	<b>864</b> (100%) <i>5.0</i>

**Tableau 21.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets français) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 864 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 18 auditeurs par voyelle. Les stimuli sont présentés sur l'axe vertical et les réponses sur l'axe horizontal. Les degrés de confiance, dont la moyenne est en italique, sont établis sur une échelle de 1 à 5.

Concernant les résultats des apprenants hispanophones, le nombre de confusions augmente de manière importante : il passe à 35% chez les apprenants espagnols, et à 46% chez les Colombiens. Le Tableau 22 montre la matrice de confusion pour les apprenants espagnols. Les réponses les plus fréquentes correspondent aux réponses correctes.

Stimuli \ Réponses	ã	ẽ	ɔ̃
ã	<b>815</b> (57%) <i>3.7</i>	262 (18%) <i>3.4</i>	363 (25%) <i>3.6</i>
ẽ	594 (41%) <i>3.5</i>	<b>826</b> (57%) <i>3.8</i>	20 (1%) <i>2.9</i>
ɔ̃	225 (16%) <i>3.4</i>	37 (3%) <i>3.0</i>	<b>1178</b> (82%) <i>4.2</i>

**Tableau 22.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets espagnols) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 1440 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 30 auditeurs par voyelle.

Par exemple, pour la voyelle /ɔ̃/, le nombre de réponses /ɔ̃/ est de 1178 sur 1440, c'est-à-dire 82%, et la moyenne du score de confiance est de 4.2. La voyelle nasale /ɔ̃/, la plus arrondie et fermée, est généralement mieux identifiée que les autres voyelles. Les voyelles /ã/ et /ẽ/ semblent poser le plus de difficulté (seulement 57% de réponses correctes). /ẽ/ est surtout confondue avec /ã/ (41%) ; symétriquement, /ã/ est confondue avec /ẽ/ (18%), mais est surtout confondue avec /ɔ̃/ (25%).

Afin d'observer l'effet du niveau de français des apprenants espagnols, la matrice de confusion du Tableau 22 est décomposée en trois matrices correspondants aux trois niveaux de français (Tableau 23).

<i>Débutants</i>				<i>Intermédiaires</i>			
Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ɔ̃	Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ɔ̃
ã	290 (50%) 3.1	101 (18%) 2.7	185 (32%) 3.3	ã	261 (60%) 3.7	79 (18%) 4.0	92 (21%) 3.7
ẽ	271 (47%) 2.9	290 (50%) 2.9	15 (3%) 2.8	ẽ	154 (36%) 3.7	274 (63%) 4.0	4 (1%) 3.3
ɔ̃	105 (18%) 3.0	23 (4%) 2.5	448 (78%) 3.6	ɔ̃	80 (19%) 3.7	10 (2%) 4.5	342 (79%) 4.4

<i>Avancés</i>			
Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ɔ̃
ã	264 (61%) 4.3	82 (19%) 3.7	86 (20%) 4.2
ẽ	169 (39%) 4.1	262 (61%) 4.5	1 (0.2%) 2.9
ɔ̃	40 (9%) 3.4	4 (1%) 3.0	488 (90%) 4.6

**Tableau 23.** Matrices de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques pour les apprenants espagnols selon leur niveau de français : *débutant* ( $n=12$ , 576 réponses par voyelle), *intermédiaire* ( $n=9$ , 432 réponses par voyelle), et *avancé* ( $n=9$ ).

Ceci montre une légère progression des catégorisations correctes (diagonales), en particulier pour /ɔ̃/. Pour /ɔ̃/, il y a une progression nette, surtout entre les niveaux intermédiaire et avancé : 78%, 79%, et 90% pour les niveaux débutant, intermédiaire et avancé,

respectivement. Pour /ã/, la progression est nette entre débutants et intermédiaires : 50%, 60%, et 61% pour les trois niveaux, respectivement. La progression observée pour /ẽ/ est très similaire : 50%, 63%, et 61%. Notons que c'est précisément entre /ã/ et /ẽ/ qu'il y a le plus de confusions, et à tous les niveaux.

Pour les réponses correctes (diagonales), le degré de confiance moyen augmente clairement en fonction du niveau de français : chez les débutants, la moyenne est de 3.2 ; chez les intermédiaires, elle est de 4.0; et chez les avancés, elle est de 4.5. Cette progression est observée pour les trois cellules des diagonales.

Le Tableau 24 montre la matrice de confusion globale pour les apprenants colombiens. Ces apprenants identifient mieux /õ/ que les autres voyelles nasales : le nombre de réponses correctes est de 905 sur 1248, c'est-à-dire 77%, avec un degré de confiance moyen de 4.3. Toutefois, /õ/ est confondu avec /ã/ dans 17% des cas, avec un degré de confiance moyen de 4.0. /õ/ est aussi confondu avec /ẽ/, quoique dans une moindre mesure (6%), avec un degré de confiance moyen de 3.3.

Stimuli \ Réponses	ã	ẽ	õ
ã	527 (47%) 3.9	196 (18%) 3.6	395 (35%) 4.1
ẽ	672 (61%) 3.9	409 (37.3%) 3.7	15 (1.4%) 4.0
õ	205 (17%) 4.0	70 (6%) 3.3	905 (77%) 4.3

**Tableau 24.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (sujets colombiens) : nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) ; 1248 réponses = 24 stimuli x 2 locuteurs x 26 auditeurs par voyelle.

Les confusions sont nombreuses pour /ã/, et plus encore pour /ẽ/. La voyelle /ã/ recueille 527 réponses correctes (47%), avec un degré de confiance moyen de 3.9 ; /ã/ est confondue avec /õ/ dans 395 réponses (35%), avec un degré de confiance moyen de 4.1 ; /ã/ est aussi confondue avec /ẽ/ dans 18% des réponses (degré de confiance moyen 3.6).

Quant à /ẽ/, il n'est correctement identifié que dans 37.3% des réponses, avec un degré de confiance moyen de 3.7. /ẽ/ est souvent confondu avec /ã/ (61%), avec un degré de

confiance moyen de 3.9, et rarement avec /ḽ/ (15 réponses, soit 1.4%). Il y a peu de confusions entre /ẽ/ et /ḽ/ : le taux de confusion pour /ẽ/ identifié comme /ḽ/ est de 1% chez les deux groupes d'apprenants hispanophones, et pour /ḽ/ identifié comme /ẽ/, le taux de confusion est de 3% chez les apprenants espagnols et de 6% chez les apprenants colombiens.

La comparaison des matrices de confusion pour les Espagnols et les Colombiens (Tableaux 22 et 24) montre que les performances de catégorisation des voyelles nasales sont globalement moins bonnes pour les Colombiens que les Espagnols.

Le Tableau 25 montre les matrices de confusion pour les trois niveaux de français des apprenants colombiens.

<i>Débutant</i>				<i>Intermédiaire</i>			
Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ḽ	Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ḽ
ã	185 (44%) 3.8	81 (19%) 3.5	157 (37%) 3.9	ã	169 (45%) 4.0	64 (17%) 3.9	140 (38%) 4.2
ẽ	244 (56%) 3.9	180 (42%) 3.4	8 (2%) 4.1	ẽ	239 (71%) 4.0	90 (27%) 3.8	7 (2%) 3.9
ḽ	82 (18%) 4.0	43 (9%) 3.2	331 (73%) 4.3	ḽ	52 (13%) 4.1	25 (6%) 3.5	316 (80%) 4.3

<i>Avancé</i>			
Stimuli \ Rép.	ã	ẽ	ḽ
ã	173 (54%) 4.0	51 (16%) 3.5	98 (30%) 4.1
ẽ	189 (58%) 3.8	139 (42%) 3.9	0
ḽ	71 (21%) 4.0	2 (1%) 3.5	258 (78%) 4.3

**Tableau 25.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques pour les apprenants colombiens selon leur niveau de français : *débutant* ( $n=10$  ; 480 réponses par voyelle), *intermédiaire* ( $n=9$  ; 432 réponses par voyelle), *avancé* ( $n=7$  ; 336 réponses par voyelle.).

La confusion de /ẽ/ avec /ã/ est observée pour tous les niveaux de français, notamment dans le niveau intermédiaire (71%), suivi par le niveau avancé (58%), et enfin par le niveau

débutant (56%). Il y a une légère progression de l'identification correcte de /ã/ du niveau débutant au niveau avancé, surtout entre intermédiaire et avancé : 44%, 45%, 54%, respectivement. Par ailleurs, la confusion de /ã/ avec /õ/ semble s'améliorer à une petite échelle : 37% pour les apprenants débutants, 38% pour les intermédiaires, et 30% pour les avancés. De la même manière, le taux de confusion de /ã/ avec /ẽ/ semble diminuer au fur et à mesure que les apprenants acquièrent plus d'expérience avec le français : 81 cas de confusion pour les débutants, 64 pour les intermédiaires, et 51 pour les avancés (19%, 17%, 16%, respectivement).

Même si /õ/ recueille le taux de réponses correctes le plus élevé pour chaque niveau, la progression est faible du niveau débutant aux niveaux intermédiaire et avancé (73%, 80%, 78%).

La moyenne du degré de confiance pour toutes les voyelles nasales augmente aussi dans le groupe d'apprenants colombiens : pour les débutants, elle est de 3.8 ; pour les intermédiaires, la moyenne est 4.0 ; enfin, pour les avancés, c'est 4.1.

L'ensemble des données suggère que la voyelle /ẽ/ est la plus difficile à identifier pour les deux groupes d'apprenants hispanophones, surtout les Colombiens. La difficulté apparaît principalement comme une confusion de /ẽ/ avec /ã/ (51% en moyenne). /ã/ est confondu avec /ẽ/ dans une moindre mesure (18% en moyenne). Cette asymétrie reste à expliquer. De même, /ã/ est confondu avec /õ/ (30%) plus souvent que l'inverse (16.5% en moyenne). Enfin, la confusion entre /ẽ/ et /õ/ est peu fréquente (4.5%). Ceci est en accord avec les données de discrimination qui montrent que /ẽ/-/õ/ est de loin le contraste le moins difficile.

Nous allons maintenant présenter les analyses descriptives et les statistiques inférentielles sur les performances de catégorisation (%correct) des voyelles nasales. Nous présenterons aussi les résultats de fit-index, une mesure combinant les pourcentages de catégorisation correcte et les degrés de confiance (Guion, Flege, Akahane-Yamada, et Pruitt, 2000) qui permet d'affiner l'évaluation des performances de catégorisation.

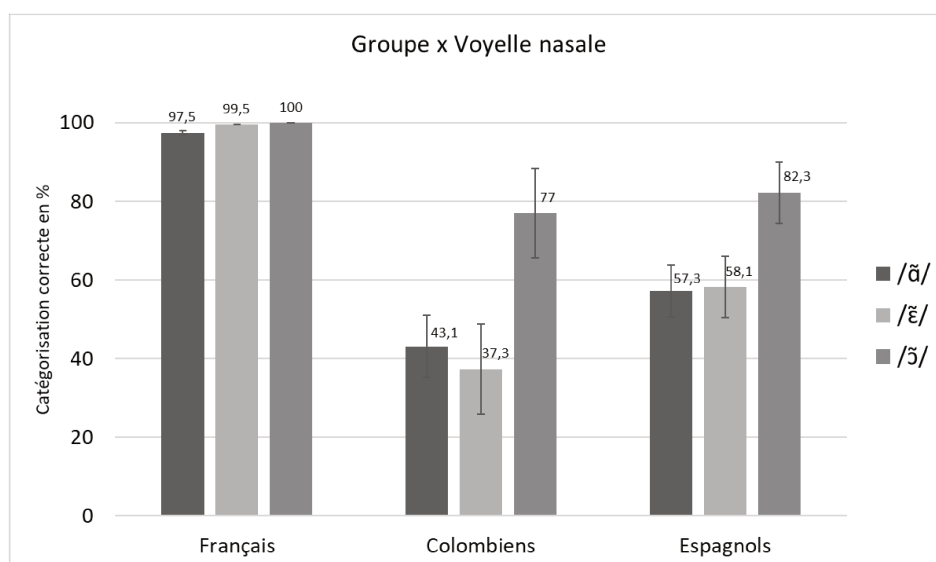
### *7.1.3.2 Résultats des analyses perceptives : effets des facteurs principaux*

Compte tenu des résultats présentés précédemment sur les matrices de confusion, nous observons que le groupe français identifie correctement les voyelles nasales dans des mots monosyllabiques. Nous observons aussi que les hispanophones rencontrent des difficultés d'identification qui dépendent à la fois du groupe (espagnol vs. colombien) et de la voyelle



nasale : /*ɛ̃*/ est la voyelle la plus difficile à identifier chez les apprenants colombiens, alors que chez les apprenants espagnols, /*ã*/ et /*ɛ̃*/ sont à peu près à égalité. Dans les groupes d'apprenants, bien que /*õ*/ soit parfois catégorisé comme /*ã*/, ou plus fréquemment l'inverse, /*õ*/ semble être la voyelle la moins problématique pour la catégorisation. Nous analyserons d'autres facteurs qui pourraient jouer un rôle dans la catégorisation des voyelles nasales : type de Syllabe (CV vs. CVC), Locuteur (LF2 vs. LM), Rang de présentation de chaque item (ordre chronologique de présentation de 1 à 6 des 6 tokens de chaque item : 3 répétitions x 2 locuteurs), et Niveau de français des apprenants.

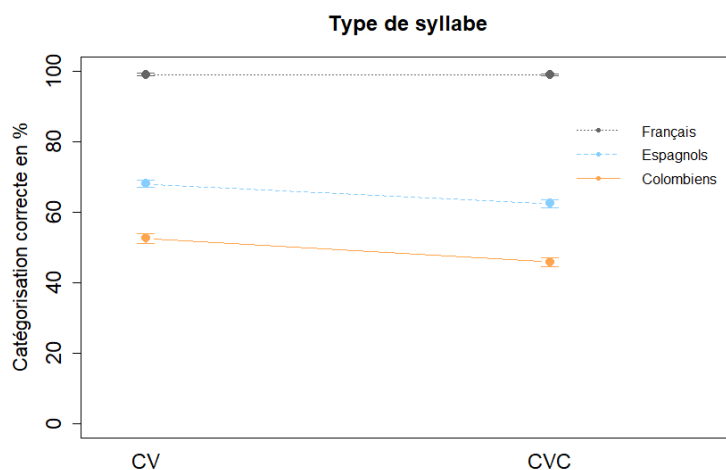
La Figure 44 résume les résultats (%correct) pour les trois groupes et les trois voyelles. Il est clair que le groupe contrôle catégorise correctement les voyelles nasales. Pour les apprenants hispanophones, la voyelle /*õ*/ est mieux catégorisée que les autres voyelles, 82% pour les Espagnols, et 77% pour les Colombiens. Chez les apprenants espagnols, les performances de catégorisation correcte de /*ã*/ et /*ɛ̃*/ sont très proches (57% pour /*ã*/ et 57.4% pour /*ɛ̃*/). Cette similarité peut indiquer que ces deux voyelles présentent le même degré de difficulté pour les apprenants espagnols. En ce qui concerne les apprenants colombiens, la principale difficulté est aussi dans les deux voyelles /*ã*/ et /*ɛ̃*/, et notamment /*ɛ̃*/ pour laquelle le score de catégorisation correcte est le plus bas (37,3%). Globalement, ces résultats suggèrent une meilleure capacité de catégorisation des voyelles nasales chez les apprenants espagnols que chez les apprenants colombiens.



**Figure 44.** Pourcentages de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français, par les apprenants colombiens et espagnols, tous niveaux de français confondus, et par le groupe des natifs du français.

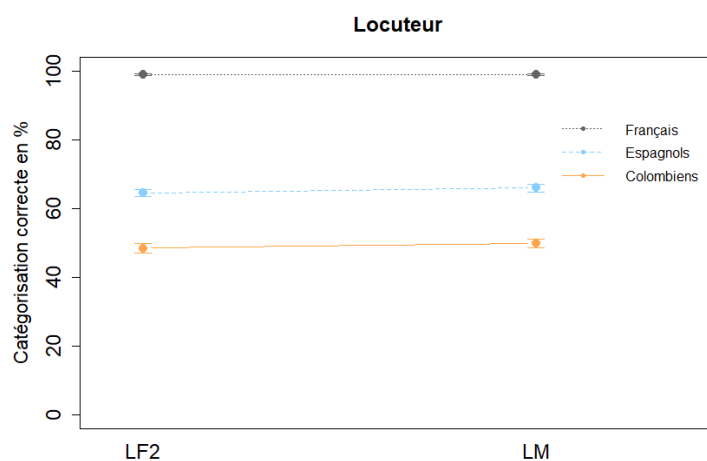
Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

La Figure 45 montre une tendance de catégorisation des voyelles nasales moins bonne performance en CVC que CV pour les hispanophones. En moyenne, le pourcentage de catégorisation correcte est de 62% en CVC et de 68% en CV pour les apprenants espagnols, et de 46% en CVC et 53% en CV pour les apprenants colombiens.



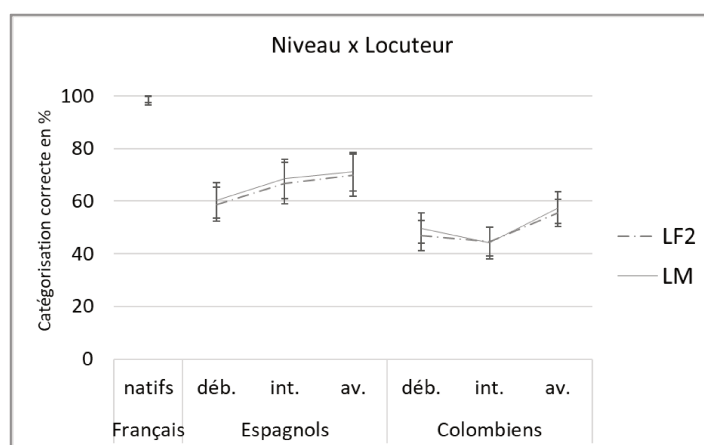
**Figure 45.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction de la structure syllabique CV ou CVC, par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

La Figure 46 montre les résultats de catégorisation en fonction du locuteur : LF2 (une femme, et LM (un homme). Le taux de catégorisation correcte chez les apprenants espagnols est de 64% avec les stimuli prononcés par LF2, et de 66% ceux prononcé par LM, et pour les apprenants colombiens, le taux de catégorisation est de 48% avec LF2, et 50% avec LM. Le groupe contrôle identifie correctement (~99%) les voyelles nasales, indépendamment du locuteur. Les performances des hispanophones sont pratiquement identiques pour les deux locuteurs.



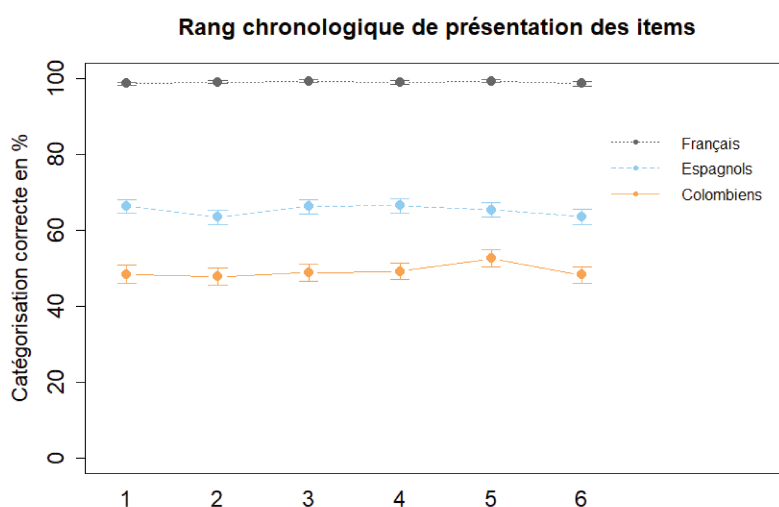
**Figure 46.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction du locuteur (LF2 ou LM) ayant produit les stimuli, par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

La Figure 47 montre aussi les résultats de catégorisation des voyelles nasales en fonction du locuteur et du niveau de français des apprenants hispanophones.



**Figure 47.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des mots, en fonction du locuteur (LF2 ou LM) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols selon leur niveau de français. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Dans la même veine, le rang de présentation des répétitions ne semble pas jouer de rôle dans la catégorisation des voyelles nasales, comme le montre la Figure 48. Les taux de catégorisation correcte des voyelles nasales varient très peu en fonction du rang de présentation (1-6) pour chacun des trois groupes. Ceci était attendu pour le groupe contrôle dont la performance moyenne est de 99%.

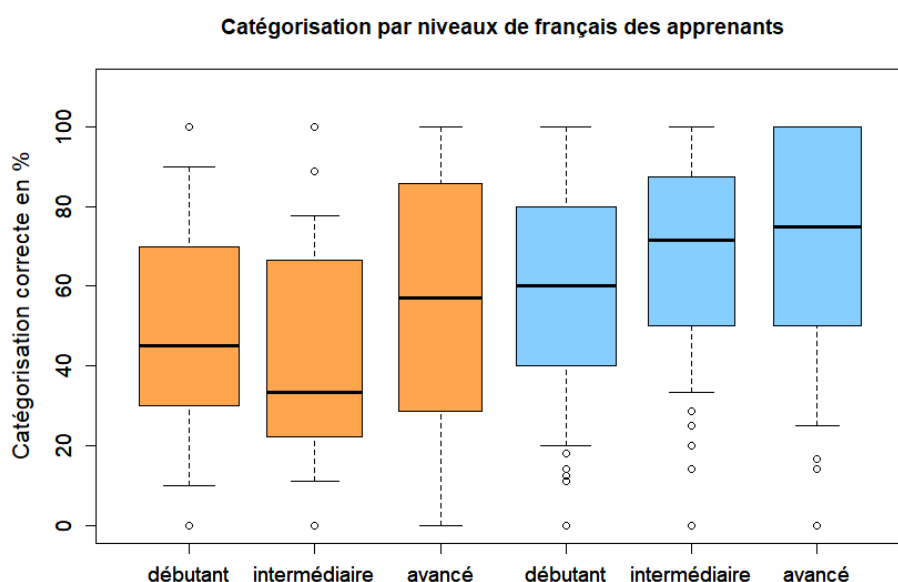


**Figure 48.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des mots, en fonction du rang de présentation (1-6) des items par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Pour les apprenants espagnols, les taux de catégorisation correcte pour les rangs de présentation de 1 à 6 sont 66%, 63%, 66%, 66%, 65%, 64%, respectivement, et pour les apprenants colombiens, 48%, 48%, 49%, 49%, 53%, 48%, respectivement.

Pour les seuls apprenants, la Figure 49 montre les résultats d'identification des voyelles nasales selon le niveau de français, toutes voyelles nasales confondues. Les performances semblent globalement meilleures pour les Espagnols que pour les Colombiens, et meilleures pour le niveau avancé que pour les deux autres niveaux dans les deux groupes (Colombiens : 56% vs. 46% ; Espagnols : 70% vs. 64%).

Les Colombiens du niveau intermédiaire semblent moins performants que ceux du niveau débutant (44% vs. 48%). Pour les apprenants espagnols, la progression est régulière entre les niveaux : débutant, 59% ; intermédiaire, 68%, et avancé, 70%.



**Figure 49.** Catégorisation correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français en fonction du niveau de français des apprenants colombiens (orange) et espagnols (bleu). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Pour résumer, ces analyses descriptives ont permis d'examiner qualitativement le rôle de plusieurs variables sur la catégorisation correcte des trois voyelles nasales dans des mots monosyllabiques. Les Français identifient correctement à 99% les voyelles nasales. Pour les apprenants hispanophones nous observons des difficultés de perception. Les apprenants espagnols ont une meilleure performance que les apprenants colombiens. Dans ce qui suit, nous restreignons nos analyses aux apprenants.

Les taux de catégorisation correcte indiquent que /ɔ̃/ est la voyelle la mieux perçue dans les deux groupes d'apprenants, notamment dans le groupe espagnol (82%) mais aussi dans le groupe colombien (72%). Pour /ã/ et /ẽ/, les taux de catégorisation correcte se trouvent en-dessous de 60% dans le groupe espagnol, et avec un même degré de difficulté, mais dans le groupe colombien, nous observons une plus grande difficulté pour /ẽ/ (33%) que pour /ã/ (42%). La difficulté à catégoriser correctement les voyelles nasales est plus grande pour le groupe colombien que le groupe espagnol.

Les facteurs type de Syllabe, Locuteur, et Rang de présentation semblent jouer un rôle mineur pour la catégorisation des voyelles nasales. Nous le vérifierons dans la section des statistiques. Cependant, le facteur Niveau de français semble jouer un rôle : il y a une progression numérique du taux d'identification correcte au fur et à mesure que les apprenants acquièrent de l'expérience avec le français, notamment pour les apprenants espagnols, car pour les apprenants colombiens la progression est moins régulière, le niveau intermédiaire ayant plus de difficultés d'identification que le niveau débutant. Certes, le facteur qui semble le plus important est le facteur Voyelle (/ã/, /ẽ/, ou /ɔ̃/).

Nous présentons maintenant les analyses statistiques qui doivent permettre d'estimer la significativité des différents facteurs et leurs interactions.

### 7.1.3.3 *Statistiques inférentielles*

Pour traiter nos données, nous avons ajusté des modèles linéaires mixtes généralisés, utilisant les fonctions *lmer* et *anova* du package *lme4* (Bates, Maechler, Bolker, et Walker 2015) pour le logiciel R (R Core team, 2016). Les analyses réalisées testent la significativité des différents facteurs que nous avons manipulés sur l'identification correcte des voyelles nasales dans les mots monosyllabiques. Les modèles incorporent les effets fixes suivants : Groupe de sujets (Français, Colombiens, Espagnols), Voyelle nasale (/ẽ, ã, ɔ̃/), type de Syllabe (CV vs. CVC), Niveau de français (débutant, intermédiaire, avancé), Locuteur des stimuli (LF2 vs. LM), Consonne initiale ([l, m, p, t]), et Rang de présentation (1-6); les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items.

Les résultats montrent que les effets suivants ne sont pas significatifs : type de Syllabe ( $\chi^2(1)=0.633$ ,  $p=.426$ ), Locuteur ( $\chi^2(1)=2.26$ ,  $p=.133$ ), Consonne initiale ( $\chi^2(3)=0.010$ ,  $p=.99$ ), Rang de présentation ( $\chi^2(5)=6.16$ ,  $p=.29$ ). Nous ne discuterons plus de ces facteurs dans ce qui suit. Nous nous concentrerons donc sur les effets Groupe, Voyelle, et Niveau.

**Groupe et Voyelle :** Les résultats montrent un effet significatif de Groupe ( $\chi^2(2)=(2)=147.07$ ,  $p<.001$ ). Ceci est grandement dû aux bien meilleures performances des Français (99%) que des apprenants hispanophones (autour de 60%). Parmi ces derniers, les apprenants espagnols ont de meilleures performances que les apprenants colombiens ( $\chi^2(2)=(1)=16.01$ ,  $p<.001$ ) : 66% > 50%. Voyelle a aussi un effet significatif ( $\chi^2(2)=(2)=19.01$ ,  $p<.001$ ), suggérant qu'il y a des voyelles mieux identifiées que d'autres. Ce qui ne peut guère être le cas que pour les hispanophones, comme le suggère l'interaction significative Groupe x Voyelle ( $\chi^2(2)=(8)=206.33$ ,  $p<.001$ ) (illustrée par la Figure 44). Voyelle a un effet significatif pour les Colombiens ( $\chi^2(2)=(2)=17.67$ ,  $p<.001$ ), et pour les Espagnols ( $\chi^2(2)=(2)=19.98$ ,  $p<.001$ ). Dans les deux cas, ceci est dû au fait que / $\tilde{o}$ / est mieux identifié que les autres voyelles nasales ( $p<.001$ ). Enfin, la différence entre / $\tilde{a}$ / et / $\tilde{e}$ / n'est significative pour aucun des groupes.

L'identification des voyelles nasales est donc réalisée de manière très similaire dans les deux groupes d'apprenants. L'ordre de difficulté croissante pour l'identification des voyelles nasales est / $\tilde{o}$ / < / $\tilde{a}$ / = / $\tilde{e}$ /.

Étant donné que les natifs du français ont des résultats corrects sur la catégorisation des voyelles nasales, nous centrerons les analyses uniquement pour les deux groupes d'apprenants hispanophones, espagnol et colombien.

**Niveau de français :** L'analyse de ce facteur est restreinte aux hispanophones. Niveau n'a pas d'effet significatif sur l'identification ( $\chi^2(2)=(2)=4.37$ ,  $p=.11$ ) ; globalement, les apprenants hispanophones catégorisent les voyelles nasales indépendamment de leur niveau de français. La Figure 49 présentée plus haut donne davantage de détail. Pour les apprenants colombiens, l'effet n'est pas significatif ( $\chi^2(2)=(2)=4.78$ ,  $p=.092$ ) ; cependant, il y a une différence significative entre les niveaux avancé et intermédiaire, ( $p<.05$ ) (meilleure et moins bonne performance) ; aucune des autres différences entre niveaux ne sont significatives. Pour les apprenants espagnols, bien que, numériquement, les performances progressent de façon régulière du niveau débutant au niveau avancé, le facteur Niveau n'est globalement pas significatif ( $\chi^2(2)=(2)=3.64$ ,  $p=.16$ ), et aucune différence inter-niveau n'est significative.

**Fit-index :** Pour affiner nos observations sur les résultats d'identification, en particulier en fonction du niveau de français des apprenants, nous avons calculé les "fit-index" qui combinent pourcentage d'identification correcte et degré de confiance (ou score de *goodness of fit*). Nous les avons calculés pour chaque item et chaque sujet (regroupant donc les six stimuli –3

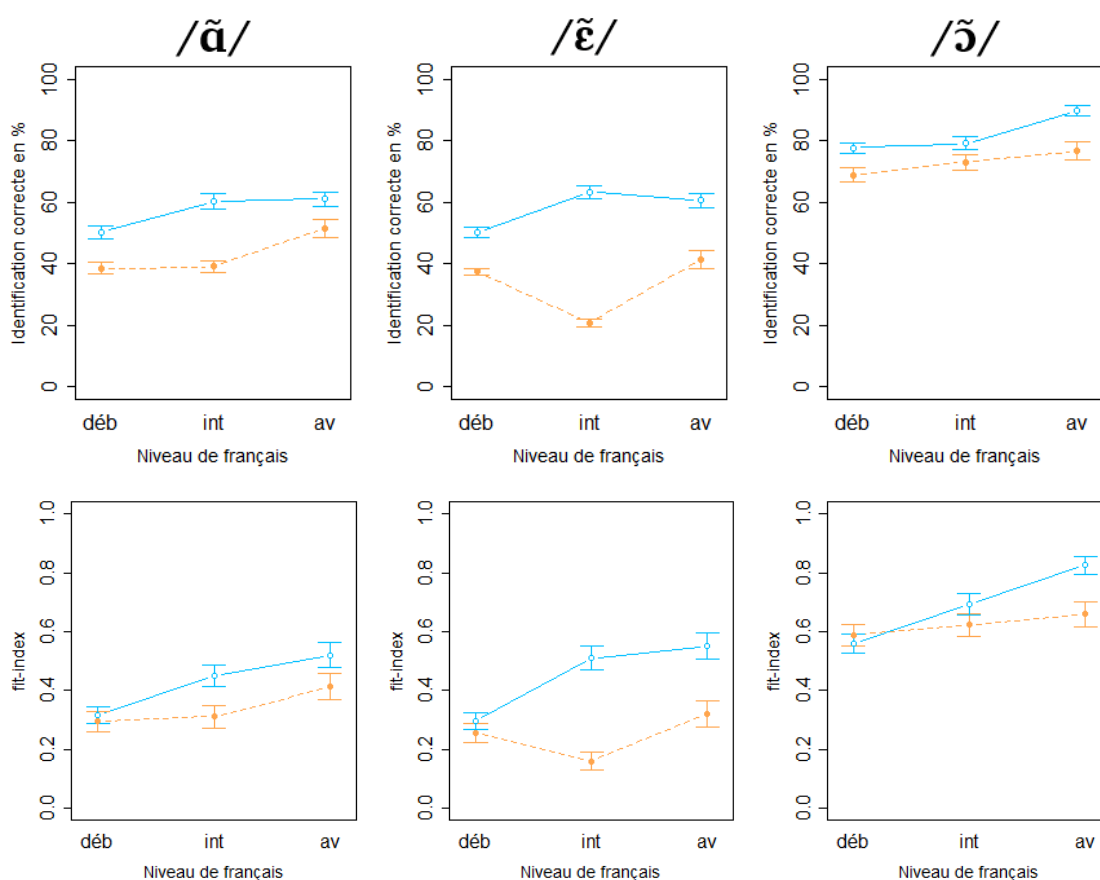
répétitions x 2 locuteurs de chaque item). Cette mesure a été introduite par [Guion et al. \(2000\)](#) avec pour objectif une mesure plus fine des performances d'identification : les pourcentages d'identification sont modulés par la confiance accordée par les sujets à leurs réponses, c'est à dire, implicitement, le degré de bonne correspondance entre réponses et stimuli. La bonne correspondance ou “*goodness of fit*” est aussi largement utilisée dans le modèle PAM, en particulier pour le scénario “*category goodness*” ([Best et al., 1988](#) ; [Best, 1993, 1995](#)), et correspond à un jugement subjectif de la plus ou moins bonne qualité d'un stimulus comme exemplaire de la catégorie choisie. Nous considérons donc que le “degré de confiance” est équivalent à un score de *goodness of fit*. En résumé, le “fit-index” proposé par [Guion et al. \(2000\)](#) donne une idée plus précise de la robustesse d'une catégorisation perceptive que le seul taux d'identification. Pour schématiser, les Colombiens catégorisent le /y/ et le /u/ français en leur /u/ 90% et 99% du temps, respectivement. Des taux d'identification assez proches. Mais les “degrés de confiance” sont 2.8 et 4.0, respectivement. Les fit-index, qui restent à calculer sur l'ensemble des données, devraient être proches de 50% et 80%, respectivement (taux corrigés). Les fit-index creusent donc ici l'écart entre /y/ et /u/ : le /y/ français est certes souvent catégorisé /u/ par les Colombiens, mais bien moins robustement que le /u/ français. C'est ce que quantifie le fit-index.

Pour notre étude, nous adaptons cette idée de fit-index, et la définissons comme une mesure allant entre 0 et 1, consistant à multiplier l'identification correcte d'un item par le degré de confiance (rappelons qu'il est sur une échelle de 1 à 5), et ceci est divisé par 5, afin d'examiner les deux mesures dans une corrélation d'identification. Par exemple, les réponses correctes étant transformées en données binaires, 1 (réponses correcte) et 0 (réponse incorrecte), nous avons une réponse correcte de l'identification de la voyelle /ã/, et un degré de confiance de 4 ( $1 \cdot 4/5$ ), le résultat pour le fit-index est de 0.8.

Dans la Figure 50, nous observons les résultats d'identification des voyelles nasales selon le niveau de français des apprenants sur les panneaux d'en haut, et les résultats du fit-index sur les panneaux d'en bas. Nous avons utilisé des modèles linéaires mixtes pour examiner les effets de plusieurs facteurs ayant une influence sur les résultats du fit-index. Les effets fixes sont les suivants : Groupe d'apprenants (Espagnol vs. Colombien), Voyelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/), et Niveau (débutant, intermédiaire avancé) ; nous avons exclu Structure syllabique et Répétition en raison d'une absence d'effet sur l'identification des voyelles nasales, observée plus haut. Les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items.

Les fit-index sont significativement plus élevés pour le groupe espagnol que le colombien ( $.51 > .40$ ),  $p < .05$ ). Pour chacun des groupes, l'effet Voyelle est significatif

( $p < .001$ ), avec des fit-index plus élevés pour / $\tilde{o}$ / que / $\tilde{a}$ / ou / $\tilde{e}$ /, et, pour les seuls Colombiens, pour / $\tilde{a}$ / que / $\tilde{e}$ / ( $p < .01$ ). En ce qui concerne le Niveau de français, la progression est régulière pour le groupe espagnol, avec des différences significatives entre avancé et débutant ou entre intermédiaire et débutant ( $p < .05$ ), mais pas entre avancé et intermédiaire. Pour le groupe colombien, aucune différence n'atteint la significativité. (Seule la différence entre avancé et intermédiaire est marginale, ( $p = .082$ )). Ces différents patterns des effets de Voyelle et de Niveau selon le groupe, donnent lieu à une triple interaction significative Groupe x Voyelle x Niveau ( $\chi^2(2) = 12 = 101.03, p < .001$ ).



**Figure 50.** En haut : pourcentages d'identification correcte des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques par les apprenants espagnols (ligne bleu) et colombiens (ligne orange), selon leur niveau de français : *deb* = débutant ; *int* = intermédiaire ; *av* = avancé. En bas : fit-index correspondants. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

### 7.1.4 Discussion

Nous avons examiné l'identification des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques du français chez des apprenants colombiens et espagnols de différents niveaux de français



(débutant, intermédiaire, et avancé), ainsi que des auditeurs natifs du français comme groupe contrôle. Nos résultats montrent que le groupe contrôle identifie correctement les voyelles nasales (99% correct). Quant aux apprenants, le groupe colombien identifie moins bien les voyelles nasales que le groupe espagnol.

La voyelle nasale /ɔ̃/ est nettement la moins problématique pour les hispanophones ; 77% de réponses correctes chez les apprenants colombiens, et 82% chez les apprenants espagnols. En outre, le degré de confiance (dans les bonnes réponses) est élevé, suggérant que les apprenants hispanophones ont peu de difficulté à identifier cette voyelle correctement.

En revanche, la catégorisation de /ɛ̃/ et /ã/ s'avère difficile pour les deux groupes d'apprenants. De plus, le niveau de français joue un rôle négligeable : les performances d'identification ne progressent pas significativement du niveau débutant au niveau avancé. Les matrices de confusion indiquent que /ɛ̃/ est confondu avec /ã/ dans 61% des cas chez les apprenants colombiens, et 41% chez les apprenants espagnols ; /ã/ est confondu avec /ɔ̃/ dans 35% des cas chez les Colombiens et 25% chez les Espagnols.

D'autre part, les données de fit-index nous ont permis d'affiner nos observations, notamment en ce qui concerne l'effet du niveau de français : la progression entre débutant et avancé apparaît plus nettement (en termes de significativité) pour les apprenants espagnols mais pas les apprenants colombiens (cf. Figure 50). Ceci n'est pas étonnant étant donné que, pour les sujets espagnols, les degrés de confiance augmentent en fonction du niveau de français. En somme, la prise en compte des degrés de confiance que permet le fit-index donne probablement une image plus précise des performances d'identification

Les meilleures performances des apprenants espagnols par rapport aux apprenants colombiens sont probablement dues d'une part à une différence d'exposition au français avantagant les Espagnols, d'autre part aux différences dans les méthodes d'apprentissage (e.g., poids donné à l'oral et à la phonétique), et enfin, aux séjours dans des pays francophones plus nombreux pour les Espagnols que les Colombiens. En effet, 18 sur 30 apprenants espagnols rapportent avoir séjourné en France (71 jours en moyenne). En particulier, les apprenants de niveau avancé (8 sur 9) ont séjourné en France pendant sept mois en moyenne. Pour les apprenants colombiens, seulement 5 sur 26 ont séjourné (25 jours en moyenne) dans un pays francophone (cf. § 2.2).

Les difficultés d'identification variables selon les voyelles nasales s'expliquent peut-être par des différences de saillance perceptive dues à leurs propriétés acoustiques. Par exemple, /ɔ̃/ se détache de /ɛ̃/ et /ã/ par des formants beaucoup plus bas.

Les difficultés d'identification peuvent aussi être liées à un manque de connaissance lexicale. Il se peut que les apprenants aient réussi à identifier correctement certaines voyelles nasales en reconnaissant le mot (et sans doute son orthographe, au moins approximative). Reconnaître un mot et son orthographe peut aider l'identification ou au contraire la compromettre, en partie à cause de l'inconsistance phono-orthographique variable des voyelles du français : /ɔ̃/ est toujours orthographié "on", ce qui n'est le cas ni de /ɛ̃/ ("in", "un", "en", etc.) ni de /ɑ̃/ ("an" ou "en") : ceci expliquerait que /ɔ̃/ est mieux identifiée que les deux autres voyelles nasales et que /ɛ̃/ et /ɑ̃/ soient souvent confondues ; par contre, l'influence de l'orthographe française explique difficilement les confusions observées entre /ɑ̃/ et /ɔ̃/.

Pour s'affranchir de ces possibles biais orthographiques, nous avons décidé de conduire un autre test d'identification des voyelles nasales dans des mots inexistantes en français, c'est-à-dire des logatomes, afin de mieux évaluer la perception des apprenants sur l'identification des phonèmes des voyelles nasales au seul niveau phonétique. En outre, nous examinerons l'influence possible de la position de la voyelle nasale dans le logatome : en position initiale absolue, en position initiale consonantique, et en position finale.

## 7.2 Expérience 7 : Catégorisation des voyelles nasales à choix forcé dans des logatomes bisyllabiques

Nous avons effectué une deuxième expérience de catégorisation des voyelles nasales du français à choix forcé, mais cette fois-ci dans des logatomes à deux syllabes, afin d'observer la capacité des apprenants hispanophones à identifier ces voyelles en fonction de la position syllabique : voyelle nasale en position initiale absolue, en première syllabe après consonne, ou en position finale. L'intérêt d'utiliser des logatomes consiste à examiner la perception des apprenants sans indices lexical et sémantique.

### 7.2.1 *Les stimuli*

Les stimuli de cette expérience ont été produits par les mêmes locuteurs natifs de l'expérience précédente (LF2 et LM). Ils ont prononcé trois fois 18 logatomes contenant les trois voyelles nasales du français /ɛ̃/-/ɑ̃/-/ɔ̃/ de la Région de l'Île-de-France. Encore une fois, l'objectif de l'hétérogénéité des stimuli est de forcer les sujets à se focaliser sur une

représentation plutôt phonologique que phonétique. Ces stimuli sont regroupés en trois positions syllabiques différentes :

- 6 stimuli en position initiale absolue (/ɛ̃/-/ã/-/ɔ̃/ en #\_CVC, et en #\_CCV),
- 6 en position initiale post-consonantique (/ɛ̃/-/ã/-/ɔ̃/ en CC\_CCv, et en CC\_Cv), et
- 6 en position finale (/ɛ̃/-/ã/-/ɔ̃/ en CCVC\_#, et en CVC\_#).

Le Tableau 26 montre les variations du contexte phonétique des stimuli pour chaque position syllabique.

<i>Position initiale absolue</i>		<i>Position initiale post-consonantique</i>		<i>Position finale</i>	
#_CCV	#_CVN	CC_CCv	CC_Cv	CCVC_#	CVC_#
[_pru]	[_tin]	[bl_tra]	[gl_se]	[klaf_]	[vap_]

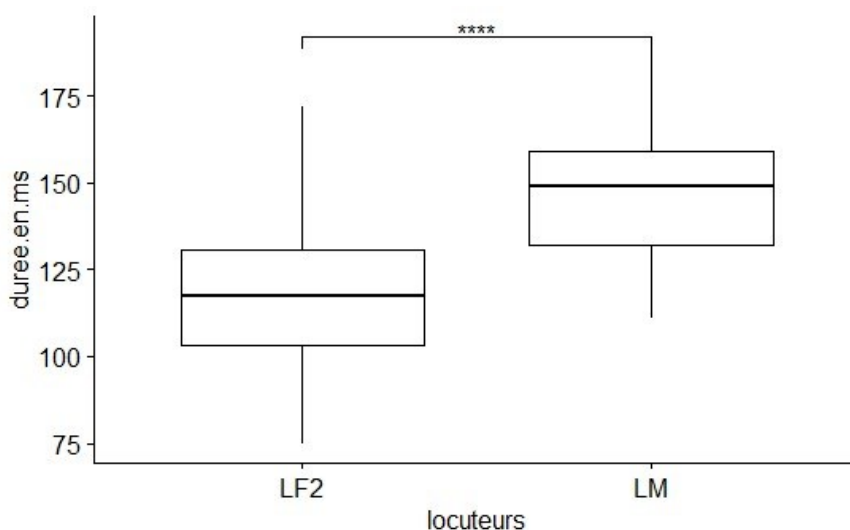
**Tableau 26.** Contexte phonétique des stimuli dans trois positions syllabiques : initiale absolue, initiale post-consonantique, et finale. Deux variations du contexte phonétique par position.

Les locuteurs ont lu les non-mots dans la phrase-cadre « *Vous dites... trois fois* » à voix haute à un débit normal. L'enregistrement a été effectué dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LLP), de l'Université de la Sorbonne-Nouvelle, avec un microphone serre-tête AKG C420L pour enregistrer le signal oral. Le corpus a été enregistré à 44.1 kHz sous format .wav.

En moyenne, la durée acoustique des voyelles nasales, toutes voyelles confondues, est de 118 ms (ET = 24.1) pour LF2, et 147 ms (ET = 18.0) pour LM. Selon la position syllabique, la durée moyenne pour LF2 est de 117 ms en position initiale absolue, 108 ms en position initiale consonantique, et 129 ms en position finale, alors que pour LM la durée moyenne des voyelles nasales est de 154 ms en position initiale absolue, 130 ms en position initiale post-consonantique, et 156 en position finale. Pour les deux locuteurs, les voyelles nasales sont plus longues en position finale et plus courtes en position initiale post-consonantique.

Nous avons analysé les données de durée et de F0 sur tous les stimuli produits par LF2 et LM (trois répétitions de chaque logatome, soit 54 stimuli pour chaque locuteur) à l'aide de trois ANOVAs, avec pour facteurs Locuteur (LF2 vs. LM), Voyelle (/ɛ̃, ã, ɔ̃/) et Position syllabique (#\_CCV vs. CC\_VC vs. CVC\_#). Une ANOVA à un facteur a été réalisée pour évaluer si la durée des voyelles nasales était différente pour les 2 locuteurs : LF2 ( $n = 54$ ), et LM ( $n = 54$ ). La différence de durée des voyelles est statistiquement significative entre les deux locuteurs,

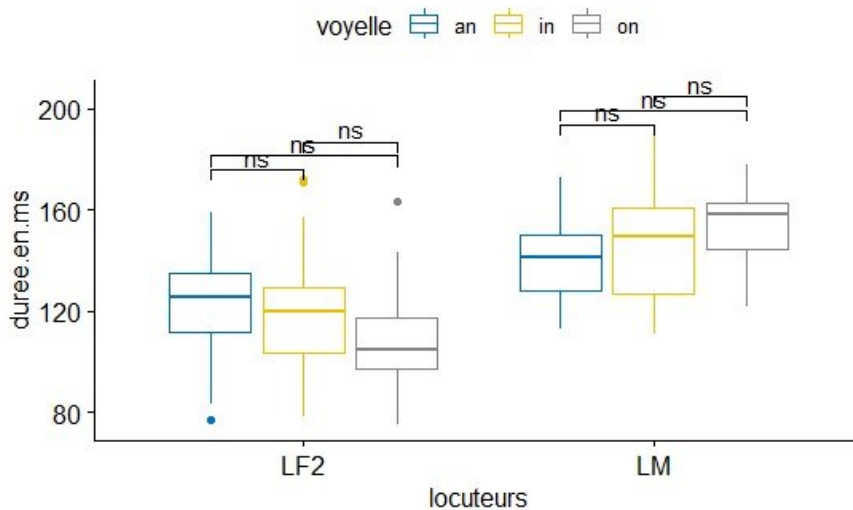
$F(1,106)=49.1, p<.0001$ ) (Figure 51) : LM produit des voyelles nasales en moyenne plus longues que LF2 (147 > 118 ms).



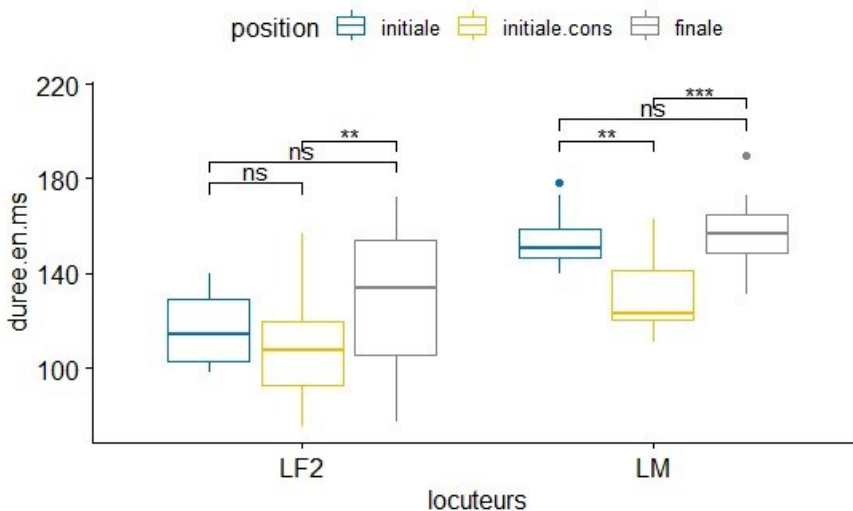
**Figure 51.** Effet de Locuteur (LF2 vs. LM) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques, toutes voyelles nasales confondues.

Concernant le facteur Voyelle, une ANOVA a été conduite pour examiner si la durée est différente selon le type de voyelle. Les résultats montrent que ce facteur n'est significatif pour aucun des deux locuteurs,  $F(2,105)=0.06, p=.94$  (Figure 52) : pour LF2, la durée moyenne des voyelles est de 124 ms, 121 ms, 110 ms, /ã/, /ẽ/, /õ/, respectivement ; et pour LM, 139 ms, 146 ms, 154 ms, /ã/, /ẽ/, /õ/, respectivement .

Enfin, une ANOVA a aussi été conduite pour tester l'effet de facteur Position syllabique sur la durée des voyelles nasales. Les résultats indiquent que la durée des voyelles nasales varie en fonction de la position syllabique dans laquelle elles ont été produites,  $F(2,105)=9.1, p<.001$ ). En effet, la position finale allonge la durée des voyelles nasales comme le montre la Figure 53, notamment pour LF2, pour qui il y a une différence significative entre position initiale post-consonantique et la position finale (108 ms et 129 ms, respectivement). Quant à LM, la durée est plus longue en position initiale absolue et en position finale, mais il n'y a pas de différence significative entre ces deux positions ( $p=.82$ ). Il y a des différences significatives entre la position initiale absolue et la position initiale post-consonantique (153 ms < 130 ms, respectivement), et aussi entre la position initiale consonantique et la position finale (130 ms < 156 ms) ( $ps<.001$ ). Cependant, il n'y a pas d'interaction Locuteur x Position syllabique,  $F(2,102)= 1.4, p=.25$ .



**Figure 52.** Effet de Voyelle (/ã/, /ẽ/, /õ/) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques.

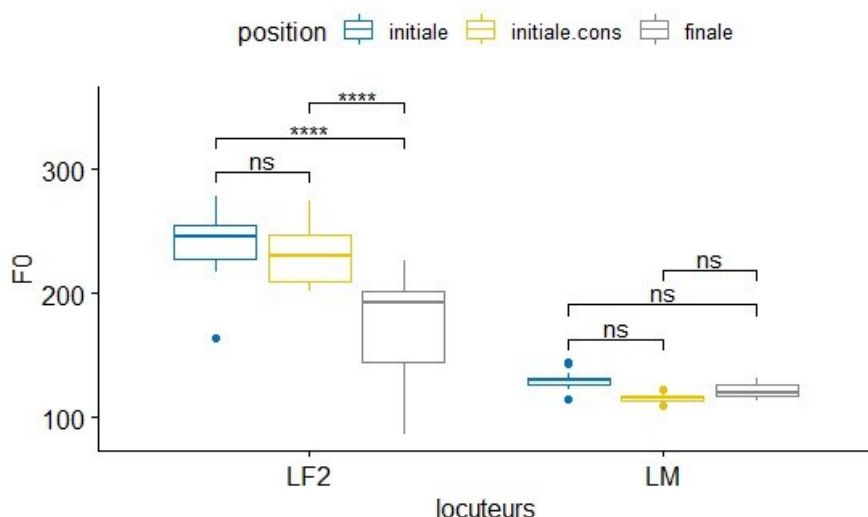


**Figure 53.** Effet de Position syllabique (initiale absolue, initiale post-consonantique, finale) sur la durée des voyelles nasales produites dans les logatomes dissyllabiques.

Par rapport à la durée des items pour le test de catégorisation des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques (durée acoustique des stimuli illustrée en 6.6.1), LM produit les voyelles avec une durée en moyenne moins longue, mais LF2 prononce les voyelles nasales avec une durée en moyenne encore moins longue. Ceci est dû au fait que les voyelles nasales ont plus de tension articuloire lorsqu'elles se trouvent dans des mots monosyllabiques que dans des pseudo-mots dissyllabiques où la tension est distribuée sur l'ensemble du logatome.

Pour F0, une ANOVA à un facteur a été conduite pour évaluer si elle était différente entre les deux locuteurs. Pour F0, vu qu'il s'agit d'un homme et d'une femme, il est attendu que

LF2 présente des valeurs plus élevées en Hz que LM, (214 Hz > 122 Hz),  $F(1,106)=212.6$ ,  $p<.0001$ ). Le facteur Voyelle a également été testé dans une ANOVA à un facteur, et les résultats montrent qu'il n'est pas significatif,  $F(1,105)=0.014$ ,  $p=.99$ . La variation de F0 en fonction de la voyelle nasale est donc négligeable. Finalement, la Position syllabique induit des différences significatives,  $F(1,105)=4.9$ ,  $p<.01$ , suggérant que F0 varie en fonction de la position syllabique des voyelles nasales. En outre, il y a une interaction entre Locuteur et Position syllabique,  $F(2,102)=21.01$ ,  $p<.001$ ) (Figure 54), suggérant que l'effet de la position syllabique diffère selon le locuteur. Effectivement, pour LF2, F0 est considérablement plus bas en position finale par rapport aux positions syllabiques initiales : de la position initiale absolue à la position finale, la F0 est de : 240 Hz = 230 Hz > 170 Hz, respectivement ( $ps<.001$ ). En revanche, pour LM, F0 ne varie pas significativement en fonction de la position syllabique ( $p=.21$ ) : de la position initiale absolue à la position finale, la F0 est de 130 Hz = 116 Hz = 121 Hz, respectivement.



**Figure 54.** Effet de Position syllabique (initiale absolue, initiale consonantique, finale) sur la F0 des voyelles nasales, toutes voyelles nasales confondues.

Étant donnée la faible variabilité concernant la durée entre les répétitions, nous avons choisi un seul exemplaire de chaque logatome contenant chaque voyelle pour les trois positions syllabiques. Le matériel de l'expérience 7 contient donc 36 items (18 stimuli x 2 locuteurs). Ils sont regroupés en fonction de la position syllabique des voyelles afin de former trois blocs : le premier sous-test comporte 12 items dont 6 sont prononcés par LF2 et 6 par LM, en position initiale absolue (désormais #\_CCV). Le deuxième bloc comporte 12 items également pour la position initiale post-consonantique (désormais CC\_CV). Enfin, le troisième bloc comporte 12

items pour la position finale (désormais CVC\_#). Chaque item de chaque bloc est répété 3 fois dans l'expérience : il y a donc 36 stimuli par bloc et trois blocs, soit un total de 108 stimuli.

Le Tableau 27 décrit l'organisation du matériel expérimental.

	bloc		
	#_CVC	CC_CV	CVC_#
Nb des stimuli	12 (x3)	12 (x3)	12 (x3)
Total	108		

**Tableau 27.** Organisation du matériel expérimental.

## 7.2.2 Procédure

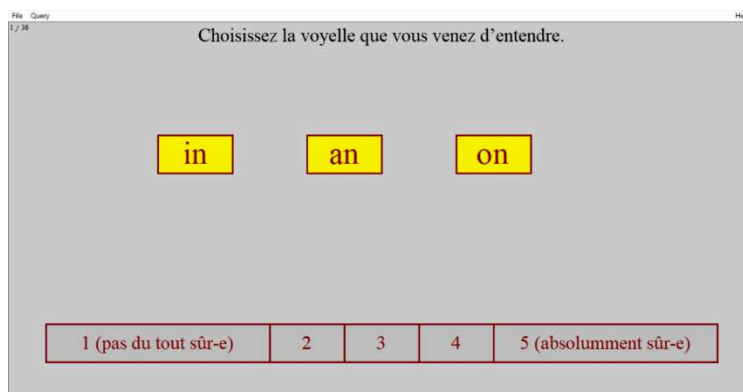
Le test de catégorisation à choix forcé a été effectué sur place : pour les apprenants colombiens, dans une salle de réunion du Département de Langues de l'Université Pontificale Javeriana à Bogota, en Colombie et, pour les apprenants espagnols, dans le Laboratoire de phonétique du Département de Philologie de l'Université de Séville, en Espagne. Les consignes ont été données en français pour les apprenants des niveaux intermédiaire et avancé, et en espagnol pour les apprenants débutants.

Le test de catégorisation à choix forcé consiste à indiquer si le son vocalique du pseudo-mot entendu correspond à une des trois représentations orthographiques des voyelles nasales du français : <in, an, on> pour /ɛ̃, ɑ̃, ɔ̃/ respectivement. En outre, nous avons demandé aux apprenants d'indiquer un degré de confiance concernant leur réponse sur une échelle de 1 à 5 (de *pas du tout sûr.e* à *très sûr.e*). L'interface utilisée pour cette tâche est celle de Praat, *ExperimentMFC* (Multiple Forced Choice, Boersma et Weenink, 2020).

Une instruction spéciale a été donnée aux apprenants pendant la phase d'entraînement pour qu'ils comprennent que les graphies des choix proposés sont celles du français et non de l'espagnol. Tous les items ont été répétés trois fois, et ont été présentés de manière isolée et en ordre aléatoire. Le test proprement dit était précédé par une phase d'entraînement pour que les apprenants s'habituent à la tâche. Nous avons utilisé 3 mots à deux ou trois syllabes, qui ne faisaient pas partie du matériel, prononcés par les deux locuteurs, LF2 et LM, avec les trois voyelles nasales (/ɛ̃, ɑ̃, ɔ̃/) dans les trois positions syllabiques du test, répétés trois fois de manière aléatoire, illustrant l'organisation en trois blocs (position initiale absolue : *encore*,

*impoli, ontique* ; position initiale post-consonantique : *pentu, qu'un vers, ponter* ; position finale : *choquant, hautain, coupon*).

Par exemple, l'apprenant devait se concentrer sur la position initiale et, après avoir entendu les items, il ou elle devait indiquer quelle était la voyelle nasale entendue selon la correspondance orthographique proposée pour le français: <**in**>, <**an**> ou <**on**> (Figure 55).



**Figure 55.** Écran présenté aux apprenants lors de la phase d'entraînement à la tâche de catégorisation et lors du passage du test.

Les apprenants répondaient sur les touches du clavier d'un ordinateur, sur lesquelles nous avons préalablement collé de petites étiquettes correspondant aux mêmes graphies que sur l'écran et dans le même ordre, et juste après, ils devaient utiliser la souris pour indiquer sur le même écran le degré de confiance de leur réponse. Une fois indiqué le degré de confiance de leur réponse, un autre logatome se présentait juste après. La durée de chaque bloc était de 2 minutes environ, avec une petite pause de 2 minutes entre les blocs.

### 7.2.3 Résultats des analyses perceptives : matrices de confusion

Les résultats du test de catégorisation des voyelles nasales à choix forcé ont été analysés en termes de taux d'identification correcte pour chaque groupe (Colombiens, Espagnols, et Français) en fonction de la position syllabique des voyelles nasales dans les logatomes. Nos résultats montrent que, toutes les voyelles et les positions confondues, les natifs du français présentent le taux d'identification correcte le plus élevé avec 99% de réponses correctes, suivis par les apprenants espagnols, avec 62% de réponses correctes, et enfin les apprenants colombiens, avec 53% de réponses correctes.



Nous présentons les matrices de confusion pour chaque groupe pour montrer les réponses correctes des apprenants ainsi que les erreurs. Pour simplifier la lecture des tableaux, nous avons regroupé les deux variations du contexte phonétique de chaque position (cf. Tableau 18) en une seule catégorie de position : par exemple, #\_CVC et #\_CCV, les deux contextes phonétiques pour la position initiale absolue, sont regroupés sous l'étiquette #\_CVC. Comme pour l'expérience précédente, les matrices de confusion montrent deux types d'informations : d'une part, le nombre de réponses de catégorisation, en gras pour les plus fréquentes, et entre parenthèses le pourcentage ; d'autre part, en italique, le degré de confiance moyen.

Le Tableau 28 montre la matrice de confusion chez les sujets natifs du français pour la catégorisation des voyelles nasales selon les trois positions syllabiques : initiale absolue (#\_CVC), initiale consonantique (CC\_CV), et position finale (CVC\_#). En position initiale absolue, l'identification correcte du groupe français est en moyenne de 98% des réponses, et présente un taux d'erreur de 2%. En position initiale consonantique (CC\_CV), le taux d'erreur n'est que de 1%. Enfin, l'identification est 100% en position finale de logatome (CVC\_#).

#_CVC				CC_CV				CVC_#			
Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ
ã	<b>214</b> (99%) <i>5.0</i>	1 (0.5%) <i>3.0</i>	1 (0.5%) <i>1.0</i>	ã	<b>213</b> (99%) <i>5.0</i>	0	3 (1%) <i>4.7</i>	ã	<b>216</b> (100%) <i>5.0</i>	0	0
ẽ	3 (1%) <i>5.0</i>	<b>213</b> (99%) <i>4.9</i>	0	ẽ	3 (1%) <i>3.7</i>	<b>213</b> (99%) <i>4.9</i>	0	ẽ	1 (0.5%) <i>1.0</i>	<b>215</b> (100%) <i>5.0</i>	0
õ	5 (2%) <i>3.8</i>	0	<b>211</b> (98%) <i>4.9</i>	õ	1 (0.5%) <i>5.0</i>	0	<b>215</b> (99%) <i>5.0</i>	õ	0	0	<b>216</b> (100%) <i>5.0</i>

**Tableau 28.** Matrices de confusion pour les sujets français selon les trois positions syllabiques ; nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (216 réponses par voyelle et par position = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 18 sujets). Les degrés de confiance (échelle 1-5) moyens sont indiqués en italique.

Concernant les degrés de confiance, nous observons qu'ils sont très élevés pour les réponses correctes (entre 4.9 et 5.0). On observe aussi des degrés de confiance très élevés certaines confusions : /ã/ > /õ/ (4.7) et /õ/ > /ã/ (5.0) (position initiale post-consonantique) mais ces confusions sont rares.

Du côté des apprenants, nous constatons que le taux de confusion augmente par rapport à la catégorisation des voyelles nasales dans les mots monosyllabiques, notamment pour les Espagnols (Expérience 6 : Espagnols = 35%, Colombiens = 46%). Chez les apprenants espagnols, toutes positions syllabiques confondues, le taux d'erreur s'élève à 38%, alors que chez les apprenants colombiens le taux d'erreur se maintient à 46%.

Le Tableau 29 montre la matrice de confusion pour la position initiale absolue (#\_CVC) chez les apprenants espagnols, tous niveaux de français confondus. Le taux d'erreur dans cette position est globalement de 40%. Pour /ã/, il est de 44% : c'est le taux d'erreur le plus élevé parmi les trois voyelles nasales. Les apprenants ont mieux identifié cette fois /ẽ/ avec 225 réponses correctes (63%), un peu mieux que /õ/ qui a 219 réponses correctes (61%). Cependant, il y a des confusions entre /ã/ et /ẽ/ : 56% d'identification correcte pour /ã/, mais un taux d'erreur de 30% pour des réponses comme /ẽ/. Alors que les réponses d'identification correcte de /ẽ/ sont les plus importants, la confusion avec /ã/ est, elle aussi, la plus importante (36%). Dans une moindre mesure, /ã/ et /õ/ sont aussi confondus : /ã/ > /õ/ (14%) ou /õ/ > /ã/ (27%). D'autre part, /ẽ/ n'est presque jamais confondu avec /õ/ (1%) mais la confusion inverse est plus substantielle (12%). Pour la moyenne du degré de confiance, elle augmente légèrement pour les réponses correctes. La moyenne la plus importante est pour l'identification correcte de /õ/ (3.9).

		#_CVC		
		ã	ẽ	õ
Réponses	Stimuli			
ã		200 (56%) 3.7	109 (30%) 3.3	51 (14%) 3.3
ẽ		131 (36%) 3.5	225 (63%) 3.7	4 (1%) 3.1
õ		97 (27%) 3.4	44 (12%) 3.4	219 (61%) 3.9

**Tableau 29.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale absolue (#\_CVC). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (360 réponses par voyelle = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 30 sujets).

Le Tableau 30 montre les matrices de confusion en fonction du niveau de français des apprenants espagnols pour la position initiale absolue. Nous nous référons aux pourcentages car le nombre d'apprenants n'est pas le même pour tous les niveaux : 12 débutants, 9 intermédiaires, et 9 avancés.

Les confusions sont similaires pour les trois niveaux. Elles ne diminuent pas avec l'augmentation du niveau de français. La principale confusion est /ẽ/ > /ã/ : du niveau débutant au niveau avancé, 38%, 32%, et 39%, respectivement ; inversement, les confusions /ã/ > /ẽ/ sont de 33%, 29%, et 29%, respectivement ; enfin /õ/ est perçu comme /ã/ dans 28% des cas pour les débutants, 19% pour les intermédiaires, et 33% pour les avancés.

Le niveau intermédiaire semble plus performant que les autres niveaux, notamment pour /ẽ/ et /õ/, (67% et 73% respectivement). Mais ce n'est pas le cas pour /ã/ (52%), où l'identification correcte est de 54% pour les débutants, et 60% pour les avancés. Enfin, pour la paire /ẽ/-/õ/, la confusion est peu fréquente, notamment lorsqu'il s'agit d'identifier /ẽ/.

Malgré le peu d'évolution des confusions au fur et à mesure qu'augmente le niveau de français, le score de confiance augmente pour les réponses correctes : en moyenne, il est de 3.3 pour les débutants, 3.9 pour les intermédiaires, et 4.3 pour les avancés.

#_CVC											
<i>Débutant</i>				<i>Intermédiaire</i>				<i>Avancé</i>			
Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ
Stimuli				Stimuli				Stimuli			
ã	<b>78</b> (54%) 3.3	47 (33%) 2.6	19 (13%) 2.9	ã	<b>57</b> (53%) 3.8	31 (29%) 3.7	20 (18%) 3.3	ã	<b>65</b> (60%) 4.3	31 (29%) 3.9	12 (11%) 4.1
ẽ	54 (38%) 2.6	<b>87</b> (60%) 3.2	3 (2%) 2.8	ẽ	35 (32%) 4.0	<b>72</b> (67%) 3.9	1 (1%) 5.0	ẽ	42 (39%) 4.1	<b>66</b> (61%) 4.2	0
õ	40 (28%) 3.1	21 (15%) 2.7	<b>83</b> (58%) 3.4	õ	21 (19%) 3.7	8 (7%) 3.9	<b>79</b> (73%) 4.1	õ	36 (33%) 3.6	15 (14%) 4.1	<b>57</b> (53%) 4.4

**Tableau 30.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale absolue (#\_CVC), selon le niveau de français ; *débutant* ( $n=12$  ; 144 réponses par voyelle), *intermédiaire et avancé* ( $n=9$  ; 108 réponses par voyelle).

En ce qui concerne la position initiale post-consonantique (CC\_CV), le taux d'erreur (38%) est à peu près le même que pour la position initiale absolue (#\_CVC) (40%). Comme le montre le Tableau 31, la situation semble s'améliorer pour /õ/, qui obtient 285 réponses correctes sur 360 (79%), et pour /ã/ qui est la voyelle nasale la plus difficile : 167 réponses correctes (46%). /ẽ/ est toujours confondu avec /ã/ et ce avec le taux de confusions le plus élevé (40%). Dans le sens inverse, /ã/ est moins souvent confondu avec /ẽ/ (19%). Le taux de confusion /ã/ > /õ/ augmente dans la position CC\_CV comparé à #\_CVC (35% vs. 14%) ; dans

le sens inverse, /ʃ/ est confondu avec /ã/ dans 18% des cas. Enfin, la confusion entre /ẽ/ et /õ/ diminue dans cette position en 3% et 1%, respectivement pour /õ/ > /ẽ/ et /ẽ/ > /õ/.

		CC_CV		
		ã	ẽ	õ
Stimuli \ Réponses				
ã		167 (46%) 3.6	68 (19%) 3.2	125 (35%) 3.7
ẽ		143 (40%) 3.4	215 (60%) 3.7	2 (1%) 2.0
õ		66 (18%) 3.2	9 (3%) 3.1	285 (79%) 4.0

**Tableau 31.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale post-consonantique (CC\_CV). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (360 réponses par voyelle : 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 30 sujets).

Si l'on examine les données par niveau de français en position initiale post-consonantique (Tableau 32), on observe une légère progression mais seulement pour l'identification correcte de /õ/ : 76% pour les débutants, 76% pour les intermédiaires, et 87% pour les avancés. Quant à /ã/ et /ẽ/, il n'y a pas de progression en fonction du niveau.

En outre, la confusion /ẽ/ > /ã/ augmente du niveau débutant au niveau avancé (35%, 38%, 47%, respectivement), alors que la confusion /ã/ > /ẽ/ tend à diminuer (24%, 13%, 19%, respectivement).

Les confusions /ã/ > /õ/ ne diminuent que légèrement : de 38% pour les débutants à 32% pour les intermédiaires et les avancés. Les confusions inverses /õ/ > /ã/ diminuent plus nettement, mais seulement pour les avancés (10%) par rapport aux débutants (21%) ou aux intermédiaires (22%). Le degré de confiance augmente avec le niveau dans la position CC\_CV : 3.3 en moyenne pour les débutants, 3.7 pour les intermédiaires, et 4.3 pour les avancés.

CC_CV											
Débutant				Intermédiaire				Avancé			
Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ
ã	55 (38%) 3.0	34 (24%) 2.8	55 (38%) 3.4	ã	59 (55%) 3.5	14 (13%) 3.7	35 (32%) 3.8	ã	53 (49%) 4.3	20 (19%) 3.7	35 (32%) 4.2
ẽ	51 (35%) 2.6	92 (64%) 3.3	1 (1%) 1.0	ẽ	41 (38%) 3.4	66 (61%) 3.7	1 (1%) 3.0	ẽ	53 (47%) 4.2	57 (53%) 4.3	0
õ	31 (21%) 3.0	4 (3%) 2.3	109 (76%) 3.6	õ	24 (22%) 2.9	2 (2%) 3.0	82 (76%) 4.0	õ	11 (10%) 4.4	3 (3%) 4.3	94 (87%) 4.4

**Tableau 32.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position initiale post-consonantique (CC\_CV), selon le niveau de français ; *débutant* ( $n=12$  ; 144 réponses par voyelle), *intermédiaire et avancé* ( $n=9$  ; 108 réponses par voyelle).

Pour la position finale (CVC\_#), le taux d'erreur ne baisse que très peu (36% comparé à 38 et 40%). Le Tableau 33 montre la matrice de confusion pour cette position chez les apprenants espagnols.

		CVC_#		
Réponses Stimuli	ã	ẽ	õ	
ã	173 (48%) 3.7	62 (17%) 3.2	125 (35%) 3.9	
ẽ	147 (41%) 3.6	211 (59%) 3.8	2 (1%) 2.9	
õ	45 (13%) 3.0	8 (2%) 2.5	307 (85%) 4.3	

**Tableau 33.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position finale (CVC\_#). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (360 réponses par voyelle : 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 30 sujets).

L'identification correcte de /õ/ est plus fréquente, avec 307 sur 360 réponses correctes (85%), que dans les deux autres positions (61% et 79%) ce qui indiquerait que cette voyelle est mieux identifiée lorsqu'elle se trouve en fin de mot. À nouveau, /ã/ est la voyelle avec le nombre de réponses correctes le plus bas, 173 sur 360 réponses correctes (48%). En effet, les confusions /ã/ > /ẽ/ (17%) et /ẽ/ > /ã/ (43%) restent substantielles. Également, la confusion entre

/ã/ et /õ/ en position finale est similaire à celle observée dans les deux autres positions : 35% de /ã/ > /õ/ et 13% de /õ/ > /ã/. Finalement, le taux d'erreur est le plus bas pour la paire /ẽ/-/õ/, avec 1% de confusions /ẽ/ > /õ/ et 13% de confusions /õ/ > /ẽ/.

Le Tableau 34 montre les matrices de confusion en fonction du niveau de français des apprenants espagnols pour la position finale. Il y a une progression de l'identification des trois voyelles en fonction du niveau. L'identification correcte de /ã/ est de 41% chez les débutants, de 52% chez les intermédiaires et de 54% chez les avancés. La confusion /ã/ > /õ/ est plus fréquente chez les débutants, car elle représente 43% des réponses données, soit un peu plus que les réponses correctes (41%). Pour /ẽ/, du niveau débutant au niveau avancé, l'identification correcte est de 53%, 62%, 63%, respectivement. Dans la même veine, les confusions /ẽ/ > /ã/ diminuent aussi en fonction du niveau : elle est de 46% pour les débutants, de 38% pour les intermédiaires et de 37% pour les avancés.

La progression est plus évidente pour /õ/, que les débutants identifient déjà assez bien (77%). Les intermédiaires font mieux (82%) et les avancés encore mieux (99%). La confusion /õ/ > /ã/ est par conséquent presque inexistante pour le niveau avancé.

CVC_#											
Débutant				Intermédiaire				Avancé			
Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ	Rép. Stimuli	ã	ẽ	õ
ã	59 (41%) 3.2	23 (16%) 2.0	<b>62</b> (43%) 3.6	ã	<b>56</b> (52%) 3.8	16 (15%) 3.7	36 (33%) 3.9	ã	<b>58</b> (54%) 4.2	23 (21%) 4.0	27 (25%) 4.4
ẽ	66 (46%) 3.1	<b>76</b> (53%) 3.0	2 (1%) 2.5	ẽ	41 (38%) 3.7	<b>67</b> (62%) 4.1	0	ẽ	40 (37%) 4.5	<b>68</b> (63%) 4.4	0
õ	27 (19%) 2.6	6 (4%) 2.0	<b>111</b> (77%) 4.0	õ	17 (16%) 3.7	2 (2%) 4.0	<b>89</b> (82%) 4.4	õ	1 (1%) 4.0	0	<b>107</b> (99%) 4.6

**Tableau 34.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets espagnols, position finale (CVC\_#), selon le niveau de français ; *débutant* (n=12 ; 144 réponses par voyelle), *intermédiaire et avancé* (n=9 ; 108 réponses par voyelle).

Les confusions /ẽ/ > /ã/ tendent à diminuer avec le niveau de français : 46% pour les débutants contre 38% et 37% pour les intermédiaires et les avancés, respectivement. Le degré de

confiance pour la position finale augmente avec le niveau de français : 3.4 chez les débutants, 4.1 chez les intermédiaires et 4.4 chez les avancés.

Passons maintenant aux apprenants colombiens. Les taux de confusion pour les voyelles nasales sont plus élevés que chez les apprenants espagnols : 51% en position initiale absolue, 45% en position initiale post-consonantique et 39% en position finale (vs. 40%, 38% et 36% pour les apprenants espagnols).

Le Tableau 35 montre la matrice de confusion pour les apprenants colombiens en initiale absolue (#\_CVC). Les taux d'identification correcte sont similaires pour les trois voyelles (/ã/ : 49% ; /ẽ/ : 46% ; /õ/ : 49%). La principale confusion concerne /ẽ/ largement confondu avec /ã/ dans 53% des cas. Inversement, /ã/ est confondu avec /ẽ/ dans 29% des cas. Quoique moindre, le taux de confusion de /ã/ avec /õ/ est quand même notable (22%), mais lorsqu'il s'agit d'identifier /õ/, il est souvent confondu avec /ã/ (31%). Comme chez les apprenants espagnols, /ẽ/ est rarement confondu avec /õ/ dans cette position (1%), mais /õ/ est souvent confondu avec /ẽ/ (20%).

		#_CVC		
		ã	ẽ	õ
Stimuli	Réponses			
	ã		151 (49%) 3.6	89 (29%) 3.8
ẽ		162 (53%) 3.9	141 (46%) 3.6	2 (1%) 3.5
õ		94 (31%) 3.5	60 (20%) 3.5	150 (49%) 4.0

**Tableau 35.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale absolue (#\_CVC). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (312 réponses par voyelle = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 26 sujets).

Les matrices de confusion pour la position syllabique #\_CVC, selon le niveau des apprenants colombiens sont présentées dans le Tableau 36. Pour l'identification correcte de /ẽ/, les avancés ont plus de difficulté que les intermédiaires ou les débutants : 26% d'identification correcte contre 52% ou 55%, respectivement. Cette difficulté s'explique par la confusion /ẽ/ > /ã/, bien plus fréquente chez les avancés (74%) que les intermédiaires (48%) ou les débutants (43%). Elle augmente donc avec le niveau de français.

D'autre part, /õ/ n'est pas bien identifié : 55% et 56% d'identification correcte chez les débutants et les avancés, respectivement, et seulement 38% chez les intermédiaires. Les avancés

confondent /ɔ̃/ surtout avec /ɑ̃/ (36%), les intermédiaires confondent /ɔ̃/ avec /ɑ̃/ (29%) et /ɛ̃/ (33%), et les débutants aussi mais dans une moindre mesure pour /ɛ̃/ (/ɔ̃/ > /ɑ̃/ : 29% ; /ɔ̃/ > /ɛ̃/ : 16%).

Pour l'identification de /ɑ̃/, ce sont les avancés qui ont les meilleures performances (65% correct), suivis par les débutants (44%) puis les intermédiaires (42%). /ɑ̃/ est confondue avec /ɛ̃/ et /ɔ̃/ : chez les débutants, les taux de confusion sont de 27% et 29% respectivement ; chez les intermédiaires, ils sont de 38% et 20% ; chez les avancés, ils sont de 19% et 16%.

Les degrés de confiance pour les réponses correctes évoluent peu avec le niveau (intermédiaires : 3.9 ; avancés : 3.8 ; débutants : 3.6).

#_CVC											
<i>Débutant</i>				<i>Intermédiaire</i>				<i>Avancé</i>			
Rép.	ɑ̃	ɛ̃	ɔ̃	Rép.	ɑ̃	ɛ̃	ɔ̃	Rép.	ɑ̃	ɛ̃	ɔ̃
Stimuli				Stimuli				Stimuli			
ɑ̃	52 (44%) 3.6	32 (27%) 3.5	34 (29%) 3.8	ɑ̃	45 (42%) 3.4	41 (38%) 3.9	22 (20%) 4.4	ɑ̃	54 (65%) 3.9	16 (19%) 4.0	13 (16%) 3.3
ɛ̃	50 (43%) 3.7	64 (55%) 3.4	2 (2%) 3.5	ɛ̃	52 (48%) 3.9	56 (52%) 3.9	0	ɛ̃	60 (74%) 3.9	21 (26%) 3.3	0
ɔ̃	34 (29%) 3.4	19 (16%) 2.9	64 (55%) 3.8	ɔ̃	30 (29%) 3.4	34 (33%) 3.8	39 (38%) 4.4	ɔ̃	30 (36%) 3.7	7 (8%) 3.7	47 (56%) 4.1

**Tableau 36.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale absolue (#\_CVC), selon le niveau de français ; *débutant* (n=10 ; 120 réponses par voyelle), *intermédiaire* (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et *avancé* (n=7 ; 84 réponses par voyelle).

La matrice de confusion des voyelles nasales en position initiale post-consonantique (CC\_CV) est présentée dans le Tableau 37. La voyelle /ɔ̃/ est identifiée correctement dans 75% des cas. Pour /ɑ̃/, le taux de réponses correctes est de 46%, un peu moins que pour la position initiale absolue (49%). Enfin, /ɛ̃/ est de nouveau la voyelle la plus difficile à identifier, avec seulement 39% de réponses correctes. /ɛ̃/ est confondu avec /ɑ̃/ dans 56% des cas (un peu plus souvent que dans la position initiale absolue : 53%). /ɑ̃/ est largement confondu avec /ɔ̃/ (39%), et dans une moindre mesure avec /ɛ̃/ (15%). La confusion /ɔ̃/ > /ɑ̃/ est donc plus fréquente dans



la position CC\_CV (39%) que la position #\_CVC (22%). Finalement, /ẽ/ et /õ/ ne sont que rarement confondus.

Le Tableau 38 montre les matrices de confusion en position initiale post-consonantique selon le niveau de français. /ẽ/ est largement confondu avec /ã/ pour les trois niveaux (débutants : 43% ; intermédiaires : 59% ; avancés : 68%).

Globalement, les taux d'identification correcte ont tendance à augmenter avec le niveau de français, avec une régression pour le niveau intermédiaire. /ã/ : 48, 37, et 54% de réponses correctes de débutants à avancés. /õ/ : 73, 69, et 85%. En revanche, la tendance est à la baisse pour /ẽ/ : 49, 34, et 31% (toujours de débutants à avancés). Le taux de confusion /ã/ > /ẽ/ augmente avec le niveau de français entre débutants (12%) et intermédiaires (21%). Celui pour /ã/ > /õ/ diminue globalement : 40 et 42% chez les débutants et les avancés, puis 34% chez les avancés.

La voyelle /õ/ est mieux identifiée en position CC\_CV que #\_CVC (75% vs. 49%). Elle est confondue avec /ã/ dans les trois niveaux, notamment l'intermédiaire (23%) (19% pour les débutants et 15% pour les avancés). Les degrés de confiance pour les réponses correctes évoluent peu avec le niveau (intermédiaires : 4.1 ; avancés : 3.8 ; débutants : 3.6) et sont très proches de ceux observés pour la position initiale absolue #\_CVC.

		CC_CV		
		ã	ẽ	õ
Stimuli	Réponses			
	ã	138 (46%) 3.7	45 (15%) 3.7	119 (39%) 4.0
	ẽ	164 (56%) 3.6	114 (39%) 3.7	17 (6%) 3.8
	õ	61 (20%) 3.9	17 (5%) 2.9	233 (75%) 4.1

**Tableau 37.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale post-consonantique (CC\_CV). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (312 réponses par voyelle = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 26 sujets).

CC_CV											
Débutant				Intermédiaire				Avancé			
Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ
Stimuli				Stimuli				Stimuli			
ã	53 (48%) 3.4	13 (12%) 3.5	45 (40%) 3.8	ã	40 (37%) 4.2	22 (21%) 4.0	45 (42%) 4.0	ã	45 (54%) 3.7	10 (12%) 3.6	29 (34%) 4.4
ẽ	47 (43%) 3.6	54 (49%) 3.5	9 (8%) 3.4	ẽ	60 (59%) 3.7	34 (34%) 4.2	7 (7%) 4.6	ẽ	57 (68%) 3.5	26 (31%) 3.5	1 (1%) 3.5
õ	23 (19%) 3.7	9 (8%) 2.8	88 (73%) 4.0	õ	25 (23%) 4.1	8 (7%) 3.0	74 (69%) 4.0	õ	13 (15%) 3.8	0	71 (85%) 4.2

**Tableau 38.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position initiale post-consonantique (CC\_CV), selon le niveau de français ; *débutant* (n=10 ; 120 réponses par voyelle), *intermédiaire* (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et *avancé* (n=7 ; 84 réponses par voyelle).

Le Tableau 39 montre la matrice de confusion des voyelles nasales en position finale. L'identification de /õ/ et /ẽ/ est meilleure dans cette position que dans les deux autres (87 et 54%, respectivement, vs. 75 et 39% pour CC\_CV, et 49 et 46% pour #\_CVC). C'est l'inverse pour /ã/, avec 41% d'identification correcte contre 49 et 46% pour les positions #\_CVC et CC\_CV, respectivement.

		CVC_#		
Réponses		ã	ẽ	õ
Stimuli				
ã	128 (41%) 3.7	30 (10%) 3.6	152 (49%) 4.0	
ẽ	136 (44%) 3.9	167 (54%) 3.9	4 (1%) 2.5	
õ	26 (8%) 3.8	15 (5%) 2.9	270 (87%) 4.1	

**Tableau 39.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position finale (CVC\_#). Nombre de réponses (pourcentages entre parenthèses) (312 réponses par voyelle = 2 stimuli x 2 locuteurs x 3 répétitions x 26 sujets).

Les matrices de confusion selon le niveau de français des apprenants colombiens est présentée dans le Tableau 40. L'identification correcte de /õ/ progresse avec le niveau de

français des apprenants : 82% pour les débutants, 88% pour les intermédiaires ; et 93% pour les avancés. Quant à /ẽ/, l'identification correcte semble s'améliorer aussi avec l'expérience d'apprentissage, notamment au niveau avancé avec 60% d'identification correcte contre 53 et 51% aux niveaux débutant et intermédiaire, respectivement.

Ces matrices montrent aussi que les apprenants confondent très souvent /ã/ avec /õ/, notamment aux niveaux débutant et intermédiaire : 49 et 53%, respectivement, contre 44% au niveau avancé.

Les degrés de confiance pour les réponses correctes évoluent peu avec le niveau (intermédiaires et avancés : 4.0 ; débutants : 3.8) et sont assez proches de ceux observés pour les deux autres positions.

CVC_#											
Débutant				Intermédiaire				Avancé			
Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ	Rép.	ã	ẽ	õ
Stimuli				Stimuli				Stimuli			
ã	53 (44%) 3.8	8 (7%) 3.7	<b>59</b> (49%) 3.7	ã	36 (34%) 3.7	14 (13%) 4.1	<b>56</b> (53%) 4.1	ã	<b>39</b> (46%) 3.7	8 (10%) 2.8	37 (44%) 4.4
ẽ	50 (43%) 3.8	<b>62</b> (53%) 3.5	4 (3%) 2.5	ẽ	52 (49%) 3.9	<b>55</b> (51%) 4.1	0	ẽ	34 (40%) 4.0	<b>50</b> (60%) 4.0	0
õ	15 (12%) 3.9	7 (6%) 3.0	<b>98</b> (82%) 4.0	õ	7 (6%) 3.4	6 (6%) 3.0	<b>94</b> (88%) 4.1	õ	4 (5%) 4.0	2 (2%) 2.0	<b>78</b> (93%) 4.4

**Tableau 40.** Matrice de confusion pour les trois voyelles nasales dans les logatomes : sujets colombiens, position finale (CVC\_#), selon le niveau de français ; *débutant* (n=10 ; 120 réponses par voyelle), *intermédiaire* (n=9 ; 108 réponses par voyelle), et *avancé* (n=7 ; 84 réponses par voyelle).

En résumé, nous avons analysé la catégorisation des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques pour trois positions différentes : initiale absolue (#\_CVC), initiale post-consonantique (CC\_CVC) ; et finale (CVC\_#). Les matrices de confusion pour chaque position indiquent que seul le groupe de natifs du français identifie correctement les voyelles nasales dans les trois positions syllabiques et que les difficultés des hispanophones sont substantielles.

Pour les voyelles nasales dans des mots monosyllabiques, /ẽ/ était la voyelle la plus difficile pour les deux groupes d'apprenants. La confusion avec /ã/ était encore plus prononcée

que la confusion entre /ã/ et /õ/. Les résultats de catégorisation des voyelles nasales en fonction des différentes positions syllabiques dans les logatomes, nous ont permis d'examiner ces confusions plus en détail chez les apprenants. Les matrices de confusion montrent des variations pour /ã/ et /ẽ/. Les difficultés chez les apprenants espagnols sont plus importantes pour /ã/, alors que chez les apprenants colombiens /ẽ/ et /ã/ présentent un même degré de difficulté.

Seul /õ/ est assez bien catégorisé et cela avec une progression en fonction de la position syllabique: la difficulté diminue de la position initiale absolue (49% correct) à la position initiale post-consonantique (75%) à la position finale (87%). Les confusions /õ/ > /ã/ diminuent considérablement entre position initiale absolue et position finale : pour les Espagnols, 27%, 18% et 13%, respectivement ; pour les Colombiens, 31%, 20%, et 8%, respectivement. Quant à la confusion /õ/ > /ẽ/, quoique moindre, elle diminue également en fonction de la position syllabique.

La voyelle /ẽ/ est le plus souvent confondue avec /ã/ chez les deux groupes d'apprenants, notamment chez les apprenants colombiens (51%). Chez les apprenants espagnols la confusion est moins fréquente (39%). Dans les deux groupes, cette confusion augmente de la position initiale absolue à la position finale, sauf pour les apprenants colombiens : pour les Espagnols, 36%, 40%, 41%, respectivement ; et pour les Colombiens, 53%, 56%, 44%, respectivement. Par ailleurs, les confusions avec /õ/ sont négligeables.

Avec /ã/, la confusion est double. Pour les Espagnols, la confusion avec /õ/ (28%) augmente de la position initiale absolue à la position finale ; la confusion avec /ẽ/ est moins fréquente (22%) et diminue de la position initiale à la position finale. Le même pattern est observé pour les Colombiens : la confusion avec /õ/ (37%) augmente de la position initiale absolue à la position finale tandis que la confusion avec /ẽ/ (18%) diminue. Le statut phonémique de /ẽ/ et /ã/ reste donc problématique pour les apprenants hispanophones.

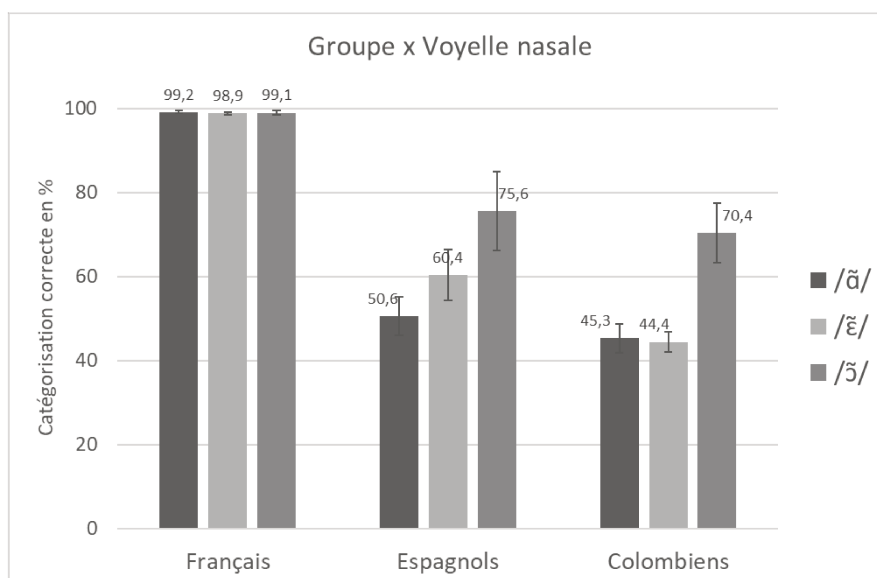
Enfin, les matrices de confusion montrent quelques variations en fonction du niveau de français : pour les apprenants espagnols, les taux de confusion diminuent globalement avec le niveau de français alors que pour les apprenants colombiens, le niveau intermédiaire présente le taux de confusion le plus élevé (49%) et les deux autres des taux très proches (42 ou 43%).

Dans la section suivante, nous présentons les analyses statistiques (descriptives et inférentielles) des performances de catégorisation (% correct) des voyelles nasales dans les logatomes dissyllabiques. Nous présenterons aussi les résultats sur les données de fit-index, comme nous l'avons fait pour l'expérience précédente.

## 7.2.4 Analyses perceptives des effets des facteurs principaux

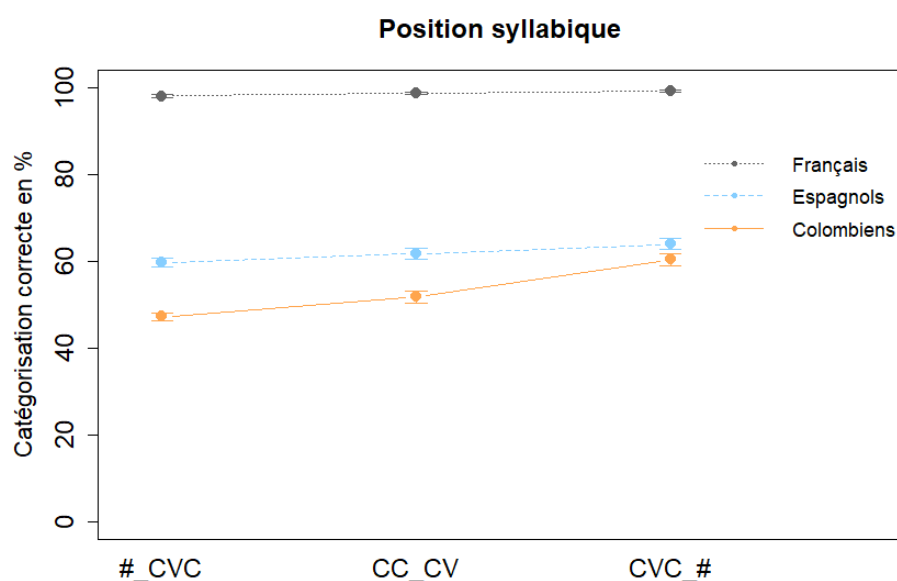
Les résultats des matrices de confusion ont permis de confirmer que les difficultés des apprenants à catégoriser les voyelles nasales, observées dans l'Expérience 6 (à l'intérieur de mots du français), se concentrent sur les voyelles /ã/ et /ẽ/. Cependant, une variation est observée : pour la catégorisation dans des mots, les apprenants espagnols montraient le même degré de difficulté pour ces deux voyelles ; pour la catégorisation dans des logatomes, leur difficultés sont plus nettes pour /ã/. C'est l'inverse pour les apprenants colombiens qui avaient plus de difficulté avec /ẽ/ que /ã/ dans les mots mais montrent le même degré de difficulté pour ces deux voyelles dans les logatomes. Nous présentons maintenant les résultats des analyses statistiques des taux de catégorisation correcte dans les logatomes avec les effets fixes suivants : Groupe (Français, Colombiens, Espagnols), Voyelle nasale (/ẽ, ã, õ/), Position syllabique (#\_CCV, CC\_CV, CVC\_#), Niveau de français (débutant, intermédiaire, avancé), Locuteur des stimuli (LF2 vs. LM) et Rang chronologique de présentation (1-6).

La Figure 56 montre les résultats de catégorisation (% correct) des trois voyelles nasales dans les logatomes pour les trois groupes de sujets. Nous constatons de nouveau que le groupe français identifie correctement les voyelles nasales alors que les deux groupes d'apprenants rencontrent des difficultés substantielles, notamment pour /ã/ et /ẽ/. Le taux d'identification correcte moyen est de 99% pour les natifs du français (identification quasi parfaite), mais seulement de 62% pour les Espagnols et de 53% pour les Colombiens.



**Figure 56.** Pourcentages de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques, par les natifs du français, et les apprenants espagnols et colombiens, tous niveaux de français confondus. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

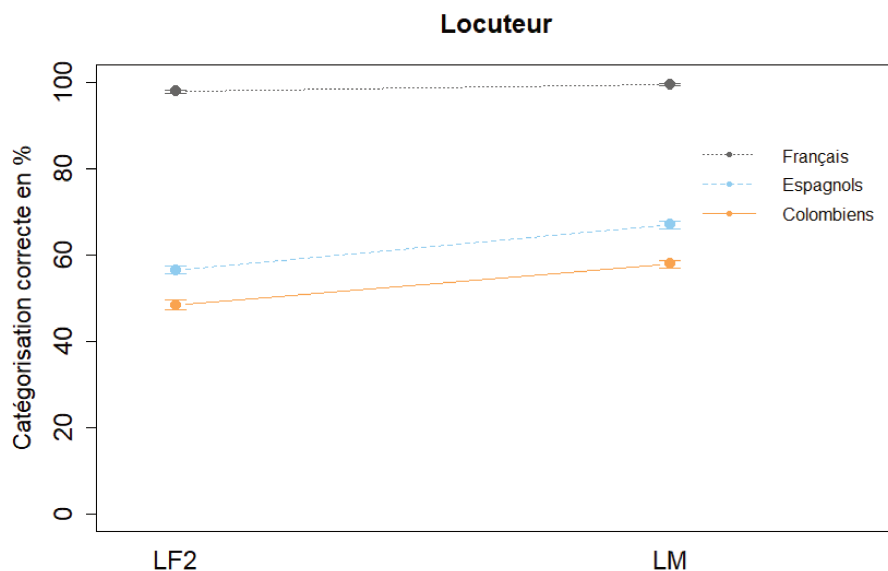
Pour les apprenants espagnols, il y a une progression entre l'identification de la voyelle la plus difficile à la moins difficile à identifier : entre /ã/ (50.6% correct) et /õ/ (75.6%), avec /ẽ/ entre les deux (60.4%). Les apprenants colombiens ont, eux aussi, la meilleure performance d'identification pour /õ/ (70.4%), mais ont à peu près la même performance pour /ã/ et /ẽ/ : 44.4% et 45.3%, respectivement. La Figure 57 montre le taux de catégorisation correcte des natifs du français et des apprenants hispanophones selon la position syllabique des voyelles nasales.



**Figure 57.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, en fonction de la position syllabique (#\_CVC, CC\_CV, CVC\_#) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

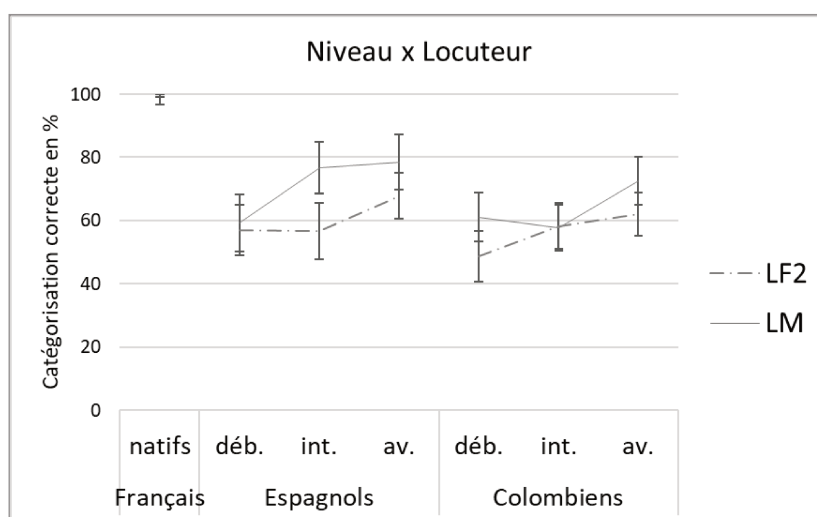
Pour les Français, il n'y a pas de place pour un effet de la position syllabique des voyelles. Pour les apprenants espagnols il y a une légère progression entre position initiale absolue et la position finale : 60, 62, et 64%, respectivement. Pour les apprenants colombiens, la progression est plus marquée : 47, 52, et 60%, respectivement. Cependant, l'inspection des matrices de confusion a suggéré que l'effet de position syllabique est limité à la voyelle /õ/ pour les deux groupes d'apprenants.

La Figure 58 montre les résultats de catégorisation des voyelles nasales en fonction du locuteur des stimuli. Les natifs du français ont un taux d'identification correcte de 98% pour LF2 et de 99% pour LM. Pour les apprenants hispanophones, il y a une différence d'identification selon le locuteur. Pour les deux groupes, l'identification est meilleure pour LM que pour LF2 (Espagnols : 56% et 67% ; Colombiens : 48% et 58%, respectivement).



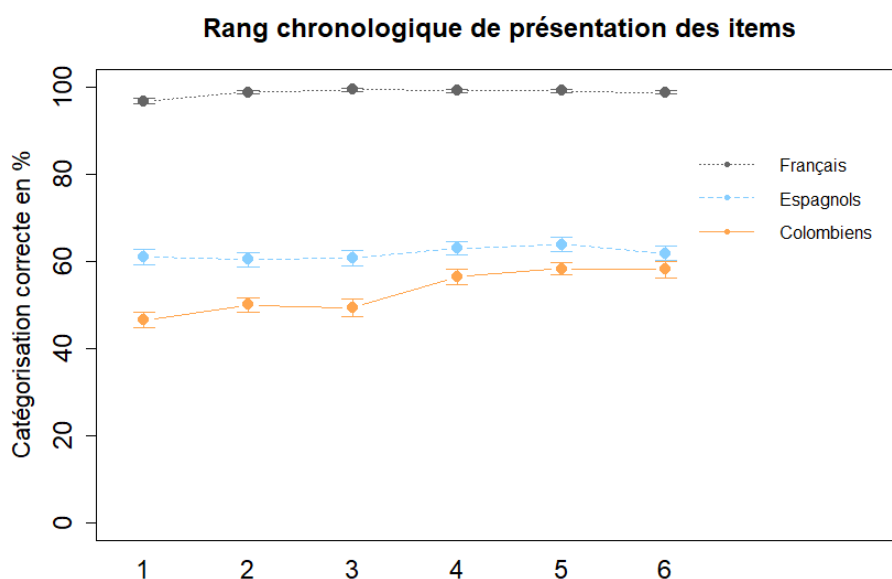
**Figure 58.** Taux de catégorisation correcte des voyelles nasales, toutes les voyelles confondues, par les natifs du français, et des apprenants espagnols et colombiens en fonction du locuteur : LF2 et LM. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Pour tous les niveaux de français des apprenants, on retrouve l'avantage de LM sur LF2 pour le taux d'identification correcte (Figure 59). La différence est faible pour les débutants espagnols (59.2 vs. 57.1%) et les intermédiaires colombiens (58.2 vs. 57.7%). Elle est de 10% ou plus dans les autres cas.



**Figure 59.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des logatomes en fonction du locuteur (LF2 ou LM) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols selon leur niveau de français. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

La Figure 60 montre les résultats de catégorisation des voyelles nasales selon le rang chronologique de présentation des items (1-6). Comme on pouvait s’y attendre, on observe une tendance à l’amélioration des performances (%correct) chez les trois groupes. Cependant, la progression est minime pour les Français (dont les performances sont très proches du plafond), et une progression “hésitante” chez les Espagnols (de 1 à 6 : 61, 60, 61, 63, 64, 62). La progression est la plus nette chez les Colombiens (de 1 à 6 : 46, 50, 49, 56, 58, 58). Il semble donc y avoir un effet d’apprentissage pour les apprenants colombiens.

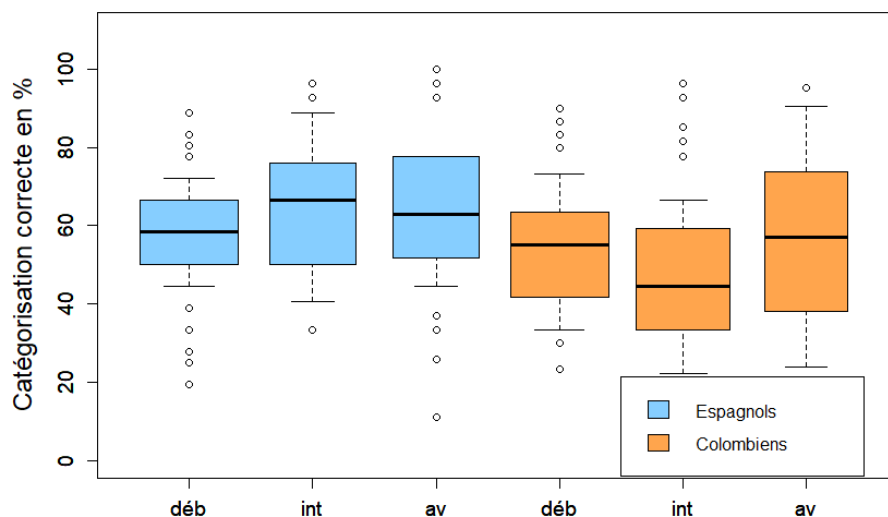


**Figure 60.** Taux de catégorisation correcte de toutes les voyelles nasales confondues, dans des logatomes, en fonction du rang de présentation des items (1-6) par les natifs du français, et les apprenants colombiens et espagnols. Les barres d’erreurs indiquent l’erreur-type.

Dans ce qui suit, nous nous limitons aux seuls apprenants hispanophones. La Figure 61 résume leurs performances de catégorisation selon leur niveau de français. Pour les apprenants espagnols, le taux d’identification correcte est de 58% pour les débutants (ET=24.1), et de 64% pour les intermédiaires et les avancés (ET=25.0 et 28.5, respectivement). Il y a donc une certaine progression pour le groupe espagnol. Ce n’est pas le cas pour le groupe colombien où l’on observe des performances similaires pour les débutants et les avancés (54%, ET=19.6, et 57%, ET=28.6, respectivement) et une moins bonne performance pour les intermédiaires (49%, ET=23.4). Ces taux d’identification correcte indiquent qu’il y a globalement peu de variation de performance en fonction du niveau de français des apprenants. La variabilité à l’intérieur de chaque niveau est d’autre part assez élevée.



**Catégorisation par niveau de français des apprenants**



**Figure 61.** Taux de catégorisation correcte des voyelles nasales dans des logatomes dissyllabiques, toutes les voyelles nasales confondues, en fonction du niveau de français des apprenants espagnols et colombiens : *débutant*, *intermédiaire*, *avancé*. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

En résumé, nous avons décrit la catégorisation des voyelles nasales pour les trois groupes de sujets (Français, Espagnols, Colombiens) en termes de taux de catégorisation correcte. Nous avons fait une première évaluation du poids des facteurs manipulés : Groupe, Voyelle nasale, Position syllabique, Locuteur, Rang chronologique de présentation des items, et Niveau de français des apprenants.

Pour le facteur Groupe, la différence est spectaculaire entre les natifs du français et les apprenants hispanophones : les natifs identifient les voyelles nasales pratiquement sans se tromper, alors que les hispanophones rencontrent des difficultés substantielles, notamment les Colombiens. La perception des voyelles nasales semble différer entre les Espagnols et les Colombiens.

Pour le facteur Voyelle, nous trouvons, comme dans l'expérience 6, que /*õ*/ est mieux identifié que les autres voyelles nasales par tous les apprenants espagnols et colombiens. /*ã*/ et /*ẽ*/ sont les moins bien catégorisés. Pour les apprenants colombiens, /*ã*/ et /*ẽ*/ sont également difficiles, alors que pour les apprenants espagnols, /*ã*/ est plus difficile que /*ẽ*/.

Le facteur Position syllabique a peu d'effet sur la catégorisation des voyelles nasales. Cependant, ce facteur exerce une influence sur la catégorisation de /*õ*/ : /*õ*/ est mieux catégorisé en position finale qu'en position initiale post-consonantique qu'en position initiale absolue (87, 75, et 49%). Mais ce n'est pas le cas pour /*ã*/ et /*ẽ*/ chez les apprenants espagnols, pour lesquels

l'identification est un peu meilleure en position initiale absolue qu'en position finale. C'est également le cas chez les apprenants colombiens pour /ã/ mais pas pour /ẽ/, dont l'identification correcte ne dépend pas de la position syllabique. Les données complètes incluant les confusions (§ 6.7.3.1) montrent aussi que l'effet de position syllabique est restreint à /õ/ pour les deux groupes d'apprenants.

Le facteur Locuteur influence la catégorisation des voyelles nasales : elles sont mieux catégorisées pour LM que pour LF2, notamment chez les apprenants.

Le Rang chronologique de présentation influence légèrement la catégorisation dans le sens général d'un effet d'apprentissage, notamment chez les apprenants colombiens.

Enfin, le Niveau de français des apprenants ne semble influencer l'identification des voyelles nasales : les différences observées entre niveaux n'indiquent pas une progression claire des performances d'identification avec le niveau.

Les statistiques inférentielles devraient permettre de déterminer la significativité des diverses tendances que nous avons observées pour la catégorisation des voyelles nasales dans les logatomes.

### 7.2.5 Statistiques inférentielles

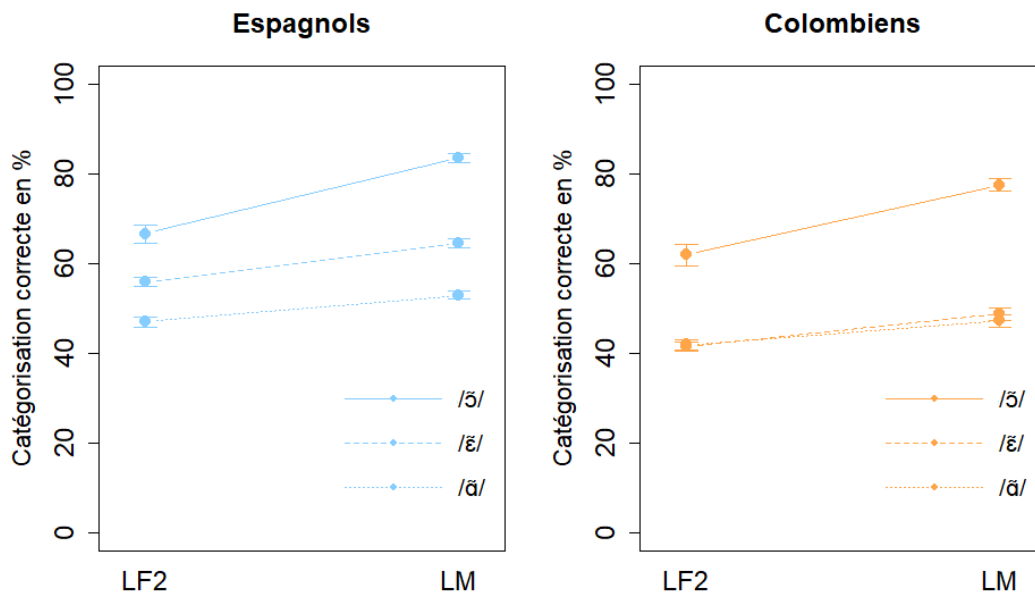
Comme pour l'expérience précédente, nous avons ajusté des modèles linéaires mixtes généralisés, utilisant les fonctions *lmer* et *anova* du package *lme4* (Bates, Maechler, Bolker, et Walker 2015) pour le logiciel R (R Core team, 2016). Les analyses réalisées testent la significativité des différents facteurs que nous avons manipulés sur le taux d'identification correcte des voyelles nasales dans les logatomes dissyllabiques. Les modèles incorporent les effets fixes suivants : Groupe de sujets (Français, Colombiens, Espagnols), Voyelle nasale (/ẽ, ã, õ/), Position syllabique (#\_CVC, CC\_CV, CVC\_#), Locuteur des stimuli (LF2 vs. LM), Rang de présentation (1-6), et Niveau de français (débutant, intermédiaire, avancé) ; les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items.

L'effet de Position syllabique n'est pas significatif ( $\chi^2(2)=1.20, p=.549$ ). Nous ne discuterons donc plus ce facteur. Nos analyses seront concentrées sur les facteurs Groupe, Voyelle, Locuteur, Rang de présentation, et Niveau.

**Groupe et Voyelle :** Le facteur Groupe est significatif ( $\chi^2(2)=(2)=155.69, p<.001$ ). En effet, les performances d'identification du groupe contrôle sont meilleures (99%) que celles des apprenants (57% en moyenne), et entre les apprenants, les performances d'identification sont meilleures pour les Espagnols que pour les Colombiens ( $\chi^2(2)=(1)=5.5, p<.05$ ) (62% > 53%). Le facteur Voyelle est lui aussi significatif ( $\chi^2(2)=(2)=11.55, p<.01$ ), suggérant des différences de taux d'identification correcte entre voyelles. L'interaction Groupe x Voyelle est significative ( $\chi^2(2)=(8)=193.41, p<.001$ ) (Figure 56), suggérant que l'effet de Voyelle diffère entre les trois groupes. Voyelle a un effet significatif pour les apprenants espagnols ( $\chi^2(2)=(2)=13.09, p<.01$ ), et pour les apprenants colombiens ( $\chi^2(2)=(2)=10.87, p<.01$ ), mais ce n'est pas le cas pour les natifs du français ( $\chi^2(2)=(2)=2.0, p=.368$ ). Pour les deux groupes d'apprenants, la voyelle /*õ*/ est mieux identifiée que les autres voyelles ( $ps<.01$ ). La différence entre /*ẽ*/ et /*ã*/ n'est significative pour aucun de ces deux groupes. Comme pour l'expérience de catégorisation dans les mots monosyllabiques, les difficultés des apprenants espagnols et colombiens sont donc similaires concernant la catégorisation de /*ẽ*/ et /*ã*/ . L'ordre croissant de difficulté pour l'identification est (dans les deux expériences) /*õ*/ > /*ẽ*/ = /*ã*/ .

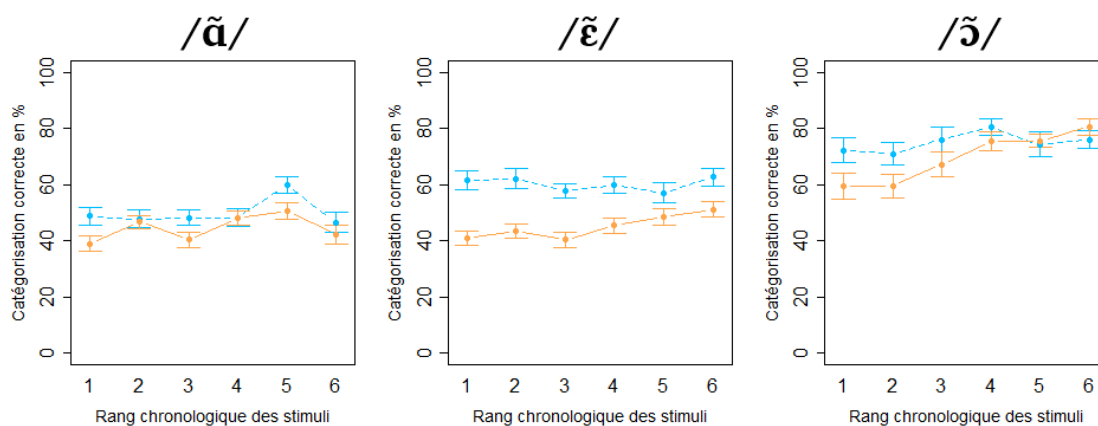
Dans ce qui suit, nous restreignons les analyses statistiques aux seuls apprenants hispanophones, étant donné les performances proches du plafond des sujets contrôle français. Nous analyserons les effets Locuteur, Rang de présentation et Niveau de français.

**Locuteur :** L'effet Locuteur est significatif ( $\chi^2(2)=(1)=74.82, p<.001$ ). Ceci est dû au fait que les stimuli produits par LF2 sont plus difficiles à catégoriser que ceux produits par LM, et cela dans les deux groupes d'apprenants ( $ps<.001$ ) (Espagnols : 67% > 56% ; Colombiens : 58% > 48%). La triple interaction Groupe (d'apprenants) x Voyelle x Locuteur, est significative ( $\chi^2(2)=(11)=134.68, p<.001$ ) : les performances de catégorisation des apprenants espagnols sont meilleures que celles des apprenants colombiens, et Voyelle et Locuteur ont les mêmes effets dans les deux groupes d'apprenants : /*õ*/ est mieux identifié que /*ẽ*/ et /*ã*/ , et les stimuli produits par LM sont mieux perçus que ceux produits par LF2. La Figure 62 résume l'interaction Groupe d'apprenants x *Voyelle* x *Locuteur*.



**Figure 62.** Interaction Groupe d'apprenants (Espagnols vs. Colombiens) x Locuteur (LF2 vs. LM) x Vowelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/) pour la catégorisation des voyelles nasales dans les logatomes. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur type.

**Rang chronologique de présentation des stimuli :** L'interaction Rang x Groupe est significative ( $\chi^2(2)=(11)=37.37, p<.001$ ), suggérant que l'effet Rang de présentation diffère selon les groupes d'apprenants. Effectivement, Rang est significatif pour le groupe colombien ( $\chi^2(2)=(5)=29.87, p<.001$ ), mais pas pour le groupe espagnol ( $\chi^2(2)=(5)=2.60, p=.761$ ). De plus, la triple interaction Groupe (d'apprenants) x Rang de présentation x Vowelle est significative ( $\chi^2(2)=(35)=98.39, p<.001$ ) : les patterns d'identification en fonction du rang diffèrent selon le groupe et dans chaque groupe selon la voyelle. La figure 63 résume cette interaction.



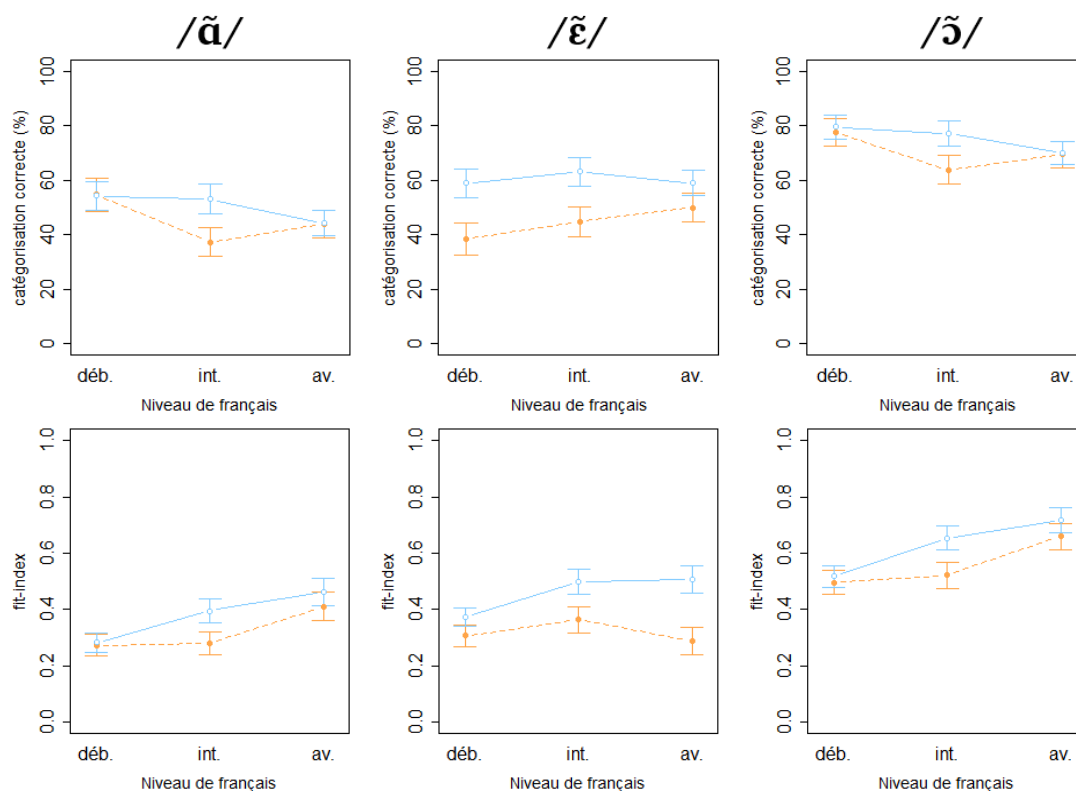
**Figure 63.** Description de l'interaction Rang chronologique de présentation des stimuli (1-6) x Vowelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/). pour la catégorisation des voyelles nasales dans des logatomes chez les apprenants espagnols (ligne bleue) et colombiens (ligne orange). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur type.

**Niveau de français :** Le facteur Niveau n'a pas d'effet significatif sur la catégorisation des voyelles nasales ( $\chi^2(2)=(2)=1.17, p=.557$ ), indiquant que les difficultés des apprenants n'ont pas de lien direct avec leur niveau de français (pour les apprenants colombiens ( $p=.419$ ); et pour les apprenants espagnols ( $p=.426$ )). La Figure 64 montre en effet que les performances d'identification varient peu en fonction du niveau de français, et ce pour les deux groupes.

**Fit-index :** Comme pour l'expérience de catégorisation des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques, nous avons aussi calculé les "fit-index" pour cette expérience de catégorisation dans des logatomes. Le "fit-index" proposé par Guion et al. (2000) donne une idée plus précise de la performance de catégorisation que le seul taux d'identification correcte, comme nous l'avons vu dans l'expérience précédente. Nous avons utilisé des modèles linéaires mixtes avec pour nouvelle variable dépendante le fit-index. Les effets fixes examinés sont les suivants : Groupe d'apprenants (Espagnol vs. Colombien), Voyelle nasale (/ã/, /ẽ/, /õ/), Rang de présentation (1-6), et Niveau (débutant, intermédiaire avancé); nous avons exclu le facteur Position syllabique pour lequel aucun effet ni tendance numérique n'ont été observés sur l'identification des voyelles nasales. Les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Items.

La Figure 64 montre en parallèle les taux d'identification correcte (panneau supérieur) et les valeurs de fit-index (panneau inférieur). Bien que l'effet de Groupe soit marginal ( $\chi^2(2)=(1)=3.76, p=.052$ ), les fit-index sont numériquement plus élevés pour les apprenants espagnols que pour les apprenants colombiens (.48 > .39).

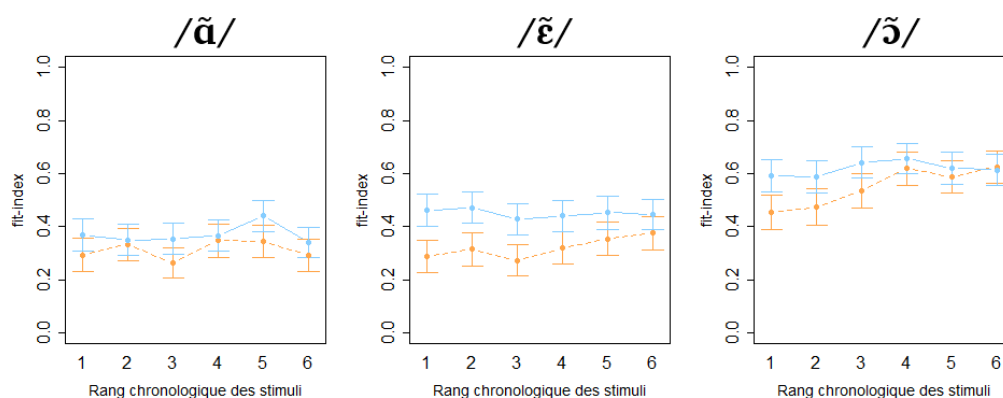
Pour les deux groupes, l'effet de Voyelle est significatif ( $p<.001$ ), avec des fit-index plus élevés pour /õ/ que /ã/ ou /ẽ/ ( $ps<.01$ ) (Espagnols : .62 > .37  $\approx$  .45, respectivement; Colombiens : .55 > .32  $\approx$  .31, respectivement). Le Niveau de français a globalement un effet significatif sur le fit-index ( $\chi^2(2)=(6)=6.92, p<.05$ ). Plus en détail, la triple interaction Groupe x Niveau x Voyelle est significative ( $\chi^2(2)=(17)=78.11, p<.001$ ), suggérant des patterns d'évolution du fit-index selon le niveau et la voyelle différents entre les apprenants espagnols et les apprenants colombiens. En effet, comme le suggère la Figure 64, Niveau est significatif pour chacune des trois voyelles pour le seul groupe espagnol, avec une progression monotone avec le niveau de français.



**Figure 64.** En haut : pourcentages d'identification correcte des voyelles nasales dans les logatomes pour les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange), selon leur niveau de français : *déb.* = débutant ; *int.* = intermédiaire ; *av.* = avancé. En bas : fit-index correspondants. Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Le Rang chronologique de présentation des stimuli est également significatif pour le fit-index ( $\chi^2(2)=(5)=20.77, p<.001$ ). L'interaction Groupe x Voyelle x Rang chronologique de présentation, illustrée dans la Figure 65, est significative ( $\chi^2(2)=(35)=94.64, p<.001$ ), suggérant que l'effet du Rang chronologique diffère selon les groupes et par groupe selon les voyelles. En effet, le Rang chronologique est globalement significatif pour les seuls apprenants colombiens,  $p<.001$ , et dans le détail pour /õ/,  $p<.001$ , marginalement pour /ẽ/ ( $p=.053$ ), mais pas pour /ã/ ( $p=.210$ ). Ce facteur n'est pas significatif pour les apprenants espagnols ( $p=.494$ ).

Ces résultats confirment les effets observés pour les taux d'identification correcte (Figure 63).



**Figure 65.** Fit-index selon le rang chronologique de présentation et la voyelle nasale pour les apprenants espagnols (ligne bleue) et colombiens (ligne orange). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur type.

### 7.2.6 Discussion

Nous avons effectué une expérience de catégorisation des voyelles nasales dans des logatomes chez des apprenants espagnols et colombiens de différents niveaux de français, ainsi que chez des auditeurs natifs du français. L'inclusion des logatomes dissyllabiques répondait à un double objectif de recherche sur la perception des voyelles nasales par les apprenants. D'une part, avec l'utilisation des logatomes nous cherchions à avoir des réponses de catégorisation basées sur une représentation phonologique plutôt que lexicale et sémantique, éventuellement biaisée par l'orthographe des mots français (expérience 6) potentiellement connue par les apprenants. D'autre part, une de nos hypothèses portait sur la composition des logatomes à deux syllabes où la position finale permettrait aux apprenants de mieux identifier les voyelles nasales qu'en position initiale. Cependant, les résultats ont montré que la position syllabique n'a pas d'effet significatif sur l'identification et que les différentiels de difficulté sont principalement liés aux voyelles nasales elles-mêmes.

Les résultats de catégorisation dans les logatomes coïncident ceux obtenus avec les mots monosyllabiques (expérience 6), où les natifs du français, en tant que groupe contrôle, identifient correctement les voyelles nasales à 99%, et les apprenants hispanophones les identifient nettement moins bien ; parmi les hispanophones, les apprenants espagnols ont de meilleures performances que les apprenants colombiens.

Comme dans l'expérience 6, /õ/ est la voyelle nasale présentant le moins de difficulté pour les hispanophones : 70% de réponses correctes pour les apprenants colombiens, et 75% pour les apprenants espagnols. En outre, le degré de confiance pour la catégorisation (correcte)

de /õ/ est élevé, suggérant que les apprenants hispanophones ont peu de difficulté à identifier cette voyelle correctement.

Concernant /ẽ/ et /ã/, la catégorisation est, comme dans l'expérience 6, difficile pour les deux groupes d'apprenants. Même si les résultats indiquent que les apprenants espagnols sont meilleurs que les apprenants colombiens, leurs performances d'identification par rapport à ces deux voyelles sont similaires. Aussi, et de façon assez surprenante, le niveau de français ne semble jouer de rôle pour aucun des deux groupes pour les taux d'identification correcte. Cependant, un effet du niveau de français émerge dans l'analyse du fit-index chez les apprenants espagnols. Comme dans l'expérience 6, les matrices de confusion indiquent que /ẽ/ est confondu principalement avec /ã/ (dans 51% des cas chez les Colombiens et 39% chez les Espagnols) ; /ã/ est principalement confondu avec /õ/ et /ẽ/ (Colombiens : 37 et 18%, respectivement ; Espagnols : 28 et 22%, respectivement).

Nos résultats d'assimilation perceptive des voyelles françaises selon les catégories vocaliques de l'espagnol (Expérience 2), sont compatibles avec les résultats de catégorisation des voyelles nasales dans les mots monosyllabiques du français et dans les logatomes. Rappelons que /ẽ/ est assimilé massivement au /a/ de l'espagnol par les hispanophones espagnols et colombiens (en moyenne 95.3%) ; /ã/ est assimilé à deux catégories de l'espagnol, /o/ (en moyenne 54.9%) et /a/ (en moyenne 41.7%) ; et /õ/ est assimilé à /o/ (en moyenne 87.5%). Les patterns d'assimilation perceptive des sujets hispanophones peuvent aider à expliquer les difficultés des apprenants à identifier les voyelles nasales du français. Pour les résultats de discrimination des voyelles nasales (cf. § 6.3.4), nous avons discuté les résultats à la lumière des données d'assimilation perceptive. En particulier, la difficulté du contraste /ã/-/õ/ peut s'expliquer par le fait que tant /ã/ que /õ/ sont le plus fréquemment assimilés au /o/ de l'espagnol. Pour la tâche de catégorisation des voyelles nasales dans les logatomes, la matrice de confusion montre que /ã/ est confondu avec /ẽ/ (20%) et surtout avec /õ/ (32%) par les deux groupes d'apprenants hispanophones, ce qui est compatible avec les données d'assimilation de l'expérience 2.

Les données d'assimilation perceptive montrent aussi que /ẽ/ est principalement assimilé au /a/ de l'espagnol et /ã/ secondairement au même /a/, ce qui expliquerait en partie la confusion de /ẽ/ avec /ã/ (45% en moyenne) chez les deux groupes d'apprenants. Mais il faut peut-être aussi considérer la possibilité d'un biais orthographique, évoquée lors des résultats de catégorisation des voyelles nasales dans les mots monosyllabiques (§ 6.6.4) : les apprenants pourraient être influencés par l'orthographe française des mots présentés ; or /õ/ correspond à la seule graphie "on" tandis que /ã/ et /ẽ/ correspondent à des graphies variables et qui se



recouvrent en partie ("en") ; ceci pourrait expliquer l'avantage de /ɔ̃/ sur /ã/ et /ẽ/ dans les mots. Comme le même avantage de /ɔ̃/ sur /ã/ et /ẽ/ est trouvé pour des logatomes dont la graphie est arbitraire, l'hypothèse d'un biais orthographique *lexical* est sans doute à écarter. Cependant, la tâche de catégorisation utilisée dans les deux expériences 6 et 7 propose un choix forcé entre les trois voyelles nasales du français transcrites orthographiquement "in", "an", et "on". Cette présentation graphique des choix possibles n'entraînerait-elle pas un autre biais orthographique lié à la tâche même et impliquant une interférence avec l'orthographe de l'espagnol ?

Un aspect des données de confusion et de discrimination entre voyelles nasales pose en effet problème. Nous observons globalement davantage de confusions entre /ã/ et /ẽ/ qu'entre /ã/ et /ɔ̃/ en catégorisation (Expériences 6 et 7). Or le contraste /ã/-/ɔ̃/ est plus difficile à discriminer que /ã/-/ẽ/ (expérience 5), ce qui est d'ailleurs prédit par les patterns d'assimilations obtenus dans l'expérience 2 : /ẽ/ et /ɔ̃/ sont massivement assimilés à /a/ et /o/ tandis que /ã/ est partagé entre /o/ et /a/ avec un avantage pour /o/ (/ã/-/ɔ̃/ serait donc plus souvent interprété /o/-/o/ que /ã/-/ẽ/ n'est interprété /a/-/a/, donc /ã/-/ɔ̃/ serait plus difficile que /ã/-/ẽ/). Cette contradiction pourrait être en partie expliquée par le second type de biais orthographique évoqué. En effet, la présentation graphique du choix "in" ne peut que renforcer le rejet de ce choix quelle que soit la voyelle nasale du français, puisqu'aucune n'est assimilée à un "i" espagnol. En particulier, ceci renforcerait le rejet de "in" en réponse à /ẽ/ au profit de "an" et gonflerait les confusions /ẽ/ > /ã/ sans biaiser les autres confusions possibles puisque seul /ẽ/ est susceptible d'être répondu "in".

Nos résultats montrent une influence du locuteur des stimuli sur la catégorisation des voyelles nasales par les apprenants hispanophones : 63% d'identification correcte pour le locuteur LM contre 53% pour la locutrice LF2. Sans surprise, la différence est significative pour les apprenants espagnols et colombiens mais pas pour les natifs du français dont les performances tournent autour de 99% correct. Les stimuli de LM sont significativement plus longs que ceux de LF2 (147 ms > 118 ms), ce qui pourrait expliquer que les apprenants les identifient plus correctement.

Finalement, le rang chronologique de présentation des stimuli influence la catégorisation des voyelles nasales, mais seulement chez les apprenants colombiens. Il y a donc pour ces apprenants un effet d'apprentissage selon lequel leur performance de catégorisation s'améliore au fil de l'expérience. Ceci n'est d'ailleurs observé que pour /ɔ̃/ et, dans une moindre mesure, pour /ẽ/. Aucun effet d'apprentissage n'est observé pour le groupe des apprenants espagnols.

En résumé, nous avons évalué la catégorisation des voyelles nasales dans des logatomes chez des apprenants espagnols et colombiens ainsi que chez des auditeurs natifs du français. Ces

derniers identifient pratiquement sans erreur les voyelles nasales, tandis que les apprenants rencontrent des difficultés substantielles avec l'identification de /ẽ/ et /ã/. Quant à /õ/, c'est la voyelle la moins problématique pour la catégorisation. La comparaison entre les groupes hispanophones montre que les performances de catégorisation des apprenants espagnols sont meilleures que celles des apprenants colombiens. Une exposition plus importante au français (davantage de séjours dans des pays francophones, didactique du français plus orientée vers l'oral et avec davantage de ressources phonétiques) explique sans doute cette différence entre les deux groupes en faveur des Espagnols. Enfin, l'effet de position syllabique que nous avons voulu explorer ne joue aucun rôle dans les performances de catégorisation, de même que le niveau de français.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons la production des voyelles nasales par les mêmes apprenants espagnols et colombiens qui ont fait l'objet des expériences de perception que nous venons de décrire.

## CHAPITRE 8

# Production des voyelles nasales du français par des apprenants hispanophones et natifs du français

### Résumé

*Dans cette deuxième expérience de production, les locuteurs natifs du français et les apprenants ont effectué une tâche de lecture des logatomes qui s'opposent par les voyelles nasales et les voyelles orales « correspondantes ». Les apprenants ont produit six répétitions et les locuteurs natifs, cinq. L'enregistrement a été réalisé à l'aide de l'accéléromètre piézoélectrique afin de capturer les vibrations nasales lors de la production des voyelles nasales. Deux caméras de vidéo ont également enregistré les productions des locuteurs afin d'examiner le mouvement des lèvres. Les mesures réalisées concernent la durée, la p(N) (proportion de nasalité des voyelles), et les « formants » F1 et F2 du début des voyelles nasales. Les résultats montrent que les apprenants produisent une longueur plus importante des voyelles nasales que les locuteurs natifs. La p(N) des locuteurs natifs est plus importante que chez les apprenants, mais les trois populations produisent une p(N) différente pour chaque voyelle nasale (/õ/ > /ã/ > /ẽ/). Les résultats des mesures formantiques des voyelles suggèrent que les apprenants ne possèdent pas la cible articulaire orale de /ã/ et /ẽ/.*

## 8.1 Participants

Les participants pour l'étude de la production des voyelles nasales sont presque les mêmes que ceux qui ont passé les tests de perception, sauf certains apprenants qui ne se sont pas présentés pour la suite de notre étude, ou bien dont les productions ont rencontré des problèmes techniques. Des 26 apprenants colombiens qui ont passé l'ensemble des tests de perception, 23 ont aussi participé à l'étude de production : deux apprenants ne sont pas revenus pour l'enregistrement, et nous avons dû éliminer la production d'un autre apprenant en raison d'un problème de saturation du signal. Pour les apprenants espagnols, 30 ont passé les tests de perception : 27 ont aussi participé à l'étude de production : des problèmes d'enregistrement pour un apprenant, une apprenante ne s'étant pas présentée pour l'enregistrement, et une apprenante ayant refusé de participer à l'enregistrement pour de possibles risques d'allergie au latex des adhésifs présents sur l'instrument d'enregistrement, expliquent ces dernières différences.

Nous avons donc enregistré les productions de 56 sujets : 23 apprenants colombiens, 27 apprenants espagnols, et 7 natifs du français. L'ensemble des apprenants, comme pour les tests de perception, ont été classés par niveaux de français selon leur temps d'apprentissage de cette langue : de six mois à un an et demi d'apprentissage (*débutants*) ; d'un an et demi à deux ans et demi (niveau *intermédiaire*) ; et de trois ans et plus (niveau *avancé*).

Dans le Tableau 41, nous présentons le nombre d'apprenants testés en perception et ceux qui ont été enregistrés pour notre expérience de production.

	Colombiens			Espagnols		
	débutant	intermédiaire	avancé	débutant	intermédiaire	avancé
<i>perception</i>	10	9	7	9	12	9
<i>production</i>	8	8 (-1)	7	9	9 (-3)	9

**Tableau 41.** Nombre de sujets hispanophones testés en perception et de ceux testés en production, selon leur niveau de français. Entre parenthèses : nombre de sujets non retenus pour la production.

Les sujets francophones natifs sont tous de la région de l'Île-de-France : ils y sont nés, et ils ont en moyenne 40 ans (ET = 5.9).

## 8.2 Enregistrements

Les apprenants hispanophones ont été enregistrés sur place, les colombiens dans des petites salles de réunion à l'Université Pontificale Javeriana de Bogota, et les espagnols dans la chambre sourde du Laboratoire de phonétique de la Faculté de Philologie à l'Université de Séville. Dans les deux cas d'enregistrement sur place, nous avons utilisé une carte son Edirol UA-25 USB Audio portable incluant une paire de préamplis micro, empruntés au Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) de l'Université de la Sorbonne-Nouvelle. À la différence des apprenants, les natifs du français ont été enregistrés dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP), avec une carte d'acquisition MOTU UltraLite mk3 hybride, intégrée à un préamplificateur (Presonus à 40 dB) qui est connectée à un ordinateur.

Les enregistrements des apprenants hispanophones ont été effectués avec le logiciel Audacity® sur un ordinateur portable et une carte son elle aussi portable. Les apprenants ont eu accès au corpus à enregistrer avant la calibration, pour qu'ils puissent se familiariser avec la phrase cadre à utiliser et plus particulièrement les différents logatomes devant y être insérés. Les instructions ont été données en espagnol pour tous les apprenants débutants, et en français pour ceux de niveau intermédiaire et avancé, ainsi que pour les natifs. La phrase cadre était "*Vous dites \_\_\_ et vous dites \_\_\_ six fois*". Les deux items à y insérer étaient deux logatomes en paire minimale pour leur voyelle cible : nasale vs. orale.

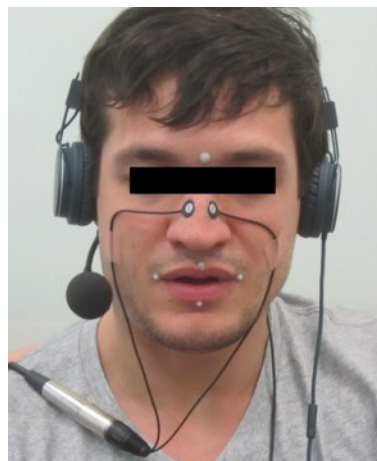
Pour l'enregistrement des francophones natifs, nous avons utilisé le logiciel *Pro Tools* installé dans l'ordinateur Mac de la chambre sourde du laboratoire. Tous les participants devaient prononcer toutes les phrases-énoncés du corpus à un débit normal et sans produire d'enchaînement avec "dites" pour les items commençant par une voyelle : par exemple, "*Vous dites acasse et vous dites ancasse six fois*" prononcé avec /dit.a.kas/ et non /di.ta.kas/. Les apprenants ont produit six répétitions du corpus, et les natifs cinq. Prévoyant des cas d'hésitation sur la production des apprenants, nous leur avons demandé de produire six répétitions afin d'en obtenir un nombre suffisant. En revanche, malgré l'utilisation des logatomes, nous avons demandé aux natifs du français de produire plutôt cinq répétitions en espérant obtenir une faible variation dans leurs productions étant donné qu'il s'agissait de leur langue maternelle.

La durée totale de chaque enregistrement est d'une heure et quinze minutes environ pour chaque apprenant (instruction des consignes, installation de l'accéléromètre, calibration et tâche de lecture).

### 8.2.1 Accéléromètre piézoélectrique, micro, et deux caméras vidéo

Nos enregistrements du signal nasal ont été réalisés à l'aide d'un accéléromètre piézoélectrique (Lippmann, 1981 ; Stevens et al. 1975 ; Tronnier,1995) recueillant les vibrations sonores au niveau du nez lors de la production des sons nasals par le locuteur (Figure 66). L'avantage de cet instrumentation pour l'enregistrement est qu'il n'est pas invasif et n'apporte aucune gêne au locuteur. De plus, il est portable permettant d'effectuer des enregistrements sur place. Calibré avant l'enregistrement, l'accéléromètre piézoélectrique capture le signal acoustique nasal. Un microphone serre-tête (AKG C420L) enregistre le signal acoustique oral à une distance de 2-3cm de la bouche. D'autre part, comme nous pouvons l'observer sur la Figure 66, quatre capteurs ont été placés sur les commissures gauche et droite de la bouche, ainsi que sur la lèvre supérieure et la lèvre inférieure dans le but d'enregistrer les mouvements des lèvres lors de la production des voyelles nasales ; un autre capteur a été fixé sur le front pour retracer le contour du visage lors des analyses de fichiers vidéo.

Deux caméras de vidéo ont filmé les enregistrements (50 trames/s) : une fixée en face du participant à une distance d'un mètre pour capter les mouvements d'arrondissement et d'écartement des lèvres, et l'autre de profil pour les mouvements de protrusion des lèvres. Le mouvement des lèvres peut être retracé par cinq capteurs qui ont été fixés autour des lèvres du participant : deux aux commissures, une sur la lèvre supérieure et une autre sur la lèvre inférieure.

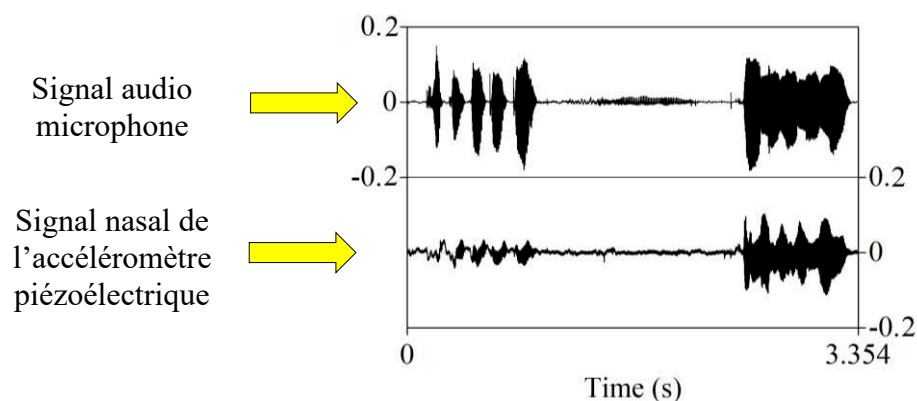


**Figure 66.** Accéléromètre piézoélectrique installé sur le nez d'un locuteur : les deux pastilles captant les vibrations sont fixées sur chaque côté du nez du locuteur avec un adhésif double face. Cette figure montre également la fixation du micro serre-tête, et celle des capteurs labiaux et frontal.

## 8.2.2 Calibration

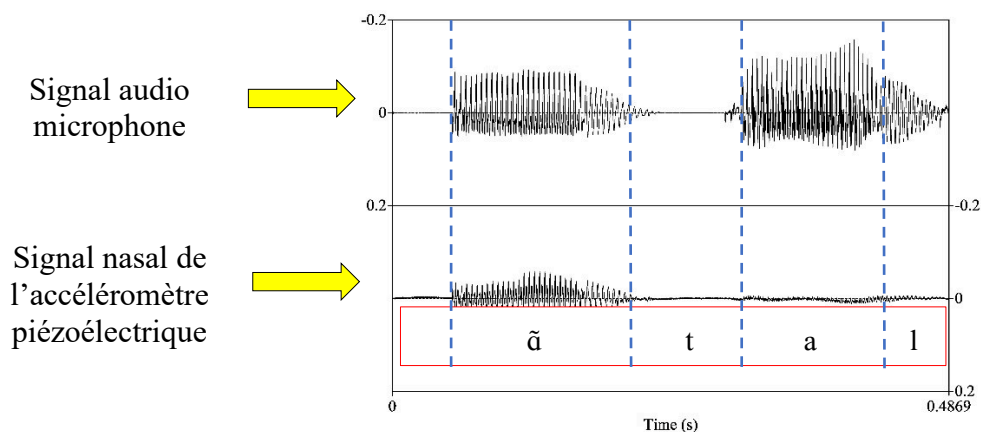
Pour l'enregistrement des signaux oral et nasal, nous avons effectué au préalable une phase de calibration afin d'obtenir un équilibre d'amplitude pour chaque signal. Compte tenu de la différence anatomique entre les locuteurs ainsi que de la portée de leur voix différente en fonction de chacun, cette phase de calibration nous permet de définir une intensité adéquate du son pour éviter une saturation de l'enregistrement. Nous expliquons ci-après comment la calibration est effectuée.

La calibration des signaux varie clairement en fonction de l'anatomie des participants, impliquant une fixation légèrement différente sur le nez des sujets, un peu plus haut ou un peu plus bas. Particulièrement, si la personne porte des lunettes, les pastilles étant collées un peu plus bas que d'habitude, la calibration essaie de compenser l'intensité du signal et le gain est ainsi établi. Pour la phase de production, le participant devait lire des phrases affichées sur l'écran d'un ordinateur portable. En plus, les conditions d'enregistrement varient aussi pour les hispanophones, qui ont été enregistrés sur place, et les français, enregistrés dans la chambre sourde. La calibration consiste à régler le gain sur la carte son avant l'enregistrement afin de faire correspondre les intensités des deux signaux, et dans le signal nasal en particulier, la calibration permet de vérifier que l'intensité des voyelles nasales est plus importante que celle des voyelles orales indiquant que les pastilles de l'accéléromètre fonctionnent correctement, qu'elles ont été bien placées. Une fois l'accéléromètre installé, les participants devaient prononcer une suite de sons comme « *papapapa* » pour la calibration du signal oral, et « *mamamama* » pour celle du signal nasal (Figure 67).



**Figure 67.** Exemple de calibration définitive pour les signaux du microphone oral et de l'accéléromètre piézoélectrique. Production de [papapapapa], puis de [mamamama] par une locutrice espagnole (LocESP-A3) de niveau avancé.

Comme nous pouvons l’observer sur la Figure 68, un exemple de production d’un logatome par cette même locutrice montre la synchronisation des deux signaux et le résultat de l’ajustement pour la calibration définitive entre les deux.



**Figure 68.** Exemple de production après calibration finale pour les signaux du microphone oral et de l’accéléromètre piézoélectrique. Production du logatome [ãtal] par la même locutrice espagnole (LocESP-A3).

Par ailleurs, une mesure permettant la correction aux signaux est calculée pour égaliser leur intensité dans les parties communes et ainsi pouvoir analyser les données concernant un indice de nasalité (cf. § 8.3.2).

### 8.2.3 Corpus

Le corpus est constitué de 36 logatomes dissyllabiques formant 18 paires minimales (voyelle orale vs. voyelle nasale), chaque paire étant insérée dans la phrase cadre (“Vous dites LOGATOME et vous dites LOGATOME *six fois*”), soit donc 18 phrases ou énoncés (cf. Annexe 3). Nous avons utilisé les trois voyelles nasales du français /ã, ê, õ/, et les voyelles orales « correspondantes » /a, e, o/.

Trois positions syllabiques ont été choisies pour la production des voyelles nasales :

- position initiale absolue, #\_CVC,
- position initiale post-consonantique, C\_CVC, et
- position finale, CVC\_#.

Nous obtenons donc un total de 18 énoncés (3 positions x 2 items x 3 contrastes oral-nasal), chacun contenant un logatome avec une voyelle orale et un autre logatome avec la voyelle nasale « correspondante ». Exemple en position post-consonantique :



*Vous dites « popar » et vous dites « pompar » six fois.*

Afin de ne pas proposer d'éventuels mots du français, nous avons légèrement varié le contexte phonétique par paire de voyelles orales et nasales. Pour /a/-/ã/, le contexte postvocalique en position initiale absolue est /t, k/. En position initiale post-consonantique, le contexte est /p\_kas/ et /s\_sar/. En position finale, le contexte prévocalique est /p, t/. Pour /ε/-/ẽ/, le contexte postvocalique est /t, p/. En position initiale post-consonantique, /p\_tur/ et /t\_kar/. En position finale, /k, t/. Enfin, pour /o/-/õ/, le contexte postvocalique en position initiale absolue est /k, t/. En position initiale post-consonantique, /k\_tos/ et /p\_par/. En position finale, le contexte prévocalique est /t, p/. Nous avons privilégié le contexte consonantique des occlusives non voisées afin de bien pouvoir déterminer les frontières pour la segmentation des données de production, car la barre de sonorité des consonnes occlusives voisées peut se confondre avec la barre de voisement des voyelles nasales.

## 8.3 Traitement des données

### 8.3.1 Segmentation

Pour le traitement des données, nous avons utilisé le logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2020) pour segmenter le corpus obtenu. Dans un premier temps, toutes les données de production ont été segmentées à l'aide de l'outil d'alignement automatique Easyalign<sup>23</sup> pour l'ensemble des phrases. Ensuite, la segmentation par logatomes et voyelles a été effectuée manuellement. Le nombre total de données annotées (voyelles orales et nasales) est de 11882 (dérivant de 4859 productions par les apprenants colombiens, 5763 par les apprenants espagnols, et 1260 par les natifs du français).

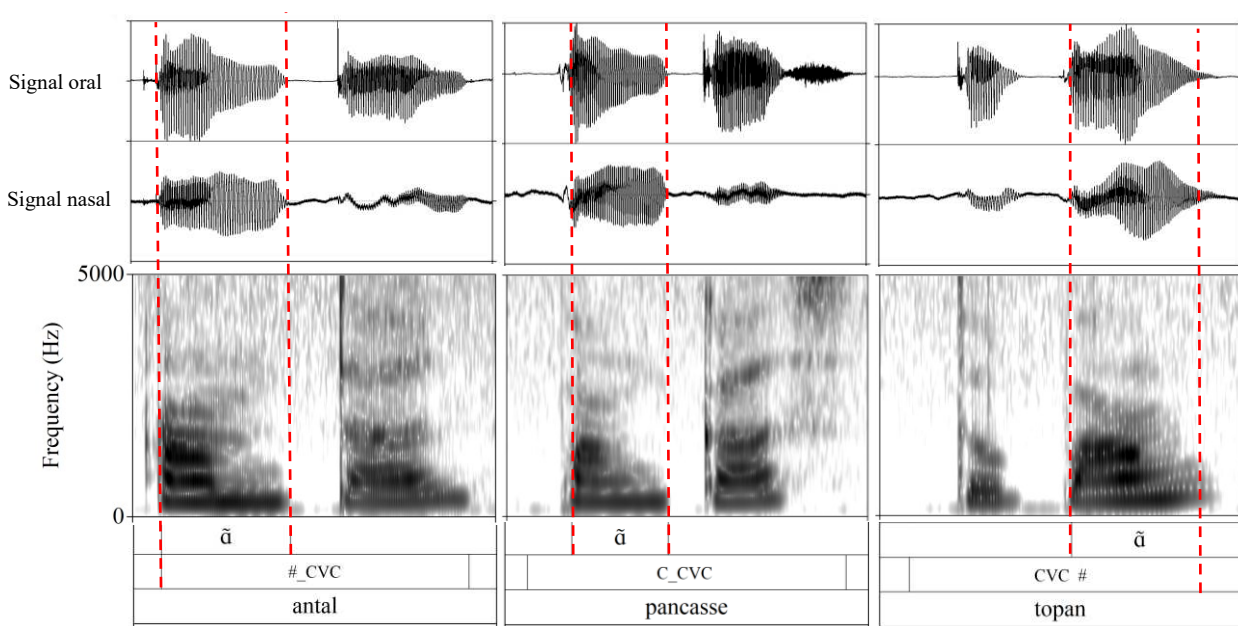
Pour définir les frontières temporelles des segments vocaliques, nous avons employé le raccourci Ctrl + 0 sur Praat pour placer le curseur sur le passage par zéro du signal sonore le plus proche du curseur et ainsi définir le début ou la fin des segments. Après une consonne occlusive, nous avons estimé le début des voyelles cibles à la fin du relâchement de la consonne. Pour la fin des voyelles orales, nous l'avons localisée à la fin de la partie visible du deuxième formant (F2), alors que pour les voyelles nasales, malgré la complexité du signal, la fin du

---

<sup>23</sup> GOLDMAN, Jean-Philippe. EasyAlign: an automatic phonetic alignment tool under Praat. In: *Interspeech'11, 12th Annual Conference of the International Speech Communication Association. Firenze (Italy)*. [s.l.]: [s.n.], 2011. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:18188>.

segment a été fixée à la fin du F2, si visible, en conjonction avec la fin de la barre de voisement et de l'onde acoustique.

Cependant, la réalisation des voyelles nasales par les apprenants hispanophones posait des difficultés de segmentation, car la fin de ces voyelles se prolongeait par une barre de voisement, produit de la coarticulation nasale en espagnol qui est très fréquente dans les productions des apprenants. La Figure 69 montre les frontières que nous avons définies pour la voyelle /ã/, dans trois positions syllabiques, produite par une apprenante espagnole de niveau débutant (LocESP-D7). Pour les deux premières positions, la fin de frontière a été définie en fonction de la diminution complète des signaux acoustiques oral et nasal et la fin du voisement sur le spectrogramme. Nous avons inclus ce prolongement de la voyelle, étant donné que cette configuration est fréquente chez les apprenants, notamment ceux de niveau débutant. Dans le cas d'un prolongement des voyelles nasales de ce type, la notion de consonantisation employée par [Detey et al. \(2010\)](#), pour décrire le degré de présence/absence d'une consonne nasale post-vocalique, démontre la présence des indices acoustiques concernant la coarticulation nasale de l'espagnol qui est transférée dans la production des voyelles nasales par les apprenants.



**Figure 69.** Exemple de segmentation de la voyelle /ã/ en fonction des trois positions syllabiques par une locutrice espagnole de niveau débutant (LocESP-D7) : position initiale absolue (#\_CVC), position initiale post-consonantique (C\_CVC), et position finale (CVC\_#). De gauche à droite, production des non-mots [ãtal], [pãkas], [topã].

Pour notre étude, nous mesurons ce degré de consonantisation en récupérant la durée totale du segment telle que nous l'illustrons sur la Figure 69. Cependant, la difficulté principale

de segmentation se présentait en position finale : le prolongement de la voyelle était plus important et la diminution des signaux acoustiques était progressive, rendant difficile établir la fin de frontière. La stratégie de segmentation était la même : repérer un affaiblissement de cette résonance sonore de la voyelle en conjonction avec une nette diminution du signal acoustique. Pour l'exemple de la Figure 69, la durée phonétique de /ã/ en position initiale absolue est de 235 ms, en position initiale post-consonantique, 217 ms, et en position finale elle est de 220 ms.

D'autres difficultés ont été repérées lors de la segmentation des voyelles orales et nasales en position initiale absolue, car certains apprenants réalisaient l'enchaînement consonantique avec le "dites" de la phrase cadre (par exemple, /di.ta.kas/). Ceci est tout à fait normal en français, mais, pour les besoins de notre étude, nous avons donné à tous les participants l'instruction spécifique d'éviter de produire cet enchaînement pour minimiser la transition consonantique. Nous avons entouré de guillemets chaque logatome dans le but d'obtenir une lecture sans enchaînement. Les sujets avaient aussi pour instruction de parler avec un débit de parole normal. Les productions avec enchaînement (et donc possibles effets de coarticulation) étaient en tout cas relativement peu nombreuses et nous les avons conservées (N=54 sur 3971 productions en #\_CVC) en étant alors particulièrement vigilants à la segmentation de ces passages.

### 8.3.2 *Analyses des données*

Une fois les données segmentées et étiquetées, nous avons poursuivi leur préparation pour prendre des mesures de durée et de formants en cinq points équidistants dans chaque voyelle orale ou nasale. L'extraction des valeurs formantiques a pour objectif de caractériser le timbre de la partie orale des voyelles nasales, comme l'a fait [Montagu \(2004, 2007\)](#) dans ses analyses du retard de nasalisation. Ses analyses ont montré que les voyelles nasales précédées d'une consonne occlusive présentaient un retard de nasalisation très important, nommé NOT (Nasal (*delayed*) Onset Time). Elles permettraient aussi de caractériser l'articulation linguale du début oral des voyelles nasales, présumées "sous-jacentes" aux voyelles nasales.

Nous avons également mesuré la moyenne quadratique ou le RMS (Root Mean Square) du signal oral ainsi que celui du signal nasal des voyelles orales et nasales, afin d'obtenir un lissage des intensités des deux signaux. L'intérêt est de pouvoir calculer le rapport signal nasal/signal oral afin d'obtenir un indice de nasalité. Comme nous avons parlé des difficultés liées à la calibration de l'accéléromètre piézoélectrique, notamment par rapport à la fixation des pastilles sur le nez du locuteur, en raison de différences anatomiques entre locuteurs, il s'avère

difficile de comparer des valeurs absolues de l'amplitude du signal entre locuteurs en raison notamment de la sensibilité de l'instrumentation aux caractéristiques des tissus du nez où est installé l'accéléromètre, ainsi que la pression sonore et l'intensité phonatoire du locuteur (Horii : 1980). Nous avons cherché à définir une mesure semblable au HONC de Horii (*Horii Oral-Nasal Coupling Index*) permettant de compenser les variations dérivées du signal de l'accéléromètre piézoélectrique pour sa sensibilité mécanique ainsi que pour le gain ajusté lors de la calibration (Horii : 1980). L'index HONC proposé consiste à obtenir une valeur de la division de l'amplitude du RMS nasal par la multiplication d'une constante (k) et l'amplitude du RMS oral ; k étant le ratio du RMS nasal au RMS oral pour un son supposé maximale nasal (comme [m]) représentant la valeur maximale de nasalité sur une échelle de 0 à 1, donc 1 ; l'index de Horii est :

$$\text{HONC} = A_{\text{rms}}(\text{n}) / (k * A_{\text{rms}}(\text{v})).$$

Toutefois, pour notre étude, nous avons calculé la proportion de nasalité (p(N)) sur le total des voyelles à partir de la division du RMS nasal par la somme du RMS nasal et RMS oral des voyelles orales et nasales :

$$p(\text{N}) = \text{rmsN} / (\text{rmsN} + \text{rmsO}).$$

En effet, dans nos données, le RMS nasal moyen chez la plupart des sujets hispanophones, lors de la suite [*mamamama*], présente des valeurs parfois plus basses que celles des voyelles nasales cibles, comme conséquence d'une intensité plus importante fournie par certains sujets hispanophones lors de la production des voyelles nasales. C'est pourquoi la mesure de proportion de nasalité p(N) ci-dessus, qui est être moins sensibles aux variations locales d'intensité, devrait caractériser de manière plus appropriée le degré de nasalité des voyelles cibles. Il est aussi nécessaire de prendre en compte une valeur de référence de p(N) pour les voyelles orales. En effet, p(N) n'est pas nul pour ces voyelles en raison d'une vibration intrinsèque observée dans la cavité nasale due à la conduction osseuse (Brkan et al., 2012 ; Brkan, 2018). Notre mesure de proportion de nasalité détermine un taux maximum de nasalité pour les voyelles orales dans un contexte oral et pour tous les locuteurs lors du même enregistrement.

Dans la section suivante, nous présentons les résultats des analyses concernant la durée et la proportion de nasalité (p(N)) des voyelles orales et nasales, et enfin la progression de la p(N) des voyelles nasales, suivis d'une discussion générale.

## 8.4 Résultats

### 8.4.1 Mesure de durée des voyelles orales et nasales

Les résultats sur la durée indiquent que les groupes des apprenants hispanophones réalisent les voyelles orales et nasales, toutes voyelles confondues, plus longues que les francophones natifs, notamment les apprenants colombiens avec une durée moyenne de 171 ms. Pour les apprenants espagnols, la durée moyenne des voyelles cibles est de 157 ms ; pour les natifs du français, elle est de 121 ms. Une variabilité intragroupe importante est observée dans les groupes des apprenants, avec un écart-type de 76 ms pour les colombiens et de 64 ms pour les espagnols ; pour les français natifs, l'écart-type est seulement de 37 ms. Le Tableau 42 présente la durée moyenne des voyelles orales et nasales ainsi que la durée moyenne des logatomes correspondant aux deux types de voyelles. Le débit de parole est normal dans tous les cas : les apprenants et les natifs du français ont prononcé toutes les phrases presque à une même vitesse d'élocution. La durée moyenne des logatomes contenant les voyelles orales est analogue entre les natifs français (583 ms) et les apprenants colombiens (entre 592 et 637 ms) mais elle est inférieure pour les apprenants espagnols (entre 517 et 534 ms, Tableau 42).

	Colombiens			Espagnols			Français
	débutants	intermédiaires	avancés	débutants	intermédiaires	avancés	natifs
VO	118 (54.2)	121 (61.6)	129 (76.1)	106 (44.2)	114 (49.1)	110 (48.1)	107 (37.7)
LOG_ vo	596 (81.9)	592 (74.4)	637 (68.4)	517 (56.8)	534 (67.4)	520 (60.3)	583 (80.9)
VN	218 (42.6)	223 (49.9)	222 (65.9)	212 (38.1)	208 (38.2)	186 (40.5)	135 (30.6)
LOG_ vn	645 (62)	622 (65.1)	655 (66)	582 (56.4)	584 (58.1)	568 (69.2)	571 (92.1)

**Tableau 42.** Durée moyenne en ms des voyelles orales (VO) et nasales (VN) et des logatomes contenant les voyelles orales (LOG\_vo) et les voyelles nasales (LOG\_vn) par les apprenants colombiens et espagnols, et les natifs du français. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart-type.

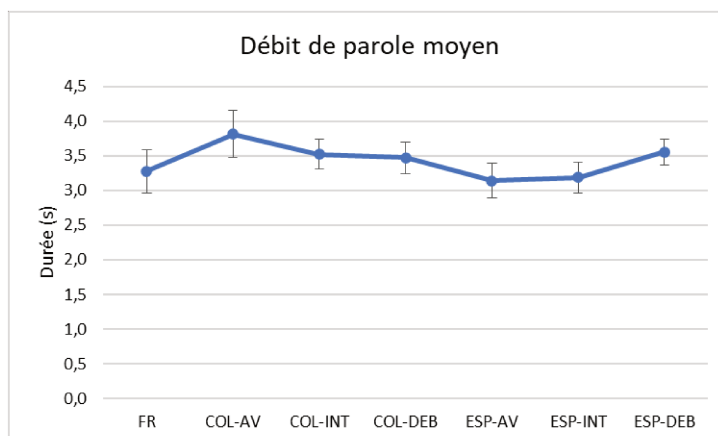
De la même façon, la durée moyenne des voyelles orales est de 107 ms chez les natifs, entre 106 et 114 ms chez les apprenants espagnols, et un peu plus chez les apprenants

colombiens, entre 118 et 129 ms. Certes, ces derniers apprenants ont produit des hésitations au tout début des répétitions, notamment les débutants, car ils devaient prononcer des items qu'ils n'avaient pas l'habitude de lire. Mais les valeurs de durée moyenne sont globalement semblables entre les trois groupes de sujets. La différence est plus importante pour la production des voyelles nasales, car les hispanophones ont des valeurs plus élevées de durée que les natifs du français : pour natifs du français, la durée moyenne des voyelles nasales est 135 ms ; pour les apprenants colombiens, elle est entre 218 et 223 ms ; et pour les apprenants espagnols, entre 186 et 212 ms.

Concernant le débit d'élocution, il faut rappeler que nos sujets ont reçu la même consigne de lire les phrases cadre à une vitesse constante pendant tout l'enregistrement. Un facteur pouvant faire varier le débit est une différence de longueur pour les énoncés, mais notre corpus comporte 18 phrases de la même longueur. En effet, chaque phrase a 11 syllabes : exemple, « *Vous dites acasse et vous dites ancasse six fois* ». Les variations de débit peuvent avoir lieu, comme nous l'avons mentionné plus haut, lors des productions des apprenants de niveau débutant car ils peuvent hésiter par rapport à la prononciation d'un logatome. Il peut y avoir des mots du français représentant des difficultés de prononciation pour un apprenant débutant, étant donné une expérience d'apprentissage assez faible, et encore plus face à des mots inexistantes en français qu'il doit prononcer à *la française* pour notre étude.

Pour vérifier que le débit demeure constant dans tout notre corpus, nous avons calculé le débit moyen des phrases produites par tous les sujets. La Figure 70 illustre la variation de débit en fonction du groupe contrôle et du niveau de français pour les apprenants. Ces résultats montrent une légère augmentation du débit chez les apprenants colombiens, notamment ceux de niveau avancé (3.8 s), par rapport aux natifs du français (3.3 s), alors que les apprenants espagnols ont un débit très proche de celui des natifs (pour les niveaux avancé et intermédiaire, 3.1 et 3.2 s, respectivement) sauf les apprenants de niveau débutant (3.6 s). Avec le tableau présenté dans la page précédente (Tableau 42), à propos de la durée moyenne des voyelles et des logatomes, nous avons remarqué que la différence de durée concernait plutôt la production des voyelles nasales entre les apprenants hispanophones et les natifs, alors que la durée des voyelles orales présentaient peu de différence entre apprenants et natifs. Nous nous attendions à cette différence, car une de nos hypothèses concerne la *consonantisation* des voyelles nasales par les hispanophones. Or, seuls les avancés colombiens semblent présenter une influence de leur débit sur la durée des voyelles orales (129 ms), les apprenants espagnols de niveau débutant ont une durée moyenne à peu près similaire que celle des natifs (106 et 107 ms, respectivement). Cependant, l'intérêt de notre recherche porte sur le rapport de production entre voyelles orales et

nasales et entre les voyelles nasales elles-mêmes par les hispanophones, et les variations de débit ont relativement peu d'influence sur la durée des voyelles-cibles des apprenants, au moins pour la majorité des sujets.



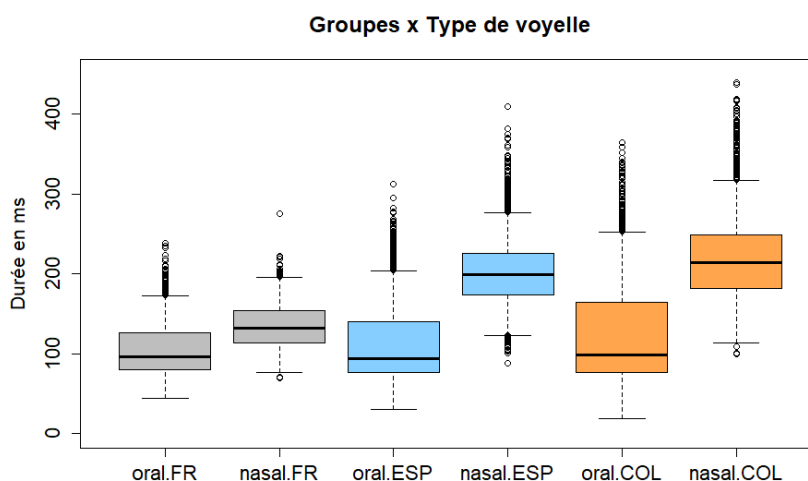
**Figure 70.** Durée moyenne des phrases produites par tous les sujets (Français, Colombiens, Espagnols) les apprenants sont regroupés par niveau. Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type.

Pour les analyses statistiques des données, nous avons ajusté aux données un modèle linéaire mixte généralisé sous R (R Core team, 2016) pour traiter nos données de production des voyelles orales et nasales. Les analyses réalisées montrent la significativité des effets fixes suivants sur la durée et le ratio de nasalité des voyelles : Groupe de sujets (Colombiens, Espagnols, et Français), Type de voyelle (Nasales vs Orales), Voyelle (/ã/, /ẽ/, /õ/, /a/, /ɛ/, /o/), Position (#\_CVC, C\_CVC, CVC\_#), Niveau de français (débutants, intermédiaires, avancés), et Répétition ; les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Répétitions. La valeur prédictive de chaque effet a été évaluée en comparant modèle complet et modèle amputé de l'effet examiné sur les estimations de maximum de vraisemblance. Nous n'analysons pas le contexte phonétique des voyelles car il n'est pas systématique pour toutes les voyelles ; il est spécifique pour chaque paire oral vs. nasal.

L'effet Répétition n'est pas significatif ( $\chi^2(2)=(5)=0.687, p=.984$ ), suggérant qu'il n'y a pas de variation de durée entre les différentes répétitions que réalisent les sujets. N'obtenant pas d'influence de cet effet sur la durée des voyelles, nous ne discuterons plus de cet effet.

**Groupe de sujets et Type de voyelle (nasal vs. oral) :** La Figure 71 montre que la durée des voyelles nasales est plus importante que la durée des voyelles orales dans les trois groupes

( $p < .001$ ). De plus, les apprenants hispanophones ont une durée moyenne des voyelles nasales plus élevée que celle des natifs du français ( $p < .001$ ), et le groupe colombien produit des voyelles encore plus longues que le groupe espagnol ( $p < .05$ ).



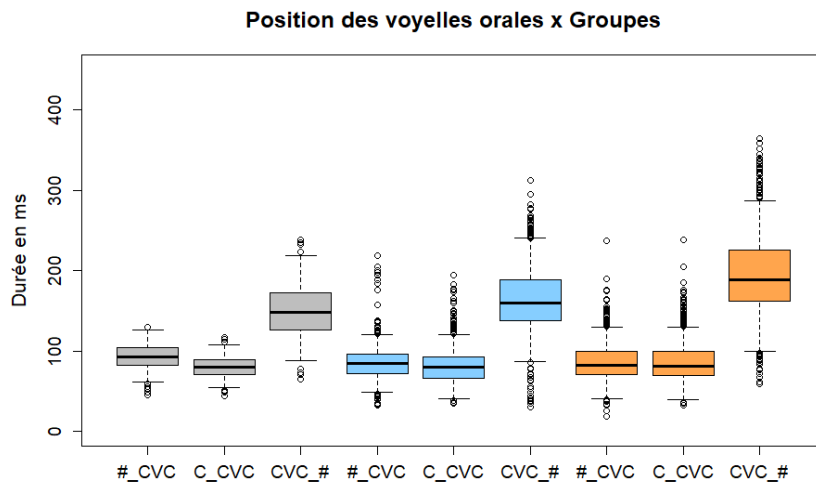
**Figure 71.** Durée moyenne (ms) des voyelles orales vs. nasales produites par les natifs du français (FR) ( $n=1260$ ), les apprenants espagnols (ESP) ( $n=5763$ ) et les apprenants colombiens (COL) ( $n=4859$ ).

Autant les effets fixes Groupe que Type sont significatifs ( $\chi^2(2)=(2)24.61$ ,  $p < .001$ ) ( $\chi^2(2)=(1)=7579.7$ ,  $p < .001$ ), respectivement. En outre, il y a une interaction Groupe x Type ( $\chi^2(2)=(5)=8211.9$ ,  $p < .001$ ), confirmant l'effet de Groupe selon le Type de voyelles. Les voyelles nasales étant significativement plus longues que les voyelles orales, la durée moyenne chez les Français est  $135 > 107$  ms ; chez les Espagnols, elle est  $202 > 110$  ms ; et chez les Colombiens,  $220 > 122$  ms.

**Position :** Ce facteur a un effet significatif ( $\chi^2(2)=(2)=2450.9$ ,  $p < .001$ ), ce qui suggère que les voyelles ont des durées différentes selon leur position. De plus, l'interaction Groupe x Position est également significative ( $\chi^2(2)=(8)=947.47$ ,  $p < .001$ ), suggérant que Position a un effet différent dans les trois groupes de sujets ( $p < .001$ ). Autant les voyelles orales que les voyelles nasales sont significativement plus longues en position finale, et significativement plus courtes en position initiale post-consonantique ( $p < .001$ ). Dans la Figure 72, pour les natifs du français, la durée moyenne des voyelles orales est  $80 < 93 < 150$  ms dans l'ordre C\_CVC < #\_CVC < CVC\_#. Pour les Espagnols, la durée moyenne, selon la position, est  $81 < 85 < 164$  ms, respectivement. Enfin, seulement pour les Colombiens, l'effet est aussi significatif entre la position initiale absolue et la position finale ( $p < .001$ ), ainsi qu'entre la position initiale post-

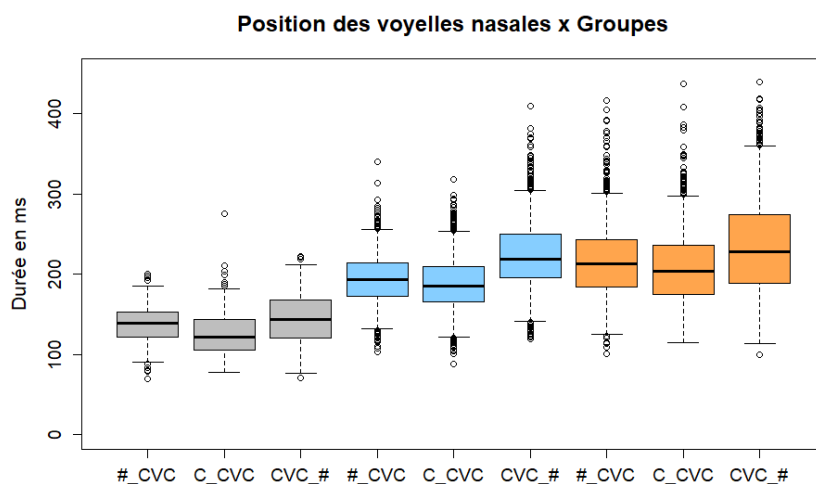


consonantique et la position finale ( $p < .001$ ), sauf entre les deux positions initiales ( $p = .647$ ). La durée moyenne des voyelles est  $86 \approx 87 < 195$  ms, dans le même ordre.



**Figure 72.** Durée moyenne (ms) des voyelles orales produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu), et les apprenants colombiens (orange) selon la position, #\_CVC, C\_CVC, CVC\_#.

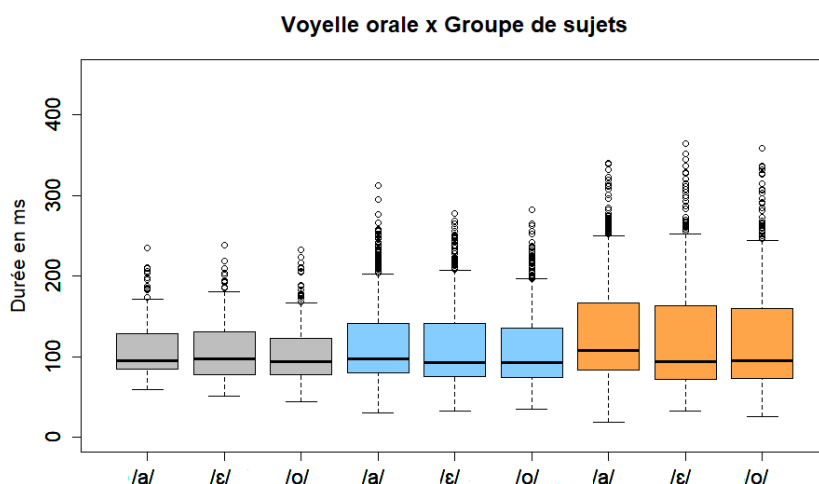
La Figure 73 montre l'interaction Position x Groupe de sujets pour les voyelles nasales. L'ordre de la position ayant un effet significatif sur la durée des voyelles nasales, est le même que pour les voyelles orales :  $C\_CVC < \#\_CVC < CVC\_#$ . Pour les natifs du français, la durée moyenne est respectivement,  $125 < 137 < 144$  ms ; pour les Espagnols,  $188 < 194 < 225$  ms ; et pour les Colombiens,  $210 < 216 < 235$  ms.



**Figure 73.** Durée moyenne (ms) des voyelles nasales produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu), et les apprenants colombiens (orange) selon la position, #\_CVC, C\_CVC, CVC\_#.

**Voyelle :** Ayant observé qu'il y a une différence significative de durée entre les voyelles orales et les voyelles nasales, nous présentons des résultats statistiques concernant, d'une part, l'effet Voyelle orale, et d'autre part, l'effet Voyelle nasale. Les résultats pour l'effet Voyelle orale montrent qu'il est significatif ( $\chi^2(2)=(2)=25.919, p<.001$ ), ce qui permet de supposer qu'il y a des voyelles orales ayant une durée plus importante que d'autres. L'interaction *Groupe x Voyelle orale* est significative ( $\chi^2(2)=(8)=39.82, p<.001$ ), suggérant que l'effet Voyelle orale diffère selon les groupes. La Figure 74 résume l'interaction Groupe de sujets x Voyelle orale.

Assurément, pour les apprenants colombiens, il existe des différences significatives entre /a/ et /ε/ (130 > 120 ms), et entre /a/ et /o/ (130 > 118 ms, 001), mais non pas entre /ε/ et /o/ (120 ≈ 118 ms,  $p=.531$ ). Pour les apprenants espagnols, la seule différence significative se trouve entre /a/ et /o/ (113 > 108 ms,  $p<.01$ ), mais il n'y a pas de différences significatives entre /a/ et /ε/ (113 ≈ 110 ms,  $p=.112$ ), et entre /ε/ et /o/ (110 ≈ 108 ms,  $p=.322$ ). Enfin, pour les natifs du français l'effet *Voyelle orale* n'est pas significatif ( $p=.678$ ).

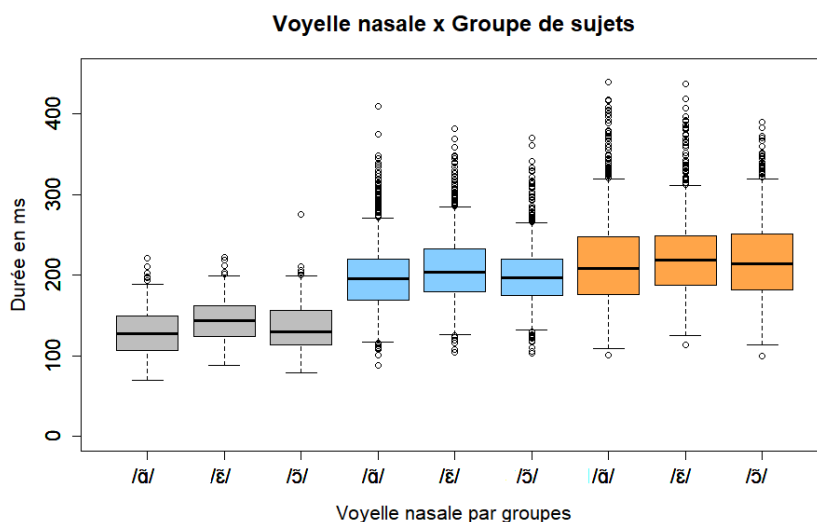


**Figure 74.** Durée moyenne (ms) des voyelles orales, /a, ε, o/, produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu) et les apprenants colombiens (orange).

D'autre part, l'effet Voyelle nasale est également significatif ( $\chi^2(2)=(2)=59.936, p<.001$ ), et l'interaction *Groupe x Voyelle nasale* est aussi significative ( $\chi^2(2)=(8)=101.52, p<.001$ ), suggérant qu'il y a des différences de durées entre les voyelles selon les groupes de sujets.

En effet, comme le montre la Figure 75, pour les natifs du français, /ẽ/ est la voyelle la plus longue par rapport aux autres voyelles nasales ( $ps<.001$ ), suivi de /õ/, et enfin /ã/ : la durée moyenne des voyelles nasales est, respectivement, de 143 > 135 > 128 ms. Pour les apprenants hispanophones, /ẽ/ est aussi la voyelle nasale statistiquement la plus longue en comparaison de

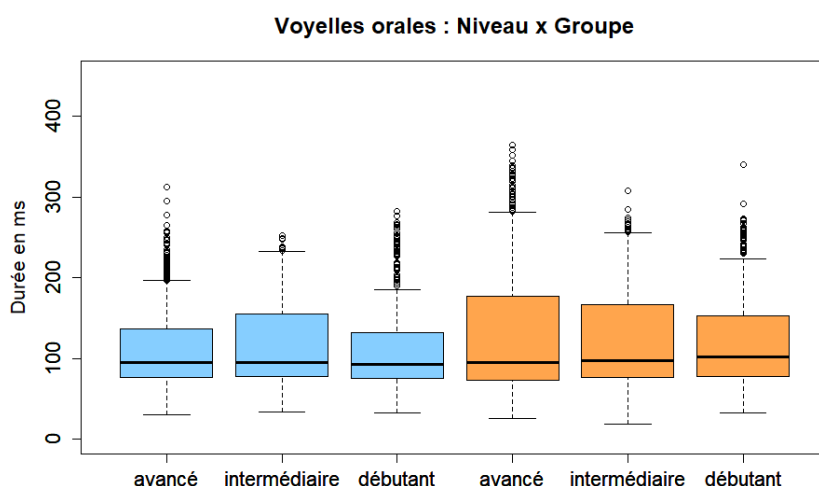
/ã/ ( $ps < .01$ ), et de /ẽ/ ( $ps < .05$ ) : pour les apprenants espagnols, la durée moyenne des voyelles est, respectivement pour /ẽ/ > /õ/  $\approx$  /ã/,  $208 > 200 \approx 198$  ms ; et pour les apprenants colombiens, la durée moyenne est  $224 > 219 \approx 218$  ms.



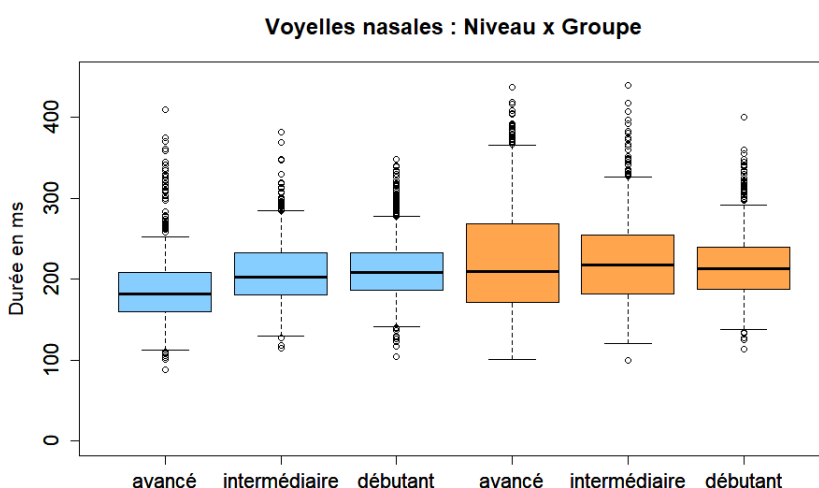
**Figure 75.** Durée moyenne (ms) des voyelles nasales, /ã, ẽ, õ/, produites par les natifs du français (gris), les apprenants espagnols (bleu) et les apprenants colombiens (orange).

Nous présentons maintenant les résultats statistiques de la durée des voyelles selon le niveau de français des apprenants espagnols et colombiens.

**Niveau de français :** Niveau n'a pas d'effet significatif ( $\chi^2(2) = 0.433, p = .805$ ), suggérant que l'expérience d'apprentissage n'a aucune influence sur la durée des voyelles orales et nasales. Les Figures 76 et 77 montrent, respectivement, la durée moyenne des voyelles orales et des voyelles nasales pour les apprenants hispanophones en fonction de leur niveau : pour les Espagnols, la durée moyenne des voyelles du niveau avancé à débutant est 110, 114, 106 ms, et pour les Colombiens, de 129, 121, et 118 ms. Concernant les voyelles nasales, du niveau avancé à débutant, la durée moyenne pour les Espagnols est 186, 208, 212 ms, et pour les Colombiens, 222, 223, 218 ms.



**Figure 76.** Durée moyenne (ms) des voyelles orales (/a, ε, o/), toutes voyelles confondues, produites par les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) selon leur niveau de français : avancé, intermédiaire, débutant.



**Figure 77.** Durée moyenne (ms) de voyelles nasales /ã, ã, õ/, toutes voyelles confondues, produites par les apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) selon leur niveau de français : avancé, intermédiaire, débutant.

En résumé, les hispanophones réalisent les voyelles orales et nasales plus longues que les locuteurs natifs, notamment les colombiens. Pour les trois groupes, la distinction entre orales et nasales est significative, de même que /ẽ/ est la plus longue par rapport aux autres voyelles nasales. Également pour les trois groupes, il y a une influence de la position des voyelles dans le logatome. L'ordre d'une durée plus importante à moins importante CVC\_# > #\_CVC > C\_CVC.

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats de la proportion de nasalité des voyelles nasales et orales par tous les sujets, natifs du français et apprenants espagnols et colombiens.

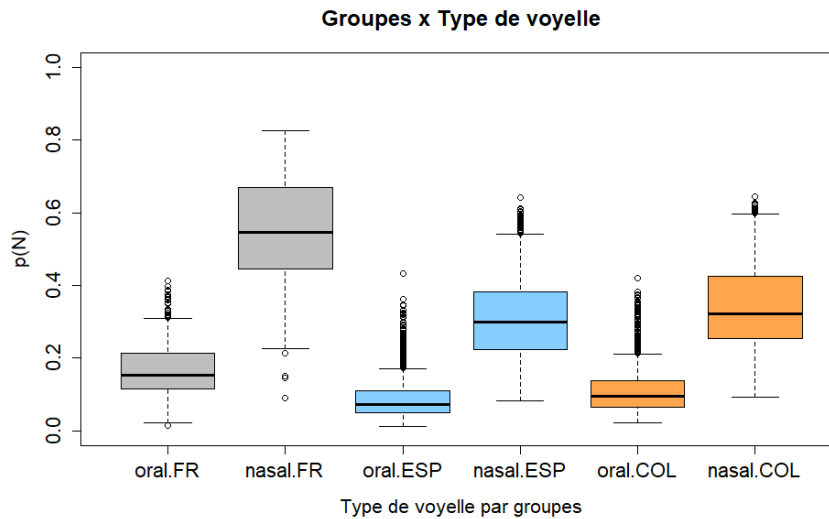
#### 8.4.2 Mesure de proportion de nasalité des voyelles orales et nasales :

$$p(N)$$

Nous avons ajusté un modèle linéaire généralisé sous R (R Core team, 2016) pour traiter les analyses statistiques de données de production, spécifiquement sur l'indice de nasalité des voyelles orales et des voyelles nasales produites par nos sujets, que nous appelons  $p(N)$ , –pour rappel,  $p(N) = \text{rmsN} / (\text{rmsN} + \text{rmsO})$ –, c'est-à-dire proportion de nasalité. Les analyses réalisées montrent la significativité des effets suivants : Groupe (Colombien, Espagnol, Français, Type de voyelle (Oral vs. Nasal), Position (#\_CVC, C\_CVC, CVC\_#), Niveau de français (débutants, intermédiaires, avancés), et Répétition ; les effets aléatoires sont les intercepts pour les Sujets et les Répétitions. La valeur prédictive de chaque effet a été évaluée en comparant modèle complet et modèle amputé de l'effet examiné sur les estimations de maximum de vraisemblance.

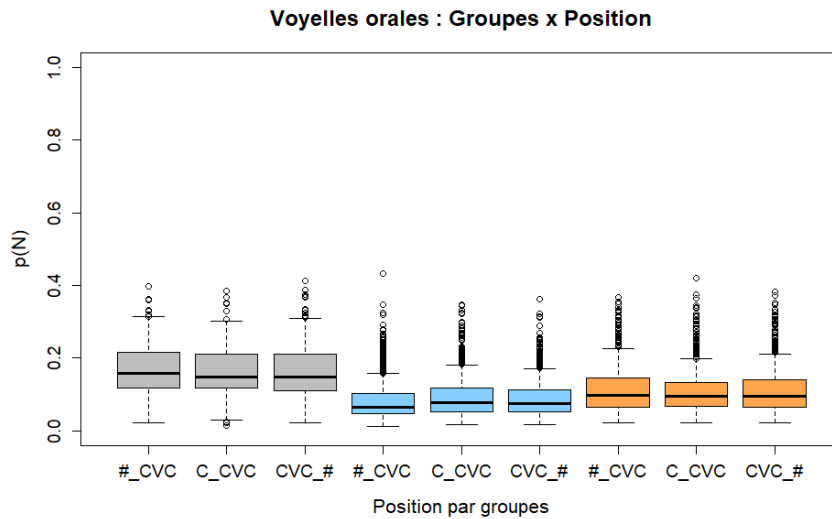
L'effet Répétition n'est pas significatif ( $\chi^2(2)=5=3.438$ ,  $p=.633$ ) :  $p(N)$  ne varie pas significativement à travers les répétitions. Nous ne discuterons plus ce facteur par la suite.

**Groupe et Type de Voyelle (Oral vs. Nasal) :** Les résultats montrent que l'effet Groupe est significatif ( $\chi^2(2)=28.058$ ,  $p<.001$ ), suggérant que  $p(N)$  diffère selon les groupes. En effet, la différence entre le groupe de natifs du français et les groupes d'apprenants espagnols et colombiens est significative ( $p<.001$ ), mais il n'y a pas de différence entre les deux groupes d'apprenants ( $p=.146$ ). La  $p(N)$  moyenne de toutes les voyelles pour les Français est de 0.36, alors qu'elle est de 0.20 pour les Espagnols, et 0.23 pour les Colombiens. Par ailleurs, l'effet Type de voyelle est aussi significatif ( $\chi^2(2)=17245$ ,  $p<.001$ ), ce qui est attendu pour la distinction concernant le taux de nasalité entre les voyelles orales et nasales : en moyenne, tous les groupes confondus, la  $p(N)$  pour les voyelles orales est de 0.10 alors que pour les nasales elle est de 0.35. Par ailleurs, l'interaction Groupe x Type de voyelle est significative ( $\chi^2(2)=5=19141$ ,  $p<.001$ ), comme le montre la Figure 78. L'effet du Type de voyelle, nasal vs. oral, diffère selon le Groupe : en effet, il est plus fort pour les sujets français que pour les apprenants ; autrement dit la distinction oral-nasal est moins tranchée pour les apprenants.

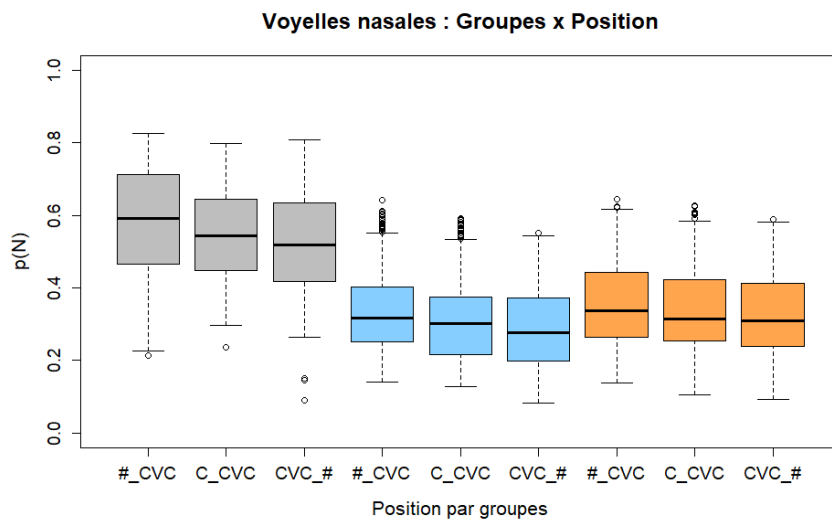


**Figure 78.** Interaction Groupe x Type de voyelle pour p(N) : sujets français (gris), espagnols (bleu) et colombiens (orange).

**Position :** L'effet est globalement significatif ( $\chi^2(2)=31.798, p<.001$ ). Cependant, l'interaction Position x Type de voyelle est significative ( $\chi^2(2)=(5)=17576, p<.001$ ), suggérant que l'effet de Position diffère selon le Type de voyelle. En effet, il est significatif pour les voyelles nasales, ( $p<.001$ ), mais pas pour les voyelles orales ( $p=.074$ ), comme le montrent les Figures 79 et 80 : globalement, p(N) diminue significativement de la position initiale absolue (#\_CVC) à la position finale (CVC\_#), tous sujets confondus, ( $ps<.001$ ) ; l'ordre est #\_CVC > C\_CVC > CVC\_#. Pour les Français, la p(N) moyenne des voyelles nasales est  $0.58 > 0.56 > 0.53$ , respectivement, alors que la p(N) moyenne des voyelles orales ne varie pas significativement (0.17, 0.16, 0.16,  $p=.639$ ). Pour les Colombiens, toujours dans le même ordre des positions, la p(N) moyenne des voyelles nasales est  $0.35 > 0.34 > 0.33$ , et la p(N) moyenne des voyelles orales est la même pour les trois positions (0.11,  $p=.221$ ). Enfin, pour les Espagnols, respectivement aussi pour les voyelles nasales, la p(N) moyenne est  $0.33 > 0.31 > 0.29$ , et étonnamment la p(N) des voyelles orales diffère selon la position : entre #\_CVC vs C\_CVC ( $0.082 < .090$ ), et entre #\_CVC vs CVC\_# ( $0.082 < 0.088$ ) ( $ps<.001$ ), et entre C\_CVC vs CVC\_# ( $p<.05$ ), l'ordre de la p(N) la plus importante à la moins importante est C\_CVC > CVC\_# > #\_CVC.



**Figure 79.** Interaction Groupe x Position (voyelles orales). (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens).



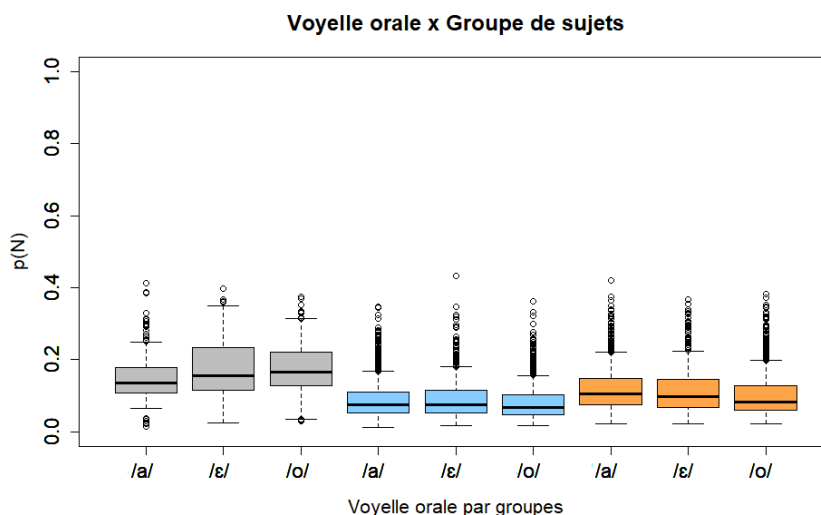
**Figure 80.** Interaction Groupe x Position (voyelles nasales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens).

Étant données les différences de p(N) entre les voyelles orales et les voyelles nasales, nous présentons dans ce qui suit l'effet du facteur Voyelle séparément pour les voyelles orales et nasales.

**Voyelles orales :** L'effet de Voyelle est significatif ( $\chi^2(2)=(2)=43.349, p<.001$ ), ce qui suggère qu'il y a des différences de p(N) entre voyelles orales. De plus, l'interaction Groupe x Voyelle est significative ( $\chi^2(2)=(8)=149.02, p<.001$ ), suggérant que l'effet de Voyelle diffère selon les groupes. En effet, dans le groupe français, les différences de p(N) entre /a/ et /ɛ/, et /a/ et /o/ ( $0.15 < 0.17$ , pour les deux paires) sont significatives ( $ps<.001$ ), mais il n'y a pas de différence

entre /ɛ/ et /o/ ( $p=.318$ ). Dans le groupe espagnol, les différences de p(N) entre /a/ et /o/ ainsi qu'entre /ɛ/ et /o/ ( $0.09 > 0.08$  pour les deux paires) sont significatives ( $ps<.001$ ), mais pas entre /a/ et /ɛ/ ( $p=.917$ ). Enfin, dans le groupe colombien, les différences de p(N) entre les voyelles sont toutes significatives ( $ps<.05$ ) : entre /a/ et /ɛ/ ( $0.12 > 0.11$ ), entre /a/ et /o/ ( $0.12 > 0.10$ ) et entre /ɛ/ et /o/.

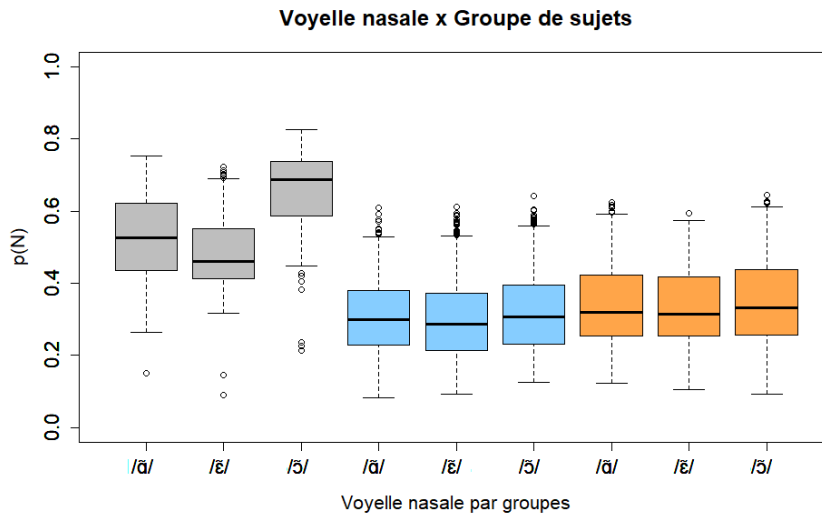
La Figure 81 résume l'interaction *Groupe x Voyelle* pour la p(N) des voyelles orales.



**Figure 81.** Interaction Groupe x Voyelle (voyelles orales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens).

**Voyelles nasales :** L'effet de Voyelle est significatif ( $\chi^2(2)=(2)=483,44, p<.001$ ), indiquant qu'il y a des différences de p(N) entre les voyelles nasales. En effet, les différences de p(N) entre les voyelles nasales sont toutes significatives pour les trois groupes ( $ps<.001$ ). La p(N) de /ɔ̃/ est la plus élevée, (en moyenne, 0.37), et la p(N) de /ẽ/ est la plus basse (en moyenne, 0.33). Il y a une progression de p(N) dans les trois groupes de sujets dans l'ordre /ɔ̃/ > /ã/ > /ẽ/. Spécifiquement, pour le groupe contrôle, la p(N) de /ɔ̃/ correspond à 0.66, celui de /ã/ est de 0.52, et celui de /ẽ/ est de 0.48 ; pour le groupe espagnol, dans le même ordre que pour les Français, la p(N) des voyelles nasales est de 0.32, 0.31, 0.30 ; et pour le groupe colombien, toujours dans le même ordre, la p(N) est 0.35, 0.34, 0.33. La Figure 82 montre l'effet *Voyelle nasale* sur le p(N) selon les groupes de sujets.



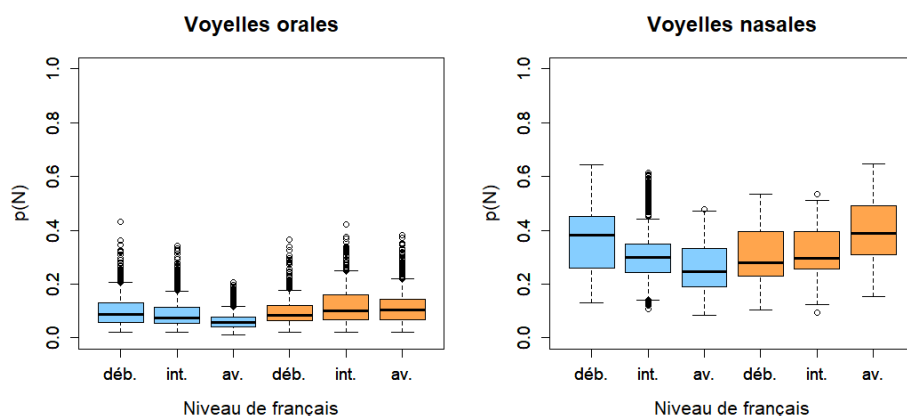


**Figure 82.** Interaction Groupe x Voyelle (voyelles nasales) (gris : Français ; bleu : Espagnols ; orange : Colombiens).

Comme l'effet Niveau de français est restreint aux apprenants espagnols et colombiens, nous présentons dans ce qui suit les résultats concernant cet effet pour les seuls apprenants.

**Niveau :** Cet effet n'est pas significatif ( $\chi^2(2)=2=0.425$ ,  $p=.809$ ), ce qui suggère que la p(N) des voyelles orales et nasales ne varie pas en fonction du niveau de français. Malgré les différences non significatives entre les niveaux, la Figure 83 montre que la p(N) des voyelles nasales diminue du niveau débutant au niveau avancé dans le groupe espagnol, du moins numériquement ( $p=.076$ ), alors que dans le groupe colombien, pour la p(N) des voyelles nasales aussi, il y a une légère augmentation ( $p=.148$ ).

Pour le groupe espagnol, la p(N) des voyelles orales est, du niveau débutant au niveau avancé, de 0.10, 0.09, et 0.07, et la p(N) des voyelles nasales, dans le même ordre des niveaux, 0.36, 0.31, et 0.26. Pour le groupe colombien, la p(N) des voyelles orales est de 0.10, 0.11, et 0.12, et la p(N) des voyelles nasales est de 0.31, 0.32, et 0.40.



**Figure 83.** Description de  $p(N)$  des voyelles orales (gauche) et nasales (droite), toutes voyelles confondues, selon le niveau des apprenants espagnols (bleu) et colombiens (orange) : débutants, intermédiaires, avancés.

En résumé, la mesure de  $p(N)$  a été utilisée pour rendre compte de l'indice de nasalité des voyelles orales et nasales chez les locuteurs natifs du français et les apprenants espagnols et colombiens. Les résultats montrent que la  $p(N)$  est plus grande pour les voyelles nasales que les orales. Elle est également plus importante pour les voyelles nasales chez les natifs du français que pour les apprenants, et il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes d'apprenants, ni entre leur niveau de français. La position dans le logatome a une influence sur la  $p(N)$  : elle est plus importante en position initiale absolue qu'en positions initiale post-consonantique et finale. Par rapport aux voyelles, les résultats pour les voyelles orales sont inattendus : la  $p(N)$  est différente selon les voyelles chez les natifs du français,  $/\epsilon/ = /o/ > /a/$  ; chez les Espagnols,  $/a/ = /\epsilon/ > /o/$  ; et chez les Colombiens  $/a/ > /\epsilon/ > /o/$ . Enfin, pour les nasales, les différences sont les mêmes dans les trois groupes :  $/\tilde{\sigma}/ > /\tilde{\alpha}/ > /\tilde{\epsilon}/$ .

Dans la section suivante, nous présentons les résultats de la progression de la  $p(N)$  des voyelles nasales en trois points différents de la voyelle : au début, au milieu, et à la fin, et ceci en fonction de la position dans le logatome ( $\#\_CVC$ ,  $C\_CVC$ ,  $CVC\_ \#$ ).

### 8.4.3 *Décours temporel de la $p(N)$*

Dans la partie précédente, les résultats ont montré que la mesure de  $p(N)$  dépend du groupe de locuteurs, elle est plus élevée pour les locuteurs français que pour les apprenants hispanophones. Pour les trois groupes, la  $p(N)$  est plus grande en position initiale absolue qu'en position post-consonantique et encore plus qu'en position finale. La voyelle ayant la  $p(N)$  la plus élevée est  $/\tilde{\sigma}/$ , suivie de  $/\tilde{\alpha}/$ , et enfin de  $/\tilde{\epsilon}/$ . Dans cette section, nous présentons les résultats du

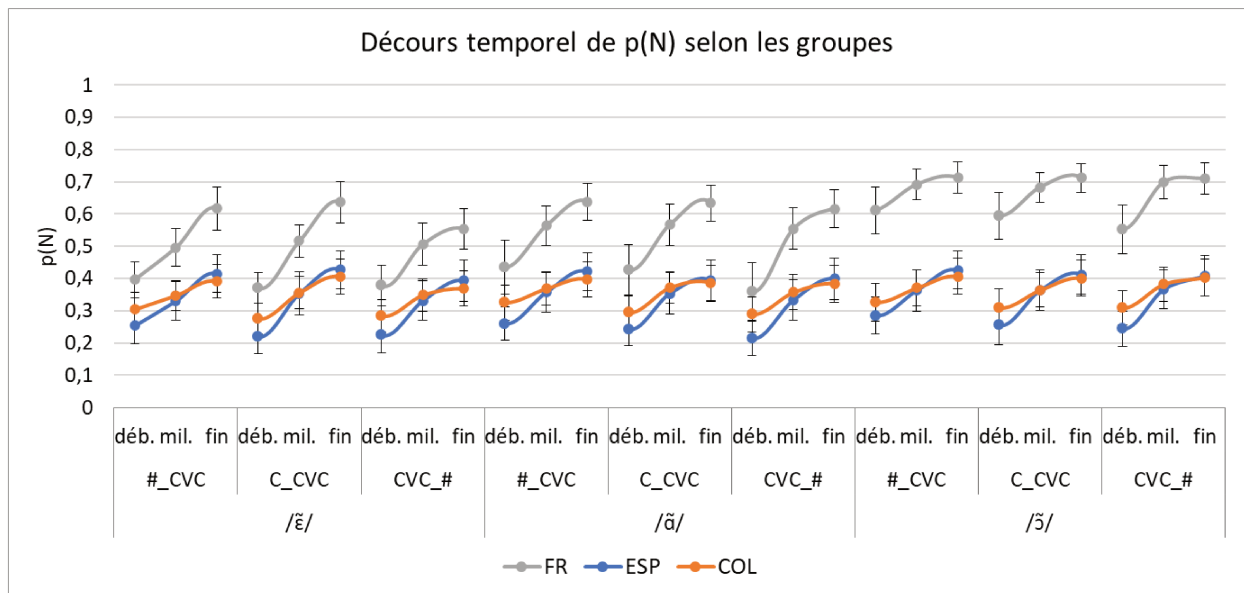
décours temporel de la p(N) dans les voyelles nasales sur trois points : début, milieu, et fin. Cette progression est aussi décrite en fonction de la position dans le logatome : position initiale absolue (#\_CVC), position post-consonantique (C\_CVC), et position finale (CVC\_#).

Rappelons que nous avons observé un effet de position : les voyelles sont plus nasales en position initiale absolue, suivie de la position initiale post-consonantique, et enfin de la position finale. Ceci vaut pour les locuteurs natifs du français ( $p(N) = 0.58 > 0.56 > 0.53$ ) comme pour les locuteurs hispanophones ( $0.33 > 0.31 > 0.29$  pour les espagnols et  $0.35 > 0.34 > 0.33$ , pour les colombiens).

La Figure 84 montre l'évolution temporelle de la p(N) dans les trois voyelles nasales, / $\tilde{e}$ /, / $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ /, chez les locuteurs français (gris), les apprenants espagnols (bleu) et les apprenants colombiens (orange). Les résultats montrent que la variation de p(N) est plus importante pour les natifs du français que pour les apprenants, notamment pour / $\tilde{e}$ / et / $\tilde{a}$ / : la p(N) augmente d'environ 0.2 entre le début et la fin de ces deux voyelles dans les deux positions initiales : pour / $\tilde{e}$ /, la p(N) augmente de 0.40 à 0.62 en position initiale absolue, et de 0.37 à 0.64 en position initiale post-consonantique ; la p(N) de / $\tilde{a}$ / augmente de 0.43 à 0.64, et de 0.43 à 0.63, respectivement, dans ces deux positions.

En position finale aussi, la variation de p(N) pour / $\tilde{e}$ / et / $\tilde{a}$ / est plus importante pour les locuteurs français que pour les locuteurs espagnols et colombiens, mais elle est différente pour ces deux voyelles : pour / $\tilde{e}$ /, l'effet de position réduit l'augmentation de la p(N) (de 0.38 à 0.55), alors que pour / $\tilde{a}$ /, malgré l'effet de position, la p(N) augmente de presque 0.3 (de 0.36 à 0.62). Ceci est en accord avec les résultats précédents montrant que / $\tilde{a}$ / est plus nasale que / $\tilde{e}$ / (p(N) de 0.52 vs. 0.48 en moyenne) ; cette différence est observée dans les trois positions de logatome et de plus, l'augmentation de la p(N) pour / $\tilde{a}$ / est considérable en position finale.

Quant à / $\tilde{o}$ /, la p(N) est globalement plus élevée que pour / $\tilde{e}$ / et / $\tilde{a}$ / chez les locuteurs français (0.66 vs. 0.50) ; ceci explique peut-être la plus faible variation de p(N) pour / $\tilde{o}$ / entre le début et la fin de la voyelle : la marge de manœuvre pour l'augmentation est plus faible et les valeurs de p(N) semblent plafonner vers 0.7.



**Figure 84.** Décours temporel de p(N) pour les voyelles nasales (début, milieu, fin) en fonction de trois positions dans le logatome (#\_CVC, C\_CVC, CVC\_#) pour les locuteurs français (gris), espagnols (bleu) et colombiens (orange). Les barres d'erreurs indiquent l'erreur-type.

Concernant les apprenants espagnols, la p(N) de /ɛ̃/ est plus importante en position initiale absolue (0.33 vs. 0.31 et 0.28, pour C\_CVC et CVC\_#, respectivement), mais la variation de p(N) entre le début et la fin de la voyelle est la plus grande en position initiale post-consonantique : de 0.22 à 0.43, contre 0.25 à 0.41 en position initiale absolue et 0.22 à 0.39 en position finale. Un pattern similaire est trouvé pour les apprenants colombiens : la p(N) passe de 0.28, à 0.41 en position initiale post-consonantique, contre 0.30 à 0.39 et 0.28 à 0.37 en position initiale absolue et finale, respectivement.

Pour /ã/, l'augmentation de p(N) est la plus importante en position finale, suivie des positions initiales. Pour les apprenants espagnols : de 0.21 à 0.40 en position finale, de 0.26 à 0.42 en position initiale absolue, et de 0.24 à 0.39 en position initiale post-consonantique. Pour les apprenants colombiens : 0.29 à 0.39 en position finale, de 0.29, 0.37 en position initiale absolue, et 0.32 à 0.40 en position initiale post-consonantique.

Pour /ɔ̃/, la variation de p(N) du début à la fin de la voyelle est la plus importante en position finale chez les apprenants espagnols, de 0.24 à 0.41, alors qu'en position initiale absolue elle est moins accentuée, de 0.29 à 0.43, et encore moins en position initiale post-consonantique, de 0.25 à 0.41. En revanche, pour les apprenants colombiens, la p(N) augmente avec la même variation en position initiale post-consonantique et en position finale, de 0.31 à 0.40, et elle est plus faible en position initiale absolue, de 0.33 à 0.41.

En résumé, l'évolution de la p(N) diffère selon les groupes de sujets, notamment entre les natifs du français et les apprenants hispanophones, l'augmentation de la p(N) étant plus importante chez les natifs. Quant aux apprenants, la variation de la p(N) est plus forte chez les espagnols que les colombiens. De plus, chez les apprenants espagnols le décours temporel de la p(N) est différent pour chacune des trois voyelles nasales : plus important pour /ẽ/ notamment dans les positions initiales, alors que pour /ã/ et /õ/ la variation est plus grande en position finale.

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats des analyses formantiques au début des voyelles nasales afin de caractériser acoustiquement les voyelles orales « sous-jacentes ».

#### 8.4.4 *Voyelles orales « sous-jacentes » au début des voyelles nasales*

Dans le but de spécifier l'articulation orale des voyelles nasales produites par les apprenants hispanophones, nous adaptons une mesure acoustique des formants de ces voyelles d'après les travaux de [Montagu \(2004, 2007\)](#). Cette auteure a effectué une analyse acoustique dans la partie non nasalisée des voyelles nasales et des mesures temporelles du retard de nasalisation (NOT) au début des voyelles nasales du français. La mesure du NOT (Nasal (delayed) Onset Time), par analogie au VOT (Voice Onset Time) –durée entre le relâchement des consonnes occlusives et le début du voisement de la voyelles suivante– consiste à calculer la durée entre le début des vibrations de la voyelle nasale et les vibrations correspondantes au signal nasal. [Brichler-Labaeye \(1970\)](#) décrit image par image, avec des données cinéradiographiques, l'abaissement du voile du palais et montre qu'il y a un retard au début des voyelles nasales lorsqu'elles sont précédées de consonnes occlusives. La durée de ce retard est de 20 à 60 ms. Les résultats de la mesure du NOT ont montré que les consonnes occlusives ont un effet important sur le retard de la nasalisation des voyelles nasales, notamment les occlusives voisées (/b, d, g/). L'étude aérodynamique de [Amelot \(2004\)](#) a montré que le débit d'air nasal commence bien après le début acoustique de la voyelle nasale, dont le retard dépend de l'entourage consonantique : plus long pour les occlusives que pour les fricatives.

Il est clair que la complexité acoustique des voyelles nasales rend difficile la tâche d'analyse des formants au long du segment en raison du couplage de la cavité orale et la cavité nasale par l'abaissement du voile du palais. Cependant, comme l'explique [Montagu \(2007\)](#), le mécanisme d'articulation des voyelles nasales implique une mise en place plus rapide des articulateurs de la cavité orale (la langue, la mâchoire et les lèvres) que le voile du palais dont l'abaissement se produit avec un certain retard notamment lorsque les voyelles sont précédées par une consonne occlusive. Cette phase initiale de la voyelle nasale juste après le relâchement

de la consonne occlusive, où le voile du palais n'est pas encore abaissé, fait de la voyelle un début vocalique « non encore nasalisé », et, par conséquent, les modifications spectrales qui dérivent du couplage n'ont pas encore lieu. Ainsi, le début des voyelles nasales est considéré comme non nasalisé et permettrait d'observer l'articulation orale « sous-jacente » des voyelles nasales.

Nos résultats concernant la durée des voyelles nasales ont montré que les apprenants hispanophones produisent des voyelles plus longues que les natifs du français, notamment les colombiens. Ces résultats nous permettent de considérer un des critères de l'évaluation perceptive proposé par [Detey et al. \(2010\)](#) : le degré de *consonantisation* que produisent les apprenants hispanophones lors de la prononciation des voyelles nasales, c'est-à-dire la présence/absence d'une consonne nasale post-vocalique. Il s'agit d'une tâche d'évaluation réalisée par quatre experts natifs du français –spécialistes en phonétique et enseignants du FLE au Japon et en Suisse–, concernant la production des voyelles nasales du français par des apprenants japonophones et hispanophones, et consistant à évaluer le degré de consonantisation à l'aide d'une échelle allant de 1 (absence de consonne nasale) à 3 (présence nette d'une consonne nasale). Nous discuterons davantage nos résultats sur la durée des voyelles nasales à la fin de cette section.

Dans nos données de production, il est possible de parler d'un certain degré de consonantisation malgré le fait qu'il n'est pas évalué par des experts natifs. Seulement, la significativité de l'effet groupe, une longueur plus importante des voyelles nasales chez les hispanophones que les natifs du français, constitue un élément favorable à cette conclusion. Par conséquent, la réalisation des apprenants hispanophones permet aussi d'examiner le début de leurs voyelles nasales afin de caractériser des voyelles orales « sous-jacentes ».

#### 8.4.4.1 *Corpus analysé*

Afin d'adapter au mieux la mesure formantique proposée par Montagu, nous avons choisi toutes les données de production des apprenants espagnols et colombiens, ainsi que des locuteurs natifs du français, où la consonne précédant la voyelle nasale est l'occlusive non voisée /p/. En plus des voyelles nasales, nous avons inclus aussi les voyelles orales « correspondantes » qui faisaient partie de la tâche de lecture : voyelles nasales, /ẽ/, /ã/, et /õ/ ; voyelles orales, /ɛ/, /a/, et /o/. L'objectif de comparer les voyelles nasales avec les voyelles orales, est d'ordre méthodologique. Le nombre total des voyelles dans notre corpus avec le contexte consonantique de l'occlusive non voisée est de 3335, mais nous avons dû éliminer 252

voyelles / $\tilde{\text{o}}$ / pour lesquelles les valeurs calculées des formants F1 et F2 étaient manifestement erronées.

Les productions des voyelles nasales ont été examinées en fonction du Groupe de locuteurs (espagnol, colombien, français) ainsi que du niveau de français des apprenants. Dans le groupe espagnol, les productions correspondent à 9 sujets pour chaque niveau (débutant : 1 locuteur et 8 locutrices ; intermédiaire : 3 locuteurs et 6 locutrices ; avancé : 4 locuteurs et 5 locutrices). Dans le groupe colombien, on compte 8 sujets pour le niveau débutant (3 locuteurs et 5 locutrices) 8 pour le niveau intermédiaire (1 locuteur et 7 locutrices), et 7 apprenants pour le niveau avancé (2 locuteurs et 5 locutrices).

#### 8.4.4.2 *Valeurs formantiques*

Nous avons mesuré les valeurs des deux premiers formants F1 et F2 au “début” des voyelles nasales. Nous avons calculé les formants sur cinq points de la voyelle, du premier au dernier cinquième de sa durée, à l’aide d’un script<sup>24</sup> pour le logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2020) en vérifiant la courbe du RMS nasal et celle du RMS oral pour déterminer le moment où la voyelle commence à être nasale. Le premier point du segment est considéré comme le début de la voyelle nasale, c’est-à-dire la partie supposée orale où les modifications spectrales de nasalité ne sont pas encore apparues. La durée de la partie correspondant à ce premier point est en moyenne de 24 ms pour le groupe de natifs du français, 31 ms pour le groupe espagnol, et 34 ms pour le groupe colombien.

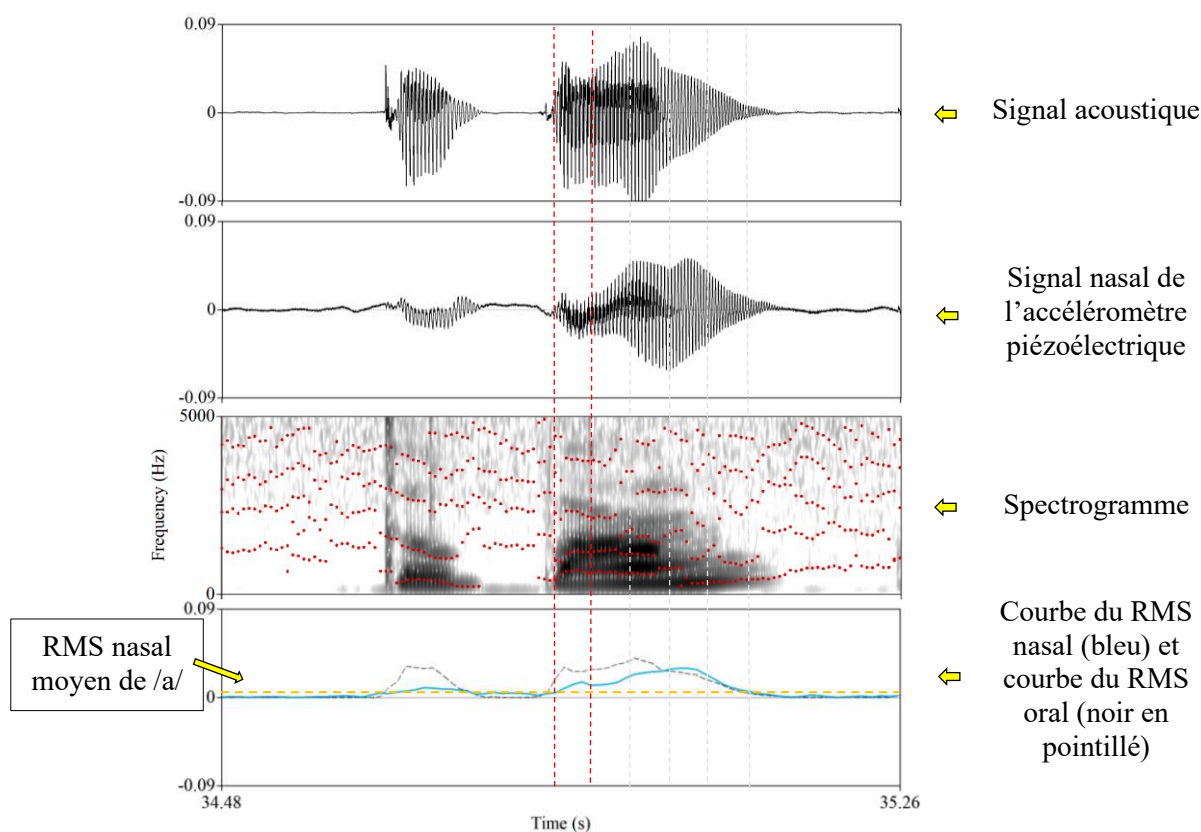
La Figure 85 montre la réalisation de / $\tilde{\text{a}}$ / en position finale par une apprenante espagnole de niveau débutant (LocESP-D7). La portion de signal correspondant au premier point (premier cinquième) est délimitée par des marques verticales rouges : la durée de la voyelle est de 220 ms, le premier cinquième est donc de 44 ms. La courbe du RMS nasal (ligne en bleu) monte légèrement sur le premier cinquième alors que la courbe du RMS oral (ligne en noir pointillé) est plus importante et tend à augmenter vers le troisième point. Ce n’est qu’à partir de la transition du deuxième au troisième cinquième (ou point) que la courbe du RMS nasal décolle clairement, signalant la partie nasale de / $\tilde{\text{a}}$ /. Pour le premier point, on observe que le RMS nasal est légèrement plus élevé pour / $\tilde{\text{a}}$ / que pour /a/ chez cette locutrice : le RMS nasal moyen de /a/ (0.0064) est indiqué par une ligne horizontale en jaune pointillé sur le panneau des RMS nasal et oral.

---

<sup>24</sup> Script conçu par Angélique Amelot.

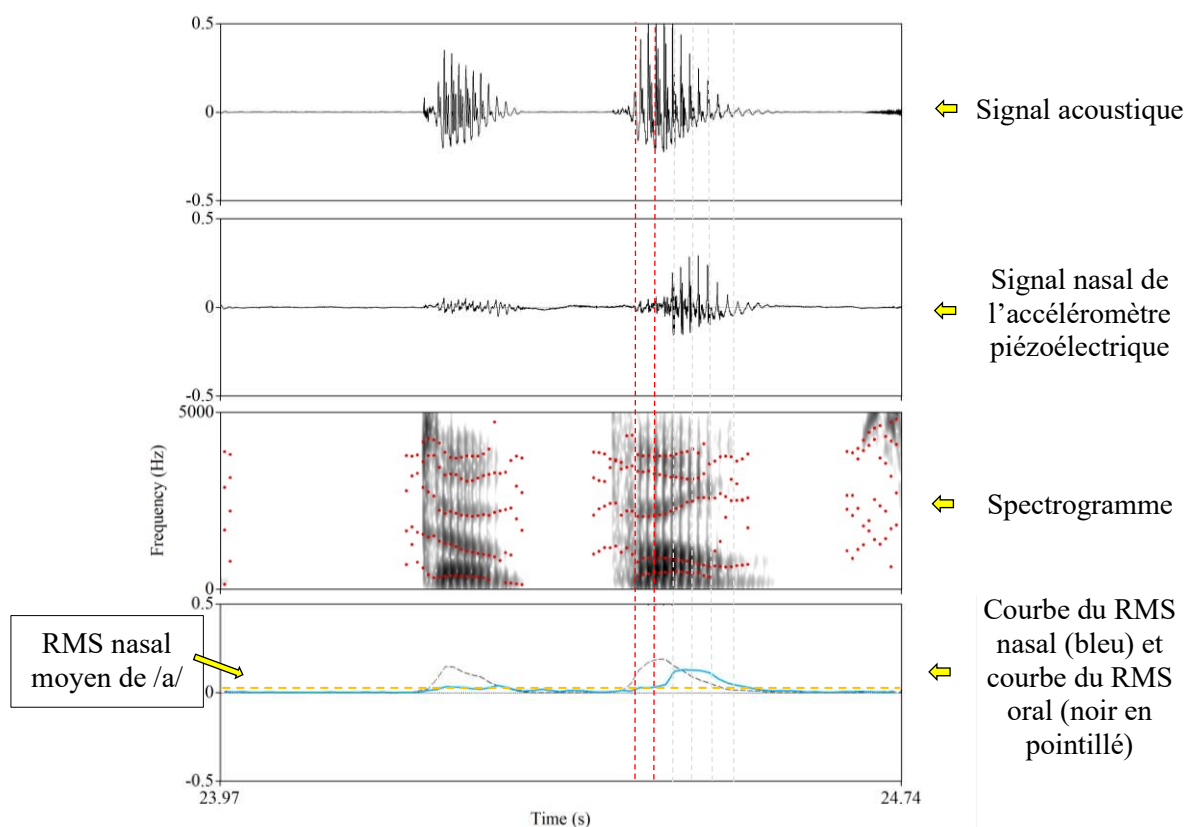
Une modification spectrale nette de nasalité n'apparaît qu'à partir du troisième cinquième de la voyelle. Pour Ohala (1975), les phonèmes comme les occlusives ont besoin d'une forte pression intra-orale dans le conduit vocal, pression qui bloque l'ouverture du port-vélopharyngé, et par conséquent empêche le passage de l'air par le conduit nasal. Ces conditions articulaires provoqueraient un retard de la nasalisation de la voyelle.

Pour le locuteur francophone natif (Figure 86), les mesures étant les mêmes, la courbe du RMS nasal montre un retard de nasalisation de la voyelle encore plus net, la courbe du RMS oral montre que dans la transition des deux premiers points, la voyelle est plus orale que nasale. La durée de la voyelle nasale est de 112 ms. Chaque point (cinquième) correspond donc à 22 ms de signal. Le RMS nasal moyen de /a/ est de 0.022.



**Figure 85.** Voyelle nasale /ã/ produite par une locutrice espagnole du niveau débutant (LocESP-D7) dans le logatome [topã]. Du haut en bas : signal acoustique, signal nasal, spectrogramme, et courbes du RMS du signal nasal (ligne bleu) et oral (ligne noire en pointillé). Les lignes verticales rouges correspondent aux frontières du premier cinquième de la voyelle. La ligne horizontale jaune indique le RMS nasal moyen de /a/ pour cette locutrice. (largeur de fenêtre sur Praat : 8 ms)





**Figure 86.** Voyelle nasale /ã/ produite par un locuteur natif du français (LocFR7) dans le logatome [topã]. Du haut en bas : signal acoustique, signal nasal, spectrogramme, et courbe du RMS du signal nasal (bleu) et oral (ligne noire en pointillé). Les lignes verticales rouges correspondent aux frontières du premier cinquième de la voyelle. La ligne horizontale jaune indique le RMS nasal moyen de /a/ pour ce locuteur. (largeur de fenêtre sur Praat : 8 ms).

#### 8.4.4.3 Résultats

Comme le suggère [Montagu \(2007\)](#), cette mesure formantique peut indiquer des résultats représentatifs de la portion non nasalisée de la voyelle, permettant d'élucider l'articulation orale des voyelles nasales : hauteur de la langue et sa position antérieure/postérieure. Nous présentons les résultats des valeurs moyennes des formants des voyelles orales /ɛ/, /a/, /o/, et nasales /ẽ/, /ã/, /õ/ regroupés pour les locuteurs natifs du français, et les apprenants espagnols et colombiens selon le niveau de français, et le sexe des locuteurs. Ensuite, nous analysons les résultats à partir d'une représentation acoustique dans le plan F1/F2 et la commentons de manière plus précise que celle du plan F2/F3, car les valeurs de F3 sont plus complexes pour les voyelles nasales. Nous comparons d'abord les locuteurs natifs du français et les apprenants espagnols, et ensuite, les natifs du français et les apprenants colombiens.

## Francophones natifs

Le Tableau 43 montre les valeurs des formants F1 à F3 pour les natifs du français pour chacune des voyelles orales et nasales selon le sexe du locuteur. Il y a une grande différence entre / $\epsilon$ / et / $\tilde{\epsilon}$ / : l'articulation orale de / $\tilde{\epsilon}$ / est plus postérieure et plus ouverte que / $\epsilon$ /. Le début oral de / $\tilde{\epsilon}$ / est proche de celui d'un /a/. Chez les hommes et les femmes, il y a un recouvrement entre /a/ et / $\tilde{\epsilon}$ /, donc sans doute des articulations similaires. Visiblement, la position plus postérieure de / $\tilde{\epsilon}$ / par rapport à /a/ serait dû à un effet de la transition consonantique sur le F2. Rappelons que le contexte consonantique choisi pour les mesures formantiques au début des voyelles nasales est l'occlusive bilabiale non-voisée [p]. On observe aussi un petit recouvrement sur l'axe F1 entre / $\tilde{a}$ / et /o/, et sur l'axe F2, entre /o/ et / $\tilde{o}$ /. En termes articulatoires, la voyelle / $\tilde{a}$ / est proche d'une /o/, plus postérieure et plus fermée que / $\tilde{\epsilon}$ / ; /o/ et / $\tilde{o}$ / semblent avoir une articulation similaire, notamment chez les locutrices. Enfin, / $\tilde{o}$ / est la voyelle nasale la plus postérieure et la plus fermée, et / $\tilde{\epsilon}$ / est la voyelle nasale la plus ouverte pour les hommes comme pour les femmes.

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ $\epsilon$ /	15	386 <i>20.4</i>	1731 <i>102</i>	2510 <i>153.2</i>
/a/	15	537 <i>58.4</i>	1203 <i>108.2</i>	2320 <i>201.3</i>
/o/	15	391 <i>64.9</i>	938 <i>146.2</i>	2379 <i>210.5</i>
/ $\tilde{\epsilon}$ /	15	507 <i>62</i>	1153 <i>106.3</i>	2734 <i>230.9</i>
/ $\tilde{a}$ /	15	475 <i>43.9</i>	898 <i>76.4</i>	2659 <i>336.7</i>
/ $\tilde{o}$ /	15	424 <i>109.8</i>	682 <i>138.9</i>	2696 <i>299.8</i>

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ $\epsilon$ /	20	430 <i>72.9</i>	1975 <i>184.9</i>	2751 <i>167.5</i>
/a/	20	672 <i>54.1</i>	1412 <i>194.8</i>	2711 <i>116.1</i>
/o/	20	421 <i>50.2</i>	945 <i>121.7</i>	2590 <i>145</i>
/ $\tilde{\epsilon}$ /	20	631 <i>91.4</i>	1256 <i>183.3</i>	2705 <i>325.4</i>
/ $\tilde{a}$ /	20	524 <i>57</i>	959 <i>53.2</i>	2748 <i>310.6</i>
/ $\tilde{o}$ /	20	408 <i>63</i>	799 <i>158.6</i>	2594 <i>292.2</i>

**Tableau 43.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ $\epsilon$ /, /a/, /o/) et nasales (/ $\tilde{\epsilon}$ /, / $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ /) chez les locuteurs natifs du français : à gauche, les locuteurs ( $n=3$ ), et à droite les locutrices ( $n=4$ ). Les écarts-type sont indiqués en italique.

La Figure 87 (cf. p. 211) montre les valeurs de F1 et F2 chez les natifs du français, ainsi que chez les apprenants espagnols (locuteurs à gauche, et locutrices à droite). Les ellipses correspondent aux écarts-types des valeurs formantiques. On observe des différences concernant

les zones de dispersion acoustique entre les locuteurs et les locutrices : dispersion plus réduite pour les hommes que pour les femmes.

Pour les apprenants espagnols, les valeurs moyennes des formants sont présentées selon le niveau de français dans les Tableaux 44, 45, et 46, pour débutants, intermédiaires, et avancés, respectivement. Des différences entre locuteurs et locutrices sont constatées, et elles correspondent aux différences anatomiques comme nous l'avons observé pour les sujets natifs : des valeurs des formants plus élevées chez les locutrices que chez les locuteurs. La représentation acoustique dans les plans F1/F2 et F2/F3 illustre clairement cette différence (Figures 86 et 87). Rappelons le nombre d'apprenants espagnols selon leur sexe : pour le niveau débutant, 1 locuteur et 8 locutrices ; pour le niveau intermédiaire, 3 locuteurs et 6 locutrices ; et pour le niveau avancé, 4 locuteurs et 5 locutrices.

### *Débutants espagnols*

Le Tableau 44 présente les valeurs moyennes des trois premiers formants des voyelles orales et nasales pour les débutants espagnols. Il y a une forte variation formantique concernant le F1 et F2 de / $\tilde{\epsilon}$ / et / $\tilde{a}$ / chez les locutrices. En effet, il n'y a qu'un seul locuteur et huit locutrices, ce qui produit une variabilité plus importante chez les locutrices, mais concernant la variation formantique des autres voyelles pour les locutrices, / $\epsilon$ /, / $o$ /, et / $\tilde{o}$ /, par exemple, la variation est moins importante.

Chez les locutrices, la variation formantique de / $\tilde{\epsilon}$ / recoupe les ellipses de / $a$ /, / $\tilde{a}$ /, et notamment de / $\epsilon$ / . La variation est trop importante pour définir une articulation orale plus précise : le début formantique de / $\tilde{\epsilon}$ / indiquerait que la cible articulaire sous-jacente se rapproche plus de / $\epsilon$ / . Également pour / $\tilde{a}$ /, il y a une variation importante des valeurs formantique. En termes articulatoires, cette voyelle serait plus proche de / $o$ / chez les locutrices. Enfin, pour / $\tilde{o}$ /, la variation formantique étant moindre par rapport aux voyelles nasales, l'articulation orale serait plus proche de celle de / $o$ /, et plus postérieure comme chez les locutrices natives.

Pour le seul locuteur débutant, la variation est intra-locuteur, donc plus faible pour toutes les voyelles, sauf pour / $\tilde{\epsilon}$ / qui recoupe les ellipses de / $a$ / et / $\tilde{a}$ / . On observe que le F2 de / $\tilde{\epsilon}$ / est beaucoup moins élevé que celui de / $\epsilon$ /, et le F1 est plus important. Cette voyelle serait plutôt centrale et un peu plus ouverte. Le F2 de / $\tilde{\epsilon}$ / est quasi identique à celui de / $a$ / (1108 vs. 1109 Hz), mais le F1 est moins élevé (487 vs. 553 Hz). Le début oral de / $\tilde{\epsilon}$ / ressemble à celui

des locuteurs natifs sauf pour le chevauchement des ellipses avec /a/ et /ã/. Le F1 de /ã/ est plus élevé et se rapproche plus de celui de /a/ que celui de /o/. Enfin, /õ/ est plus postérieure que sa contrepartie orale, tout comme chez les locuteurs natifs.

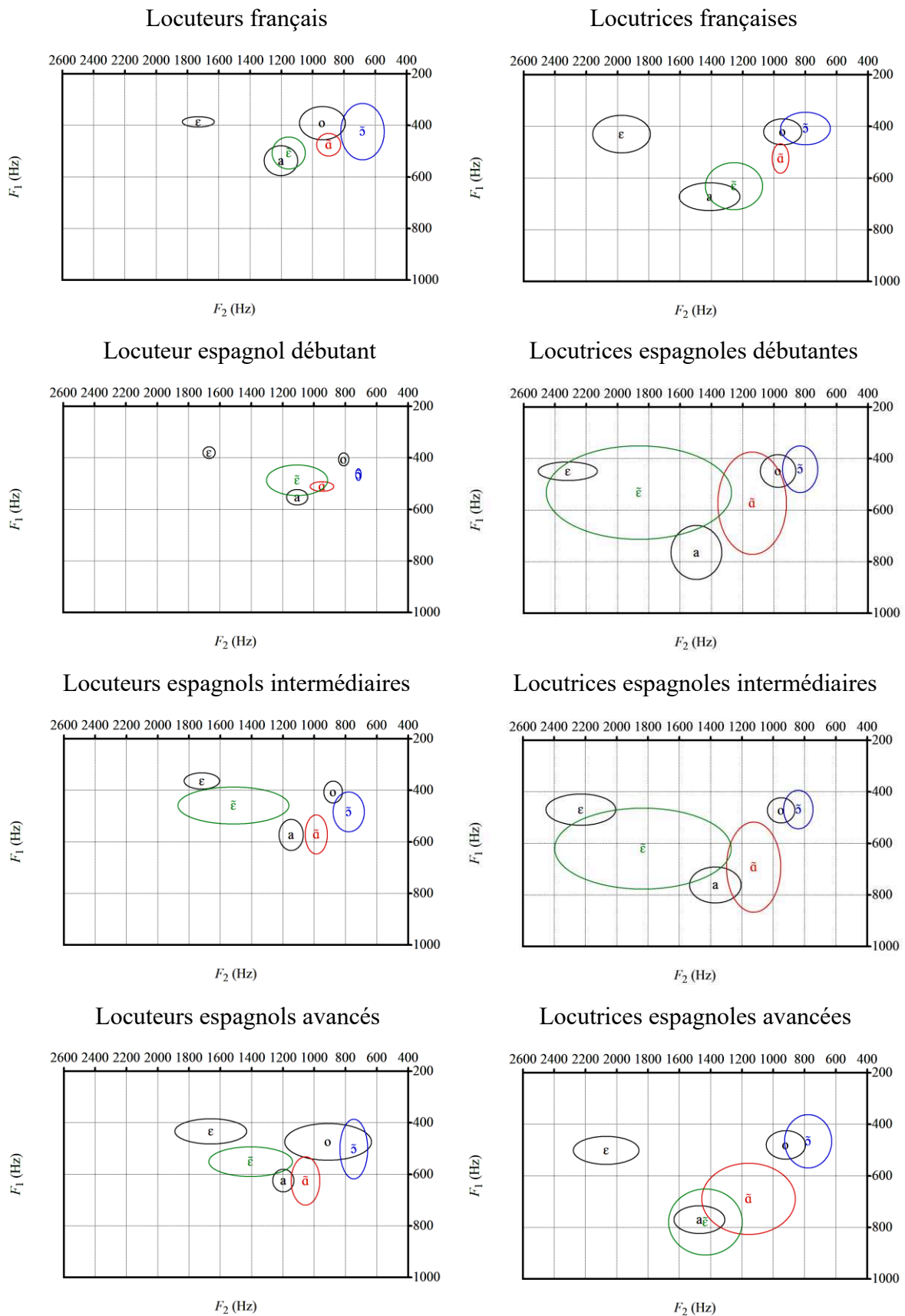
	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	6	380 <i>22.8</i>	1670 <i>39.4</i>	2165 <i>90.5</i>
/a/	6	553 <i>30.1</i>	1109 <i>67.7</i>	2183 <i>167.9</i>
/o/	6	406 <i>25.1</i>	811 <i>33.2</i>	2415 <i>126.1</i>
/ẽ/	6	487 <i>59.3</i>	1108 <i>194.8</i>	2274 <i>324.6</i>
/ã/	6	511 <i>18.5</i>	949 <i>75.3</i>	1993 <i>105</i>
/õ/	6	465 <i>22.6</i>	717 <i>17.5</i>	2125 <i>62.9</i>

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	48	449 <i>36</i>	2318 <i>189.3</i>	2990 <i>151.8</i>
/a/	48	764 <i>104.9</i>	1496 <i>163.2</i>	2955 <i>242.2</i>
/o/	48	448 <i>64</i>	974 <i>113.4</i>	3070 <i>228.3</i>
/ẽ/	48	532 <i>181.4</i>	1864 <i>592</i>	2945 <i>559.1</i>
/ã/	48	573 <i>198.8</i>	1140 <i>219.4</i>	2594 <i>642.7</i>
/õ/	48	441 <i>90.7</i>	833 <i>112.9</i>	2760 <i>545</i>

**Tableau 44.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs espagnols de niveau débutant : à gauche, le locuteur (*n*=1), et à droite les locutrices (*n*=8).

Les écarts-type sont indiqués en italique.

Les productions des 8 locutrices débutantes espagnoles montrent de très importantes variations des deux premiers formants, surtout pour /ẽ/ (de F1 inférieur et F2 supérieur par rapport à cette voyelle produite par les locutrices francophones natives) et /ã/ (F2 supérieur à celui des natives). Pour le locuteur, la cible articuloire sous-jacente des voyelles nasales ressemble à celle des locuteurs natifs, sauf pour /ã/ dont l'articulation est plus proche de /a/.



**Figure 87.** F1/F2 au début des voyelles orales / $\epsilon$ /, / $a$ /, / $o$ / (ellipses en noir), et nasales / $\tilde{\epsilon}$ / / $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ / (ellipses en vert, rouge, et bleu, respectivement) pour les natifs du français et les apprenants espagnols selon leur niveau (débutants, intermédiaires, et avancés).

## Intermédiaires espagnols

Le Tableau 45 montre les valeurs moyennes des trois premiers formants des voyelles orales et nasales pour les apprenants espagnols de niveau intermédiaire. Chez les locutrices, les valeurs formantiques des voyelles sont similaires à celles des débutants : plus de variations formantiques, particulièrement pour /ẽ/ et /ã/. Dans la Figure 86, la voyelle /ẽ/ est dans une position intermédiaire entre /ɛ/ et /a/, et il y a des chevauchements importants entre ces trois voyelles. Les valeurs formantiques de /ã/ indiqueraient qu'elle se rapproche de /a/, mais elle est un peu plus postérieure. L'écart-type de F1 montre que l'articulation orale du début non nasalisé de /ã/ peut aussi un peu plus fermée que /a/. Finalement, /õ/ se rapproche de /o/, comme chez les francophones natives.

En comparaison avec les francophones natifs, les intermédiaires masculins produisent le F2 de /ẽ/ supérieur, ainsi que le F1 de /ã/ est plus élevé chez les apprenants. Le F1 de /õ/ est moins élevé chez les locuteurs intermédiaires que chez les natifs du français, mais la cible articulatoire est proche de /õ/ comme chez les natifs. Pour les 6 locutrices et les 3 locuteurs intermédiaires, les variations formantiques sont importantes, notamment au niveau du F2 de /ɛ/. Cependant, la variation diminue pour les locutrices de niveau intermédiaire : chez les locutrices de niveau débutant, l'écart-type de F1 et F2 de /ẽ/ est respectivement de 181.4 Hz (vs. 157.3 Hz), et 592 Hz (vs. 565 Hz) ; l'écart-type de F1 et F2 pour /ã/ est de 198.8 Hz (vs. 174.8 Hz), et 219.4 Hz (vs. 173.4 Hz), respectivement.

	<i>n</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
/ɛ/	18	364 <i>31.5</i>	1718 <i>113.7</i>	2389 <i>105.2</i>
/a/	18	573 <i>60.8</i>	1148 <i>77.7</i>	2212 <i>136.4</i>
/o/	18	407 <i>42.5</i>	879 <i>59</i>	2556 <i>134.1</i>
/ẽ/	18	459 <i>71.8</i>	1516 <i>354.8</i>	2314 <i>196.1</i>
/ã/	18	571 <i>76.2</i>	987 <i>70.4</i>	2226 <i>105.9</i>
/õ/	18	484 <i>77.3</i>	780 <i>100</i>	2417 <i>125.7</i>

	<i>n</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
/ɛ/	34	469 <i>60.5</i>	2230 <i>223</i>	2878 <i>192</i>
/a/	36	761 <i>70.1</i>	1370 <i>165.2</i>	2830 <i>247.9</i>
/o/	36	472 <i>48.8</i>	951 <i>88.5</i>	3001 <i>224.8</i>
/ẽ/	36	620 <i>157.3</i>	1833 <i>565</i>	2963 <i>305.7</i>
/ã/	36	692 <i>174.8</i>	1126 <i>173.4</i>	2721 <i>556.5</i>
/õ/	36	469 <i>75.1</i>	841 <i>93.8</i>	2627 <i>430.6</i>

**Tableau 45.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs espagnols de niveau intermédiaire :

à gauche, les locuteurs ( $n=3$ ), et à droite les locutrices ( $n=6$ ).

Les écarts-type sont indiqués en italique.

## Avancés espagnols

Quant aux apprenants espagnols de niveau avancé, la variation formantique des voyelles nasales diminue encore plus par rapport aux apprenants des niveaux débutant et intermédiaire, notamment au niveau du F1 pour /ẽ/ et /ũ/ : l'écart-type de F1 et F2 pour /ẽ/ est respectivement de 128 et 235.7 Hz (vs. 169.4 et 578.5 Hz en moyenne pour les niveaux inférieurs) ; pour /ũ/, l'écart-type de F1 est 138.2 Hz (vs. 186.8 Hz en moyenne pour débutants et intermédiaires), mais l'écart-type de F2 est plus important, 299.3 Hz (vs. 196 Hz en moyenne) ; et enfin pour /õ/, la variation est plus grande chez les avancées, l'écart-type de F1 et F2 étant de 103.6 et 150.8 Hz (vs. 82.9 et 103.4 Hz en moyenne pour les niveaux inférieurs).

Le Tableau 46 montre les valeurs moyennes de F1 à F3 des voyelles orales et nasales pour les apprenants espagnols de niveau avancé. La variation est relativement moins importante pour les apprenants que pour les apprenantes ; dans la Figure 87 on observe une zone de dispersion acoustique plus réduite pour les locuteurs, comme dans les autres niveaux, ce qui pourrait limiter la variation formantique de leurs réalisations. Cependant, les valeurs formantiques moyennes entre locuteurs et locutrices montrent que la variation augmente avec un nombre supérieur de sujets.

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	23	433 <i>49</i>	1661 <i>229.7</i>	2365 <i>217</i>
/a/	23	624 <i>43.9</i>	1198 <i>68.4</i>	2205 <i>135.6</i>
/o/	23	474 <i>71.3</i>	911 <i>277.3</i>	2447 <i>105.8</i>
/ẽ/	23	551 <i>58</i>	1407 <i>267.5</i>	2287 <i>160.5</i>
/ũ/	23	626 <i>93.9</i>	1056 <i>91.4</i>	2257 <i>168.1</i>
/õ/	23	502 <i>115.6</i>	747 <i>89</i>	2549 <i>155.9</i>

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	29	501 <i>54.6</i>	2068 <i>210.5</i>	2818 <i>224.7</i>
/a/	30	770 <i>54.2</i>	1472 <i>162.8</i>	2878 <i>146.4</i>
/o/	30	480 <i>55.7</i>	920 <i>126.2</i>	2954 <i>247.2</i>
/ẽ/	30	779 <i>128</i>	1434 <i>235.7</i>	2890 <i>350.6</i>
/ũ/	30	689 <i>138.2</i>	1158 <i>299.3</i>	2822 <i>297.6</i>
/õ/	30	466 <i>103.6</i>	778 <i>150.8</i>	2932 <i>277.7</i>

**Tableau 46.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ũ/, /õ/) chez les locuteurs espagnols de niveau avancé : à gauche, les locuteurs (*n*=4), et à droite les locutrices (*n*=5). Les écarts-types sont indiqués en italique.

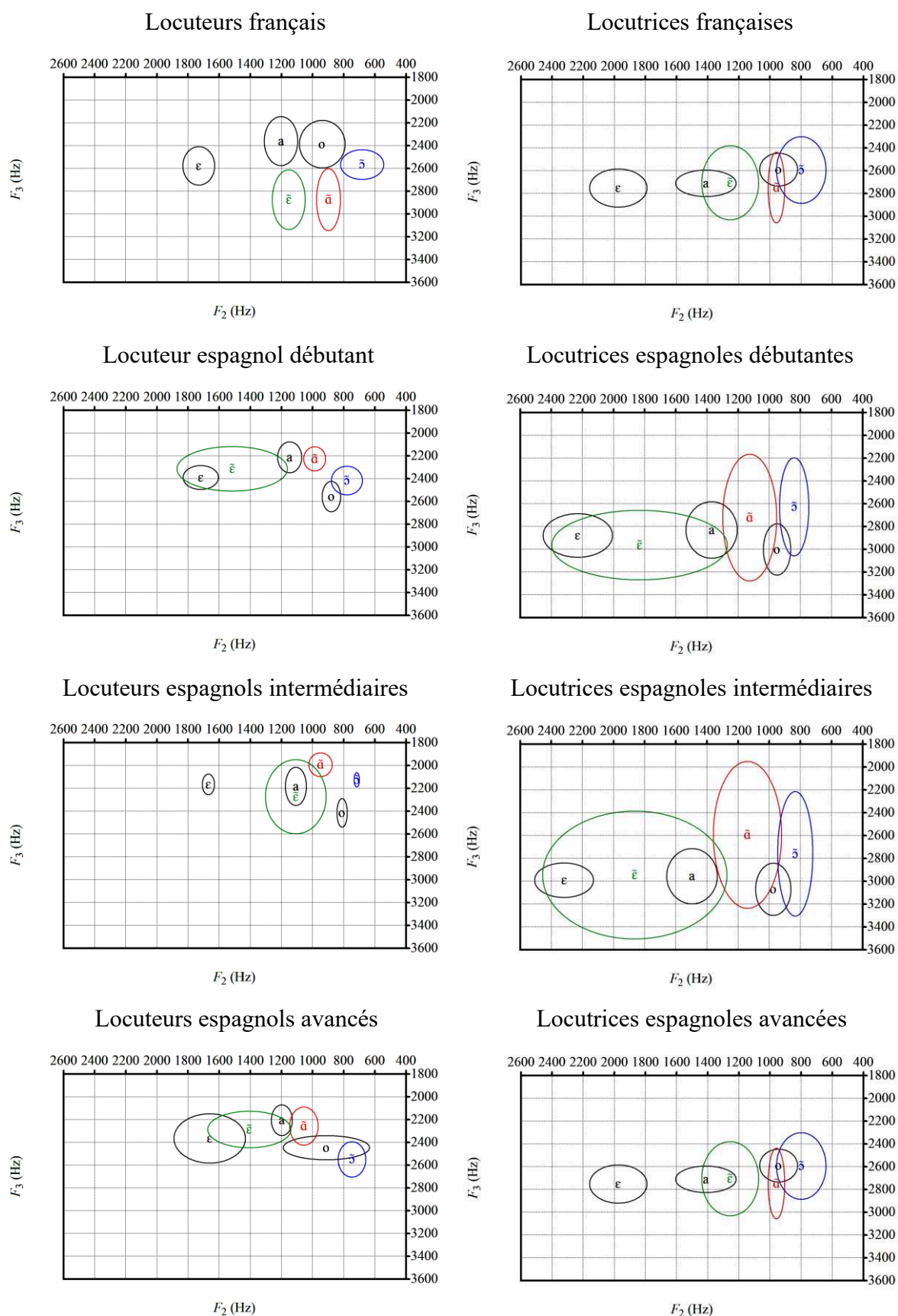
À différence des valeurs formantiques de / $\tilde{\epsilon}$ / chez les locuteurs, qui ressemblent beaucoup à celles des autres niveaux, et qui la placent dans une position intermédiaire entre / $\epsilon$ / et / $a$ /, les valeurs formantiques chez les locutrices indiqueraient que / $\tilde{\epsilon}$ / a une position articuloire identique à celle de / $a$ /, car la variation enveloppe complètement celle de / $a$ / . La voyelle / $\tilde{\epsilon}$ / serait plus centrale et plus ouverte pour les locutrices de niveau avancé que celles des niveaux débutant et intermédiaire comme nous l'avons vu plus haut.

Pour / $\tilde{a}$ /, on observe une position plus postérieure que / $a$ / chez les locuteurs, alors que chez les locutrices la variation de / $\tilde{a}$ / est aussi postérieure mais elle recoupe la variation de / $a$ / . Finalement, / $\tilde{o}$ / est plus postérieure que / $o$ / tant pour les locuteurs que les locutrices de niveau avancé, avec un chevauchement entre ces deux voyelles. En outre, nous visualisons une variation plus importante du F2 pour / $o$ / chez les locuteurs.

La Figure 88 montre la représentation acoustique sur le plan F2/F3 pour les locuteurs natifs du français et pour les apprenants espagnols selon leur niveau de français. On constate que / $\tilde{o}$ / est la voyelle la plus postérieure autant pour les natifs que les apprenants. Chez les natifs du français, il y a un chevauchement chez les locutrices francophones dû à la variation des valeurs de F2 et F3 entre / $o$ /, / $\tilde{a}$ /, et / $\tilde{o}$ /, et entre / $a$ / et / $\tilde{\epsilon}$ / . Les voyelles nasales montrent à leur début des valeurs moins élevées de F2 par rapport aux voyelles orales auxquelles elles sont traditionnellement associées, et de F3 pour les locuteurs masculins seulement.

Comme observé sur le plan F1/F2, la variation formantique de / $\tilde{\epsilon}$ / et / $\tilde{a}$ / est constatée aussi sur le plan F2/F3, notamment par les chevauchements entre / $\epsilon$ /, / $\tilde{\epsilon}$ / et / $\tilde{a}$ / chez tous les apprenants, sauf chez les locuteurs intermédiaires et les locutrices avancées. Le F3 des trois voyelles nasales varie de manière importante par rapport aux voyelles orales chez toutes les locutrices espagnoles. En revanche, pour les locuteurs masculins, le F3 de / $\tilde{o}$ / est plus élevé par rapport aux autres voyelles nasales.





**Figure 88.** Comparaison des valeurs moyennes de F1/F2 au début des voyelles orales /ε/, /a/, /o/ (ellipses en noir), et des voyelles nasales /ẽ/ /ã/, /õ/ (ellipses en vert, rouge, et bleu, respectivement) entre les natifs du français et les apprenants espagnols selon leur niveau : les débutants, les intermédiaires, et les avancés.

Maintenant, regardons les valeurs formantiques chez les apprenants colombiens. La Figure 88 montre la représentation acoustique sur le plan F1/F2 pour les natifs du français et les apprenants colombiens en fonction de leur niveau de français.

### *Débutants colombiens*

Le Tableau 47 montre les valeurs moyennes des trois premiers formants pour les apprenants colombiens de niveau débutant, les locuteurs à gauche, et les locutrices à droite. Les valeurs des formants sont plus basses pour les voyelles nasales et plus élevées pour les orales chez les locutrices. En effet, comme l'illustrent les Figures 89 et 90, les valeurs moyennes des formants sont plus extrêmes pour les locutrices concernant les voyelles orales, et la variation formantique des voyelles nasales est plus importante. En général, la dispersion acoustique est plus large pour les locutrices que pour les locuteurs comme nous l'avons déjà observé pour les autres sujets, notamment car les locutrices sont plus nombreuses que leurs comparses masculins.

	<i>n</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>/ɛ/</b>	18	358 <i>49.2</i>	1955 <i>269.5</i>	2725 <i>402.9</i>
<b>/a/</b>	18	584 <i>139.3</i>	1208 <i>219.7</i>	2298 <i>437.3</i>
<b>/o/</b>	18	391 <i>40.3</i>	827 <i>103</i>	2509 <i>284.3</i>
<b>/ɛ̃/</b>	18	476 <i>112.9</i>	1611 <i>430.9</i>	2713 <i>379.1</i>
<b>/ã/</b>	18	487 <i>136.5</i>	1105 <i>172.2</i>	2409 <i>467</i>
<b>/õ/</b>	18	376 <i>49.8</i>	784 <i>149.3</i>	2483 <i>206.1</i>

	<i>n</i>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>/ɛ/</b>	28	448 <i>58.3</i>	2275 <i>99.6</i>	2998 <i>164.8</i>
<b>/a/</b>	29	702 <i>107.9</i>	1480 <i>180.2</i>	2793 <i>321</i>
<b>/o/</b>	29	436 <i>47.7</i>	947 <i>91</i>	2884 <i>337.3</i>
<b>/ɛ̃/</b>	29	411 <i>143.9</i>	1418 <i>605.1</i>	2695 <i>500.5</i>
<b>/ã/</b>	29	434 <i>184.8</i>	1022 <i>129.7</i>	2518 <i>441.9</i>
<b>/õ/</b>	29	361 <i>107</i>	825 <i>127.7</i>	2665 <i>355.4</i>

**Tableau 47.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (/ɛ̃/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau débutant : à gauche, les locuteurs (*n*=3), et à droite les locutrices (*n*=5). Les écarts-type sont indiqués en italique.

Pour les locuteurs colombiens de niveau débutant, le début oral de /ɛ̃/ serait une voyelle qui s'articule entre /ɛ/ et /a/, la variation formantique indiquerait qu'elle est parfois plus antérieure, parfois plus centrale. Par ailleurs, il y a des chevauchements avec la variation

formantique de /a/ et /ã/. Quant aux locutrices, les valeurs formantiques du début de /ẽ/ la placent comme une voyelle plus centrale et un peu plus fermée que /ɛ/, et présentent une variation formantique très importante, notamment au niveau du F2 (605.1 Hz). En effet, la variation est très élevée rendant difficile le regroupement avec /ɛ/ ou avec /a/. Au contraire, il y a des chevauchements importants avec /ã/ et /õ/, et notamment avec /o/ qui est complètement enveloppée par la variation de /ẽ/.

Quant à /ã/, toujours pour les locutrices, elle est très proche de /o/, dont la variation au niveau du F1 est très importante ; elle recoupe aussi la variation de /õ/ au niveau du F2. Les valeurs moyennes de F1 pour /ã/ et /o/ sont très proches. Pour les locuteurs, malgré le rapprochement avec /ẽ/, /ã/ serait plus proche de /a/ :

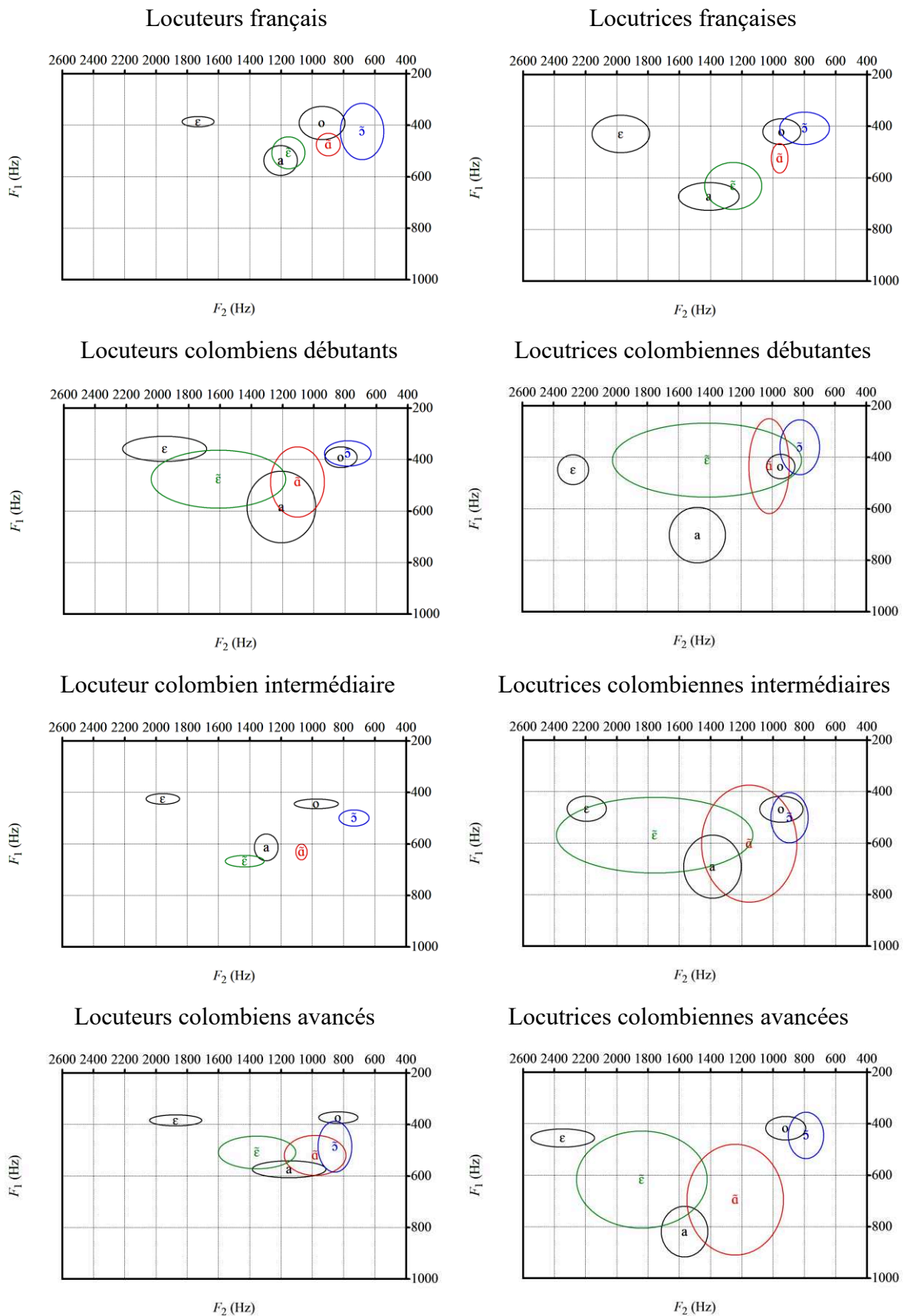
Enfin, les valeurs formantiques de /õ/ indiqueraient qu'elle est la voyelle la plus postérieure pour les deux types de locuteurs. Cependant, chez les locuteurs, il y a un regroupement de la variation avec /o/ indiquant que le début de /õ/ est très similaire à celui de sa contrepartie orale. Pour les locutrices, malgré la variation de F1, /õ/ serait plus fermée que /o/.

### *Intermédiaires colombiens*

Le Tableau 48 présente les valeurs moyennes de F1 à F3 des apprenants colombiens de niveau intermédiaire. Comme chez les apprenantes colombiennes de niveau débutant, les valeurs formantiques chez les intermédiaires colombiennes sont plus extrêmes pour les voyelles orales, sauf pour /o/, et montrent aussi une variation beaucoup plus importante pour les voyelles nasales /ẽ/ et /ã/. Évidemment, la comparaison entre locuteurs et locutrices est difficile, étant donné que les locutrices sont plus nombreuses ( $n=7$ ) et il n'y a qu'un seul locuteur de niveau intermédiaire.

Pour le locuteur, les valeurs moyennes de /ẽ/ indiqueraient que cette se rapproche plus de /a/ que /ã/. Le début de la voyelle /ẽ/ serait un peu plus antérieure, et le début de /ã/, plus postérieure que /a/. Pour /õ/, les valeurs moyennes indiqueraient que son articulation orale est plus ouverte et plus postérieures que /o/.

Concernant les locutrices, les valeurs formantiques de /ẽ/ indiqueraient que cette voyelle est produite entre /ɛ/ et /a/. Cependant, la variation est trop élevée au niveau du F2 (628.1 Hz), ce qui ne permet pas de déterminer une articulation orale claire. L'articulation orale « sous-jacente » à /ã/ est également problématique, malgré des valeurs moyennes de F1 et F2 (respectivement, 602 et 1154 Hz), la variation formantique est très importante au niveau de F1 (227.4 Hz), et il y a des chevauchements importants avec /a/, /o/, et /õ/.



**Figure 89.** Comparaison des valeurs moyennes de F1/F2 au début des voyelles orales / $\epsilon$ /, / $a$ /, / $o$ /, et des voyelles nasales / $\tilde{\epsilon}$ / / $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ / entre les natifs du français et les apprenants colombiens selon leur niveau : les débutants, les intermédiaires, et les avancés.

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	6	426 <i>20.6</i>	1957 <i>107.5</i>	2817 <i>79.1</i>
/a/	6	613 <i>52.2</i>	1306 <i>98.7</i>	2609 <i>174.5</i>
/o/	6	444 <i>18.8</i>	1058 <i>248.8</i>	2604 <i>103.5</i>
/ẽ/	6	667 <i>22.7</i>	1434 <i>124.5</i>	2060 <i>143.6</i>
/ã/	6	631 <i>30.8</i>	1070 <i>36</i>	2851 <i>348.5</i>
/õ/	6	499 <i>31.4</i>	885 <i>292.1</i>	2469 <i>310.3</i>

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	41	466 <i>49</i>	2193 <i>125.8</i>	2894 <i>167.1</i>
/a/	42	691 <i>123</i>	1389 <i>184.4</i>	2731 <i>216.8</i>
/o/	41	468 <i>50.8</i>	948 <i>138.6</i>	2819 <i>196.8</i>
/ẽ/	40	569 <i>146.8</i>	1758 <i>628.1</i>	2910 <i>349.2</i>
/ã/	42	602 <i>227.4</i>	1154 <i>305</i>	2865 <i>475.8</i>
/õ/	42	501 <i>97.8</i>	896 <i>120.3</i>	2819 <i>428.7</i>

**Tableau 48.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau intermédiaire : à gauche, le locuteur (*n*=1), et à droite les locutrices (*n*=7). Les écarts-type sont indiqués en italique.

Enfin, par rapport à /õ/, comme pour les autres apprenants, les valeurs formantiques indiqueraient que cette voyelle est relativement plus postérieure et un peu plus ouverte que /o/.

### *Avancés colombiens*

Finalement, examinons les valeurs formantiques chez les apprenants colombiens de niveau avancé. Il n'y a pas de diminution ni augmentation des écarts-type des formants par rapport aux niveaux intermédiaire ou débutant. Il y a seulement une diminution de la variation pour /ẽ/ et /ã/ entre les locuteurs des niveaux débutant (*n*=3) et avancé (*n*=2). Rappelons que pour le niveau intermédiaire il y a un seul locuteur homme. Chez les apprenants avancés, la variation formantique de F1 et F2 pour /ẽ/ est, respectivement, de 63.7 Hz (vs. 112.9 Hz), et 247.4 Hz (vs. 430.9 Hz), et pour F1 et F2 de /ã/, les écarts-type sont, respectivement, 77.7 Hz (vs. 136.5 Hz), et 197.7 Hz (vs. 172.2 Hz).

Le Tableau 49 montre les valeurs formantiques de F1 à F3 des apprenants colombiens de niveau avancé. Les locutrices ont des valeurs des formants plus élevées pour les voyelles orales, et une variation formantique plus importante que les locuteurs concernant les voyelles nasales /ẽ/ et /ã/, comme le montrent les Figures 89 et 90. Les chevauchements sont plus importants dans la Figure 89, étant donné la variation formantique de F2 et F3.

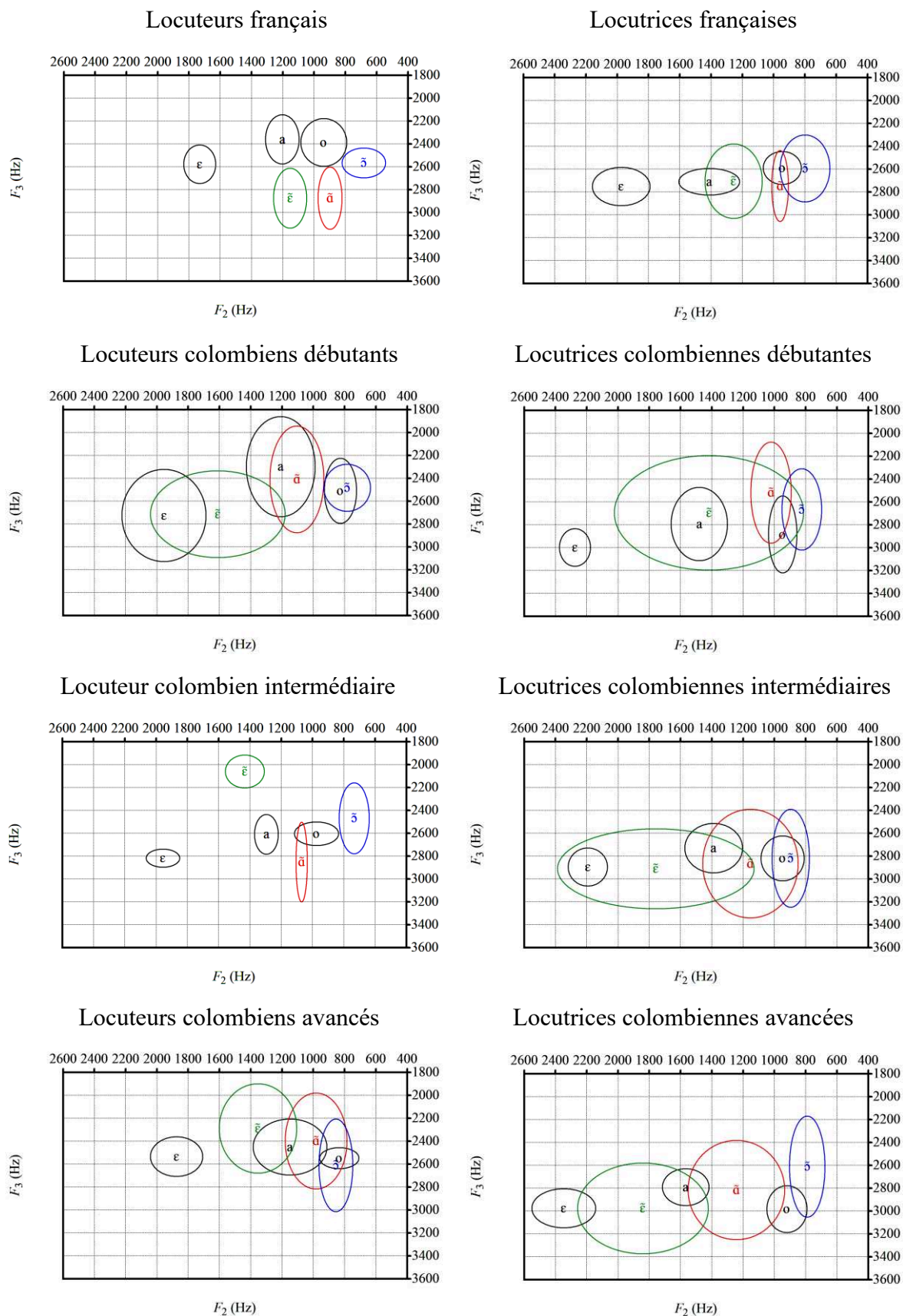
	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	12	384 <i>21.6</i>	1874 <i>167.2</i>	2534 <i>172.6</i>
/a/	12	574 <i>32.9</i>	1149 <i>236</i>	2451 <i>243.8</i>
/o/	12	373 <i>22.5</i>	834 <i>126.1</i>	2548 <i>91.5</i>
/ẽ/	12	508 <i>63.7</i>	1354 <i>247.4</i>	2288 <i>389.5</i>
/ã/	12	520 <i>77.7</i>	982 <i>197.7</i>	2398 <i>417.7</i>
/õ/	12	486 <i>98.9</i>	856 <i>108.5</i>	2611 <i>403.8</i>

	<i>n</i>	F1	F2	F3
/ɛ/	28	455 <i>35.2</i>	2347 <i>204.4</i>	2975 <i>171.4</i>
/a/	29	819 <i>98.7</i>	1567 <i>149.1</i>	2791 <i>161.4</i>
/o/	29	417 <i>45.9</i>	920 <i>128.8</i>	2982 <i>204.5</i>
/ẽ/	29	617 <i>188.8</i>	1841 <i>418.2</i>	2976 <i>397.5</i>
/ã/	29	695 <i>215.2</i>	1243 <i>308.9</i>	2817 <i>433.5</i>
/õ/	29	445 <i>90.4</i>	790 <i>113.5</i>	2611 <i>441.6</i>

**Tableau 49.** Valeurs moyennes des formants (F1, F2, F3) au début des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (ẽ/, /ã/, /õ/) chez les locuteurs colombiens de niveau avancé : à gauche, les locuteurs (*n*=2), et à droite les locutrices (*n*=5). Les écarts-type sont indiqués en italique.

Chez les locuteurs, il y a un regroupement, d'un côté, entre /ẽ/, /a/ et /ã/, et de l'autre côté, entre /ã/, /õ/, et /o/. Pour le premier, /ẽ/ se rapproche de /a/ mais elle serait plus fermée et un peu plus antérieure. Quant à /ã/, elle se rapproche aussi de /a/ mais serait plus fermée et plus postérieure, mais à tel point qu'elle enveloppe la variation formantique de /õ/. Ou bien, la variation de F1 fait recouper l'ellipse de /ã/. Enfin, le F2 de /õ/ est très proche de celui de /o/, mais le F1 de /õ/ est plus élevé que celui de /o/. Par ailleurs, /ɛ/ n'a pas de rapprochements d'autres voyelles.

Chez les locutrices, il y a aussi un rapprochement de /ẽ/, /a/, et /ã/, notamment en raison de la variation formantique des deux voyelles nasales. L'articulation orale « sous-jacente » est difficile de définir à cause de cette importante variation. Cependant, le début oral de /ẽ/ serait plus fermé et un peu plus antérieur que /a/, alors que le début oral de /ã/ se rapprochant aussi de /a/, serait plus fermé et plus postérieur. Comme chez les locuteurs, /ɛ/ n'a pas de rapprochements d'autres voyelles. Concernant /õ/, elle se rapproche de /o/ tant au niveau du F1 que du F2, les valeurs moyennes étant, respectivement, de 445 et 790 Hz vs. 417 et 920 Hz. Le début oral de /õ/ serait plus postérieur que /o/ et que les autres voyelles nasales.



**Figure 90.** Comparaison des valeurs moyennes de F2/F3 au début des voyelles orales / $\epsilon$ /, / $a$ /, / $o$ /, et des voyelles nasales / $\tilde{\epsilon}$ / / $\tilde{a}$ /, / $\tilde{o}$ / entre les natifs du français et les apprenants colombiens selon leur niveau : les débutants, les intermédiaires, et les avancés.

En résumé, nous avons adapté une mesure pour calculer les trois premiers formants des voyelles orales (/ɛ/, /a/, /o/) et nasales (/ẽ/, /ã/, /õ/) en leur début dans les productions des francophones natifs, et des apprenants espagnols et colombiens. Montagu (2007) a montré qu'il est possible d'effectuer cette mesure formantique aux voyelles nasales précédées des consonnes occlusives, notamment non voisées, afin de déterminer une articulation orale « sous-jacente ». Nous avons calculé les trois premiers formants des voyelles nasales précédées par [p] et nous avons présenté les résultats par groupes, et par niveau de français chez les apprenants. Les résultats suggèrent que, chez les natifs du français, l'articulation orale « sous-jacente » à /ẽ/ serait très proche de /a/ et légèrement plus postérieure, celle de /ã/ serait plus proche de /o/ mais moins fermée, et celle de /õ/, plus proche de /o/ mais plus postérieure. Chez les apprenants espagnols, il y a une diminution de la variation formantique des voyelles nasales du niveau débutant au niveau avancé. La variation concerne notamment /ẽ/ et /ã/ : le début oral /ẽ/ serait plus proche de /ɛ/ chez les locutrices de niveau débutant et intermédiaire, mais pour les locutrices de niveau avancé, cette voyelle présente une réalisation orale très similaire à /a/. Chez les apprenants de niveau intermédiaire et avancé, le début oral /ẽ/ serait plus proche de /ɛ/ aussi, sauf chez le seul apprenant de niveau débutant, dont le /ẽ/ serait central comme /a/ mais plus fermé. Quant à /õ/, le début oral de cette voyelle serait très proche de /o/ et même plus postérieur pour tous les apprenants espagnols. Chez les apprenants colombiens, il y a plus de variation formantique notamment pour /ẽ/ et /ã/, qui est maintenue du niveau débutant au niveau avancé. Le début oral de /ẽ/ serait plus proche de /a/ pour tous les apprenants, sauf pour les apprenantes de niveau débutant où la variation formantique recoupe les voyelles postérieures. Pour /ã/, la cible articuloire « sous-jacente » est très variable entre les apprenants et les apprenantes, rendant difficile de déterminer une configuration sur le plan F1/F2. Finalement, le début oral de /õ/ serait très proche de /o/, plus postérieur chez tous les apprenants et apprenantes, sauf pour les apprenants de niveau avancé.



## 8.5 Discussion

Nous avons effectué une série de mesures acoustiques pour examiner la production des voyelles nasales chez 27 apprenants espagnols et 23 apprenants colombiens du français. Parmi les mesures réalisées, la durée des voyelles nasales et orales a été la première à être étudiée. Les résultats ont montré que les voyelles nasales sont acoustiquement plus longues que leurs contreparties orales par les trois groupes de sujets (Français, Espagnol, et Colombien). Ces résultats sont en accord avec d'autres études sur la distinction de durée entre voyelles orales et nasales (Amelot, 2004 ; Delattre, 1966 ; Durand, 1946). Les apprenants hispanophones semblent maîtriser cette distinction de durée, mais les apprenants colombiens produisent les voyelles nasales avec une durée encore plus importante. Dans une étude préliminaire, Bustamante et al. (2014) ont montré les mêmes résultats : les voyelles nasales ont une durée acoustique plus importante chez des apprenantes colombiennes que les espagnoles, et encore plus que les locutrices natives du français. Ceci est probablement une conséquence de la coarticulation nasale en espagnol. En effet, on peut considérer que les apprenants hispanophones ont tendance à transférer des mécanismes articulatoires de l'espagnol en français. Detey et al. (2010) parlent de « consonantisation » comme un indice d'évaluation pour la production des voyelles nasales chez les apprenants japonophones et hispanophones, lorsqu'il y a présence ou absence d'une consonne nasale post-vocalique. Nous pouvons confirmer notre première hypothèse concernant une durée plus importante des voyelles nasales chez les apprenants hispanophones par rapport à des francophones natifs.

Par ailleurs, la durée acoustique dépend de la position dans le logatome : les voyelles nasales sont plus longues en position finale que dans les positions initiales. Nos résultats sont en accord avec ceux de Amelot (2004).

Les résultats de durée entre les voyelles ont montré de la variabilité parmi les apprenants hispanophones concernant les voyelles orales, alors que ce n'est pas le cas pour les natifs du français. Dans les deux groupes d'apprenants, /a/ est la voyelle orale la plus longue, mais pour les apprenants espagnols, il n'y a pas de différence de durée entre /ε/ et /o/, ni entre /a/ et /ε/, alors que pour les apprenants colombiens, il n'y a pas de différence de durée entre /a/ et /ε/, ni entre /ε/ et /o/. Cependant, la distinction de durée entre les voyelles nasales est la même dans les trois groupes de sujets : /ẽ/ est la voyelle nasale la plus longue, suivie de /õ/, et enfin de /ã/.

Quant au niveau de français, on observe que l'expérience d'apprentissage ne joue pas de rôle important pour la durée entre les voyelles nasales. Les résultats ont montré que la longueur des voyelles nasales est la même pour tous les apprenants.

La deuxième mesure réalisée est celle de la proportion de nasalité des voyelles orales et nasales,  $p(N)$ . Ce qui était attendu était de trouver une  $p(N)$  plus importante pour les voyelles nasales que pour les orales. En effet, les résultats vont dans ce sens et montrent aussi que la  $p(N)$  des voyelles nasales est plus élevée pour les natifs du français que pour les apprenants hispanophones, mais il n'y a pas de différences importantes entre les apprenants espagnols et colombiens. Également, par rapport au niveau des apprenants, il s'avère que la  $p(N)$  ne varie pas en fonction de l'expérience d'apprentissage.

La  $p(N)$  de /ɔ̃/ est la plus élevée des trois voyelles, suivie de celle de /ɑ̃/, et enfin de la  $p(N)$  de /ɛ̃/ pour les trois groupes de sujets. Même si la différence de  $p(N)$  des voyelles nasales entre natifs et apprenants hispanophones est significative, nos données indiquent qu'elle ne l'est pas entre les apprenants espagnols et colombiens. L'étude de [Montagu \(2007\)](#) suggère que le rapport d'amplitude du signal nasal est plus important pour /ɔ̃/, suivi de /ɑ̃/, et enfin de /ɛ̃/. Ces résultats rappellent les données aérodynamiques de [Amelot \(2004\)](#), qui montrent que /ɛ̃/ est la voyelle avec le moins de débit d'air nasal, et que son articulation implique une ouverture vélaire plus grande pour que l'air passe par le conduit nasal. De plus, avec des données fibroscopiques, [Amelot \(2004\)](#) montre que /ɛ̃/ a une grande ouverture vélaire, et /ɔ̃/ une petite ouverture vélaire, et comme le mouvement de l'abaissement du voile du palais est contraint par la position de la langue, /ɛ̃/ est produite avec une ouverture buccale plus grande que les autres voyelles nasales. Le travail de [Delvaux, Demolin, Harmegnies et Soquet \(2008\)](#) montre que /ɛ̃/ présente un débit nasal proportionnel similaire à /ɛ/ dans les contextes phonétiques NV, NṼ, et NVN. Selon les auteurs, seulement la configuration linguale est un indice perceptif suffisant pour opposer distinctivement les deux voyelles, malgré un faible couplage acoustique pour /ɛ̃/. Donc la voyelle la moins nasale à la plus nasale, l'ordre est le même que dans nos résultats : /ɛ̃/ < /ɑ̃/ < /ɔ̃/.

Il se peut que la distinction de la  $p(N)$  entre les voyelles nasales soit maintenue dans la production des hispanophones selon un mécanisme articulaire semblable à celui des natifs, observable à une échelle articulaire moindre que celle de ces natifs, mais les valeurs plus basses de  $p(N)$  chez les hispanophones seraient effectivement le résultat d'un geste articulaire peu maîtrisé. En outre, les résultats ont aussi montré que l'expérience d'apprentissage ne semble pas contribuer à la production d'une  $p(N)$  des voyelles nasales semblable à celle des natifs. Comme l'ont mis en évidence les résultats de durée, les hispanophones font un transfert de la coarticulation nasale de l'espagnol pour la production des voyelles nasales beaucoup plus longues que celles des natifs. Ceci permettrait d'expliquer que chez les hispanophones la  $p(N)$  s'affaiblit ou ne monte pas assez sur toute la durée des voyelles nasales.

La mesure de p(N) a aussi permis d'examiner l'effet de la position des voyelles nasales dans le logatome. Les résultats indiquent qu'il y a un effet de la position dans les trois groupes de sujets : en position initiale absolue, la p(N) des voyelles nasales est plus grande que celle des autres positions ; elle est moins grande en position initiale post-consonantique, et enfin en position finale. Ce résultat peut être expliqué selon les résultats de persévération du débit nasal de Fougeron (1998). Cette auteure a étudié la persévération et l'anticipation du débit nasal dans les segments [ana], [ini], et [kãd] selon la position prosodique, dans une hiérarchie allant de la position la plus basse à la plus haute : position initiale de Syllabe (Si), position initiale de mot (Mi), position initiale de Groupe Accentuel (GAi), et position initiale de Groupe Intonatif (Gli). Pour les quatre locuteurs étudiés, le débit nasal est plus important sur la voyelle qui suit en position initiale de syllabe (Si) pour la séquence [ini], il y a une diminution au fur et à mesure que la position monte dans la hiérarchie prosodique. Également pour la voyelle nasale, il y a un effet de la position : deux locuteurs sur quatre présentent une diminution du débit nasal dans les positions supérieures. Fougeron (1998) ne traite pas la position finale, mais ses résultats aident à expliquer les nôtres : l'évolution de la p(N) diminuerait alors graduellement dans le logatome.

Dans une dimension plutôt segmentale, le décours temporel de la p(N) évolue sur la durée de chacune des voyelles nasales de manière différente, plus visiblement chez les locuteurs natifs du français. La différence peut aussi être observée chez les apprenants, mais à un moindre degré. La variation du décours temporel est plus importante pour /ẽ/ et /ã/ dans les positions initiales, alors que pour /õ/, l'évolution varie moins car sa p(N) est déjà plus élevée que celle des autres voyelles nasales. Entre les groupes d'hispanophones, on observe une légère différence du décours temporel où la variation serait plus importante pour les apprenants espagnols que pour les colombiens. Ces résultats confirment une maîtrise insuffisante du geste articuloire chez les apprenants, notamment les colombiens, pour la production des voyelles nasales du français.

Finalement, la tentative de retracer une articulation orale « sous-jacente » aux voyelles nasales nous a permis de préciser deux éléments des résultats de production. D'une part, le rôle de l'expérience d'apprentissage semble être plus favorable pour les apprenants espagnols que pour les colombiens. En effet, les apprenants espagnols arrivent à diminuer la variation formantique et à développer une configuration orale des voyelles nasales plus proche de celle des natifs en fonction de l'expérience d'apprentissage, particulièrement pour le niveau avancé. Pour les apprenants colombiens, on observe à peu près la même variation formantique à tous les niveaux. Cette variation concerne fondamentalement les voyelles /ẽ/ et /ã/.

D'autre part, selon les patterns articuloires observés pour le début non nasalisé des voyelles nasales chez les locuteurs natifs, /ẽ/ se rapproche de /a/ et elle est légèrement un peu

plus postérieure, et /ã/ se rapproche plus de /o/ mais n'arrive pas à se fermer autant. Enfin, /õ/ est aussi fermée que /o/ mais plus postérieure. Le F2 moins élevé pour /ẽ/ que pour /a/ est le résultat d'une transition formantique exercé par la consonne occlusive bilabiale non voisée (/p/) de notre corpus. Si nous comparons les valeurs formantiques de nos locuteurs et locutrices à celles de [Montagu \(2007\)](#), nous constatons des différences qui sont probablement liées à la transition formantique dues à l'occlusive précédant les voyelles nasales, particulièrement pour /ẽ/. Montagu a calculé les quatre premiers formants au début non nasalisé des trois voyelles nasales (/ẽ/, /ã/, /õ/) et au début aussi pour quatre voyelles orales (/ɛ/, /a/, /ɔ/, /o/) derrière une consonne occlusive bilabiale voisée (/b/). Pour des motifs pratiques, nous ne présentons pas les valeurs formantiques de /ɔ/ car nous ne l'avons pas incluse dans nos mesures. En outre, Montagu a obtenu les mesures de F1 à F4, alors que nous nous sommes limités aux trois premiers formants. En comparant les données de Montagu et les nôtres, dans les tableaux 50 et 51, nous observons que nos valeurs de F1 sont plus importantes et celles de F2 moins importantes, notamment pour les voyelles nasales. La transition formantique de l'occlusive fait monter le premier formant et fait descendre le deuxième formant. En effet, l'étude de Montagu présente une consonne occlusive bilabiale voisée mais les effets de la transition formantique sont moindre que ceux de nos informateurs.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>		<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>
/ɛ/	386 <i>20.4</i>	1731 <i>102.0</i>	2510 <i>153.2</i>	/ɛ/	424 <i>42</i>	1656 <i>90</i>	2436 <i>88</i>	3390 <i>277</i>
/a/	537 <i>58.4</i>	1203 <i>108.2</i>	2320 <i>201.3</i>	/a/	569 <i>72</i>	1236 <i>60</i>	2510 <i>98</i>	3582 <i>205</i>
/o/	391 <i>64.9</i>	938 <i>146.2</i>	2379 <i>210.5</i>	/o/	335 <i>39</i>	866 <i>65</i>	2446 <i>142</i>	3250 <i>149</i>
/ẽ/	507 <i>62.0</i>	1153 <i>106.3</i>	2734 <i>230.9</i>	/ẽ/	486 <i>64</i>	1312 <i>101</i>	2512 <i>163</i>	3457 <i>144</i>
/ã/	475 <i>43.9</i>	898 <i>76.4</i>	2659 <i>336.7</i>	/ã/	433 <i>55</i>	1008 <i>76</i>	2508 <i>125</i>	3407 <i>132</i>
/õ/	424 <i>109.8</i>	682 <i>138.9</i>	2696 <i>299.8</i>	/õ/	337 <i>67</i>	842 <i>90</i>	2437 <i>203</i>	3261 <i>208</i>

**Tableau 50.** Comparaison des moyennes des valeurs formantiques du début non nasalisé des voyelles nasales et voyelles orales (les écarts-types sont en italique) entre les locuteurs francophones natifs de notre étude ( $n=3$ ) à gauche, et les locuteurs francophones natifs de l'étude de [Montagu \(2007\)](#) ( $n=12$ ) à droite.

En outre, ces différences concernent uniquement les voyelles nasales, car les valeurs formantiques des voyelles orales diffèrent faiblement. Il est possible cependant que la différence

de mode d'effectuer les mesures formantiques offre une autre explication. Rappelons que Montagu a mesuré la durée du NOT, le retard de nasalisation des voyelles nasales et à partir des résultats de cette mesure et les valeurs formantiques ont été calculés. Il se peut que dans nos mesures il y ait eu des modifications spectrales dans le début des voyelles nasales. Cependant, les valeurs des formants « sous-jacents » aux voyelles nasales dans nos données sont consistants avec les résultats de Montagu dans la mesure où les regroupements oral/nasal sont les mêmes.

	F1	F2	F3		F1	F2	F3	F4
/ɛ/	430 <i>72.9</i>	1975 <i>184.9</i>	2751 <i>167.5</i>	/ɛ/	525 <i>54</i>	1965 <i>156</i>	2832 <i>132</i>	3997 <i>317</i>
/a/	672 <i>54.1</i>	1412 <i>194.8</i>	2711 <i>116.1</i>	/a/	671 <i>54</i>	1408 <i>90</i>	2703 <i>141</i>	3983 <i>246</i>
/o/	421 <i>50.2</i>	945 <i>121.7</i>	2590 <i>145.0</i>	/o/	388 <i>21</i>	965 <i>75</i>	2584 <i>167</i>	3871 <i>213</i>
/ẽ/	631 <i>91.4</i>	1256 <i>183.3</i>	2705 <i>325.4</i>	/ẽ/	602 <i>73</i>	1519 <i>136</i>	2768 <i>120</i>	3961 <i>276</i>
/ã/	524 <i>57.0</i>	959 <i>53.2</i>	2748 <i>310.6</i>	/ã/	526 <i>60</i>	1106 <i>83</i>	2697 <i>138</i>	3827 <i>290</i>
/õ/	408 <i>63.0</i>	799 <i>158.6</i>	2594 <i>292.2</i>	/õ/	384 <i>38</i>	924 <i>102</i>	2641 <i>180</i>	3775 <i>220</i>

**Tableau 51.** Comparaison des moyennes des valeurs formantiques du début non nasalisé des voyelles nasales et voyelles orales (les écarts-types sont en italique) entre les locutrices francophones natives de notre étude ( $n=4$ ) à gauche, et les locutrices francophones natives de l'étude de Montagu (2007) ( $n=12$ ) à droite.

D'autre part, concernant la cible articuloire des voyelles nasales chez les apprenants, malgré la variabilité des résultats des mesures formantiques, /õ/ est la voyelle qui présente le moins de variation et qui se rapproche le plus d'une cible vocalique orale de manière plus définitive, /o/. Quant à /ã/, l'articulation orale « sous-jacente » est très proche de /a/, plus fréquemment dans les niveaux intermédiaire et avancé, alors que chez les débutants, la variation tend à la placer un peu par dessous /o/, sauf pour le seul locuteur débutant espagnol qui la réaliserait plus comme /a/ un peu plus postérieure. Enfin, le début oral de /ẽ/ se rapprocherait plus de /ɛ/ dans les niveaux débutant et intermédiaire, sauf pour le locuteur débutant espagnol pour qui /ẽ/ serait plus centrale, comme /a/, mais légèrement plus fermée. Pour le niveau avancé, /ẽ/ se rapproche de /a/ mais reste plus antérieure. Cette tendance d'antériorité peut répondre à un manque de maîtrise phonémique, mais aussi probablement à une transposition plutôt d'ordre orthographique que phonétique : l'énoncé correspondant à la tâche de lecture pour les voyelles

/ɛ/ et /ẽ/ est [pɛtʊr] et [pẽtʊr] mais pour l'expérience de production, nous avons proposé une transcription orthographique, "paitour" et "paintour", donc les résultats des mesures formantiques font penser que les apprenants ont reproduit le logatome ayant le phonème nasal comme [pentʊr] suivant la règle de prononciation pour la combinaison < ai >, et influencés aussi par la lecture juste avant du logatome ayant la voyelle orale. Ceci révélerait que /ẽ/ représente une incertitude phonémique pour les apprenants, tant en raison d'une compétence phonologique assez pauvre que la complexité orthographique de la voyelle (in, im, ain, aim, ein, eim, yn, ym, un, um, mais aussi -ien, et en comme dans *examen*). La voyelle /ẽ/ pourrait représenter en fin de compte le plus de difficulté pour la prononciation chez les apprenants.

Nous voici parvenu au terme de l'exposé de nos huit expériences consacrées à la production et à la perception des voyelles orales et nasales françaises par nos sujets naïfs et apprenants colombiens et espagnols, ainsi que par nos sujets natifs du français pour trois de ces expériences. Abordons à présent la synthèse de l'apport de ces résultats.

# Synthèse

Dans cette thèse, nous avons mené une série d'expériences perceptives et acoustiques sur les voyelles nasales du français perçues et produites par des hispanophones d'Espagne et de Colombie. L'objectif était, en quelque sorte, de documenter le rôle du "crible phonologique" des apprenants lors de l'apprentissage de la prononciation du français, notamment pour les voyelles nasales du français. Les apprenants ont eux-mêmes signalé ces voyelles comme difficiles à apprendre (cf. § 3.1.2). Les résultats de perception incluent également les voyelles antérieures arrondies, qui représentent elles aussi, selon les apprenants, une source de difficulté, bien que moindre que celle des voyelles nasales.

Les principaux résultats de nos expériences sont les suivants :

- 1) La production des voyelles de l'espagnol par les deux populations d'hispanophones d'Espagne et de Colombie ne révèle pas de grandes différences acoustiques. Les seules différences concernent notables sont celles entre locuteurs et locutrices. La variabilité au niveau de l'aperture et de la dimension antérieur/postérieur ( $\sim F1$  et  $F2$ ) est assez faible entre locuteurs espagnols et colombiens. En espagnol, l'arrondissement des lèvres est restreint aux voyelles postérieures où il est considéré comme phonologiquement « redondant » (Hualde & Colina, 2014:113); de plus, rétraction de la langue et arrondissement des lèvres induisent le même effet acoustique par augmentation du volume de la cavité antérieure de la bouche. Ainsi,  $F1$  et  $F2$  sont suffisants pour caractériser acoustiquement les cinq voyelles /a, i, e, o, u/ de l'espagnol.
- 2) En général, les performances de perception sont meilleures pour les sujets espagnols que pour les sujets colombiens. Nous avons évoqué les différences concernant l'apprentissage du français entre les deux populations. De l'avis des apprenants, les Espagnols ont davantage accès à une aide didactique que les Colombiens, via des cours de prononciation. En outre, les apprenants espagnols qui ont séjourné dans un pays francophone sont plus nombreux que les colombiens (18 sur 30 apprenants espagnols contre 5 sur 26 apprenants colombiens). Ces différences de méthodes d'enseignement et d'exposition au français parlé pourraient expliquer les différences de performance observées en perception.
- 3) L'hétérogénéité des stimuli dans la condition C2 (une voix de femme et une voix d'homme) rend la discrimination des contrastes des voyelles françaises plus difficile que lorsque les stimuli sont produits par une même voix, dans la condition C1 (une voix de

femme), en accord avec de nombreux autres travaux (Dupoux et al., 1999, Pallier et al., 1997). C'est sans doute parce que la condition à deux voix requiert l'utilisation de représentations phonologiques plutôt que acoustico-phonétiques. La "condition de locuteur" C2 permet donc de mieux examiner la perception par les sujets hispanophones des voyelles du français au niveau phonologique et de mieux faire ressortir les difficultés de discrimination.

- 4) Pour les voyelles orales, la perception du contraste français /y/-/u/ est la plus difficile pour les hispanophones, suivi de la perception de /ø/-/o/. D'après le modèle PAM, /y/-/u/ est un contraste SC (*Single category*), donc difficile à discriminer. En effet, le /y/ et le /u/ français sont tous deux massivement assimilés à la même catégorie de l'espagnol : /u/. Quant au contraste français /ø/-/o/, les résultats d'assimilation perceptive montrent que /ø/ peut être perçu comme un /u/, /e/, ou /o/ de l'espagnol, tandis que le /o/ français n'est assimilé qu'au /o/ espagnol. Le contraste /ø/-/o/ peut donc être TC (*Two categories*) ou bien SC ou CG (*Category goodness*), respectivement, selon que /ø/ est assimilé à /u, e/ ou à /o/. La discrimination de /ø/-/o/ est en tout cas moins difficile que celle de /y/-/u/. La discrimination de /y/-/i/ est quant à elle très bonne, étant donné que le /y/ et le /i/ du français sont surtout assimilés au /u/ et au /i/ de l'espagnol, respectivement : Il s'agit donc d'un contraste TC, donc facile. L'assimilation /y/ > /u/ est motivée par le trait d'arrondissement que ces deux voyelles ont en commun. Nous avons vu précédemment qu'en espagnol le trait d'arrondissement des lèvres est exclusivement associé aux voyelles postérieures /o/ et /u/ dont le F3 est bas. La hauteur de F3, relativement basse pour le /y/ français, pourrait ainsi être un indice perceptif déterminant dans sa perception par les hispanophones. L'assimilation diverse de /ø/ (/u, e, o/) semble aller dans le même sens, en raison de l'assimilation dominante avec /u, o/. Cependant, nos résultats montrent que /ø/ est parfois assimilé à /e/. D'autres expériences de perception seraient nécessaires pour confirmer et préciser ces résultats, étant donné l'assimilation multiple de /ø/ : la manipulation du contexte phonétique pourrait permettre d'obtenir des résultats plus solides. D'un point de vue didactique, nous pouvons considérer qu'une sensibilisation des hispanophones au trait [+antérieur] de la voyelle /y/ est nécessaire. Comme les auditeurs hispanophones sont perceptivement sensibles à l'arrondissement des lèvres, le travail complémentaire à réaliser serait de faire ressortir le trait d'antériorité de la voyelle afin qu'elle soit mieux perçue.
- 5) Contrairement à notre hypothèse initiale d'une difficulté des sujets hispanophones à distinguer entre voyelles orales et voyelles nasales françaises de lieu d'articulation



identique ou similaire (e.g., /o/-/õ/), nos résultats de discrimination montrent que les hispanophones font bien cette distinction, donc perçoivent le trait [nasal] dans les voyelles du français. La seule difficulté concerne le contraste /o/-/õ/, moins bien perçu que le contraste /ɔ/-/õ/. Selon [Montagu \(2007\)](#), les deux premiers formants de /o/ et /õ/ sont presque identiques, alors que ceux de /ɔ/ sont plus élevés, ce qui pourrait expliquer la tendance observée (/o/-/õ/ plus difficile que /ɔ/-/õ/). Malgré tout, les performances de discrimination des hispanophones sont globalement bonnes. Elles sont modulées par leur niveau de français: l'expérience de l'apprentissage du français améliore la perception des contrastes. Enfin, nous ne pouvons valider que partiellement l'hypothèse selon laquelle les contrastes oral-nasal des voyelles du français seraient SC pour les hispanophones, donc difficiles : comme /ẽ/ est massivement assimilée à /a/, le contraste /ẽ/-/ɛ/ est TC, donc facile ; comme /ã/ est assimilé soit à /a/ soit à /o/, le contraste /ã/-/a/ est soit SC ou CG, soit TC, les résultats suggérant plutôt TC ; le contraste /ɔ/-/õ/ est CG et /o/-/õ/ est plutôt SC.

#### 6) Principaux résultats des expériences de discrimination des voyelles nasales :

- Difficulté importante à discriminer les contrastes /ã/-/ẽ/ et /õ/-/ã/ par les apprenants espagnols, avec le même degré de difficulté pour les deux contrastes. Pour les apprenants colombiens, ces deux contrastes sont difficiles mais /õ/-/ã/ est plus difficile que /ã/-/ẽ/. Nous avons expliqué cette asymétrie entre les deux populations par le fait que /ã/ est assimilée presque aussi souvent à /a/ qu'à /o/ par les Espagnols mais bien plus souvent à /o/ qu'à /a/ par les Colombiens. Comme nous l'avons déjà vu, /ẽ/ et /õ/ sont quant à elles massivement assimilées à /a/ et /o/, respectivement, par les deux groupes. Par exemple, les Colombiens perçoivent donc plus souvent /õ/-/ã/ comme équivalent à /o/-/o/ que /ã/-/ẽ/ comme équivalent à /a/-/a/, ce qui expliquerait leur plus grande difficulté avec /õ/-/ã/ que /ã/-/ẽ/. Quant au contraste /ẽ/-/õ/, il est de type TC, donc facile, puisque /ẽ/ est assimilé à /a/ et /õ/ à /o/.
- Les expériences de catégorisation des voyelles nasales ont montré que les apprenants hispanophones ont des difficultés à identifier les voyelles /ẽ/ et /ã/, alors qu'ils ont de bonnes performances de catégorisation pour /õ/. Comme nous l'avons déjà vu, les hispanophones assimilent /ã/ à /o/ et /a/, avec un avantage pour /o/ plus marqué pour /o/ que /a/ chez les Colombiens. Trouvons ce pattern asymétrique dans les deux expériences de catégorisation des voyelles nasales :

dans des mots monosyllabiques et dans des logatomes dissyllabiques où la position était manipulée. Ici, notre hypothèse d'une meilleure perception des voyelles nasales en position finale n'a pas été validée. L'effet de position dans le logatome s'est en effet avéré non significatif. Le transfert attendu de l'assimilation nasale VN >  $\tilde{V}$  en fin de mot propre à certains dialectes littoraux de l'espagnol, qui aurait pu permettre une meilleure identification des voyelles nasales françaises en position finale ne semble donc pas avoir lieu. Les difficultés à identifier les voyelles nasales du français que rencontrent les apprenants sont directement et uniquement liées aux assimilations perceptives qu'ils font de ces voyelles. Pour les deux groupes d'apprenants, le niveau de français n'a d'effet significatif ni pour la discrimination ni pour l'identification des voyelles nasales : soit les méthodes d'enseignement des voyelles nasales ne sont pas assez efficaces, soit les ressources didactiques pour l'acquisition de ces voyelles sont insuffisantes. En revanche, pour la discrimination des voyelles orales du français, le niveau de français a un effet significatif. Ces résultats suggèrent que deux aspects fondamentaux de l'acquisition des voyelles nasales interagissent : la complexité des voyelles nasales, et les méthodes d'enseignement.

- 7) Les résultats de production montrent que les apprenants hispanophones, en particulier les apprenants colombiens, produisent des voyelles nasales plus longues que celles des locuteurs natifs. Comme les locuteurs natifs, les apprenants hispanophones produisent des voyelles nasales plus longues en position finale (de logatome). Le transfert de la coarticulation nasale en espagnol pourrait expliquer ce pattern. Nous pouvons du moins proposer que les apprenants hispanophones maîtrisent la distinction de durée entre voyelles nasales et orales. La coarticulation nasale de l'espagnol serait utile à cet égard. Mais il est clair que la seule distinction de durée n'est pas suffisante pour la maîtrise phonologique des voyelles nasales.

Les résultats sur la p(N) (proportion de nasalité) des voyelles nasales montrent que les apprenants hispanophones peuvent ajuster leur gestes articulatoires pour produire des vibrations nasales, d'où une p(N) spécifique à chaque voyelle nasale, tout comme les locuteurs natifs du français : pour les trois groupes de sujets, l'ordre de p(N) est / $\tilde{\delta}$ / > / $\tilde{\alpha}$ / > / $\tilde{\epsilon}$ /. (Il y a cependant une différence significative de p(N) entre natifs et apprenants, la p(N) des natifs étant plus élevée que celle des apprenants.) La p(N) des voyelles nasales serait inversement proportionnelle à la configuration des lèvres : plus l'aperture labiale est importante, moins la p(N) serait élevée, avec la p(N) la plus basse pour / $\tilde{\epsilon}$ /. Les

données aérodynamiques de Amelot (2004) montrent en effet que /ẽ/ a une “faible résistance labiale” (Amelot, 2004 :104) et une moindre ouverture du vélum, d’où une p(N) plus basse. Plus il y a de résistance au niveau des lèvres, plus la p(N) est élevée : /õ/ a la p(N) la plus élevée et son articulation requiert un arrondissement des lèvres, ou même un sur-arrondissement (Lonchamp, 1988 ; Montagu, 2002, 2007 ; Zerling, 1984, 1989, 1992 ), donc une plus grande résistance aérodynamique. Dans le cas des apprenants hispanophones, les configurations des lèvres sont sans doute différentes de celles des natifs. Les données sur les formants en début de voyelle (partie orale), qui pourraient permettre d’inférer en partie ces configurations, montrent beaucoup de variabilité. Cependant, comme nous l’avons noté, la p(N) des trois voyelles nasales s’ordonne de la même façon chez les apprenants et les natifs.

Comme nous l’avons évoqué dans la discussion de l’expérience de production, la représentation orthographique des voyelles peut aussi jouer un rôle dans la prononciation.

Les résultats de perception suggèrent que la voyelle /ã/ est la plus difficile. En effet, /ã/ est la seule voyelle nasale qui est assimilée à deux catégories différentes de l’espagnol (/o/ et /a/) : c’est donc un son difficile à percevoir. La voyelle nasale /õ/ est la moins problématique tant en termes de perception que de production. Il se peut que pour les hispanophones le rapport entre perception et production des voyelles nasales ne se produise pas dans une direction unique, ou bien qu’il n’y ait pas de dépendance d’un processus sur l’autre, mais plutôt une complémentarité entre les deux. Les témoignages des apprenants par rapport à leur apprentissage du français offrent un éclairage sur cette question. L’exposition à l’oral (plus précisément, à la structure phonétique du français) est relativement plus fréquente chez les apprenants espagnols que chez les colombiens. Il en est de même pour les situations réelles d’interaction avec les francophones si l’on considère les durées de séjour linguistique dans des pays francophones. Ceci permettrait d’expliquer les meilleures performances en perception et en production pour les Espagnols que les Colombiens. Les données de discrimination et d’identification des voyelles nasales ne montrent pourtant pas d’effet net du niveau de français, c’est-à-dire de l’expérience d’apprentissage du français. Il faudrait une approche didactique intégrale de la prononciation des voyelles nasales réunissant les dimensions phonétiques de l’aperture, du lieu d’articulation, et de l’arrondissement des lèvres, en plus du trait de nasalité, dans une relation complémentaire entre perception et production.

Dans l’esprit de rendre compte de ces dimensions phonétiques, la didactique de la prononciation peut être accompagnée de la phonétique expérimentale pour la sensibilisation

(Kamiyama, 2009) et l'enseignement des aspects phonétiques et acoustiques du français (Brkan et al., 2012) ainsi que pour le diagnostic des difficultés de prononciation (Nawafleh, 2013) et la constitution des bases de données de production du FLE (Pillot-Loiseau et al., 2010).

Nos données de production comportent aussi des données vidéo sur les mouvements des lèvres. Elles pourraient contribuer au panorama d'une approche intégrale de la prononciation des voyelles nasales du français afin de souligner cet autre aspect de l'articulation des voyelles nasales : l'arrondissement et la protrusion des lèvres. Nous avons rencontré des difficultés techniques pour analyser efficacement ces données vidéo, en particulier des variations de luminosité selon les lieux d'enregistrement. L'exploitation des données vidéo a requis des traitements spéciaux et l'utilisation de plusieurs logiciels (Natron<sup>25</sup>, Nuke<sup>26</sup>, ainsi que des scripts Matlab sur mesure) pour en extraire les mouvements des lèvres. D'autre part, la quantité de données à traiter rendait cette tâche difficile. Les analyses ont nécessairement été limitées à un petit nombre de locuteurs. Nous présentons malgré tout partiellement ces données pour comparer l'articulation labiale de deux locutrices : une francophone native (FR4) et une apprenante espagnole de niveau avancé (ESP-A1). Nous avons choisi les productions des voyelles orales /a, ε, o/ et les voyelles nasales /ã, ê, õ/, dans des logatomes en position initiale absolue.

Les figures 91, 93, et 95 montrent les productions des voyelles par la locutrice francophone native, et les figures 92, 94, et 96 correspondent à celles de la locutrice espagnole. Pour chaque figure, les voyelles orales et nasales sont opposées afin d'illustrer les différences et les similitudes au niveau de l'articulation labiale des deux types de voyelles. Dans chaque panneau des figures sont présentés : en haut, le signal acoustique, au milieu, la courbe concernant l'aperture labiale, et en bas, la courbe pour l'écartement des lèvres. Ces courbes montrent leur trajectoire dans le temps, étant donné qu'elles sont alignées au signal sonore.

La Figure 91 montre la réalisation des logatomes [atal] et [ãtal] par la locutrice FR4, et la Figure 92 montre la production de l'apprenante ESP-A1. Les figures montrent la séquence « *dites atal* » et « *dites antal* » de la phrase cadre « *Vous dites atal six fois* », « *Vous dites antal six fois* ».

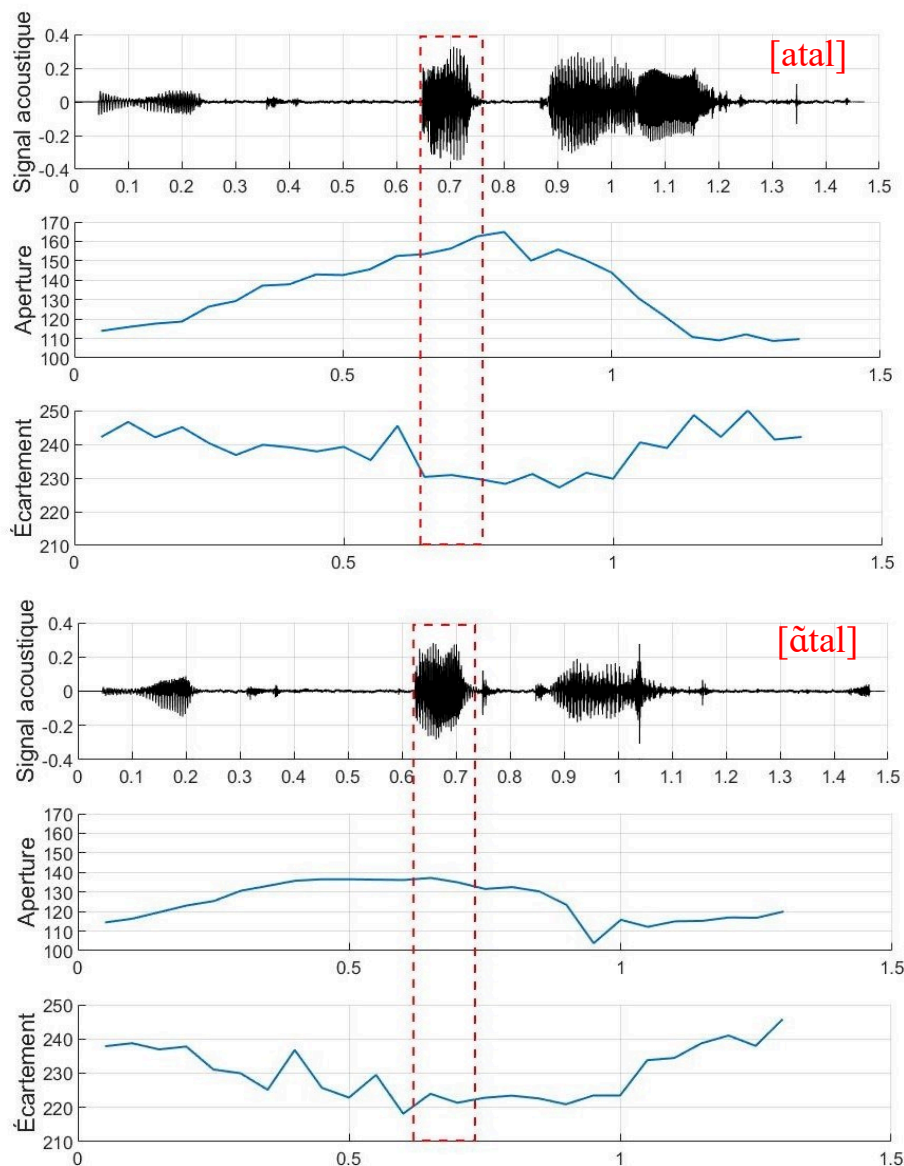
La locutrice FR4 réalise une aperture labiale plus importante pour la voyelle orale (première figure) que pour la voyelle nasale (deuxième figure). En effet, la courbe de l'aperture, dans le panneau du milieu, montre une augmentation de la courbe à partir de la fin de

---

<sup>25</sup> Plateforme open source pour la composition numérique des formats vidéo ou d'animation et développement des effets visuels : <https://natrongithub.github.io/>.

<sup>26</sup> Logiciel de composition numérique des formats vidéo ou d'animation : <https://www.foundry.com/products/nuke>.

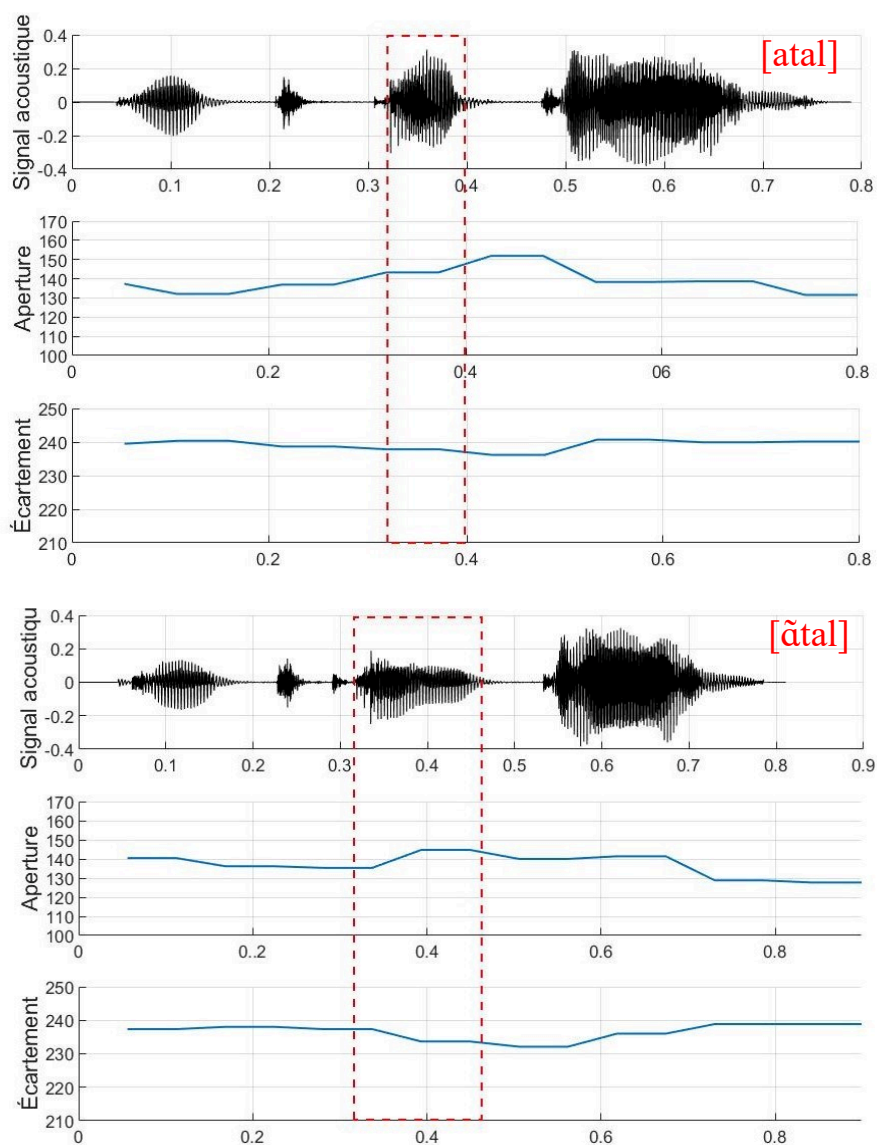
l'articulation de /i/ dans [dit] pour la production du logatome, plus marquée pour la voyelle orale que pour la nasale. Concernant l'écartement des lèvres, on observe que la courbe descend après l'articulation du /i/, voyelle pour laquelle les commissures des lèvres s'éloignent le plus l'une de l'autre, légèrement pour la voyelle orale et de manière plus marquée pour la voyelle nasale. Une petite élévation de la courbe de l'aperture et une descente plus importante de la courbe de l'écartement des lèvres correspondent au geste articulaire de l'arrondissement pour /ã/.



**Figure 91.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites atal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites antal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice native du français (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.

La Figure 92 montre la production des deux mêmes logatomes [atal] et [ãtal] par la locutrice ESP-A1. Les deux courbes sont assez plates par rapport à celles de FR4. Toutefois, il y

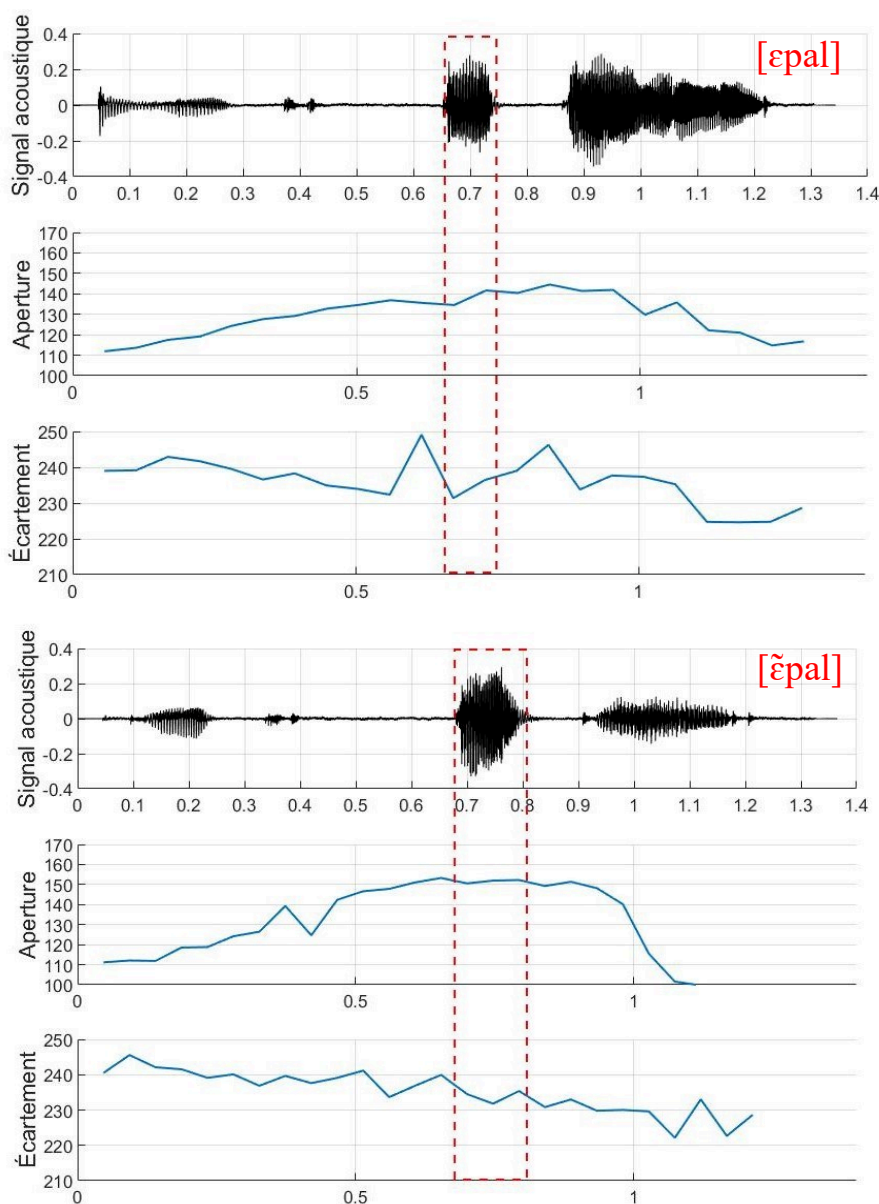
a une très petite différence d'aperture où /a/ est plus ouvert que /ã/, de même que l'écartement des lèvres est légèrement plus réduit pour la voyelle nasale que pour la nasale. Par ailleurs, les deux gestes de l'articulation labiale semblent se réaliser de manière tardive, car il n'y a pas d'anticipation des deux mouvements. Au contraire, ils sont plus marqués au moment même du segment ou même après. L'articulation labiale semble se rapprocher de cette de FR4, la différence peut résider dans le fait que la locutrice ESP-A1 a un débit un peu plus rapide.



**Figure 92.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « *Vous dites atal six fois* », figure d'en haut, et « *Vous dites antal six fois* », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice espagnole de niveau avancé de français (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.

La Figure 93 montre la réalisation des logotomes [ɛpal] et [ɛ̃pal] concernant les voyelles par la locutrice francophone native. La courbe de l'aperture labiale est plus importante pour /ɛ̃/ que pour /ɛ/, et concernant pour la courbe de l'écartement des lèvres, elle descend un peu plus

pour la nasale que pour la voyelle orale. Cette articulation indique qu'il y a un écartement des lèvres plus important pour /ε/, moins que pour /i/ en tout cas, alors que pour /ẽ/ il y a un arrondissement des lèvres.

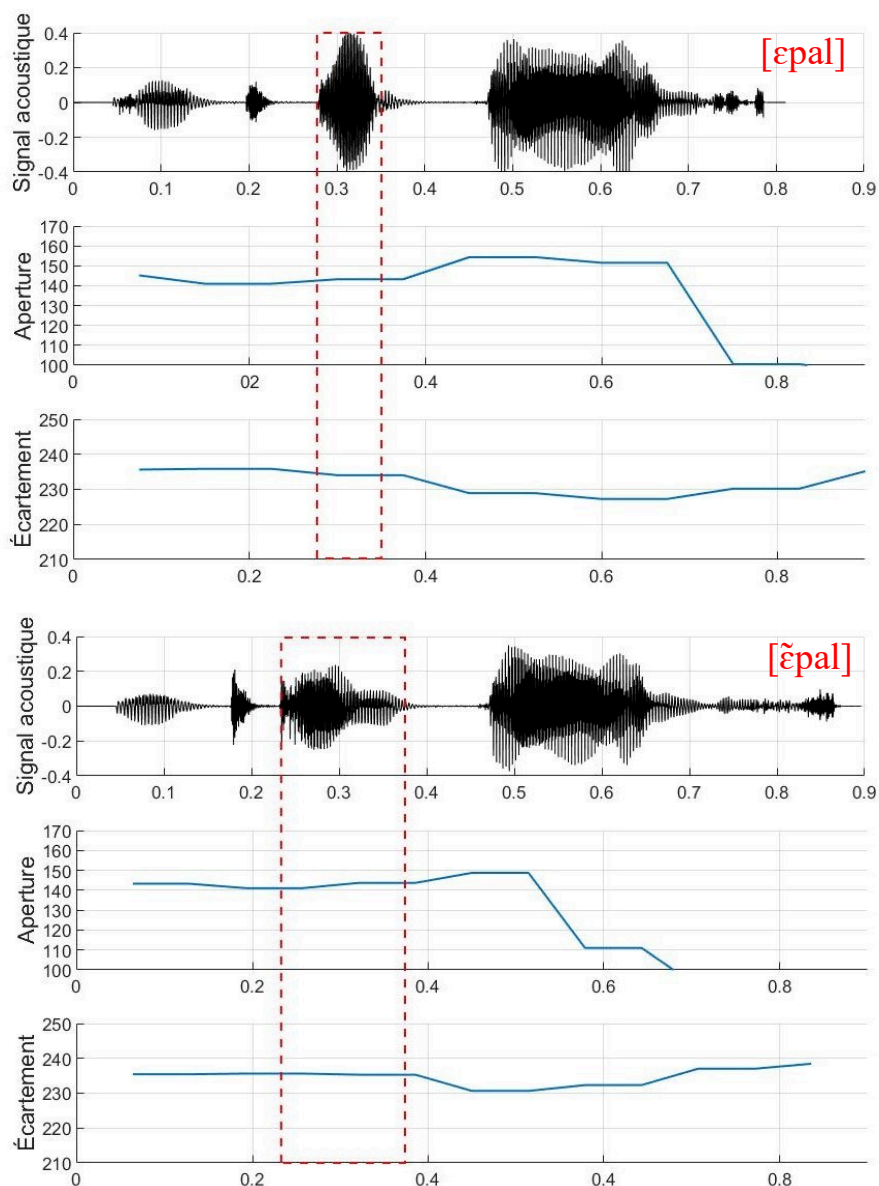


**Figure 93.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites aipal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites aimpal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice francophone native (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.

La locutrice ESP-A1 ne présente pas la même configuration labiale pour distinguer /ε/ et /ẽ/. En effet, la Figure 94 montre que les courbes d'aperture et d'écartement des lèvres est la même dans les deux cas pour l'apprenante espagnole. On notera un petit arrondissement lors de



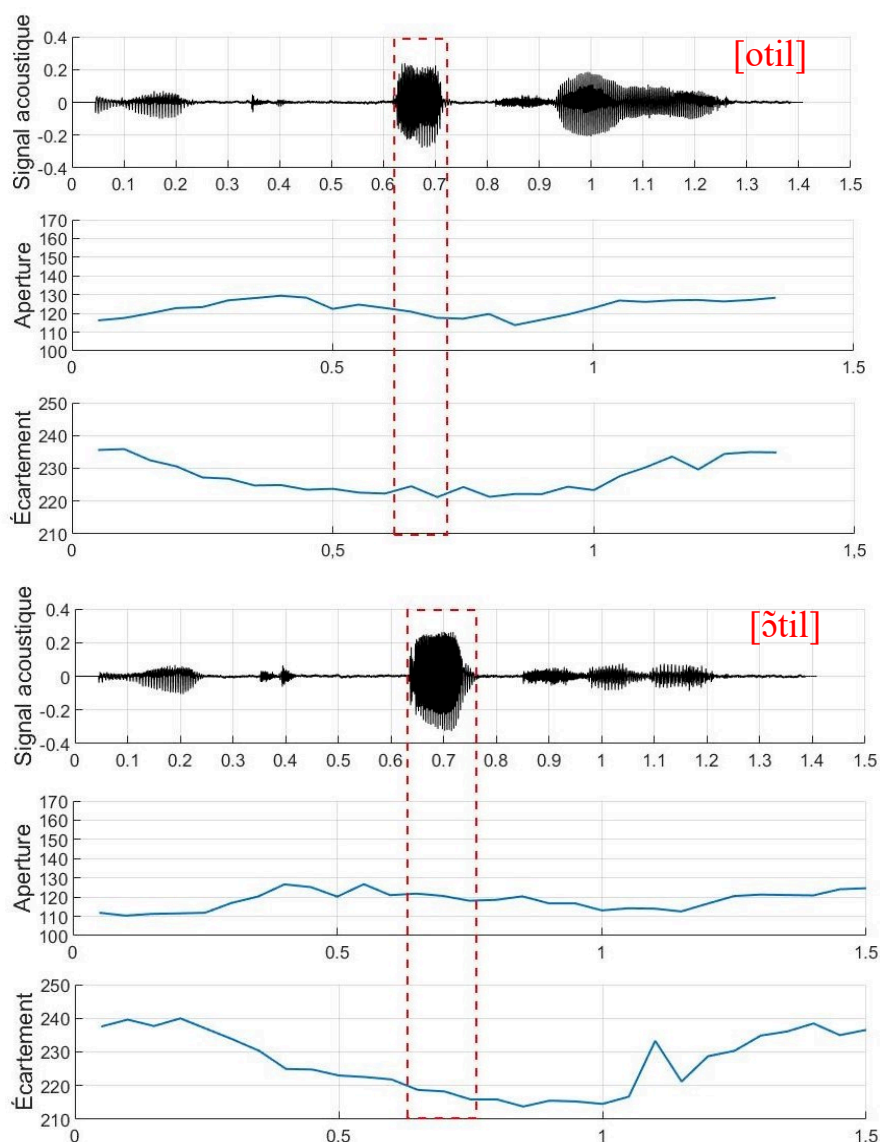
la production de la voyelle de la deuxième syllabe, qui est d'ailleurs la même dans les deux logatomes, /a/ : la courbe de l'aperture monte en même temps que la courbe de l'écartement descend pour cette voyelle [a]. De toutes façons, la locutrice ESP-A1 réalise un mouvement des lèvres très similaire tant pour /ε/ que pour /ẽ/ ; ces informations de l'articulation labiale nécessitent d'autres informations complémentaires pour préciser les différences entre ces deux voyelles chez cette locutrice. Par ailleurs, la chute de la courbe d'aperture vers la fin du logatome est un aspect à vérifier et corriger.



**Figure 94.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites aipal six fois », figure d'en haut, et « Vous dites aimpal six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice espagnole (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.



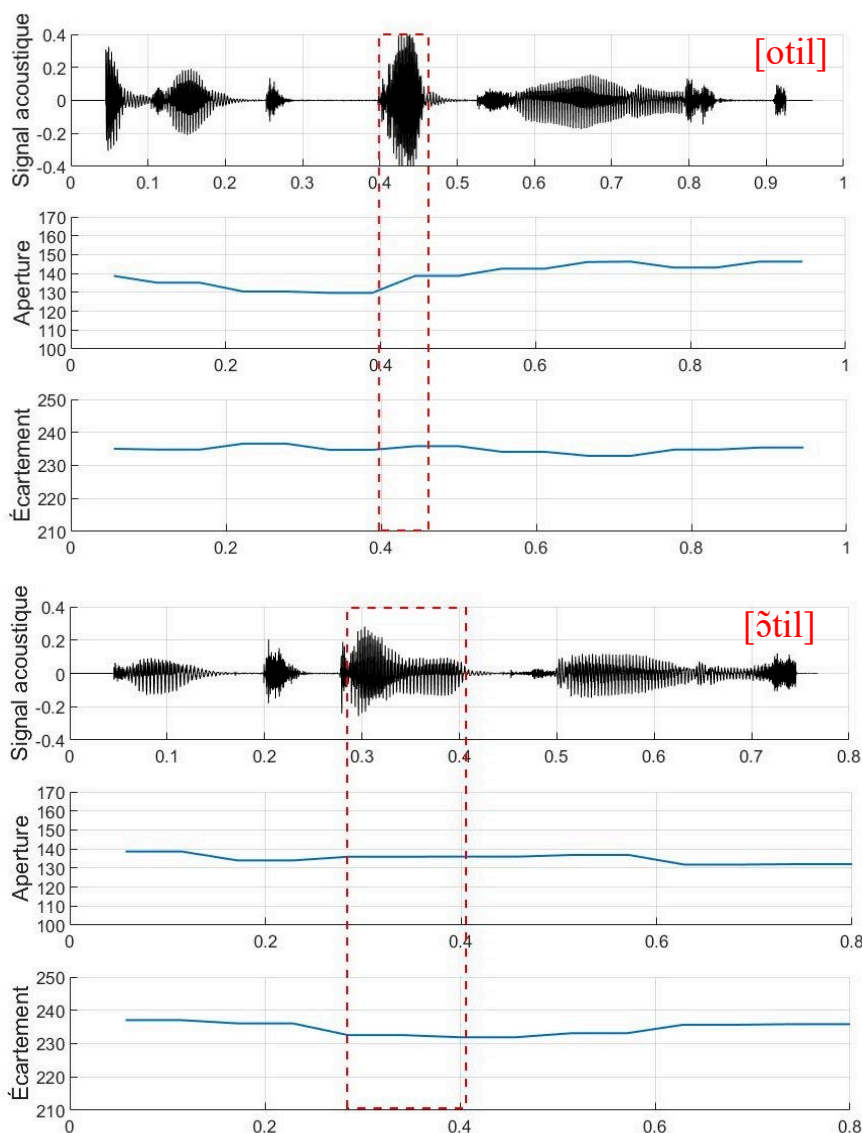
Finalement, nous comparons la production des logatomes [otil] et [õtil] par les deux locutrices. La Figure 95 montre la réalisation de la locutrice FR4. La courbe de l'aperture des lèvres est la même, alors que la courbe de l'écartement descend un peu plus pour la voyelle nasale, notamment lors de son émission. Pour les deux voyelles, l'articulation labiale est assez fermée, mais l'arrondissement des lèvres est plus prononcé pour /õ/.



**Figure 95.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites otil six fois », figure d'en haut, et « Vous dites ontill six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice francophone native (FR4). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.

Quant à l'articulation de l'apprenante espagnole, nous observons de petites différences d'articulation labiale pour /o/ et /õ/. La Figure 96 montre la réalisation des logatomes [otil] et [õtil] par la locutrice ESP-A1. La courbe de l'aperture semble s'élever un peu plus pour la voyelle orale au milieu de sa production, mais l'élévation de la courbe est la même pour les

deux voyelles. Concernant la courbe de l'écartement des lèvres, elle descend légèrement un peu plus pour /ɔ̃/ que pour /o/. L'articulation labiale de /o/ et de /ɔ̃/ que réalise l'apprenante tend à bien imiter celle de la locutrice native du français, où la voyelle nasale peut être plus fermée que sa contrepartie orale, même si FR4 réalise ces voyelles encore plus fermées.



**Figure 96.** Mouvements des lèvres lors de la production de la séquence « Vous dites otil six fois », figure d'en haut, et « Vous dites ontil six fois », en bas (en gras la partie visible sur le signal acoustique) par la locutrice espagnole (ESP-A1). De haut en bas pour chaque panneau : signal acoustique, aperture labiale, et écartement des lèvres. Les lignes pointillées en rouge montrent le segment de la voyelle.

Les considérations sur l'articulation labiale des voyelles nasales devraient être naturellement élargies et développées non seulement dans un cadre de recherche sur l'acquisition des sons non-natifs mais aussi dans un cadre didactique de la prononciation du français.

## Conclusions et perspectives

La présente thèse a eu pour objet l'étude de la perception et la production des voyelles nasales du français par des sujets d'hispanophones d'Espagne et de Colombie. En tant que sujets non-natifs du français, l'apprentissage de la prononciation implique que ces sujets rencontrent des difficultés par rapport à certains sons du français. Plusieurs travaux en acquisition de la phonétique et la phonologie des sons non-natifs ont abordé la question des difficultés et le rôle de la langue maternelle : nous nous sommes alors centré sur les voyelles nasales du français, qui n'existent pas en espagnol, et qui représentent des sons non-natifs difficiles à acquérir.

Nous avons dans cette recherche effectué une série d'expériences de perception des voyelles nasales du français, mais aussi celle des voyelles orales antérieures arrondies /y, ø, œ/ également difficiles à acquérir, et une expérience de production. Les hispanophones participant à cette étude étaient, d'une part, des sujets n'ayant jamais étudié le français, et d'autre part, des apprenants de français.

Parmi les expériences de perception, celle d'assimilation perceptive des voyelles du français selon les catégories vocaliques de l'espagnol a fourni des éléments substantiels de réponse qui seraient à l'origine des difficultés de prononciation. Le Modèle PAM a prédit à bon escient les contrastes de ces voyelles non-natives qui seraient, selon leurs similarités, difficiles ou faciles.

Les résultats de l'expérience de discrimination des voyelles orales du français ont montré que les contrastes les plus difficiles pour les hispanophones étaient /y/-/u/, et dans une moindre mesure, /ø/-/o/. Pour le Modèle PAM, le premier contraste est SC (*Single category*), très difficile. Le deuxième est un contraste SC, mais aussi TC (*Two categories*) ou CG (*Category goodness*) en raison d'une assimilation multiple (/u/, /e/, /o/ de l'espagnol). Les autres contrastes testés comme /e/-/i/, /y/-/i/ et /ø/-/ε/ sont relativement faciles, sauf le dernier, car les sujets colombiens notamment, assimilent /ε/ à /e/ et à /o/, et l'assimilation de /ø/ varie entre trois catégories natives de l'espagnol rendant la perception instable.

Pour l'expérience de discrimination entre les voyelles orales et les voyelles nasales, nous avons trouvé que les auditeurs hispanophones font la distinction oral/nasal des voyelles nasales, mais un peu moins bien pour /o/-/õ/, notamment chez les sujets colombiens.

Quant à la discrimination des voyelles nasales entre elles, les difficultés se concentrent dans les contrastes /ẽ/-/ã/ et /ã/-/õ/. Selon le Modèle PAM, /ẽ/-/ã/ est un contraste TC, donc facile, mais parfois aussi SC et CG, de difficile à moins difficile selon le jugement des auditeurs de *bon appariement* avec les catégories de l'espagnol. Un peu plus complexe est le contraste /ã/-

/ɔ̃/, qui est prédit comme SC ou CG, c'est-à-dire très difficile car ils sont assimilés à une même catégorie, mais parfois aussi moins difficile selon le jugement de bon appariement. Quoi qu'il en soit, /ã/ affecte la discrimination de /ẽ/ et de /ɔ̃/, car elle est la seule voyelle à être assimilée à deux catégories natives de l'espagnol. Ces constats sont confirmés par les résultats d'identification des voyelles nasales, avec plus de difficultés à identifier /ã/ et /ẽ/. De plus, les difficultés s'accroissent lorsque les voyelles nasales sont produites par deux voix différentes. Pour les résultats d'identification, un indice acoustique a permis aux sujets de mieux identifier les voyelles nasales avec la voix d'homme qu'avec la voix de femme : la durée des voyelles nasales, plus longues chez le locuteur. En effet, au stade d'apprentissage des apprenants, un débit de parole lent favorise la compréhension et par conséquent le traitement de la fin des unités phonétiques et phonologiques. Cependant, le plus surprenant réside dans le fait que le niveau de français n'est pas un effet déterminant pour la perception des voyelles nasales. Nos résultats de discrimination et d'identification ainsi l'indiquent, car les résultats de discrimination des voyelles orales et celle des voyelles orales et nasales montrent, en revanche, que le niveau joue un rôle important pour bien distinguer les voyelles. D'autres facteurs comme le rang de présentation des stimuli pour l'expérience d'identification ont montré, cependant, que les apprenants colombiens peuvent affiner leur perception au fur et à mesure qu'ils écoutent les répétitions des voyelles.

Au niveau de la production, les résultats ont montré que les apprenants hispanophones transfèrent le geste de la coarticulation nasale de l'espagnol lors de la réalisation des voyelles nasales du français : ils produisent une durée des voyelles orales et, surtout, des voyelles nasales plus importante que les locuteurs natifs du français. Il n'y a pas de différences de durée entre les apprenants espagnols et colombiens, ce qui confirme l'hypothèse du transfert.

D'autre part, la mesure de p(N) a été utilisée pour rendre compte de l'indice de nasalité des voyelles orales et nasales. Les résultats montrent que la p(N) est plus grande pour les voyelles nasales que les orales, et elle est plus importante chez les natifs du français que pour les apprenants, et entre les deux groupes d'apprenants, il n'y a pas de différences significatives. Comme pour les expériences de perception, leur niveau de français n'est pas déterminant pour la production concernant la durée que la p(N) des voyelles nasales. Les résultats ont également montré que la p(N) est supérieure pour /ɔ̃/, elle est moins importante pour /ã/, et encore moins pour /ẽ/. Enfin, la cible articulaire orale présente beaucoup de variation formantique chez les apprenants, mettant en évidence les difficultés de prononciation au niveau de la position de la langue, notamment pour /ẽ/ et /ã/. L'articulation orale « sous-jacente » chez les locuteurs natifs du français indique que /ẽ/ est plus proche de /a/, et que la configuration orale de /ã/ se

rapproche plus de celle de /o/, et enfin pour /õ/, l'articulation orale est aussi plus proche de /o/ mais elle est plus postérieure. Alors que chez les apprenants, /ẽ/ se rapproche de /ɛ/, /ã/ est proche de /a/, et l'articulation orale de /õ/ est aussi fermée et plus postérieure comme chez les natifs du français. La voyelle /õ/ est la voyelle qui ne représente pas de vraie difficulté pour la production.

Cependant, les données sur l'articulation labiale des voyelles nasales laisseraient entrevoir que la maîtrise au niveau de la production n'est pas encore atteinte, surtout pour la réalisation de /ẽ/ et /ã/, et dans une moindre mesure pour /õ/ aussi.

La présente thèse fournit un apport singulier sur l'étude de l'acquisition des sons non-natifs, tant en perception qu'en production. En raison du nombre considérable de sujets examinés ainsi que des données et de la variété d'expériences, les résultats obtenus peuvent contribuer à la réflexion sur les pratiques actuelles d'apprentissage et d'enseignement des langues étrangères. De futures études doivent se réaliser dans ce sens, et c'est ce que nous considérons à partir de ce moment. D'une part, confirmer nos résultats avec d'autres études afin de tracer des références expérimentales pour les natifs de l'espagnol qui apprennent le français. Il faudrait prendre en considération, également, en plus de la variabilité dans les groupes, la variabilité individuelle. Nous avons effectué des expériences auprès de deux populations hispanophones, qui semblent présenter des différences minimales et selon la littérature plus au niveau consonantique et intonatif. Il serait convenable de faire d'autres études sur l'acquisition des sons non-natifs comme les voyelles nasales du français par d'autres populations hispanophones, étant donnée la grande variété à cet égard. D'autre part, nous comptons continuer avec l'étude de l'articulation labiale des voyelles nasales chez les apprenants hispanophones comme nous avons essayé de le faire vers la fin de notre travail. L'observation de plusieurs dimensions phonétiques nous semble très pertinent pour l'étude de la nasalité vocalique chez les apprenants hispanophones.

# Références Bibliographiques

1. Amelot A. (2004). Étude aérodynamique, fibroscopique, acoustique et perceptive des voyelles nasales du français. Thèse de Doctorat en Phonétique, Université Paris III, Sorbonne-Nouvelle.
2. Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2019). *lme4: Linear Mixed-Effects Models Using Eigen and S4*. R package version 1.1-10, URL: <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.
3. Best, C. T. (1994). The emergence of native-language phonological influences in infants: A perceptual assimilation model. In J. Goodman & H. C. Nusbaum (Eds.), *The development of speech perception: The transition from speech sounds to spoken words* (167–224). Cambridge, MA: MIT Press.
4. Best, C. T. (1995). A direct realist view of cross-language speech perception. In W. Strange (Ed.), *Speech perception and linguistic experience: Issues in cross-language research* (171–204). Baltimore: York Press.
5. Best, C. T., Faber, A., and Levitt, A. (1996). Assimilation of non-native vowel contrasts to the American English vowel system. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99, 2602–2603. [https://doi: 10.1121/1.415316](https://doi.org/10.1121/1.415316)
6. Best, C. T., McRoberts, G. W. & Goodell, E. (2001). American listeners' perception of nonnative consonant contrasts varying in perceptual assimilation to English phonology. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 775-794.
7. Best, C. T., Hallé, P. A., Bohn, O.-S. & Faber, A. (2003). Cross-language perception of nonnative vowels: Phonological and phonetic effects of listeners' native languages. In Solé, M. J., Recasens, D. & J. Romero (Eds.). *Proceedings of the fifteenth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*. Barcelona: Causal Productions, 2889-2892.
8. Best, C. T., & Tyler, M. D. (2007). Nonnative and second-language speech perception: Commonalities and complementarities. In O.-S. Bohn, & M. J. Munro (Eds.), *Language experience in second language speech learning: In honor of James Emil Flege* (13–34). Amsterdam: John Benjamins.

9. Bever, T. (1981). Normal acquisition processes explain the critical period for language learning. In Karl, D. (Ed.), *Individual Differences and Universal in Language Learning Aptitude*, 176-198. Rowley, MA: Newbury House.
10. Bongaerts, T. (2003). Effets de l'âge sur l'acquisition de la prononciation d'une seconde langue. *Acquisition et interaction en langue étrangère (Aile)*, 18, 79-98. <https://doi.org/10.4000/aile.1153>
11. Bothorel, A., Simon, P., Wioland, F., & Zerling, J.-P. (1986). Cinéradiographie des voyelles et consonnes du français. *Travaux de l'Institut de Phonétique de Strasbourg*, 18, 1-152.
12. Borrell, A., (1996). Parallèle entre production et perception ? Complexité du lien entre reconnaissance et production des unités phonético-phonologiques, *La linguistique*, 32, Fasc. 2, 105-116, Presses Universitaires de France. <http://www.jstor.org/stable/30249237>
13. Boersma, P., & Weenink, D. (2020). *Praat: Doing Phonetics by Computer* (Version 6.1.37) [logiciel]. <http://www.praat.org/>
14. Brandao De Carvalho, J., Nguyen, N., & Waquier, S. (2010). *Comprendre la phonologie*, Presses Universitaires de France, Paris.
15. Brkan, A., Amelot, A. & Pillot-Loiseau, C. (2012). Utilisation d'un accéléromètre piezoélectrique pour l'étude de la nasalité du Français Langue Étrangère. *Actes de la conférence conjointe JEP-TALN-RECITAL, Vol. 1, JEP*, Grenoble, 689-696.
16. Brkan, A. (2018). Étude comparative des phénomènes de coarticulation nasale en anglais américain, bosnien, français, norvégien et ourdou. Thèse de Doctorat en Phonétique. Université Sorbonne Paris Cité.
17. Brichler-Labaeye, C. (1970). Les voyelles françaises. Mouvements et positions articulatoires à la lumière de la radiocinématographie. Paris : Klincksieck.
18. Bustamante, D. A., Amelot, A. & Pillot-Loiseau, C. (2014). Étude de la production des voyelles nasales du français chez des apprenants espagnols et colombiens, *30èmes Journées d'études sur la parole*, Le Mans, 23 - 27 juin 2014, 576-580.
19. Bustamante, D. A., Hallé, P. & Pillot-Loiseau, C. (2018). Perception des voyelles nasales du français par des apprenants hispanophones, *32èmes Journées d'études sur la parole*, Aix-en-Provence, 4 - 8 juin 2018, 603-611.

20. Calliope. (1989). *La parole et son traitement automatique*. Paris, Milano, Barcelona, Mexico : Masson, 1989.
21. Canfield, D. L. (1962): *La pronunciación del español en América*. Bogotá: Instituto Caro y Cuervo (ICC).
22. Carignan, C. (2012). Quand nasal est plus que nasal : L'articulation orale des voyelles nasales en français, *Actes de la conférence conjointe JEP-TALN-RECITAL, 1*, Grenoble, 747–754.
23. Carton, F., (1983). Introduction à la phonétique du français. Paris : Bordas.
24. Carton, F., (2000). La Prononciation, Dans Antoine, G. et Martin, R. (2000) *Histoire de la langue française (1945-2000)*. CNRS Éditions, Paris.
25. Chládková, K., Escudero, P., & Boersma, P. (2011). Context-specific acoustic differences between Peruvian and Iberian Spanish vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(1), 416–428. <https://doi.org/10.1121/1.3592242>.
26. Chomsky, N. & Halle, M., (1968). *The Sound Pattern of English*. New York: Harper Row.
27. Companys, E. (1966). *Phonétique française pour hispanophones*. Rennes : Hachette et Larousse.
28. Conseil de l'Europe & Comité de l'éducation. (2001). Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues : apprendre, enseigner, évaluer. Paris : Didier.
29. Conseil de l'Europe. (2018). Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues : apprendre, enseigner, évaluer. Volume complémentaire avec de nouveaux descripteurs. Strasbourg : Conseil de l'Europe. Division des Politiques éducatives. Service de l'Education.
30. D'Introno, F., Del Teso, E., & Weston, R. (1995). *Fonética y fonología actual del español*. Madrid. CÁTEDRA.
31. Deswarte, C., Baquero., F. J., Reyes-Rincón, J., Plata-Peñafort, C. (2019). Erreurs fossilisables de prononciation du français chez des apprenants hispanophones. *Magis Revista Internacional de Investigación en Educación*, 12(25), 59-76.
32. Delattre P. C. (1954). Les attributs acoustiques de la nasalité vocalique et consonantique. *Studia. Linguistica*, 8(2), 103-110.



33. Delattre P. C. (1965). La nasalité vocalique en français et en anglais. *The French Review*, 39(1), 92-109.
34. Delattre P. C. (1966). *Studies in French and comparative phonetics*. The Hague: Mouton.
35. Delattre P. C. (1968). La Radiographie des voyelles françaises et sa corrélation acoustique. *The French Review*, 42(1), 48-65.
36. Delvaux, V. (2012). *Les voyelles nasales du français : Aérodynamique, articulation, acoustique et perception*. Études de linguistique française. Bruxelles, P.I.E. Peter Lang, S.A.
37. Delvaux, V., Metens, T. & Soquet, A. (2002). Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du français. *24èmes Journées d'études sur la parole*, Nancy, 1, 348-352.
38. Delvaux, V., Demolin, D., Soquet, A., & Kingston, J. (2004). La perception des voyelles nasales du français. *25èmes Journées d'études sur la parole*. Fez, 157-160.
39. Delvaux, V., Demolin, D., Harmegnies, B., & Soquet, A. (2008). The aerodynamics of nasalization in French. *Journal of Phonetics*, 36(4), 578-606.
40. Detey, S. (2005). Interphonologie et représentations orthographiques. Du rôle de l'écrit dans l'enseignement/apprentissage du français oral chez des étudiants japonais. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse II.
41. Detey, S., Racine, I., Kawaguchi, Y., Zay, F., Buehler, N., & Schwab, S. (2010). Evaluation des voyelles nasales en français L2 en production : de la nécessité d'un corpus multitâches, *Congrès Mondial de linguistique française (CMLF)*, 1289-1301. doi 10.1051/cmlf/2010119
42. Dupoux, E., Pallier, C., Sebastian, N., & Mehler, J. (1997). A Distressing "Deafness" in French? *Journal of Memory and Language*, 36(3), 406-421.
43. Dupoux, E., Kakehi, K., Hirose, Y., Pallier, C., & Mehler, J. (1999). Epenthetic vowels in Japanese: A perceptual illusion? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1568–1578. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.6.1568>.
44. Durand, M., (1946). *Voyelles longues et voyelles brèves : Essai sur la nature de la quantité vocalique*. Paris: Klincksiek.
45. Eckman, F. R. (2004). Research on Second Language Phonology. *Studies in Second Language Acquisition*, 26(4): 513-545.

46. Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production: With Calculations based on X-Ray Studies of Russian Articulations*. The Hague, Mouton
47. Flege, J. E. (1987). The production of “new” and “similar” phones in a foreign language: evidence for the effect of equivalence classification. *Journal of Phonetics*, 15: 47-65.
48. Flege, J. E. (1992). The intelligibility of English vowels spoken by British and Dutch talkers. In R. D. Kent (Ed.), *Intelligibility in speech disorders: Theory, measurement, and management* (157–232). Amsterdam: John Benjamins.
49. Flege, J. E. (1995). Second Language Speech Learning. Theory, Findings and Problems. In Strange, W. (Ed.), *Speech Perception and Linguistic Experience: Issues in Cross-language research.*, 233-277. Timonium: MD: York Press.
50. Flege, J. E. (2003). Assessing constraints on second-language segmental production and perception. In Meyer, A. & N. Schiller (Eds.). *Phonetics and Phonology in Language Comprehension and Production, Differences and Similarities*. Berlin: Mouton de Gruyter, 319-355.
51. Flege, J., E., Munro, M. J. & I. Mackay, I. (1995). Factors affecting strength of perceived foreign accent in a second language. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(5), 3125-3134.
52. Flege, J. E., Yeny-Komshian, G. H. & Liu, S. (1999). Age constraints on second-language acquisition. *Journal of Memory and Language*, 41(1), 78-104.
53. Flege, J., & Bohn, O. (2021). The Revised Speech Learning Model (SLM-r). In Wayland, R. (Ed.), *Second Language Speech Learning*. 3-83. Cambridge University Press.
54. Fougeron, C. (1998). Variations articulatoires en début de constituants prosodiques de différents niveaux en français. Thèse de Phonétique, Université de Paris III, Sorbonne-Nouvelle.
55. Fougeron, C. & Keating, P. A. (1996). Articulatory strengthening in prosodic domain-initial position. *University of California Working Papers in Phonetics*, 92, (Aug), 61-87.
56. García Mouton, P. (1994). *Lenguas y dialectos de España*. Madrid. Editorial Arco Libros.
57. Gass, S. & Selinker, L. (1994). *Second language acquisition: an introductory course*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

58. Gendrot, C. et Adda-Decker, M. (2004). Analyses formantiques automatiques de voyelles orales: évidence de la réduction vocalique en langues française et allemande. In *Workshop MIDL04*.
59. Gendrot, C. & Adda-Decker, M. (2005), Impact of duration on F1/F2 formant values of oral vowels: an automatic analysis of large broadcast news corpora in French and German, *Proceedings of Interspeech*, Lisbon, 2453-2456.
60. Gendrot, C., Adda-Decker, M. & Vaissière, J. (2008). Les voyelles /i/ et /y/ du français : focalisation et variations formantiques, *27èmes Journées d'études sur la parole*, Avignon, 205-208.
61. Georgeton, L., Paillereau, N., Landron, S., Gao, J., et Kamiyama, T. (2012). Analyse formantique des voyelles orales du français en contexte isolé: à la recherche d'une référence pour les apprenants de FLE. In *Actes de la conférence conjointe JEP-TALN-RECITAL 2012* (145-152).
62. Gottfried, T. L. (1984). Effects of consonant context on the perception of French vowels. *Journal of Phonetics*, 12(2), 91–114.
63. Guion, S. (2003). The Vowel Systems of Quichua-Spanish Bilinguals. *Phonetica*, 60(2), 98-128.
64. Guion, S. G., Flege, J. E., Akahane-Yamada, R., & Pruitt, J. C. (2000). An investigation of second language speech perception: The case of Japanese adults' perception of English consonants, *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(5), 2711–2724.
65. Hallé, P., Best, C. & Levitt, A. (1999). Phonetic versus phonological influences on French listeners' perception of American English approximants. *Journal of Phonetics*, 27(3), 281-306.
66. Harmegnies, B., Delvaux, V., Huet, K., & Piccaluga, M. (2005). Oralité et cognition : pour une approche raisonnée de la pédagogie du traitement de la matière phonique. *Revue PArôle*, 34-35-36, 277-348.
67. Hansen, A. B. (1998). Les voyelles nasales du français parisien : aspects linguistiques, sociolinguistiques et perceptuels des changements en cours. Copenhague : Museum Tusulanum Press.
68. Hansen, A. B. (2001). Les changements actuels des voyelles nasales du français parisien : confusions ou changements en chaîne ? *La Linguistique*, 37(2), 33-47.

69. Højen, A. & Flege, J.E. (2006). Early learners' discrimination of second language vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), 3072- 3084.
70. Horii Y. (1980). An accelerometric approach to nasality measurement: a preliminary report. *Cleft Palate* 17(3), 254–261.
71. Horii Y. (1983). An accelerometric measure as a physical correlate of perceived hypernasality in speech. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 26(3), 476–480.
72. Hualde, J. L. (2005). *The Sounds of Spanish*. New York. Cambridge University Press.
73. Hualde, J. I., & Colina, S. (2014). *Los sonidos del español*. Cambridge University Press.
74. International Phonetic Association (1999). Handbook of the International Phonetic Association A guide to the use of the International Phonetic Alphabet. Cambridge University Press.
75. Ioup, G., & Weinberger, S. H. (1987). Interlanguage phonology: The acquisition of a second language sound system. Cambridge, MA: Newbury House.
76. Kamiyama, T. (2009). Apprentissage phonétique des voyelles du français langue étrangère chez des apprenants japonophones. Thèse de Doctorat en Phonétique. Université Sorbonne Nouvelle.
77. Kakoyianni-Doa, F., Monville-Burston, M., & Armostis, S. (2017). Les nasales /ẽ/ et /ã/ chez les apprenants hellénophones, *Revue du Centre Européen d'Etudes Slaves*, 6.  
URL : <https://etudesslaves.edel.univ-poitiers.fr:443/etudesslaves/index.php?id=1108>
78. Kartushina, N., & Frauenfelder, U. H. (2013). On the role of L1 speech production in L2 perception: evidence from Spanish learners of French. *Proceedings of Interspeech*, 14, 2118–2122.
79. Kartushina, N., and Frauenfelder, U. H. (2014). On the effects of L2 perception and of individual differences in L1 production on L2 pronunciation. *Frontiers in Psychology*, 5, 1246.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01246>
80. Kuhl, P. K. (1991). Human adults and human infants show a “perceptual magnet effect” for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception & Psychophysics* 50(2), 93-107.

81. Kuhl, P., Williams, K., Lacerda, F., Stevens, K., & Lindblom, B. (1992). Linguistic experience alters phonetic perception in infants six months of age. *Science*, 255(5044), 606-608.
82. Kuhl, P. K. (1993). Innate predispositions and the effects of experience in speech perception: The native language magnet theory. In Boysson-Bardies, B. (de), Schonen, S. (de), Jusczyk, P., McNeilage, P., & Morton, J. (Eds.). *Developmental Neurocognition: Speech and Face Processing in the First Year of Life*. La Haye: Kluwer Academic Publishers, 259-74.
83. Kuhl, P. K. (1995). Linguistic experience and the “Perceptual Magnet Effect”. In Strange, W. (Ed.). *Speech Perception and Linguistic Experience: Issues in Cross-Language Research*. Baltimore, York Press, 121-154.
84. Ladefoged, P. & Maddieson, I. (1996). *The Sounds of the World's Languages*. Oxford, Blackwell.
85. Lado, R. (1957). *Linguistics across cultures: Applied linguistics for language teachers*. University of Michigan: Press: Ann Arbor.
86. Landron, S., Paillereau, N., Nawafleh, A., Exare, C., Ando, H., et Gao, J. (2010). Le corpus PhoDiFLE: un corpus commun de français langue étrangère pour une étude phonétique des productions de locuteurs de langues maternelles plurielles. *Cahiers de praxématique*, (54 - 55), 73-86.
87. Lauret, B. (2007). *Enseigner la prononciation du français : questions et outils*. Paris : Hachette.
88. Léon, P. (2011). *Phonétisme et prononciation du français*. Éditions NATHAN, Paris.
89. Levy, E. S. (2009). On the assimilation-discrimination relationship in American English adults' French vowel learning. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126(5), 2670–2682.
90. Levy, E. S., Strange, W. (2008). Perception of French vowels by American English adults with and without French language experience. *Journal of Phonetics*, 36(1), 141–157.
91. Li, J., Yin, Y. & Pu, Z. (2019). Acquisition des voyelles nasales du français et interférences du cantonais. *Lidil, Revue de linguistique et de didactique des langues*, 59, 1-20. <https://doi.org/10.4000/lidil.6473>
92. Liénard, J.-S. (1977). *Les processus de la communication parlée : introduction à l'analyse et la synthèse de la parole*. Paris : Masson.

93. Lippmann R.P. (1981). Detecting nasalization using a low-cost miniature accelerometer. *Journal of Speech and Hearing Research*, 24(3), 314-317.
94. Lipski, J. (2007). *El español de América*. CATÉDRA, Madrid.
95. Llisterri, J. (1995). Relationships between speech production and speech perception in a second language. In *Proceedings from the Sixteenth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, 4, 92-9, Stockholm, Sweden.
96. Lonchamp, F. (1988). Etudes sur la production et la perception de la parole : les indices acoustiques de la nasalité vocalique : la modification du timbre par la fréquence fondamentale. Thèse d'Etat de Phonétique, Université Nancy II.
97. Long, M. (1990). Maturational constraints on language development. *Studies in Second Language Acquisition*, 12(3), 251-285.
98. Lyche, C. (2010). Le français de référence : éléments de synthèse, dans DETEY, S., DURAND, J., LAKS, B., & LYCHE, C., (2010) *Les variétés du français parlé dans l'espace francophone : Ressources pour l'enseignement*, (p. 143-165). Paris : Éditions OPHRYS.
99. McLaughlin, B. (1977). Second-language learning in children. *Psychological Bulletin*, 84(3), 438-459.
100. Maddieson, I. (1987). *Pattern of Sounds*. Cambridge University Press.
101. Maddieson, I. (2011). Vowel quality inventories. In Matthew S. Dryer & Martin Haspelmath, (Eds.), *The World Atlas of Language Structures Online*. Munich: Max Planck Digital Library. <http://wals.info/chapter/2>.
102. Maeda, S. (1993). Acoustics of vowel nasalization and articulatory shifts in French nasal vowels. In Hauffman, Marie & Krakow, Rena A., (eds.), *Phonetics and Phonology: nasals, nasalization, and the velum*, (p. 147-167). San Diego; New York; Boston: Academic Press.
103. Martinet, A. (1945). *La prononciation du français contemporain. Témoignages recueillis en 1941 dans un camp d'officiers prisonniers*. Librairie E. Droz
104. Martinet, A. (1985). La prononciation du français entre 1880 et 1914, Dans Antoine, G. & Martin, R., (1985) *Histoire de la langue française (1880-1914)*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
105. Martínez Celdrán, E. (1995). En torno a las vocales del español. *Estudios de fonética experimental*, 7, 196-218.

106. Martínez Melgar, A. (1994). El vocalismo del andaluz oriental. *Estudios de fonética experimental*, 7, 12-64.
107. Meunier, C., Frenck-Mestre, Ch., Lelekov-Boissard, T., & Le Besnerais, M. (2003). Production and perception of vowels: does the density of the system play a role? *In Proceedings from the Sixteenth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, Barcelona, 723-726.
108. Meunier, C., Frenck-Mestre, C., Lelekov-Boissard, T., & Le Besnerais, M. (2004). La perception des systèmes vocaliques étrangers : une étude inter-langues. *Actes des 20èmes Journées d'études sur la Parole*, 377-380. <hal-00142948>.
109. Miras, G. (2019). De la correction à la médiation : la doxa terminologique en didactique de la prononciation du français comme langue étrangère. *Recherches en didactique des langues et des cultures*. DOI : <https://doi.org/10.4000/rdlc.4298>
110. Montagu J. (2002). L'articulation labiale des voyelles nasales postérieures du français : comparaison entre locuteurs français et anglo-américains. *24èmes Journées d'études sur la parole*, Nancy, 253-257.
111. Montagu, J. (2004). Les sons sous-jacents aux voyelles nasales en français parisien : Indices perceptifs des changements. *25èmes Journées d'études sur la parole*, Fès, Maroc. 385-388.
112. Montagu, J. (2007). Analyse acoustique et perceptive des voyelles nasales et nasalisées du français parisien. Thèse de Doctorat en Phonétique. Université de la Sorbonne Nouvelle, Paris.
113. Morrison, G., & Escudero, P. (2007). A cross-dialect comparison of Peninsular and Peruvian Spanish vowels. *In Proceedings from the Sixteenth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, 1505–1508. Saarbrücken, Germany. August 6–10.
114. Moyer, A. (1999). Ultimate attainment in L2 phonology. The critical factors of age, motivation, and instruction. *Studies in Second Language Acquisition*, 21(1), 81-108.
115. Navarro-Tomás, T. (1918). *Manual de pronunciación española*. Madrid, Publicaciones de la Revista de filología española.
116. Nawafleh, A. (2013). *Difficultés de prononciation et de perception de voyelles du français par des apprenants arabophones : apprenants jordaniens*. Paris : Presses Académiques Francophones.

117. Neufeld, G., (1988). Phonological Asymmetry in Second-Language Learning and Performance. *Language Learning*, 38(4), 531-559.
118. Odlin, T. (1989). *Language transfer: Cross-linguistic influence in language learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
119. Ohala J. J. (1975). Phonetic explanations for nasal sound patterns. In Ferguson C. A., Hyman L. M. & Ohala J. J. (Eds), *Nasalfest: Papers from a Symposium on Nasals and Nasalization*. Stanford: Language Universals Project, 289-316.
120. Quilis, A., (2006). *Tratado de fonología y fonética españolas*. GREDOS, Biblioteca Románica Hispánica.
121. Quilis, A. & Esgueva, M. (1983). Realización de los fonemas vocálicos españoles en posición fonética normal. Dans Manuel Esgueva y Margarita Cantarero, (Eds.), *Estudios de fonética*, 1, 159–252. Madrid: Centro Superior de Investigaciones Científicas.
122. Patkowski, M. (1990). Age and accent in a second language: A reply to James Emil Flege. *Applied Linguistics*, 11(1), 73-89.
123. Pillot-Loiseau, C., Amelot, A., & Fredet, F. (2010). Apports de la phonétique expérimentale à la didactique de la prononciation du français langue étrangère. Étape 1: réflexion autour de l'établissement d'un corpus. Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. *Cahiers de l'Apliu*, 29(2), 75-88.
124. Polivanov, E. (1931). La perception des sons d'une langue étrangère. *Travaux du Cercle linguistique de Prague*, 4.
125. Quilis, A. (1993). *Tratado de fonología y fonética españolas*. Madrid: Gredos.
126. Quilis, A. & Esgueva, M. (1983). Realización de los fonemas vocálicos españoles en posición fonética normal. In M. Esgueva y M. Cantarero (Eds.), *Estudios de fonética I*, (137-252). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
127. Racine, I., Detey, S. & Kawaguchi, Y. (2012). « Les voyelles /y-u/ dans IPFC : évaluation perceptive de productions natives, hispanophones et japonophones ». *Actes de la conférence conjointe JEP-TALN-RECITAL*, 1. 385-392.
128. Racine, I. & Detey, S. (2019). Production of French close rounded vowels by Spanish learners: a corpus-based study. In: J. Gil Fernández & M. Gibson (Eds), *Romance Phonetics and Phonology*, Oxford: Oxford University Press, 381-394.



129. Rangel Navia, H., Chinchilla Rodríguez, D., & Espinosa Calderón, J. (2017). Análisis de formantes vocálicos normalizados y no-normalizados para el español colombiano. *Revista Signos Fónicos*, 2(3), 22-40.
130. Renard, R. (1989). *La méthode verbo-tonale de correction phonétique*. Paris: Didier-Erudition.
131. Rochet, B. (1995). Perception and production of second language speech sounds by adults. In W. Strange (Ed.). *Speech perception and linguistic experience: issues in cross-language research*. Timonium, MD: York Press, 379-410.
132. Ruiz Vásquez, N. (2020). El español de Colombia. Nueva propuesta de división dialectal. *Lenguaje*, 48(2), 160-195. <https://doi.org/10.25100/lenguaje.v48i2.8719>
133. Santiago, F. (2014). Systèmes prosodiques et acquisition d'une L2 : production et perception des mouvements mélodiques en français et en espagnole. Thèse de Doctorat en Phonétique. Université de Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité.
134. Santiago, F., & Delais-Roussarie, E. (2015). The acquisition of question intonation by Mexican Spanish Learners of French. In: Elisabeth Delais-Roussarie, Mathieu Avanzi, Sophie Herment. *Prosody and languages in contact: L2 acquisition, attrition, languages in multilingual situations*, Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45168-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45168-7_12)
135. Santiago, F., & Mairano, P. (2021) La prononciation des voyelles /e/, /ɛ/, /ə/, /ø/, /œ/ en FLE chez les hispanophones et le rôle de l'orthographe. Dans Elissa Pustka (éd.). *La prononciation du français langue étrangère : perspectives linguistiques et didactiques* (113-132). Gunter Narr Verlag. [halshs-03252630](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-03252630)
136. Schwarz, Boë, Vallée, & Abry, (1997). The Dispersion-Focalization Theory of vowel systems. *Journal of Phonetics* 25(3), 255 – 286.
137. Selinker, L. 1972. Interlanguage. *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 10(3), 209-231.
138. Solé, M. J. (1992). Phonetic and phonological processes: The case of nasalization. *Language and Speech*, 35(1,2), 29-43.
139. Stevens, K.N., Kalikow, D.N. & Willemain, T.R. (1975). A Miniature Accelerometer for Detecting Glottal Waveforms and Nasalization. *Journal of Speech and Hearing Research*, 18(3), 594-599.

140. Straka G. (1965). *Album Phonétique*. Québec : Presses de l'Université Laval.
141. Straka G. (1979). *Remarques sur les voyelles nasales leur origine et leur évolution en français. Les sons et les mots*. Strasbourg : Klincksieck, 502-531.
142. Strange, W. (2011). Automatic selective perception (ASP) of first and second language speech: A working model. *Journal of Phonetics*, 39(4), 456-466.
143. Tomé, M. (1997). La percepción de los sonidos del francés por los estudiantes españoles, Universidad de León. *Revue Estudios Humanísticos. Filología*, 19, 263-269.
144. Tronnier M. (1995). A method for tracing nasality. In *Proceedings of the eleventh International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*, Stockholm, 452-455.
145. Troubetzkoy N.S. (1939/1967). *Principes de Phonologie* (Traduction de Grundzüge der Phonologie, 1939, par J. Cantineau) Paris : Éditions Klincksieck.
146. Turk, A., Nakai, S., & Sugahara, M. (2006). Acoustic segment durations in prosodic research: A practical guide. In Sudhoff, S., Lenertová, D., Meyer, R., Pappert, S., Augurzky, P., Mleinek, I., Richter, N. & Schließer, J. (Eds.), *Methods in empirical prosody research* (1-28). Berlin: De Gruyter.
147. Tyler, M. D. (2014). Perceptual Assimilation and Discrimination of Non-Native Vowel Contrasts. *Phonetica*, 71(1), 4-21. <https://doi.org/10.1159/000356237>
148. Tyler, M. D. (2019). PAM-L2 and Phonological Category Acquisition in the Foreign Language Classroom. In Nyvad, A. M., Hejná, M., Højen, A., Bothe Jespersen, A., & Hjortshøj Sørensen, M. (Eds.), *A Sound Approach to Language Matters – In Honor of Ocke-Schwen Bohn* (607-630). Dept. of English, School of Communication & Culture, Aarhus University.
149. Van Reenen, P. (1982). *Phonetic Feature Definitions: Their integration into phonology and their relation to speech. A case study of the feature NASAL*. Dordrecht: Foris Publications.
150. Zamora Vicente, A. (1967). *Dialectología Española*, Madrid, Gredos.
151. Zerling J.-P. (1984). Phénomènes de nasalité et de nasalisation vocaliques : étude cinéradiographique pour deux locuteurs. *Travaux de l'Institut de phonétique de Strasbourg*, 16, 241-266.

152. Zerling J.-P. (1989). Les trois degrés de labialisation des voyelles isolées en français. Étude pour 105 locuteurs. Dans Bothorel, A. (Ed.) *Mélanges de Phonétique Générale et Expérimentale offerts à Péla Simon*. Strasbourg : Institut de Phonétique, 807-831.
153. Zerling J.-P. (1992). Frontal lip shape for French and English vowels. *Journal of Phonetics*, 20(1), 3- 14.

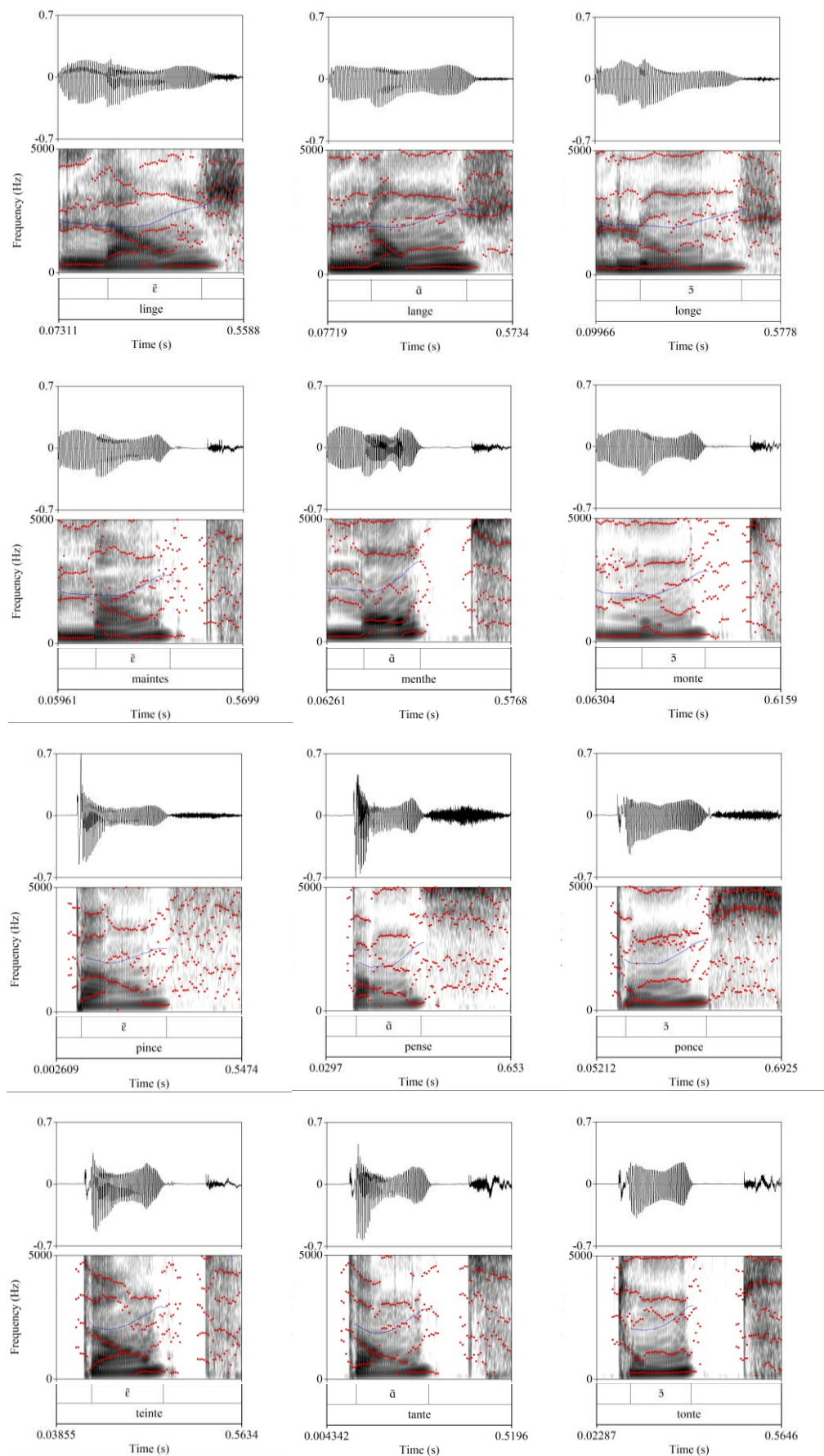
# Annexes

## Annexe 1

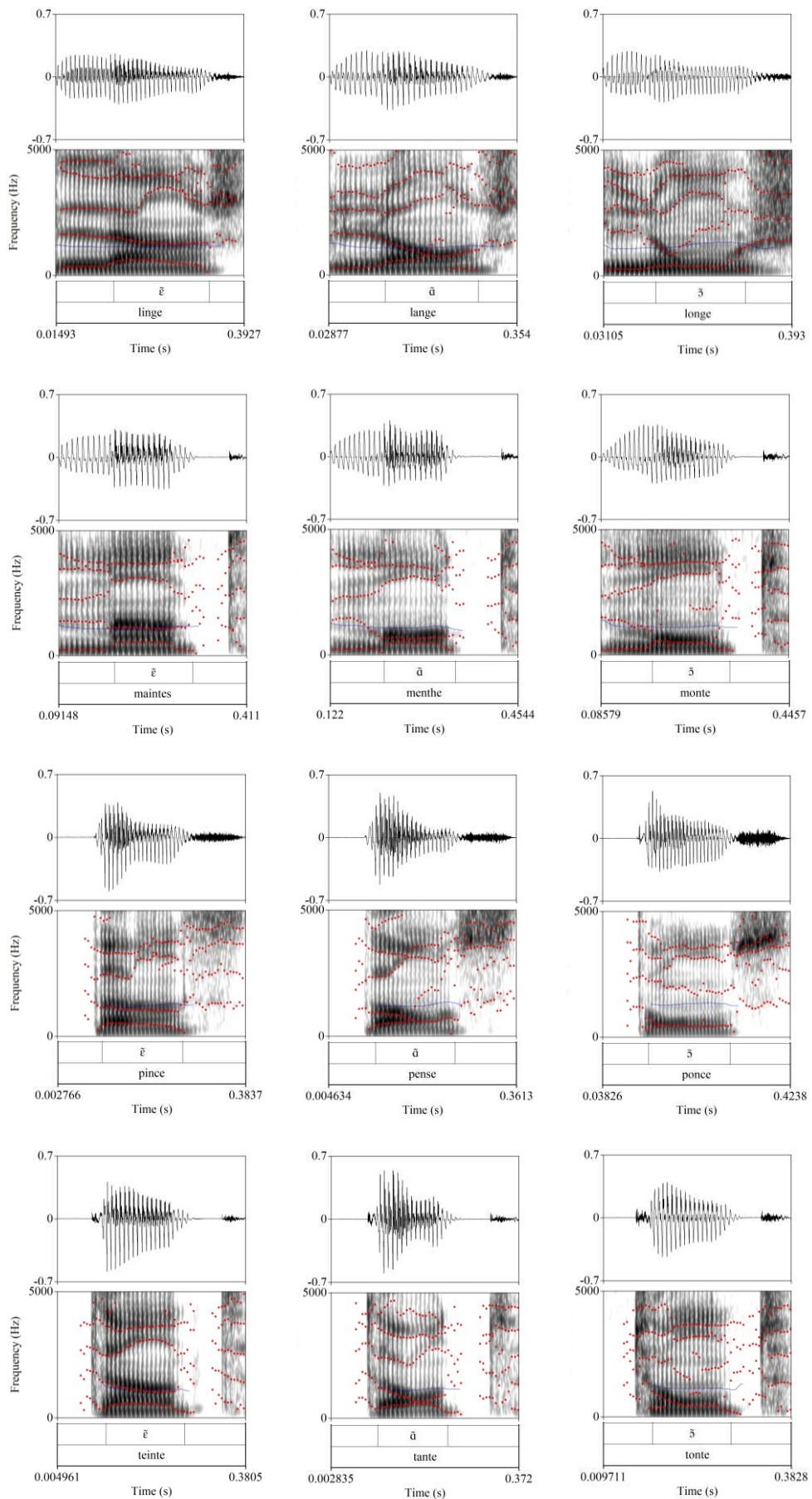
Mots utilisés pour former les stimuli de l'Expérience (6) : Catégorisation à choix forcé des voyelles nasales dans des mots monosyllabiques.

<i>voyelle nasale</i>	<b>CV</b>	<b>CVC</b>
<i>/ɛ̃/</i>	lin main peint teint	linge maintes pince teinte
<i>/ɑ̃/</i>	lent ment paon tant	lange menthe panse tante
<i>/ɔ̃/</i>	long mon pont ton	longe monte ponce tonte

## Annexe 2 : Spectrogrammes des stimuli des voyelles nasales en CVC par LF (Exp. 6)

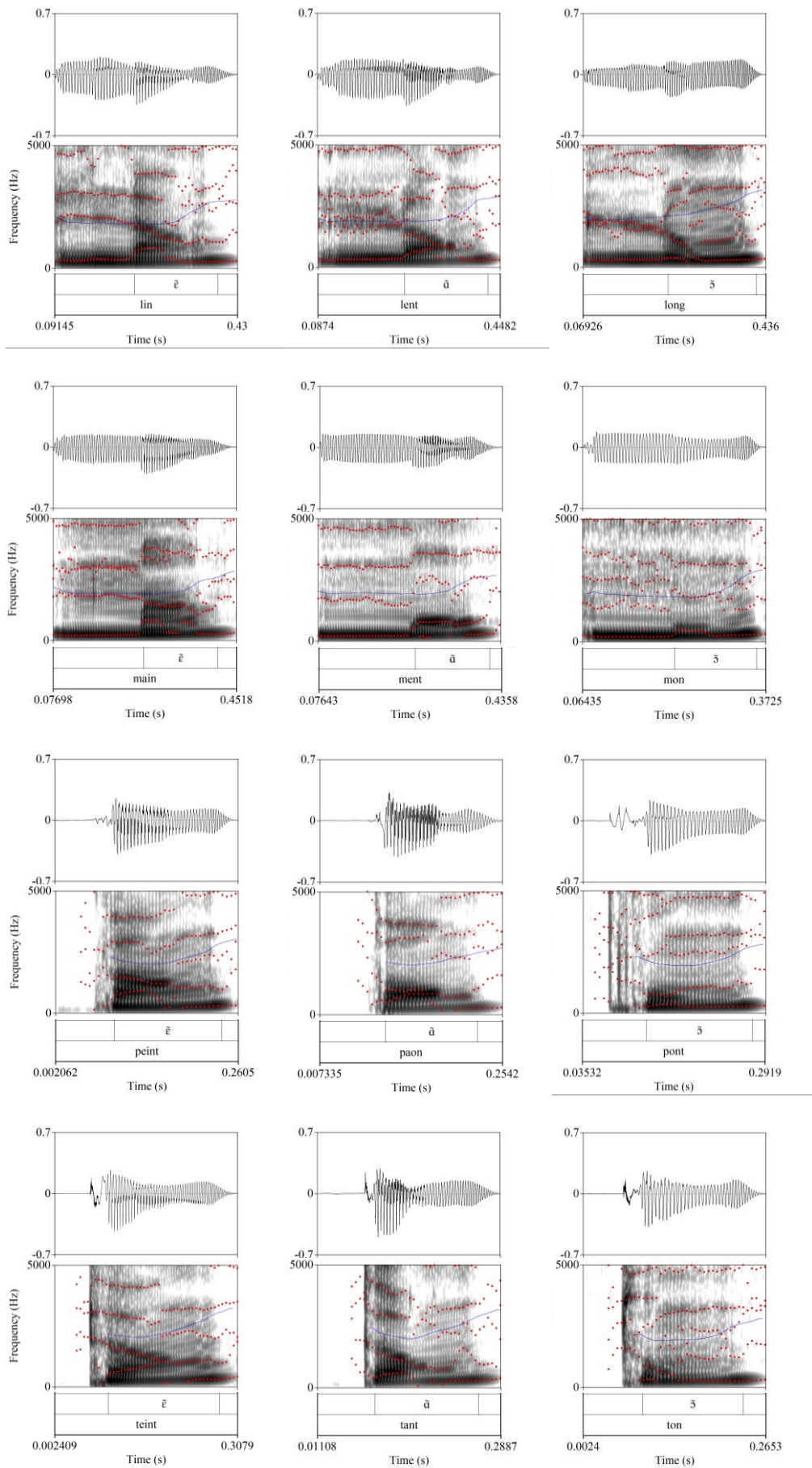


Spectrogrammes des stimuli des voyelles nasales en CVC par le locuteur LM (Exp. 6).



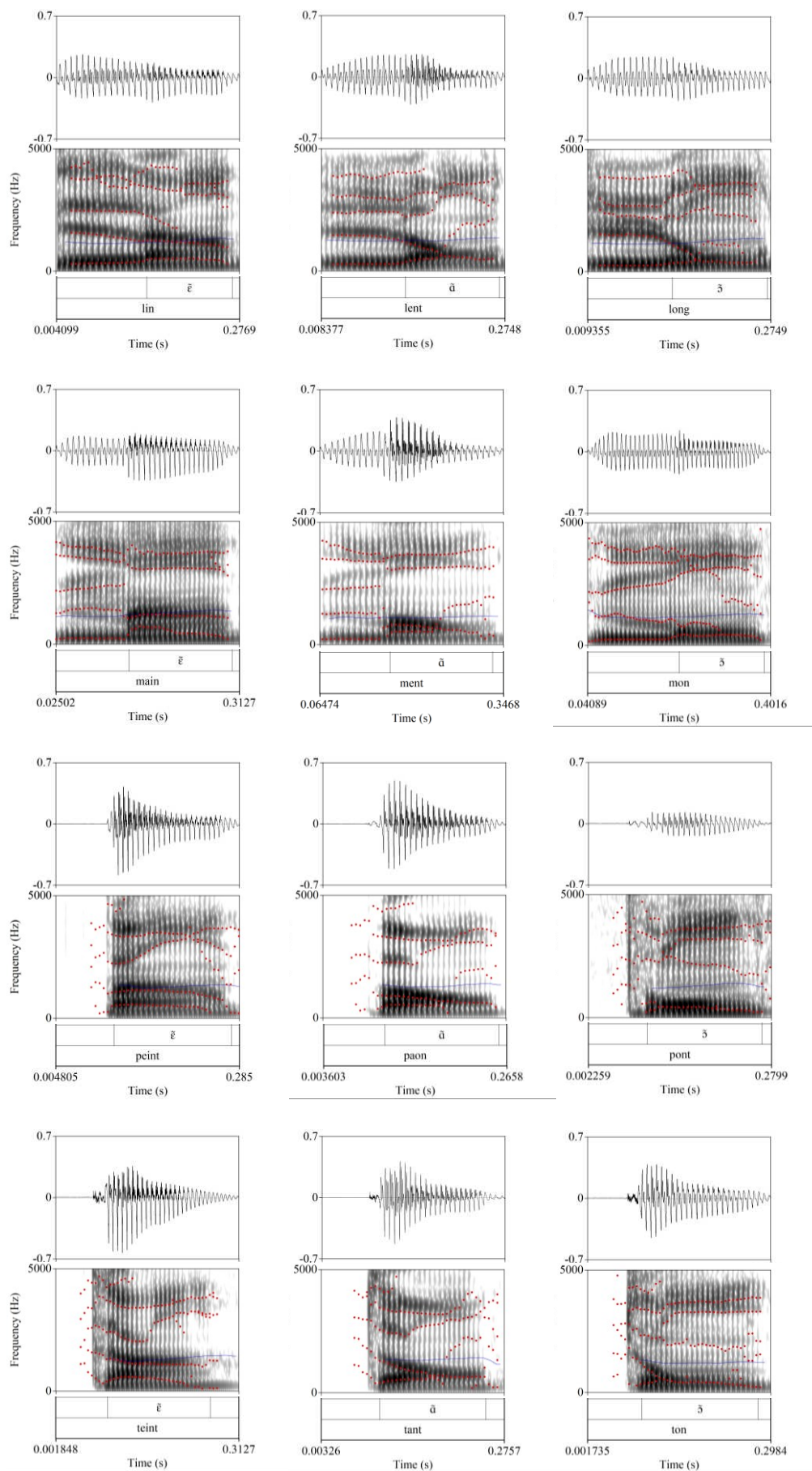


# Spectrogrammes des stimuli des voyelles nasales en CV par la locutrice LF (Exp. 6)





# Spectrogramme des stimuli des voyelles nasales en CV par le locuteur LM (Exp. 6)



## Annexe 3 : Phrases cadre pour la tâche de lecture

Vous dites « acasse » et vous dites « ancasse » six fois.

Vous dites « atal » et vous dites « antal » six fois.

Vous dites « pacasse » et vous dites « pancasse » six fois.

Vous dites « sassar » et vous dites « sansar » six fois.

Vous dites « topa » et vous dites « topan » six fois.

Vous dites « taka » et vous dites « tacan » six fois.

Vous dites « aitoune » et vous dites « intoune » six fois.

Vous dites « aipal » et vous dites « impal » six fois.

Vous dites « paitour » et vous dites « paintour » six fois.

Vous dites « taicar » et vous dites « taincar » six fois.

Vous dites « tatait » et vous dites « tatin » six fois.

Vous dites « pokait » et vous dites « pokin » six fois.

Vous dites « okor » et vous dites « onkor » six fois.

Vous dites « otil » et vous dites « ontil » six fois.

Vous dites « cotosse » et vous dites « contosse » six fois.

Vous dites « popar » et vous dites « pompar » six fois.

Vous dites « sato » et vous dites « saton » six fois.

Vous dites « fipo » et vous dites « fiPON » six fois.

## Annexe 4: scripts (conçus par Angélique Amelot)

### Script 1 pour Praat pour séparer des signaux oral et nasal (micro et piézo)

```
form Extract_textgrid_info
  comment Dossier contenant les .wav
  text wav_folder
  comment Dossier ou sont stockes les resultats
  text results_folder
  comment Expression reguliere pour recuperer que les .wav (* = any string)
  text regexp *.wav
  comment Frequence Echantillonnage
  positive frq 16000
  comment File separator (\ on Windows, / on MacOS X and Unix)
  word filesep \
endform

# effacer les informations de la fenetre windows
clearinfo

# donne la liste des fichiers wav contenu dans le dossier
Create Strings as file list... filelist 'wav_folder$filesep$'regexp$'
nwav = Get number of strings

# boucle sur tous les fichiers .wav
for iwav to nwav
select Strings filelist
  snd$ = Get string... iwav
  printline Processing file 'snd$'...
  Read from file... 'wav_folder$filesep$snd$'
  Rename... current_snd

  Resample... 'frq' 50
  Extract all channels

  current_snd_audio$ = "current_snd" + "_16000" + "_ch1"
  current_snd_piezo$ = "current_snd" + "_16000" + "_ch2"

  select Sound 'current_snd_audio$'
  sv_name$ = results_folder$+filesep$+snd$ - ".wav"
  sv_name_audio$ = sv_name$ + "_audio" + ".wav"
  sv_rms_audio$ = sv_name$ + "_audio" + ".txt"
  # suppression du fichier resultat si il existe
  filedelete 'sv_rms_audio$'
  sv_name_piezo$ = sv_name$ + "_piezo" + ".wav"
  sv_rms_piezo$ = sv_name$ + "_piezo" + ".txt"
  # suppression du fichier resultat si il existe
  filedelete 'sv_rms_piezo$'
  Save as WAV file... 'sv_name_audio$'
  # calcul du rms
  select Sound 'current_snd_audio$'
  beg = Get start time
  end = Get end time
  duration = end - beg
  nb_pas = 0.01
  ii = 0
  while ii <= end
    fen = ii + nb_pas;
    rms_val_audio = Get root-mean-square... 'ii' 'fen'
    ii=ii + nb_pas
    fileappend 'sv_rms_audio$' 'rms_val_audio' 'newline'
```

```

        endwhile
        ii = 0
        fen = 0

select Sound 'current_snd_piezo$'
Save as WAV file... 'sv_name_piezo$'
# calcul du rms du piezo
select Sound 'current_snd_piezo$'
beg_piezo = Get start time
end_piezo = Get end time
duration_piezo = end - beg
    while ii <= end
        fen = ii + nb_pas;
        rms_val_piezo = Get root-mean-square... 'ii' 'fen'
        ii=ii + nb_pas
        fileappend 'sv_rms_piezo$' 'rms_val_piezo' 'newline$'
    endwhile
    ii = 0
    fen = 0

printline 'sv_rms_piezo$'
endfor
select all
Remove

printline 'c'est fini !!'

```

## Script 2 pour Praat, pour superposer les courbes RMS des deux signaux (oral et nasal)

```
form Extract_textgrid_info
  comment Dossier contenant les .txt
  text txt_folder
  comment Expression reguliere pour recuperer que les .txt (* = any string)
  text regexp *audio.txt
  comment File separator (\ on Windows, / on MacOS X and Unix)
  word filesep \
endform

# effacer les informations de la fenetre windows
clearinfo

# donne la liste des fichiers wav contenu dans le dossier
Create Strings as file list... filelist 'txt_folder$filesep$'regexp$'
ntxt = Get number of strings

# boucle sur tous les fichiers .wav
for itxt to ntxt
  select Strings filelist
  txt$ = Get string... itxt
  Read Matrix from raw text file... 'txt_folder$filesep$'txt$'
  matrix = selected("Matrix")
  Transpose
  matrix2 = selected("Matrix")
  To Sound (slice)... 1

  ##### A CHANGER EN FONCTION DE LA FREQUENCE D ECHANTILLONNAGE
  Override sample rate... 100
  sound_temp = selected("Sound")

  ##### PERMET DE DECALER LE SON D UNE DEMI SECONDE .....
  longueur_totale = Get finishing time
  Extract part... 0.5 'longueur_totale' Rectangular 1 no
  new_sound = selected("Sound")

  # maintenant on enregistre le fichier son

  sv_name$ = txt_folder$+filesep$+txt$ - ".txt"

  sv_name_rms$ = sv_name$ + "_rms" + ".wav"

  Save as WAV file... 'sv_name_rms$'
endfor

select all
# Remove

printline 'c'est fini !!!'
```

### Script 3 Praat, pour rassembler tous les résultats obtenus dans un seul fichier

```
form Extract_textgrid_info
  comment Dossier contenant les .wav
  text txtgrid_folder
  comment Expression reguliere pour recuperer que les .textgrid (* = any string)
  text regexp *.TextGrid
  comment File separator (\ on Windows, / on MacOS X and Unix)
  word filesep \
  comment Ou se trouve la tier phoneme?
  positive phonemes_tier 1
endform

# effacer les informations de la fenetre windows
clearinfo

# donne la liste des fichiers textgrid contenu dans le dossier
Create Strings as file list... filelist 'txtgrid_folder$"filesep$"regexp$'

nxtxt = Get number of strings

# boucle sur tous les fichiers .TextGrid
for itxt to nxtxt
select Strings filelist
  txt$ = Get string... itxt
  printline Processing file 'txt$'...
  Read from file... 'txtgrid_folder$"filesep$"txt$'
  Rename... current_tg
  ntiers = Get number of tiers

printline 'txt$'

# ouvre le son rms piezo correspondant
sndpiezo$ = txt$ - ".TextGrid" + "_piezo_rms" + ".wav"

# ouvre le son rms audio correspondant
sndaudio$ = txt$ - ".TextGrid" + "_audio_rms" + ".wav"

results_file$ = txt$ - ".TextGrid" + "results" + ".txt"

# Delete results file if it already exists
filedelete 'results_file$'
# Write the results file header
fileappend 'results_file$'
textgrid_file'tab$'label'tab$'start'tab$'end'tab$'duration(s)'tab$'moy_audio_rms'tab$'mid_audio_rms'tab$'deb_audio_rms'tab$'fin_audio_rms'tab$'mean_piezo_rms'tab$'mid_piezo_rms'tab$'deb_piezo_rms'tab$'fin_piezo_rms'newline
$'

#printline 'sndpiezo$'

#printline 'sndaudio$'

Read from file... 'txtgrid_folder$"filesep$"sndaudio$'
Rename... current_snd

Read from file... 'txtgrid_folder$"filesep$"sndpiezo$'
Rename... current_piezo

  # Extract info from every non-empty interval
  select TextGrid current_tg
  ninterv = Get number of intervals... 'phonemes_tier'
  # Loop every interval on reference tier
  for iinterv from 1 to ninterv
```

```

select TextGrid current_tg
label$ = Get label of interval... 'phonemes_tier' 'iinterv'
# Do something only if the interval label is not empty
if length(label$)>0
  select TextGrid current_tg
  start_time = Get start point... 'phonemes_tier' 'iinterv'
  end_time = Get end point... 'phonemes_tier' 'iinterv'
  duration = end_time-start_time
  mid_time = start_time + ((duration*1) / 2)
  deb_time = start_time + ((duration*1) / 5)
  fin_time = start_time + ((duration*4) / 5)
  #printline 'deb_time'
  #printline 'mid_time'
  #printline 'fin_time'
  # il serait bien aussi de rajouter la mesure rms au début, milieu et fin de
phonème à la place du min et du max
  select Sound current_snd
  mean_snd = Get mean... 'start_time' 'end_time'
  mid_snd = Get value at time... 0 mid_time Nearest
  deb_snd = Get value at time... 0 deb_time Nearest
  fin_snd = Get value at time... 0 fin_time Nearest
  select Sound current_piezo
  mean_piezo = Get mean... 'start_time' 'end_time'
  mid_piezo = Get value at time... 0 mid_time Nearest
  deb_piezo = Get value at time... 0 deb_time Nearest
  fin_piezo = Get value at time... 0 fin_time Nearest
  fileappend 'results_file$'
'txt$'tab$'label$'tab$'start_time'tab$'end_time'tab$'duration'tab$'mean_snd'tab$'mid_snd'tab$'deb_snd'tab$'fin
n_snd'tab$'mean_piezo'tab$'mid_piezo'tab$'deb_piezo'tab$'fin_piezo'newline$'
  endif
endfor

select TextGrid current_tg
plus Sound current_snd
plus Sound current_piezo
Remove

endfor

```

## Script 4 : mesures des formants dans cinq points du segment

```
# script pour récupérer la mesure de formants
# l'idée étant de découper la voyelle en 5 pour être à peu près sûr d'avoir la partie orale et la partie nasal
# on en profite pour récupérer la durée

form Extract_textgrid_info
    comment Dossier contenant les .TextGrid
    text textgrid_folder
    comment Expression régulière pour récupérer que les .TextGrid (* = any string)
    text regexp *.TextGrid
    comment tier sur laquelle il faut mesurer les formants
    positive tier 1
    comment Formant analysis parameters
    positive Time_step 0.01
    integer Maximum_number_of_formants 5
    positive Maximum_formant_(Hz) 5500
    positive Window_length_(s) 0.025
    real Preemphasis_from_(Hz) 50
    comment File separator (\ on Windows, / on MacOS X and Unix)
    word filesep \
endform

# effacer les informations de la fenêtre windows
clearinfo

# donne la liste des fichiers TextGrid contenu dans le dossier
Create Strings as file list... filelist 'textgrid_folder$filesep$regexp$'
ntxt = Get number of strings
printline 'ntxt'

# boucle sur tous les fichiers .TextGrid
for itxt to ntxt
    select Strings filelist
    txt$ = Get string... itxt
    printline Processing file 'txt$...'
    Read from file... 'textgrid_folder$filesep$txt$'
    Rename... current_textgrid

    snd_audio$ = txt$ - ".TextGrid" + "_audio.wav"
    #printline 'current_snd_audio$'
    Read from file... 'textgrid_folder$filesep$snd_audio$'
    Rename... current_snd_audio

    snd_piezo$ = txt$ - ".TextGrid" + "_piezo.wav"
    #printline 'snd_piezo$'
    Read from file... 'textgrid_folder$filesep$snd_piezo$'
    Rename... current_snd_piezo

    results_file_audio$ = textgrid_folder$ + filesep$ + "resultats_audio.txt"
    results_file_piezo$ = textgrid_folder$ + filesep$ + "resultats_piezo.txt"

# Create a header row for the result file: (remember to edit this if you add or change the analyses!)
# Delete results file if it already exists
#filedelete 'results_file_audio$'
#filedelete 'results_file_piezo$'
# Write the results file header
fileappend 'results_file_audio$'
textgrid_file'tab$'label'tab$'start'tab$'end'tab$'duration(s)'tab$'miF1'tab$'miF2'tab$'miF3'tab$'1/5_F1'tab$'1/5_F2'ta
b$'1/5_F3'tab$'2/5_F1'tab$'2/5_F2'tab$'2/5_F3'tab$'3/5_F1'tab$'3/5_F2'tab$'3/5_F3'tab$'4/5_F1'tab$'4/5_F2'tab$'4/
5_F3'tab$'5/5_F1'tab$'5/5_F2'tab$'5/5_F3'newline$'
```



```
fileappend 'results_file_piezo$'
textgrid_file'tab$'label'tab$'start'tab$'end'tab$'duration(s)'tab$'miF1'tab$'miF2'tab$'miF3'tab$'1/5_F1'tab$'1/5_F2'ta
b$'1/5_F3'tab$'2/5_F1'tab$'2/5_F2'tab$'2/5_F3'tab$'3/5_F1'tab$'3/5_F2'tab$'3/5_F3'tab$'4/5_F1'tab$'4/5_F2'tab$'4/
5_F3'tab$'5/5_F1'tab$'5/5_F2'tab$'5/5_F3'newline$'
```

```
select Sound current_snd_audio
To Formant (burg)... time_step maximum_number_of_formants maximum_formant window_length
preemphasis_from
```

```
select Sound current_snd_piezo
To Formant (burg)... time_step maximum_number_of_formants maximum_formant window_length
preemphasis_from
```

```
select TextGrid current_textgrid
      ninterv = Get number of intervals... 'tier'
for iinterv from 1 to ninterv
      select TextGrid current_textgrid
      label$ = Get label of interval... 'tier' 'iinterv'
      if label$ <> ""
        select TextGrid current_textgrid
        # duration:
        start = Get start point... 'tier' 'iinterv'
#printline 'start'
        end = Get end point... 'tier' 'iinterv'
#printline 'end'
        duration = end-start
        midpoint = (start + end) / 2
#printline 'midpoint'
        cinqmesures = duration/5
#printline 'cinqmesures'
        unsurcinq = start + cinqmesures
#printline 'unsurcinq'
        deusurcinq = unsurcinq + cinqmesures
#printline 'deusurcinq'
        troissurcinq = deusurcinq + cinqmesures
#printline 'troissurcinq'
        quatresurcinq = troissurcinq + cinqmesures
#printline 'quatresurcinq'
        cinqsurcinq = quatresurcinq + cinqmesures
#printline 'cinqsurcinq'

        # formants:
        select Formant current_snd_audio
        f1_mi = Get value at time... 1 midpoint Hertz Linear
        f2_mi = Get value at time... 2 midpoint Hertz Linear
        f3_mi = Get value at time... 3 midpoint Hertz Linear

        f1_10 = Get value at time... 1 unsurcinq Hertz Linear
        f2_10 = Get value at time... 2 unsurcinq Hertz Linear
        f3_10 = Get value at time... 3 unsurcinq Hertz Linear

        f1_20 = Get value at time... 1 deusurcinq Hertz Linear
        f2_20 = Get value at time... 2 deusurcinq Hertz Linear
        f3_20 = Get value at time... 3 deusurcinq Hertz Linear

        f1_30 = Get value at time... 1 troissurcinq Hertz Linear
        f2_30 = Get value at time... 2 troissurcinq Hertz Linear
        f3_30 = Get value at time... 3 troissurcinq Hertz Linear

        f1_40 = Get value at time... 1 quatresurcinq Hertz Linear
        f2_40 = Get value at time... 2 quatresurcinq Hertz Linear
```

```

f3_40 = Get value at time... 3 quatresurcinq Hertz Linear

f1_50 = Get value at time... 1 cinqsurcinq Hertz Linear
f2_50 = Get value at time... 2 cinqsurcinq Hertz Linear
f3_50 = Get value at time... 3 cinqsurcinq Hertz Linear

# formants sur piezo:
select Formant current_snd_piezo
f1_mi_piezo = Get value at time... 1 midpoint Hertz Linear
f2_mi_piezo = Get value at time... 2 midpoint Hertz Linear
f3_mi_piezo = Get value at time... 3 midpoint Hertz Linear

f1_10_piezo = Get value at time... 1 unsurcinq Hertz Linear
f2_10_piezo = Get value at time... 2 unsurcinq Hertz Linear
f3_10_piezo = Get value at time... 3 unsurcinq Hertz Linear

f1_20_piezo = Get value at time... 1 deusurcinq Hertz Linear
f2_20_piezo = Get value at time... 2 deusurcinq Hertz Linear
f3_20_piezo = Get value at time... 3 deusurcinq Hertz Linear

f1_30_piezo = Get value at time... 1 troissurcinq Hertz Linear
f2_30_piezo = Get value at time... 2 troissurcinq Hertz Linear
f3_30_piezo = Get value at time... 3 troissurcinq Hertz Linear

f1_40_piezo = Get value at time... 1 quatresurcinq Hertz Linear
f2_40_piezo = Get value at time... 2 quatresurcinq Hertz Linear
f3_40_piezo = Get value at time... 3 quatresurcinq Hertz Linear

f1_50_piezo = Get value at time... 1 cinqsurcinq Hertz Linear
f2_50_piezo = Get value at time... 2 cinqsurcinq Hertz Linear
f3_50_piezo = Get value at time... 3 cinqsurcinq Hertz Linear

# Save result to text file:
fileappend 'results_file_audio$'
'txt$"tab$"label$"tab$"start"tab$"end"tab$"duration"tab$"f1_mi"tab$"f2_mi"tab$"f3_mi"tab$"f1_10"tab$"f2_10"tab
"$f3_10"tab$"f1_20"tab$"f2_20"tab$"f3_20"tab$"f1_30"tab$"f2_30"tab$"f3_30"tab$"f1_40"tab$"f2_40"tab$"f3_40'
'tab$"f1_50"tab$"f2_50"tab$"f3_50"newline$'
fileappend 'results_file_piezo$'
'txt$"tab$"label$"tab$"start"tab$"end"tab$"duration"tab$"f1_mi_piezo"tab$"f2_mi_piezo"tab$"f3_mi_piezo"tab$"f1
_10_piezo"tab$"f2_10_piezo"tab$"f3_10_piezo"tab$"f1_20_piezo"tab$"f2_20_piezo"tab$"f3_20_piezo"tab$"f1_30
_piezo"tab$"f2_30_piezo"tab$"f3_30_piezo"tab$"f1_40_piezo"tab$"f2_40_piezo"tab$"f3_40_piezo"tab$"f1_50_pie
zo"tab$"f2_50_piezo"tab$"f3_50_piezo"newline$'
endif

endifor

# Remove the TextGrid, Formant, and Pitch objects
select TextGrid current_textgrid
plus Formant current_snd_audio
plus Formant current_snd_piezo
plus Sound current_snd_audio
plus Sound current_snd_piezo
Remove

endifor

printline 'fini !'

```

## Perception et production des voyelles nasales du français par des hispanophones d'Espagne et de Colombie

### Résumé

Cette thèse a pour objet la perception et la production des voyelles nasales du français par des apprenants du français hispanophones espagnols et colombiens. Dans six expériences de perception des voyelles orales et nasales françaises, nous testons ces deux populations d'hispanophones pour quatre niveaux de français : sujets n'ayant jamais étudié ou parlé le français (25 espagnols et 20 colombiens), et apprenants du français de trois niveaux (débutant, intermédiaire et avancé : 30 apprenants espagnols et 26 colombiens). Les résultats des expériences de discrimination sont interprétés dans le cadre du modèle PAM (*Perceptual Assimilation Model*). Pour les voyelles orales, les contrastes /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ε/ sont les mieux discriminés (TC, *two categories assimilation*), suivis par /ø/-/o/ puis /y/-/u/, avec un avantage des sujets espagnols sur les colombiens. Comme /y/ est massivement assimilé à /u/, le contraste /y/-/u/ est de type SC (*single category assimilation*) ou CG (*category goodness assimilation*), donc difficile ; comme /ø/ est assimilé soit à /e/ soit à /o/, voire /u/, le contraste /ø/-/o/ est un cas hybride, tantôt SC ou CG, tantôt TC, de difficulté intermédiaire. Le trait [+rounded] étant associé aux voyelles postérieures en espagnol, il se peut que les hispanophones interprètent /y/ et /ø/ comme des voyelles postérieures fermées. Les résultats de discrimination des contrastes nasale vs. orale "correspondante" (/a/-/ã/, /ε/-/ẽ/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) suggèrent que les sujets hispanophones sont tous sensibles à la présence/absence du trait nasal, mais des difficultés sont observées pour le contraste /o/-/õ/, où /õ/ est le plus souvent assimilé à /o/. La distance des pôles spectraux est par ailleurs la plus petite pour /o/-/õ/. Les résultats de l'expérience de discrimination des contrastes entre voyelles nasales montrent que les contrastes /ẽ/-/ã/ et /ã/-/õ/ sont les plus difficiles pour les apprenants hispanophones, notamment les Colombiens. Le contraste /ẽ/-/õ/ est le plus facile. Pour les Espagnols, le degré de difficulté est le même pour /ẽ/-/ã/ et /ã/-/õ/ ; pour les Colombiens, /ã/-/õ/ est plus difficile que /ẽ/-/ã/. Ces résultats sont prédits par les assimilations. Pour les deux groupes, /ẽ/ est systématiquement assimilé à /a/ et /õ/ à /o/, ce qui explique la bonne discrimination de /ẽ/-/õ/. Par contre, /ã/ est assimilé soit à /a/ soit à /o/, avec un net avantage pour /o/ chez les Colombiens expliquant l'asymétrie observée pour /ẽ/-/ã/ vs. /ã/-/õ/ entre Espagnols et Colombiens. Les résultats des expériences de catégorisation à choix forcé des voyelles nasales montrent que /ẽ/ et /ã/ sont les voyelles les plus difficiles à identifier et ce à un même degré de difficulté pour tous les apprenants hispanophones. En production, les résultats de la tâche de lecture des voyelles nasales montrent que les apprenants, surtout les Colombiens, produisent des voyelles plus longues que les Français. La proportion de

nasalité est plus importante pour les natifs que pour les apprenants. La mesure formantique du début des voyelles nasales, considéré comme non nasalisé, permet d'observer une variabilité importante chez les apprenants pour /ẽ/ et /ã/ : la cible articulaire sous-jacente de /ẽ/ serait plus proche de /ɛ/, et celle de /ã/, plus proche de /a/.

**Mots clés :** *voyelles nasales, perception, production, FLE, hispanophones, PAM.*

## Perception and production of French nasal vowels by Spanish speakers from Spain and Colombia

### Abstract

This thesis focuses on the perception and production of French nasal vowels by Spanish and Colombian learners of French. In six perception experiments of French oral and nasal vowels, we tested these two populations of Spanish speakers at four levels of French: subjects who have never studied or spoken French (25 Spanish and 20 Colombian), and learners of French at three levels (beginner, intermediate and advanced: 30 Spanish and 26 Colombian learners). The results of the discrimination experiments are interpreted within the framework of PAM (Perceptual Assimilation Model). For oral vowels, the contrasts /e/-/i/, /y/-/i/, /ø/-/ɛ/ are best discriminated (TC, two categories assimilation), followed by /ø/-/o/ and then /y/-/u/, with an advantage of Spanish subjects over Colombians. As /y/ is massively assimilated to /u/, the /y/-/u/ contrast-type is SC (single category assimilation) or CG (category goodness assimilation), thus difficult; as /ø/ is assimilated to either /e/ or /o/, or even /u/, the /ø/-/o/ contrast is a hybrid case, sometimes SC or CG, sometimes TC, of intermediate difficulty. Because the [+rounded] feature is associated with posterior vowels in Spanish, Spanish speakers may interpret /y/ and /ø/ as closed posterior vowels. The discrimination data for the contrasts between nasal vowels and their oral “counterparts” (/a/-/ã/, /ɛ/-/ẽ/, /ɔ/-/õ/, /o/-/õ/) suggest that Spanish-speaking subjects are all sensitive to the presence/absence of the nasal feature but encounter difficulty for the /o/-/õ/ contrast, where /õ/ is most often assimilated to /o/. The distance between spectral poles is otherwise smallest for /o/-/õ/. The discrimination data for the contrasts between nasal vowels show that the /ẽ/-/ã/ and /ã/-/õ/ contrasts are the most difficult for Spanish-speaking learners, especially Colombians. For the Spanish speakers, the /ẽ/-/õ/ contrast is the easiest and the degree of difficulty is the same for /ẽ/-/ã/ and /ã/-/õ/; for Colombians, however, /ã/-/õ/ is more difficult than /ẽ/-/ã/. These results are predicted by the observed assimilations. For both groups, /ẽ/ is consistently assimilated to /a/ and /õ/ to /o/, which explains the good discrimination of /ẽ/-/õ/. On the other hand, /ã/ is assimilated to either /a/ or /o/ with a clear advantage for /o/ for Colombians, explaining the asymmetry observed for /ẽ/-/ã/ vs. /ã/-/õ/ between Spanish and Colombians. The results of the forced-choice categorization experiments of nasal vowels show that /ẽ/ and /ã/ are the most difficult vowels to identify, with the same degree of difficulty for all Spanish-speaking learners. In production, the results of the nasal vowel reading task show that learners, especially Colombians, produce longer vowels than French speakers. The proportion of nasality is greater for native speakers than for learners. Formant measurements at the onset of

nasal vowels, assumed to be non-nasalized, suggest a large variability among learners for /ẽ/ and /ã/: the underlying articulatory target of /ẽ/ would be closer to /ɛ/, and that of /ã/, closer to /a/.

**Key words:** *nasal vowels, perception, production, FFL, Spanish speakers, PAM.*

UNIVERSITE SORBONNE NOUVELLE

École Doctorale 622 Sciences du Langage

Laboratoire de Phonétique et Phonologie (LPP) UMR 7018)

19, rue des Bernardins 75005 PARIS