

This item is the archived peer-reviewed author-version of:

**L'acquisition des voyelles nasales en français : une étude acoustique et perceptive sur la  
prononciation des apprenants néerlandophones belges**

Hanna De Haes <sup>a</sup>, Peter Lauwers <sup>a</sup>, Ellen Simon <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Linguistics, Ghent University

**Corresponding author :**

Hanna De Haes

Ghent University, Department of Linguistics

Blandijnberg 2

9000 Ghent

Belgium

ORCID: 0009-0005-0274-4884

Mail: Hanna.DeHaes@UGent.Be

**To refer to or to cite this work, please use the citation to the published version:**

De Haes, H., Lauwers, P., & Simon, E. (2025). L'acquisition des voyelles nasales en français :  
une étude acoustique et perceptive sur la prononciation des apprenants néerlandophones belges.

To be published in *Canadian Journal of Linguistics/Revue canadienne de linguistique*.

## ***Résumé***

Cette contribution examine la production des voyelles nasales du français chez les apprenants néerlandophones belges. Elle innove en ce qu'elle allie l'« intelligibilité » des voyelles non natives, évaluée par des auditeurs représentant Paris et Liège, à une analyse acoustique centrée sur la « nativité phonétique ». Les stimuli sont des mots monosyllabiques de haute fréquence produits par 20 apprenants néerlandophones. Les résultats indiquent que l'intelligibilité des nasales non natives est plutôt élevée, exception faite de /ã/. En outre, les deux groupes d'auditeurs ne diffèrent pas dans leur compréhension des voyelles, à l'exception de /ẽ/, que les Liégeois identifient plus souvent. Cette différence peut être liée à l'impact de (i) la variation en L1 ou (ii) la familiarité des auditeurs belges avec la parole néerlandaise. Enfin, l'étude montre que ce n'est pas tant la nasalité même qui pose des difficultés de production aux apprenants néerlandophones, mais l'interaction avec le timbre vocalique.

**Mots clés :** intelligibilité, phonologie d'une L2, production, voyelles nasales, français, néerlandais

## ***Abstract***

This paper examines the production of French nasal vowels by Belgian Dutch learners. It is innovative in that it combines the analysis of ‘intelligibility’ of non-native accented vowels, assessed by listeners representing Paris and Liège, with an acoustic analysis focusing on ‘phonetic nativeness’. The stimuli were high-frequency monosyllabic words produced by 20 Belgian Dutch learners. The results indicate that the intelligibility of non-native accented nasals is rather high, except for the /ã/-vowel. Furthermore, the two listener groups do not differ in their actual understanding of vowels, except for the /ẽ/-vowel, which is identified more often by listeners representing the Liège region. This difference may be related to the impact of (i) L1 variation or (ii) Belgian listeners’ familiarity with Dutch-accented speech on speech perception. Finally, the study shows that it is not so much nasality itself that poses production difficulties for Dutch-speaking learners, but the interaction with vowel quality.

**Key words:** intelligibility, L2 phonology, production, nasal vowels, French, Dutch

## 1. Introduction<sup>1</sup>

Il est bien connu que la parole non native<sup>2</sup> (L2) présente des indices phonético-acoustiques qui diffèrent de la parole native (L1). Ce phénomène s'explique principalement par l'interaction cross-linguistique qui se produit entre le système de la langue native et celui de la langue cible lors de l'apprentissage du système phonético-phonologique, au niveau segmental, mais également au niveau de la structure syllabique et de la prosodie (Major 2001). Plusieurs modèles de perception et de production ont été avancés afin d'étudier cette interaction au niveau segmental (p. ex. PAM, Best 1995 ; PAM-L2, Best et Tyler 2007 ; SLM, Flege 1995 ; SLM-r, Flege et Bohn 2021). Ces modèles supposent que la création d'une nouvelle catégorie pour un son de L2 dépend partiellement des différences et similitudes acoustico-phonétiques entre les catégories de L1 et de L2.

Ainsi, le modèle d'apprentissage de la parole (angl. *Speech Learning Model*, dorénavant SLM) de Flege (1995) postule que, plus la distance phonétique perçue entre un phone de L2 et de L1 est grande, plus on a tendance à créer une nouvelle catégorie phonétique. Or, comme le notent Flege et Bohn (2021 : 20), le SLM ne prévoit pas à partir de quel degré l'apprenant de L2 créerait une nouvelle catégorie. Contrairement au SLM, qui se focalise sur la création d'une nouvelle catégorie phonétique, le modèle d'assimilation perceptive (angl. *Perception Assimilation Model*, dorénavant PAM) conceptualise la façon dont les auditeurs naïfs assimilent des phones non natifs à des catégories phonologiques de leur langue native. Le PAM suppose

---

<sup>1</sup> Dans cet article, nous avons recours aux abréviations suivantes : F1 : premier formant ; F2 : deuxième formant, FLE : français langue étrangère ; L1 : langue première ; L2 : langue seconde ; PAM : *Perception Assimilation model* (fr. Modèle d'assimilation perceptive) ; SLM : *Speech Learning Model* (fr. Modèle d'apprentissage de la parole) ; SLM-r : *Revised Speech Learning Model* (fr. Modèle d'apprentissage de la parole révisé).

<sup>2</sup> Nous reprenons les termes « non natif » et « natif » de la littérature, sans jugement de valeur et tout en étant conscients du débat académique par rapport à ces raccourcis (voir p. ex. Cheng et al. 2021).

que les auditeurs s'appuient directement sur les « gestes articulatoires », c'est-à-dire sur les ; gestes produits par le conduit vocal, afin de reconnaître les « invariants articulatoires » dans la structure acoustique de la parole (Best 1995 : 185).

A l'aune de ces théories, l'apprentissage des voyelles nasales en langue étrangère se présente comme un sujet particulièrement intéressant, puisque contrairement aux consonnes nasales, les voyelles nasales phonémiques sont assez rares dans les langues du monde. En effet, le contraste phonémique entre les voyelles nasales et orales n'existe que dans 22,6% des langues (Maddieson et Precoda 1990). Toutefois, relativement peu d'études se sont consacrées à l'apprentissage de ces voyelles en français langue étrangère (dorénavant FLE) (voir néanmoins p. ex. Detey et al. 2010, Inceoglu 2016, Martin 2023). De plus, ces études diffèrent fortement quant aux groupes d'apprenants qu'elles étudient et quant à leurs cadres méthodologiques, allant d'une étude d'entraînement s'intéressant aux anglophones (Inceoglu 2016) à une étude longitudinale de production et de perception s'intéressant aux japonophones (Detey et Racine 2015). Par exemple, Inceoglu (2016) a constaté que les réalisations non natives de /ẽ/ étaient identifiées le mieux par des auditeurs natifs, alors que les réalisations non natives de /ã/ étaient identifiées le moins. Cette tendance s'est manifestée à la fois lors du prétest et du posttest, les améliorations les plus importantes étant enregistrées pour /ẽ/, tandis que les réalisations de /ã/ montraient peu d'améliorations. Notons que Martin (2023) a également observé que c'est surtout la voyelle /ã/ qui pose des problèmes de production aux apprenants germanophones. A leur tour, Detey et al. (2010) ont relevé une hiérarchie de qualité de catégorie (angl. *Category goodness*, voir 1.2) pour les réalisations non natives des apprenants japonophones et hispanophones, à savoir /õ/ > /ã/ > /ẽ/. Sur la base d'une étude longitudinale chez des apprenants japonophones, Detey et Racine (2015) émettent, quant à eux, l'hypothèse selon laquelle l'on apprend d'abord la nasalité vocalique avant d'apprendre le timbre vocalique ; ils suggèrent

également qu'il existe un stade développemental intermédiaire où il existe une catégorie de fusion / $\tilde{\text{ɔ}}$ -  $\tilde{\text{ɑ}}$ / et une catégorie / $\tilde{\text{ɛ}}$ /.

Les résultats de ces études sont difficilement comparables, puisqu'ils ont rapport à des facettes différentes de la compétence phonique en L2 et à des L1 différentes. Cette étude vise à contribuer à notre compréhension de l'apprentissage des voyelles nasales phonémiques en étudiant la production des voyelles nasales du français chez les apprenants néerlandophones (flamands) de français langue étrangère et en adoptant une approche multiple de la notion de compétence phonique.

### **1.1 La nasalité dans les systèmes vocaliques du néerlandais et du français septentrional**

Même si les voyelles nasales sont absentes du système vocalique du néerlandais, le mode de nasalité est familier aux apprenants néerlandophones (Debrock et Mertens 1993). En effet, non seulement le trait de nasalité est phonémique dans le système consonantique du néerlandais, qui contient l'apico-dentale /n/, la bilabiale /m/ et la dorso-vélaire /ŋ/, la nasalité peut également se diffuser aux unités vocaliques précédant une nasale du fait de processus de coarticulation (Rys 2020). Dans certains dialectes du néerlandais, notamment dans les dialectes des provinces de Flandre-Orientale, de Flandre-Occidentale, d'Anvers, de Brabant occidental et de Zélande, la voyelle orale se nasalise et se prolonge même lorsqu'elle est non accentuée et suivie d'une séquence biconsonantique où la première consonne est une nasale (p. ex. dans *brand* 'feu' [br̃:(n)t] en flamand oriental) (Stroop 1994). Le trait de nasalité est donc phonétique dans le système vocalique du néerlandais standard et allophonique dans celui de certains dialectes du néerlandais, dans le cas d'une séquence biconsonantique telle que décrite ci-dessus. Les apprenants néerlandophones connaissent également les voyelles nasales phonémiques comme voyelles d'emprunt (p. ex. dans *genre* [ʒ̃ɑ̃R]). Or, dans la majorité des cas, elles sont adaptées

au système vocalique du néerlandais (p. ex. dans *restaurant* [rɛsto:'rant]) (Collins et Mees 2003). A noter qu'il existe à ce sujet une différence entre le néerlandais de Belgique et le néerlandais des Pays-Bas (Van de Velde et al. 2010). Toutes régions confondues, les Flamands ont plus tendance à prononcer les voyelles nasales au sein des emprunts que leurs homologues des Pays-Bas.

Par contraste, le français contient trois voyelles nasales phonémiques, à savoir une voyelle ouverte, postérieure et légèrement arrondie, une mi-ouverte, antérieure et écartée et une mi-fermée, postérieure et arrondie : /ã/, /ɛ̃/, /ɔ̃/ (p. ex. dans *Ce très bon* [bɔ̃] *vin* [vɛ̃] *blanc* [blã]). Si certaines variétés du français conservent encore une quatrième voyelle nasale, à savoir /œ̃/, comme le français méridional ou dans une moindre mesure le français de Belgique (Hambye et Simon 2012), l'on considère généralement que l'opposition phonologique /œ̃/-/ɛ̃/ est en voie de disparition en français septentrional. Nous nous concentrons ici sur les nasales du français septentrional, par contraste avec celles du français méridional, étant donné que les apprenants néerlandophones belges entrent le plus souvent en contact avec cette variété (voir 1.2). Ces voyelles nasales phonémiques sont à distinguer des voyelles nasalisées, c'est-à-dire des orales nasalisées par coarticulation qui n'entrent pas en opposition phonologique sur la base du trait de nasalité. Notons que ces nasales sont actuellement engagées dans un changement en chaîne en cours (voir p. ex. Hansen 2001, Carignan 2014), changement d'après lequel /ɛ̃/ se rapprocherait de [ã], /ã/ de [ɔ̃], et /ɔ̃/ deviendrait plus fermé et arrondi [ɔ̄].

En raison de leur absence du système phonologique du néerlandais, les voyelles nasales du français ont tout pour poser des difficultés de réalisation et de perception aux apprenants néerlandophones. Quant à leur réalisation, certains linguistes notent que les néerlandophones produisent un appendice consonantique nasal après la voyelle nasale (ex. [ãŋ]) et que la qualité spectrale de ces voyelles serait assez difficile à maîtriser (Debrock et Mertens 1993, Berns et

Nouveau 2017), mais force est de constater qu'on n'a jamais exploré en détail l'adéquation phonétique de ces voyelles chez ce groupe d'apprenants.

## **1.2 Approches de la présente étude**

La présente étude se propose dès lors de répondre à ces lacunes de la recherche actuelle et se fonde sur une double approche, s'intéressant à deux dimensions de l'adéquation phonétique, à savoir à l' « intelligibilité vocalique » (évaluée par un locuteur L1) et à la « nativité phonétique ». Dans un premier volet, nous adoptons une approche perceptive centrée sur la notion d' « intelligibilité », c'est-à-dire sur la mesure dans laquelle un auditeur comprend réellement les unités de parole produites par un locuteur (Munro et Derwing 1995). Cette notion doit être appréhendée non seulement à travers une dimension linguistique spécifique à chaque langue, mais également à travers une dimension sociale concernant l'auditeur (Didelot et al. 2019). En effet, à part la performance phonético-phonologique d'un locuteur, la familiarité d'un auditeur avec des variétés linguistiques ainsi que ses représentations sociales peuvent avoir une incidence sur l'intelligibilité d'un énoncé (p. ex. Gass et Varonis 1984, Babel et Russel 2015). Si la dimension liée aux représentations sociales est absente de cette étude (voir 2.2.2), les auditeurs natifs dans cette étude diffèrent dans leur familiarité avec le français accentué des Flamands et leur rapport à la norme hexagonale. Ils représentent deux régions francophones, à savoir l'Ile de France, traditionnellement considérée comme le centre de la francophonie, et la région de Liège, l'est de la Wallonie en Belgique, région périphérique souvent considérée comme ayant une prononciation différente de la norme hexagonale (voir p.ex. Hambye et Simon 2004). Ce choix repose à la fois sur la volonté de prendre en compte la perspective d'une des périphéries de la francophonie et sur un argument de validité écologique, c'est-à-dire qu'il est probable que dans la vie réelle, les apprenants flamands de FLE entrent en contact avec des locuteurs représentant les deux régions, même s'il l'on suppose qu'ils sont plus souvent exposés

à la variété de l’Île de France, l’acrolecte dont le prestige reste intact en Europe (Chalier 2021). Malgré la grande validité écologique de l’approche perceptive, cette mesure fournit peu d’informations précises sur les caractéristiques phonétiques propres à la parole non native (Nagle et Baese-Berk 2022). Ainsi, nous adoptons également une approche centrée sur la notion de « nativité phonétique » (Abrahamsson et Hyltenstam 2009), qui est appréhendée ici à la fois à travers une dimension acoustique et perceptive. Premièrement, dans une approche acoustique, nous nous concentrerons sur les traits phonétiques des réalisations d’apprenants néerlandophones, qui pourraient éclairer les problèmes d’intelligibilité relevés par la méthode perceptive. Nous nous intéressons notamment à la mesure dans laquelle les apprenants néerlandophones réalisent les contrastes fonctionnels entre les nasales et les orales correspondantes et aux rapports que ces voyelles entretiennent avec leurs réalisations hexagonales. Deuxièmement, dans une approche perceptive, la « nativité phonétique » implique que les auditeurs d’une L1 sont capables d’évaluer un ensemble de stimuli en fonction de leur qualité de catégorie (angl. *Category Goodness*), en ayant recours à une gamme étroite de « meilleurs exemples », qui déterminent comment les réalisations de cette catégorie devraient sonner (p. ex. Miller 1997). Ces « meilleurs exemples » médiatisent la catégorie phonétique en spécifiant la pondération idéale des indices perceptifs (Flege et Bohn 2021 : 19). Ainsi, ils permettent aux auditeurs d’une L1 de détecter un « accent non natif » dans des productions d’un son spécifique lorsqu’on leur demande une évaluation auditive (Flege 1992 : 170).

### 1.3 Questions de recherche et hypothèses

Dans cette perspective, les questions de recherche auxquelles nous nous intéressons sont celles-ci :

1. Dans quelle mesure les voyelles nasales produites par des apprenants flamands de FLE sont-elles intelligibles pour les auditeurs francophones de la région d'Ile de France et de l'est de la Wallonie ? De manière subsidiaire, il s'agira d'aborder la question de savoir si l'intelligibilité de ces voyelles diffère d'après le groupe d'auditeurs en jeu.
2. Dans quelle mesure les apprenants flamands de FLE réalisent-ils des contrastes fonctionnels entre les voyelles nasales, ainsi qu'entre les voyelles nasales et leurs contreparties orales ? Comment ces réalisations se situent-elles par rapport aux réalisations de locuteurs natifs du français hexagonal ?

Pour ce qui est la première question de recherche, le PAM de Best (1995 : 195) nous permet de formuler une hypothèse quant à la façon dont les auditeurs francophones perçoivent la parole non native produite par les apprenants néerlandophones. En effet, suivant ce modèle, l'on peut distinguer trois possibilités pour chaque contraste de voyelles nasales dans cette étude. Etant donné que le dispositif expérimental de notre étude prévoit des réponses catégorielles (voir 2.2.2), nous nous concentrerons ici sur les trois scénarios *Deux catégories de L2*, *Différence de qualité d'appariement*, *Une seule catégorie*, tout en laissant de côté les scénarios *Les deux non catégorisables*, *Non catégorisé vs. Catégorisé* et *Non assimilables* (Best 1995 : 195). Si les auditeurs francophones perçoivent les différences acoustiques entre les réalisations non natives de deux voyelles, ils assimilent les phones à deux catégories différentes (*Deux catégories de L2*), ce qui se reflètera dans un taux d'identification élevé pour les deux voyelles. Dans le deuxième cas de figure, les auditeurs francophones assimilent les réalisations non natives de deux phones à la même catégorie phonologique, mais ils distinguent encore entre eux dans la mesure où un des deux phones correspond mieux à cette catégorie native que l'autre (*Différence*

*de qualité d'appariement*). Ainsi, le taux d'identification du phonème qui correspond le moins à la catégorie native est plus bas. Enfin, si les auditeurs francophones ne perçoivent pas de différences acoustiques entre les réalisations non natives de deux voyelles, ils les assimilent à une seule catégorie native (*Une seule catégorie*). Dans ce cas-là, le taux d'identification d'un des deux phonèmes est plus bas.

Notons que, en réalité, la tâche des auditeurs est encore plus complexe, puisqu'ils doivent également distinguer entre les réalisations non natives des voyelles nasales et celles des orales correspondantes. Toutefois, comme les apprenants néerlandophones sont familiers avec le mode de la nasalité, on formulera l'hypothèse selon laquelle le contraste entre les nasales et les orales correspondantes ne pose pas problème aux auditeurs francophones. En effet, « il semblerait que la stabilisation de l'acquisition de la nasalité (voyelle orale vs voyelle nasale) s'effectue [...] avant celle du timbre des voyelles (par exemple [ã] vs [õ]) » (Detey et Durand 2021 : 120).

Dans cette approche perceptive, il faut tenir compte du possible effet de la variation en L1 sur la perception de la parole non native. Des études antérieures ont en effet montré que des différences dialectales peuvent avoir un impact important sur la perception de la langue native (Floccia et al. 2006, Sumner et Samuel 2009) et d'une langue seconde (Escudero, Simon et Mitterer 2012), ce qui laisse supposer que la variation en L1 pourrait également influencer la perception de la parole accentuée. Si les variétés de l'Ile de France et de Liège appartiennent à la même aire régionale concernant les voyelles nasales, à savoir le français septentrional (Delvaux 2012), il existe néanmoins des différences minimales entre les systèmes vocaliques des variétés respectives (Hambye 2005, Hambye et Simon 2012), dont par exemple le maintien des oppositions /ɔ-o/ et /ɛ-e/ en position finale absolue et le maintien de l'opposition /ẽ-œ/ en français liégeois. Cette variation est néanmoins loin d'être systématique et elle diffère fortement d'après l'âge des locuteurs, le milieu social considéré et les situations de communication,

« comme dans toute communauté linguistique » (Francard 2010 : 120). A cela s'ajoute encore que la nasalisation caractérise partiellement le parler des locuteurs de l'extrême est de la Wallonie, comme le remarque Hambye (2005 : 95) ; ceux-ci se démarquent par leur tendance à la dénasalisation des voyelles nasales (p. ex. *pain* [pɛ:] vs. *paix* [pɛ]). Gardant tout ce qui précède à l'esprit, l'on pose l'hypothèse que l'intelligibilité des nasales accentuées ne diffère que de manière minimale d'après le groupe d'auditeurs en jeu, représentant soit l'Île-de-France, soit Liège.

Pour ce qui est de la réalisation des voyelles nasales par les apprenants néerlandophones, il est difficile de formuler des hypothèses précises, puisqu'à notre connaissance, il n'existe pas d'étude comparative sur les voyelles nasales du français septentrional et les voyelles orales nasalisées par coarticulation en néerlandais (ex. /ɔ/ dans *lomp* [lɔmp]). En effet, rappelons que d'après le SLM de Flege, plus la distance perçue entre la voyelle de L2 et celle de L1 la plus proche est grande, plus l'on a tendance à créer une nouvelle catégorie phonétique (Flege 1995 : 243). Nous nous contentons ici d'une hypothèse générale, notamment l'hypothèse selon laquelle les apprenants néerlandophones éprouvent davantage de difficultés à réaliser le contraste entre /ã/ et /õ/, ce qui est probable dans la perspective d'un changement en chaîne affectant les voyelles nasales du français hexagonal.

## 2. Méthodologie

Nous combinons dans la présente étude deux méthodes<sup>3</sup> afin de couvrir plusieurs aspects de la problématique esquissée basée sur une tâche de production effectuée auprès des apprenants néerlandophones, c'est-à-dire (i) une étude acoustique à l'aide du logiciel *Praat* (Boersma et Weenink 2023) et (ii) une tâche de catégorisation et d'évaluation des voyelles réalisées faisant appel à des francophones de la région d'Ile de France et de Liège.

### 2.1 Tâche de production

Cette section est consacrée à la description des apprenants, à la récolte des données, aux stimuli, ainsi qu'aux étapes mises en œuvre dans l'analyse acoustique.

#### 2.1.1 Locuteurs

Nous avons enregistré vingt locuteurs natifs du néerlandais résidant en province de Flandre orientale. Il s'agissait d'un groupe d'élèves (neuf filles et onze garçons) de cinquième année du secondaire de l'enseignement général à Gand. La moyenne d'âge de ce groupe était de 16 ans ( $s. = 0.2$ ). Les vingt participants sélectionnés avaient tous le néerlandais comme langue familiale et ne parlaient pas d'autres langues au quotidien. Ils avaient tous appris le français en tant que langue étrangère, avec une instruction formelle moyenne de 7 ans ( $s. = 0.9$ ). Leur niveau autodéclaré en production orale allait de A2 ( $n = 4$ ), B1 ( $n = 12$ ), B2 ( $n = 3$ ) à C1 ( $n = 1$ ). Aucun d'entre eux n'avait encore passé un séjour de plus d'un mois dans une région francophone, et aucun n'était en contact régulier avec des locuteurs natifs du français en dehors des cours de français.

---

<sup>3</sup> Le Comité d'éthique de la Faculté de philosophie et Lettres de l'Université de Gand a émis un avis positif sur cette étude (EC/2023/43). Les données liées à cette étude sont disponibles dans le dépôt de données en libre accès *The Tromsø Repository of Language and Linguistics* (TROLLing) (voir De Haes, Lauwers et Simon 2024).

### 2.1.2 Stimuli

Les stimuli de la tâche de production étaient des items lexicaux du type /tV/ (voir Tableau 1). V correspond soit à une voyelle nasale (/ɛ̃/, /ɔ̃/ et /ɑ̃/), soit à une voyelle orale (/ɛ/, /o/ et /a/ et /y/). La voyelle /y/ sert ici de voyelle de contrôle, c'est-à-dire qu'elle nous permet de vérifier si les participants francophones ont bien compris la tâche ; il n'existe en effet pas de différence spectrale significative entre la voyelle /y/ de langue française et celle de langue néerlandaise (Debrock et Forrez 1976). Nous n'avons retenu que des items lexicaux de moyenne ou de haute fréquence ( $M_{Zipf} = 5.6$ ,  $s = 1.06$ )<sup>4</sup>, afin d'éviter de mesurer la littératie des locuteurs plutôt que leur capacité à réaliser des voyelles en langue seconde (Nagle et Baese-Berk 2022). Parallèlement, l'on évite ainsi un effet de familiarité sur les réponses des auditeurs dans l'expérience perceptive (voir 2.2).

V	/a/	/ɑ̃/	/ɛ/	/ɛ̃/	/o/	/ɔ̃/	/y/
Item	<i>ta</i>	<i>temps</i>	<i>tais</i>	<i>teint</i>	<i>tôt</i>	<i>ton</i>	<i>tu</i>

**Tableau 1.** Stimuli de la tâche de production

---

<sup>4</sup> Nous avons calculé les valeurs *Zipf* standardisées pour chacun de nos items lexicaux à partir des données de fréquence du corpus *WordLex* (Gimenes et New 2016). Il s'agit d'une échelle logarithmique allant de 1 à 7, où 1 correspond à un item lexical de basse fréquence, tandis que 7 correspond à un item lexical de haute fréquence (Van Heuven et al. 2014). Dans le cas du français, *WordLex* rassemble 84.2 millions de mots provenant de journaux, d'articles de blogs, et de tweets.

### 2.1.3 Procédure

Le dispositif expérimental consistait à lire<sup>5</sup> à voix haute une liste de phrases contenant nos stimuli. Cette phrase de support était toujours la même : « Il a dit **X** quatre fois ». Nous avons présenté les phrases par le biais d'une série de diapositives qui apparaissaient sur l'écran d'un ordinateur portable. Chaque stimulus apparaissait deux fois dans la liste. Les stimuli ont été randomisés pour chaque participant afin d'éviter des effets d'ordre sur leurs réalisations. Les participants ont été enregistrés avec un enregistreur portable Tascam DR-05X et un microphone stéréo Sony ECM-MS907 dans un local bien insonorisé au sein de l'école même. Nous avons demandé aux participants de prononcer chaque phrase comme une seule unité d'intonation et de parler naturellement et au même rythme, dans la mesure du possible. Nous leur avons adressé la parole en français, sauf si le participant nous demandait de réexpliquer une partie des consignes en néerlandais. Ils étaient autorisés à répéter une phrase ou un mot s'ils l'estimaient nécessaire. Afin de familiariser les apprenants avec la tâche, trois phrases d'essai leur ont été proposées en guise d'entraînement avant que l'enregistrement ne commence. Auparavant, les élèves nous avaient procuré leurs réponses à un questionnaire sur leur profil démographique et linguistique.

---

<sup>5</sup> Pour des raisons de comparabilité des données, nous avons jugé nécessaire de prendre en compte des contextes consonantiques identiques. Étant donné qu'il était impossible d'effectuer une tâche de dénomination d'images dans ce cas-ci, nous avons opté pour une tâche de lecture, tout en minimisant un effet potentiel de l'orthographe. En effet, nous n'avons présenté aux apprenants que des items de moyenne ou de haute fréquence dont nous supposions qu'ils les connaissaient, afin d'éviter de mesurer leur littératie, plutôt que leur compétence de production en L2 (voir 2.1.2).

## 2.1.4 Analyse acoustique

Cette sous-section s'intéresse d'abord aux particularités de l'analyse acoustique des voyelles nasales, pour présenter ensuite la méthode d'analyse.

### 2.1.4.1 Contexte

S'il existe une conformité entre les propriétés articulatoires d'une voyelle orale et les pôles d'énergie de l'onde acoustique y associés (Zampini 2008), ces rapports se complexifient pour les voyelles nasales, puisque, lors de leur production, l'ouverture du port vélo-pharyngé introduit un « couplage acoustique entre les cavités pharyngale et buccale et les cavités nasales » (Delvaux 2012 : 158). Par conséquent, le spectre d'une voyelle nasale est plus riche par rapport à celui d'une voyelle orale ; il présente des paires pôles-zéros additionnelles principalement dues à ce couplage acoustique avec la cavité nasale, c'est-à-dire des paires de formants (pôles) et d'« anti-formants » (zéros) (*Ibid.*, : 118). Il est donc considérablement délicat d'identifier les formants « oraux » dans le cas des voyelles nasales, mais ce type d'analyse reste toujours pertinent (et usuel), comme le résume Carignan (2014 : 24).

A part les pôles-zéros additionnels, le couplage acoustique entraîne (1) une augmentation de F1 pour les voyelles fermées et un abaissement de F1 pour les ouvertes ainsi qu' un (2) abaissement de F2 pour les voyelles antérieures et une augmentation potentielle de F2 (Carignan 2014 : 24 ). Cela implique naturellement qu'il existe un écart entre les voyelles nasales du français et leurs orales correspondantes sur le plan acoustique et articulatoire, ce qui se reflète également sur le plan de la perception : « Une voyelle avec un F1 de 550 Hz et un F2 de 950 Hz est perçue comme /ɔ/ lorsqu'elle est orale et comme /ã/ si elle est nasalisée [...] » (Delvaux et Huet 2006 : 164).

#### 2.1.4.2 Méthode

Nous avons d'abord segmenté et transcrit les signaux acoustiques, puis extrait les valeurs formantiques F1 et F2 via le logiciel *Praat* (Boersma et Weenink 2023). Les valeurs acoustiques ont été mesurées au milieu de chaque voyelle cible. Pour les apprenants féminins, nous avons eu recours à la même stratégie de minimisation d'erreurs que Carignan (2014) dans son étude sur les voyelles nasales réalisées par des locuteurs natifs du français hexagonal, stratégie qui s'est révélée également utile dans notre étude. Ainsi, nous avons distingué entre les voyelles antérieures /y/, /a/, /ɛ/ et /ẽ/ où le formant maximal a été fixé à 5500 Hz et les voyelles postérieures /ɔ̃/, /ã/ et /o/ où le formant maximal a été fixé à 5000 Hz. Pour les apprenants masculins, le formant maximal a été fixé à 5000 Hz. Toutes les valeurs acoustiques ont été mesurées manuellement, ce qui nous a permis d'appliquer quelques modifications ad hoc. En outre, nous avons également eu recours à la technique de normalisation Lobanov (1971).

A titre de comparaison, nous avons pu consulter la base de données de Carignan, Shosted et Fagyal (2013). Cette base de données rassemble les données que Carignan (2014) a recueillies au cours de sa thèse sur les voyelles nasales et leurs contreparties orales en français hexagonal. Comme nous avons eu accès aux données brutes, nous avons pu limiter notre sélection aux seules valeurs acoustiques des items monosyllabiques dont l'attaque consistait en la consonne occlusive alvéolaire sourde, /t/. Ainsi, il a été possible de comparer nos données directement à celles de Carignan (2014), d'autant plus que nous avons utilisé les mêmes paramètres lors de l'analyse acoustique.

## 2.2 Tâche de catégorisation et d'évaluation

Cette section présente une description détaillée de l'expérience perceptive, de la sélection et du recrutement des sujets francophones ainsi que du protocole d'analyse des données.

### 2.2.1 Auditeurs

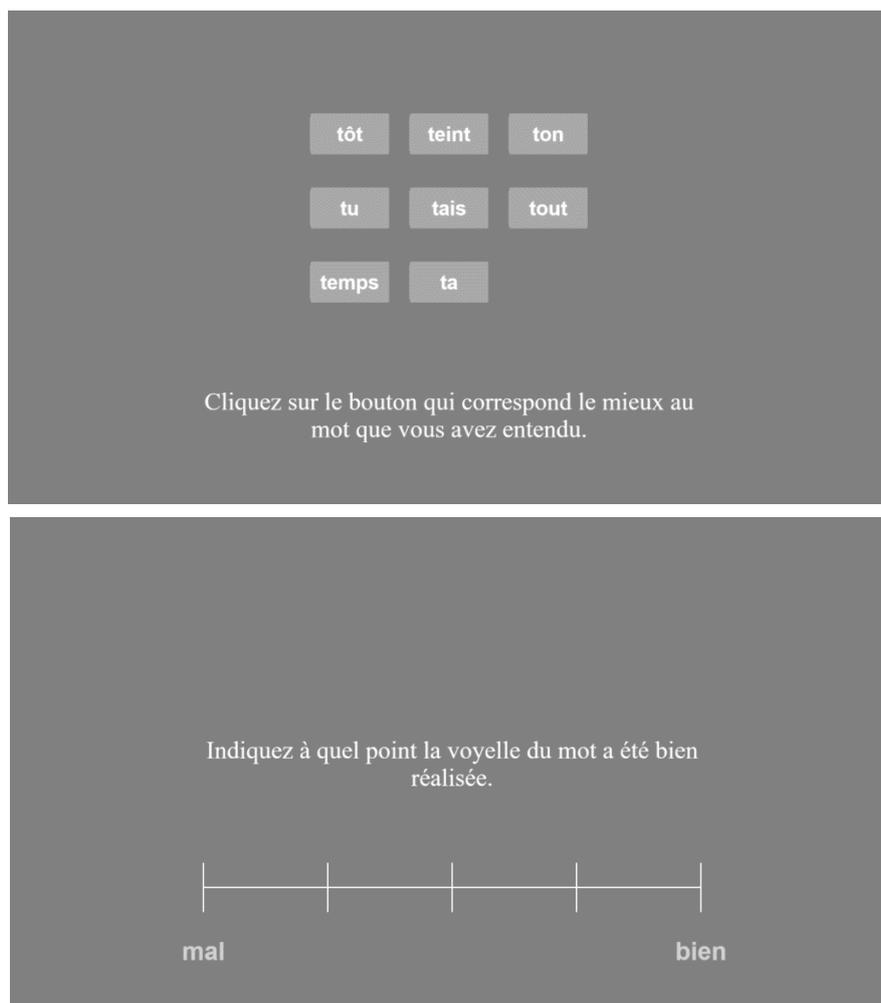
Soixante-et-onze locuteurs natifs du français ont pris part à l'expérience, formant deux groupes distincts : un premier groupe d'auditeurs représentant la région d'Île de France (n = 53, 75%) et un second groupe d'auditeurs liégeois (n = 18, 25%). Dans l'application de ce critère, nous avons adopté une approche pragmatique ; nous avons utilisé la région de résidence comme critère d'exclusion<sup>6</sup>. Tous les participants sélectionnés ont confirmé ne pas avoir de difficultés d'audition. Parmi ce groupe, quarante-huit personnes étaient de genre féminin, vingt-et-une personnes de genre masculin, une personne se définissait autrement et une personne souhaitait ne pas répondre à cette question. Ils et elles étaient tous âgés entre 18 et 50 ans au moment de notre étude (âge moyen = 29.8 ans ; s. = 9.4). Dans ce groupe, 89 % avaient fait ou faisaient des études supérieures (n = 63), tandis que 11 % des participants n'avaient jamais obtenu un diplôme supérieur au baccalauréat (France) ou au C.E.S.S. (Certificat d'Etudes Secondaires Supérieures, Belgique) (n = 8) et n'étaient pas non plus étudiants dans un établissement d'enseignement supérieur au moment de l'étude. Parmi le groupe des participants de région liégeoise, treize personnes ont indiqué que le néerlandais avait fait ou faisait partie de leur curriculum.

---

<sup>6</sup> Pour les personnes résidant en région parisienne au moment de notre étude, nous avons exclu celles nées dans une région en dessous de la Loire ou dans un autre pays que la France. Pour les personnes résidant en région liégeoise au moment de notre étude, nous avons exclu celles nées en dehors de la Wallonie. Or, la grande majorité des auditeurs des deux groupes était également née dans les régions respectives.

### 2.2.2 Procédure

L'expérience perceptive a été créée avec le logiciel *PsychoPy* (Peirce et al. 2019), puis hébergée en ligne sur le site d'hébergement *Pavlovia* (<https://pavlovia.org>). Après avoir complété un questionnaire biographique, les participants ont été redirigés vers l'expérience même. Nous leur avons demandé de s'installer dans un endroit calme et d'utiliser un casque ou des écouteurs lors de l'expérience. Pendant l'expérience, les consignes apparaissaient sur l'écran. Les sujets ont été priés de cliquer d'abord sur l'item lexical qui correspondait le mieux à l'item qu'ils avaient entendu. Puis, ils passaient à un nouvel écran et le même stimulus oral était répété (voir Figure 1). Ils étaient alors priés d'évaluer les voyelles sur une échelle de « qualité de catégorie » (angl. *Category goodness*), c'est-à-dire d'indiquer à quel point la voyelle du mot était « bien » réalisée sur une échelle Likert allant de 1 à 5, où 1 correspondait à la mention « mal » et 5 à la mention « bien ». Ce jugement de « qualité de catégorie » fait appel à la notion de « nativité phonétique » dans son sens perceptif (voir 1.2). L'expérience était autosynchronisée. Nous n'avons enregistré que la première réponse à chaque question ; les participants ne pouvaient donc pas changer d'avis. Les trois premiers items étaient des items-test afin de familiariser les participants avec la tâche. Au total, l'expérience même comptait 140 stimuli randomisés, produits par les vingt locuteurs décrits dans la section 2.1.1, dont 120 étaient des stimuli cible (20 voix × 7 items lexicaux). Après chaque série de 47 stimuli, les participants étaient invités à prendre une petite pause autosynchronisée s'ils le souhaitaient. La figure 1 présente les huit choix possibles lors de la tâche de catégorisation. Notons que nous avons inclus l'option *tout* (/tu/) dans cette tâche, afin d'inclure un item lexical pour toute voyelle possible dans la structure /tV/.



**Figure 1.** Présentation visuelle de la tâche de catégorisation.

### 2.2.3 Analyse des données

En analyse préliminaire, nous avons d'abord effectué plusieurs tests khi-carré sur R (R Core Team 2022). Nous avons ensuite eu recours à une régression logistique afin de construire un modèle linéaire généralisé à effets mixtes pour prédire l'intelligibilité des items lexicaux monosyllabiques réalisés par les apprenants néerlandophones. Ce modèle se fonde sur deux facteurs catégoriels fixes (codés en variables muettes), à savoir l'origine géographique de l'auditeur francophone et la voyelle, noyau de la monosyllabe, complétés par deux intercepts aléatoires, à savoir le locuteur ayant réalisé l'item lexical et l'auditeur qui l'a entendu. Nous avons intégré ces deux facteurs catégoriels fixes en tant qu'interaction. Nous avons vérifié la

contribution des facteurs fixes en construisant différents modèles, puis en les comparant par le test du rapport de vraisemblance (angl. *likelihood ratio test*). Afin de réaliser cette analyse, nous avons eu recours aux « packages » suivants : « lme4 » (Bates et al. 2014, « ggeffects » (Lüdecke 2018), « ggplot2 » (Wickham 2016), sjPlot » (Lüdecke 2023).

### 3. Résultats

Dans la section 3.1, nous aborderons les résultats de l'analyse acoustique et comparerons les réalisations des apprenants néerlandophones aux réalisations de locuteurs natifs du français hexagonal (celles enregistrées par Carignan). En 3.2, nous nous intéresserons aux résultats de l'expérience perceptive. Enfin, dans la section 3.3, nous focaliserons sur la voyelle nasale /ã/.

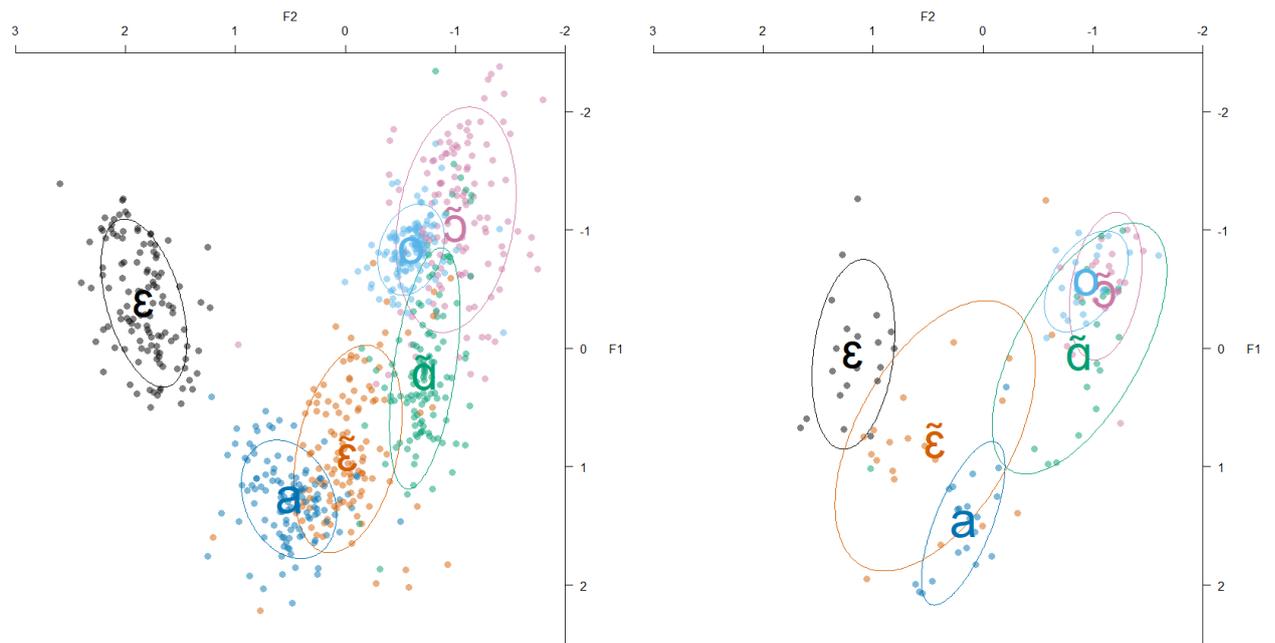
#### 3.1 Résultats de l'analyse acoustique

Les figures 2 et 3 représentent les formants 1 et 2 normalisés des voyelles /ɛ/, /ẽ/, /a/, /ã/, /o/ et /õ/ telles qu'elles ont été réalisées par les vingt apprenants néerlandophones dans cette étude, ainsi que par les douze locuteurs natifs du français hexagonal enregistrés dans Carignan (2014). Les analyses ont été exécutées avec le package *PhonR* (McLoy 2016) sur R (R Core Team 2022). Comme indiqué *supra*, il s'agit de noyaux de monosyllabes dont l'attaque était toujours l'occlusive alvéolaire /t/. Les ellipses affichent un intervalle de confiance de 68%. L'examen visuel des deux figures permet une première appréciation globale de nos stimuli, ainsi qu'une comparaison générale entre les réalisations des apprenants néerlandophones et celles des locuteurs natifs du français hexagonal. Si la figure 2 comprend deux volets, chacun représentant l'espace vocalique d'un groupe de locuteurs, la figure 3 comprend six volets, focalisant les réalisations d'une voyelle particulière, superposant les deux groupes de locuteurs.

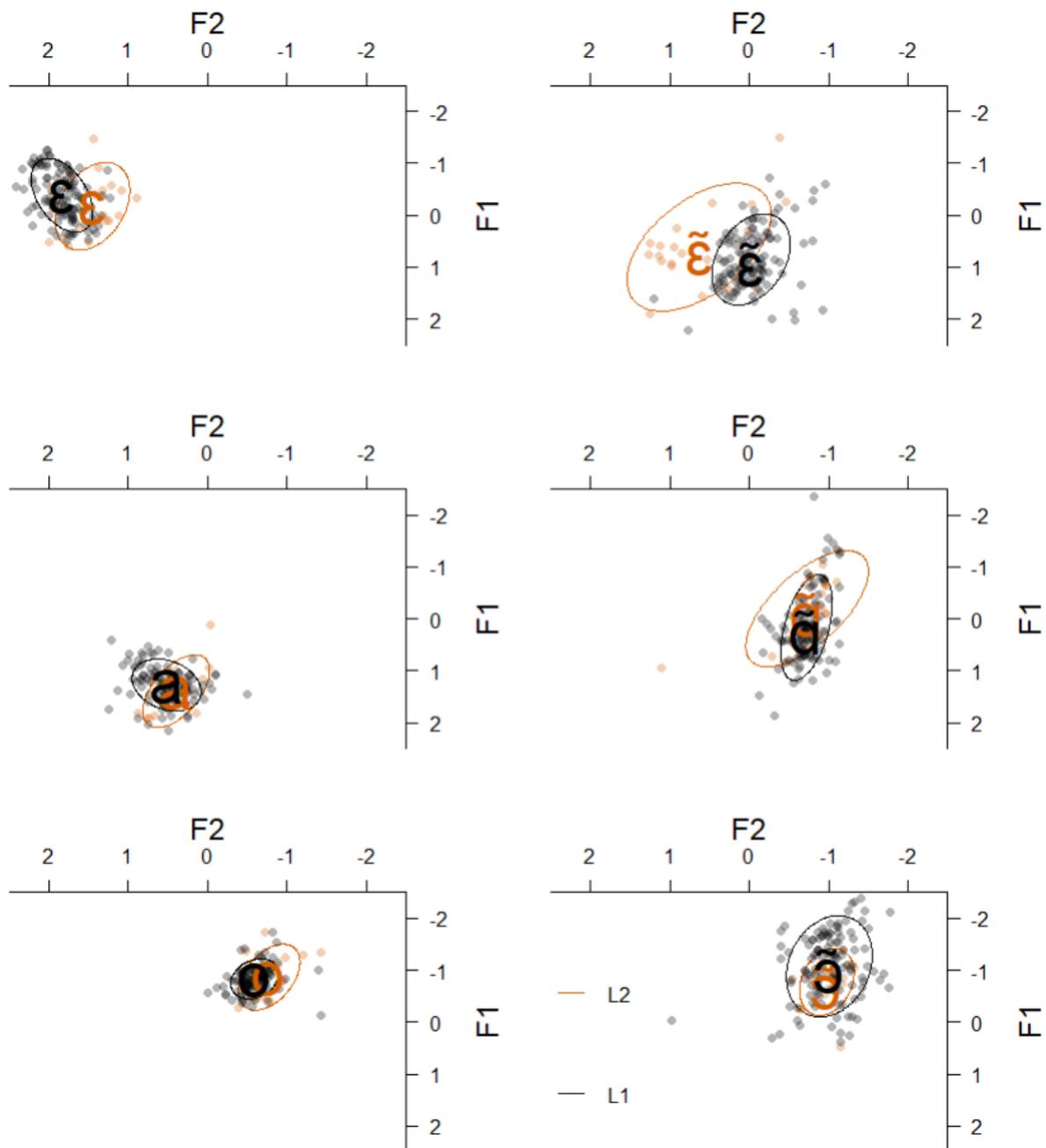
L'analyse de ces deux figures nous permet de faire quelques observations. Premièrement, l'on observe que les réalisations natives de la nasale /ẽ/ recouvrent une plage vaste qui ne correspond que marginalement aux spectres des réalisations natives des voyelles orales /ɛ/ et /a/. Force est de constater que pour les locuteurs natifs du français hexagonal, les réalisations de /ẽ/ montrent moins de variation (interindividuelle) que celles des néerlandophones et qu'elles coïncident partiellement avec celles de /a/ et /ã/, mais aussi avec

celles de /ɛ/, contrairement aux locuteurs natifs. Deuxièmement, la figure 2 dévoile que les réalisations non natives de la nasale /ã/ s'étendent également sur une plage relativement grande, qui coïncide d'ailleurs partiellement avec les zones occupées par les voyelles /o/ et /õ/. Si ce constat est également valable pour les francophones natifs, le chevauchement est nettement moins important dans ce dernier cas. Troisièmement, la figure 2 montre que, chez les néerlandophones, les réalisations des voyelles /o/ et /õ/ coïncident presque totalement du point de vue des formants 1 et 2. Tel est moins le cas en français hexagonal. Pour les locuteurs natifs, certaines réalisations de la nasale /õ/ s'avèrent plus fermées que celles de l'orale /o/, conférant à /õ/ un espace plus important que chez les néerlandophones. Quatrièmement, l'orale /ɛ/ telle que réalisée par les locuteurs natifs s'avère plus fermée et plus antérieure que lorsqu'elle est prononcée par des apprenants néerlandophones. Enfin, l'on observe de légères différences entre les deux groupes sur le plan des orales /a/ et /ɛ/, mais à ce propos il convient de noter la différence en termes de volume de données entre notre jeu de données et celui de Carignan (2014). En effet, la présente étude porte sur 20 observations par voyelle contre 120 observations par voyelle dans l'étude de Carignan ; il est probable que cette différence de taille explique les fluctuations observées.

En résumé, chez les locuteurs néerlandophones, on note que le point d'articulation pour les nasales /ẽ/ et /ã/ est flottant, alors que les francophones natifs tendent à faire varier davantage leur réalisation du /õ/. Ce flottement entraîne respectivement pour le /ã/ un chevauchement important avec les voyelles /o/ et /õ/ et des chevauchements marginaux pour le /ẽ/ chez les néerlandophones. Chez les francophones, c'est surtout la nasale /õ/ qui va absorber le domaine de l'orale /o/ et empiéter sur le domaine de la nasale /ã/, confusion qui apparaît aussi chez les néerlandophones.



**Figure 2.** Les deux premiers formants (normalisés) d’occurrences des voyelles françaises /ε/, /ẽ/, /a/, /ã/, /o/, /õ/ chez douze locuteurs natifs du français hexagonal (Carignan 2014, volet A) et vingt apprenants néerlandophones du français (volet B).



**Figure 3.** Superposition des deux premiers formants (normalisés) d’occurrences des voyelles / $\epsilon$ /, / $\tilde{\epsilon}$ /, /a/, / $\tilde{a}$ /, /o/, / $\tilde{o}$ / de douze locuteurs natifs du français hexagonal (Carignan 2014, noir) et de vingt apprenants néerlandophones du français (rouge).

### **3.2 Résultats de la tâche de catégorisation**

Dans la section 3.2.1, nous aborderons les données obtenues par le biais de l'expérience perceptive à la fois sous un angle descriptif et statistique bivarié afin d'aboutir à une première présentation des données. Dans la section 3.2.2, nous présenterons à nouveau une analyse plus globale et plus avancée, à savoir un modèle linéaire généralisé à effets mixtes pour prédire l'intelligibilité des items lexicaux monosyllabiques réalisées par des apprenants néerlandophones.

#### **3.2.1 Analyses bivariées : l'intelligibilité par (type de) voyelle(s) et par région**

Les résultats de la tâche de catégorisation française sont présentés dans le tableau 2. Le taux d'identification élevé pour la voyelle de contrôle /y/, à savoir 98%, nous assure que notre protocole expérimental fonctionne. Le tableau 2 montre clairement des différences d'intelligibilité entre les voyelles réalisées par les apprenants néerlandophones. De plus, il pointe les confusions entre les réalisations de voyelles françaises (dans la première ligne de rang, exprimé en pourcentage), ainsi que les moyennes des scores que les sujets francophones ont attribués à chaque type d'appariement (dans la seconde ligne de rang). Rappelons qu'il s'agit d'un score sur une échelle Likert de 1 à 5, où 1 correspond à la mention « mal », tandis que 5 correspond à « bonne ».

En ce qui concerne les voyelles nasales /ã/ et /õ/, les sujets francophones ont identifié la voyelle /ã/ dans 55% des cas et la voyelle /õ/ dans 87% des cas, ce qui est une différence significative ( $X^2 = 332.0$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.001$ ). En regardant de plus près ce tableau, l'on note un phénomène de confusion asymétrique entre ces voyelles. Si la voyelle /ã/ a été identifiée comme /õ/ dans 37% des cas, les auditeurs francophones n'ont catégorisé la voyelle /õ/ comme /ã/ que dans 12% des cas. Il est à noter que le score de qualité de catégorie attribué à la voyelle nasale /ã/ identifiée comme /ã/ ou /õ/ ne diffère en moyenne que d'un dixième de point, ce qui n'est pas significatif ( $X^2 = 3.8$ ,  $df = 4$ ,  $p = 0.44$ ). En revanche, ce score diffère de sept dixièmes de

point pour la voyelle nasale /ɔ̃/ identifiée comme /ɔ̃/ ou /ɑ̃/ (*Fisher exact*,  $p < 0.001$ ). Ces derniers résultats confirment donc l'idée d'une confusion asymétrique entre /ɔ̃/ et /ɑ̃/.

Tout comme la voyelle nasale /ɔ̃/, la voyelle /ɛ̃/ a été identifiée relativement bien par les francophones, à savoir dans 87% des cas. Il importe ici de signaler que la voyelle /ɛ̃/ a également été identifiée comme /a/, /ɑ̃/ et /ɛ/, respectivement dans 5%, 3% et 4% des cas. A noter que, même si les auditeurs francophones identifient la voyelle /ɛ̃/, le score de qualité de catégorie ne dépasse pas la valeur de 3.3 en moyenne sur l'échelle Likert allant de 1 (mauvais) à 5 (bon). Du point de vue de la perception, cela signifie donc que les auditeurs francophones considèrent que les réalisations de /ɛ̃/ diffèrent au moins moyennement de leur propre catégorie /ɛ̃/. Rappelons à ce propos que le point d'articulation de la nasale /ɛ̃/ était flottant chez les néerlandophones (cf. Figure 2).

Pour ce qui des voyelles orales, l'on remarque d'abord que les sujets francophones ont identifié /a/ et /ɛ/ dans 91% cas. Ils les ont également catégorisées comme /ɛ̃/, respectivement dans 9% et 8% des cas. Ce dernier constat s'explique par la différence spectrale qu'il existe entre la voyelle nasale /ɛ̃/ et sa correspondante orale /ɛ/, la nature spectrale de /ɛ̃/ se rapprochant plus de celle de /a/ que de /ɛ/ (Delvaux et Huet 2006). En outre, l'on constate que les auditeurs francophones ont identifié la voyelle /o/ dans 79% des cas. A ce chiffre s'ajoutent encore 17% d'attributions erronées où /o/ a été interprété comme /u/. Si la différence articulaire entre ces deux voyelles réside dans le degré d'aperture, /u/ étant plus fermé, l'on peut supposer que les auditeurs francophones ont considéré que l'orale /o/ était parfois réalisée de manière plus fermée qu'attendu. Or, ce pourcentage élevé pourrait également être le résultat d'un choix au niveau du design de l'expérience. Ainsi, lors de la tâche de catégorisation, le stimulus /tu/ n'était pas représenté, alors que *tout* figurait parmi les réponses possibles. Il est donc possible que certains évaluateurs se soient sentis dans l'obligation d'utiliser également cette possibilité de réponse ; l'item *tôt* /to/ pourrait alors avoir été le stimulus le plus proche.

Stimuli	Catégorisé comme								Total
	/a/	/ã/	/ɛ/	/ẽ/	/o/	/õ/	/y/	/u/	
/a/	<b>90.7</b>	0.1	0.3	8.6	0.1		0.1	0.1	100
	<b>(4.2)</b>	(1.0)	(1.8)	(3.3)	(1.0)		(1.5)	(3.0)	
/ã/	0.1	<b>55.4</b>	0.1	6.5	0.3	37.4		0.1	100
	(3.0)	<b>(4.0)</b>	(3.5)	(3.1)	(2.3)	(3.9)		(3.5)	
/ɛ/	0.1	0.3	<b>90.6</b>	7.6	0.1		1.3	0.1	100
	(2.0)	(2.8)	<b>(3.9)</b>	(2.2)	(5.0)		(2.3)	(2.0)	
/ẽ/	5.0	3.1	4.2	<b>86.8</b>	0.1	0.7	0.1		100
	(3.6)	(1.8)	(2.4)	<b>(3.3)</b>	(3.0)	(1.9)	(2.0)		
/o/	0.1	0.1	0.1		<b>78.9</b>	3.0	0.8	17.0	100
	(3.5)	(3.0)	(2.5)		<b>(3.9)</b>	(3.4)	(1.3)	(3.5)	
/õ/	0.1	11.9		0.2	1.0	<b>86.5</b>	0.1	0.3	100
	(2.0)	(3.6)		(1.7)	(2.5)	<b>(4.3)</b>	(1.0)	(2.5)	
/y/	0.2		0.9	0.1		0.1	<b>98.3</b>	0.4	100
	(4.7)		(2.3)	(2.0)		(4.0)	<b>(4.2)</b>	(4.0)	

**Tableau 2.** Appariements des réalisations des apprenants néerlandophones à des catégories vocaliques du français (en %) et scores de qualité de catégorie attribués à ces réalisations.

De manière générale, comme l'indique le tableau 2, l'intelligibilité des voyelles diffère considérablement d'une voyelle à l'autre. En effet, l'intelligibilité est clairement associée à l'identité de la voyelle ( $X^2 = 1211.3$ ,  $df = 6$ ,  $p < 0.001$ ,  $V$  de Cramer = 0.35). Ainsi, l'analyse des résiduels montre que les voyelles /ã/ et /o/ sont associées fort négativement à une catégorisation correcte, tandis que les autres voyelles présentent toutes une attraction positive significative vers une identification correcte.

RÉGION		
	LIÈGE (N* = 360)	PARIS (N = 1060)
VOYELLE		
/a/	90 % (325)	91 % (963)
/ã/	59 % (212)	54 % (574)
/ε/	90 % (323)	91 % (963)
/ẽ/	92 % (330)	85 % (903)
/o/	81 % (292)	78 % (828)
/õ/	85 % (305)	87 % (923)
/y/	99 % (356)	98 % (1040)
<b>TOTAL<sup>7</sup></b>	<b>100 % (360)</b>	<b>100 % (1060)</b>

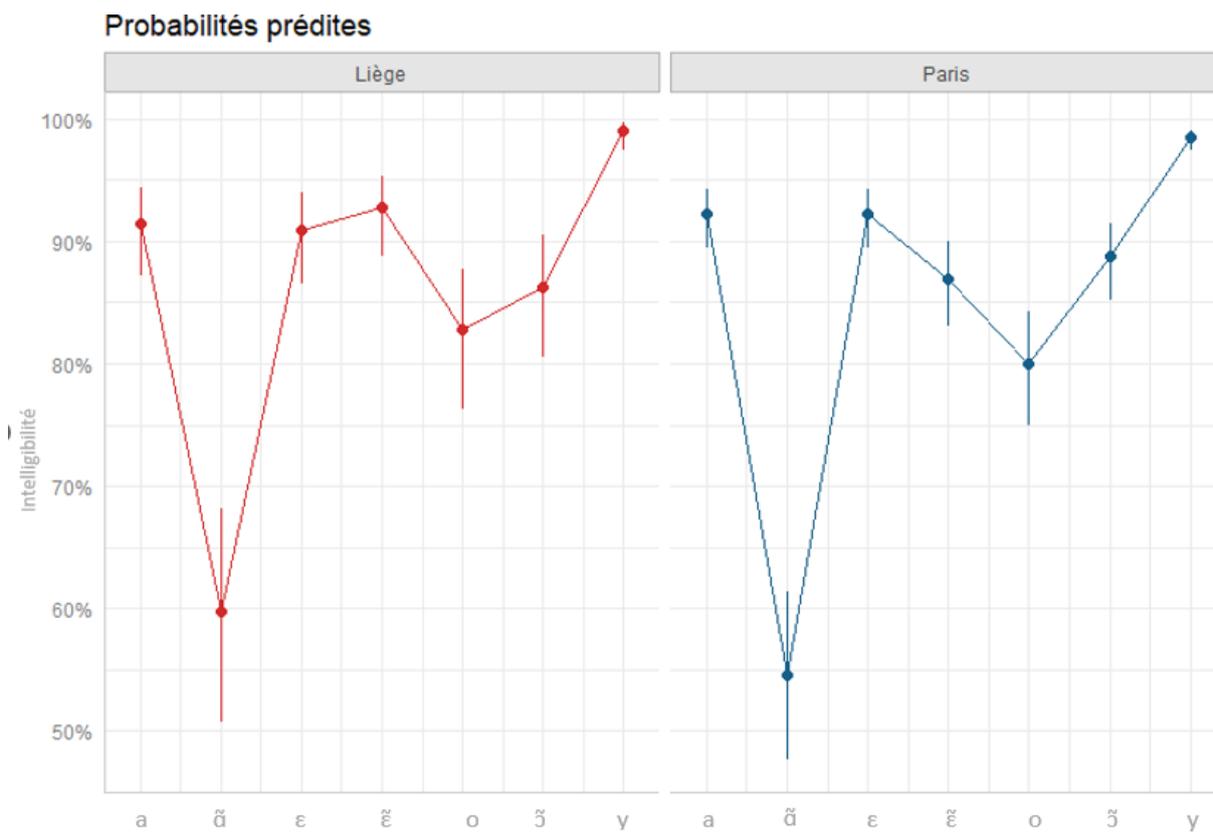
**Tableau 3.** Association entre l'intelligibilité d'une voyelle française réalisée par un apprenant néerlandophone et la région d'origine de l'auditeur francophone.

Le tableau 3 donne un aperçu synoptique de l'intelligibilité de chaque voyelle, mais répartie sur les deux régions, parisienne et liégeoise. Nous constatons que le taux d'identification est assez comparable entre les deux groupes d'auditeurs, même s'il existe de légères différences pour ce qui est des voyelles /ã/, /ẽ/, /o/ et /õ/. Ces légères fluctuations n'atteignent néanmoins pas le seuil de la signification statistique ( $X^2 = 3.3$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.07$ ). Si l'on écarte les voyelles orales de l'analyse, le rapport entre l'intelligibilité de la voyelle nasale et l'origine géographique de l'auditeur est tout juste significatif ( $X^2 = 3.7$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.05$ ). La taille de l'effet de cette association est néanmoins négligeable (V de Cramer = 0.03).

<sup>7</sup> \*Nombre d'observations par voyelle, par région.

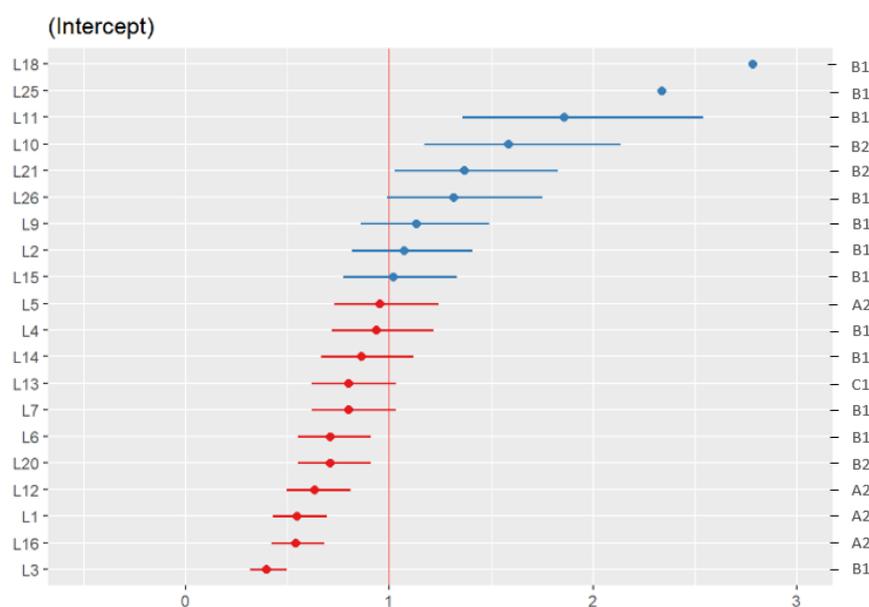
### 3.2.2. Analyse multivariée

Afin d'avoir une vue plus claire sur l'intelligibilité des stimuli, nous avons créé un modèle linéaire généralisé à effets mixtes intégrant deux facteurs catégoriels fixes, à savoir l'origine géographique de l'auditeur et la voyelle noyau de la syllabe, ainsi que deux intercepts aléatoires, le locuteur ayant réalisé l'item lexical et l'auditeur l'ayant entendu. Si l'ajout du facteur catégoriel fixe Région ne contribue pas de manière significative au modèle prédisant l'intelligibilité des voyelles non natives ( $X^2 = 0.9$ ,  $dF = 1$ ,  $p > 0.05$ ), les résultats de cette analyse montrent que l'interaction entre les facteurs Region et Voyelle est significative ( $X^2 = 14.4$ ,  $dF = 6$ ,  $p = 0.03$ ). La figure 5 nous permettra d'interpréter l'effet d'interaction ; les petites barres de la figure 5 indiquent à chaque fois un intervalle de confiance à 95%. En ce qui concerne la voyelle nasale / $\tilde{\epsilon}$ /, la différence d'intelligibilité prédite d'après la région d'origine de l'auditeur est significative (*coefficient*  $B = -0.74$ ,  $SE = 0.30$ ,  $z = -2.25$ ,  $p = 0.01$ ). Comme le montre la figure 5, les Liégeois identifient mieux la voyelle / $\tilde{\epsilon}$ / que leurs homologues parisiens. Pour ce qui est des autres voyelles, il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes d'auditeurs, même si l'on peut observer de légères différences descriptives.



**Figure 5.** Plot pour l'effet d'interaction entre Voyelle et Région d'origine de l'auditeur. L'axe des y représente la probabilité prédite pour l'intelligibilité de la voyelle.

Pour ce qui est des intercepts aléatoires, le modèle montre que la variabilité due aux idiosyncrasies des locuteurs ( $s^2 = 0.25$ ,  $SE = 0.50$ ) est quasiment identique à celle causée par le comportement des auditeurs francophones ( $s^2 = 0.17$ ,  $SE = 0.42$ ). Si l'on s'intéresse aux profils des locuteurs aux extrémités de l'échelle, force est de constater que le locuteur le plus intelligible se distingue des autres locuteurs par une exposition plus poussée à la langue française, ainsi que par sa précocité dans l'acquisition du français (Bongaerts 2003). En effet, contrairement aux autres apprenants, celui-ci avait étudié le français pendant onze ans (contre sept ans pour les autres) au moment de notre étude, c'est-à-dire à partir de ses cinq ans. De plus, il semble que les différences interindividuelles en intelligibilité sont partiellement corrélées à la manière dont les apprenants évaluent leur propre compétence orale (voir Figure 6) De même, les comportements des auditeurs diffèrent considérablement de l'un à l'autre, mais dans ce cas-là, la variation ne semble pas être systématique.

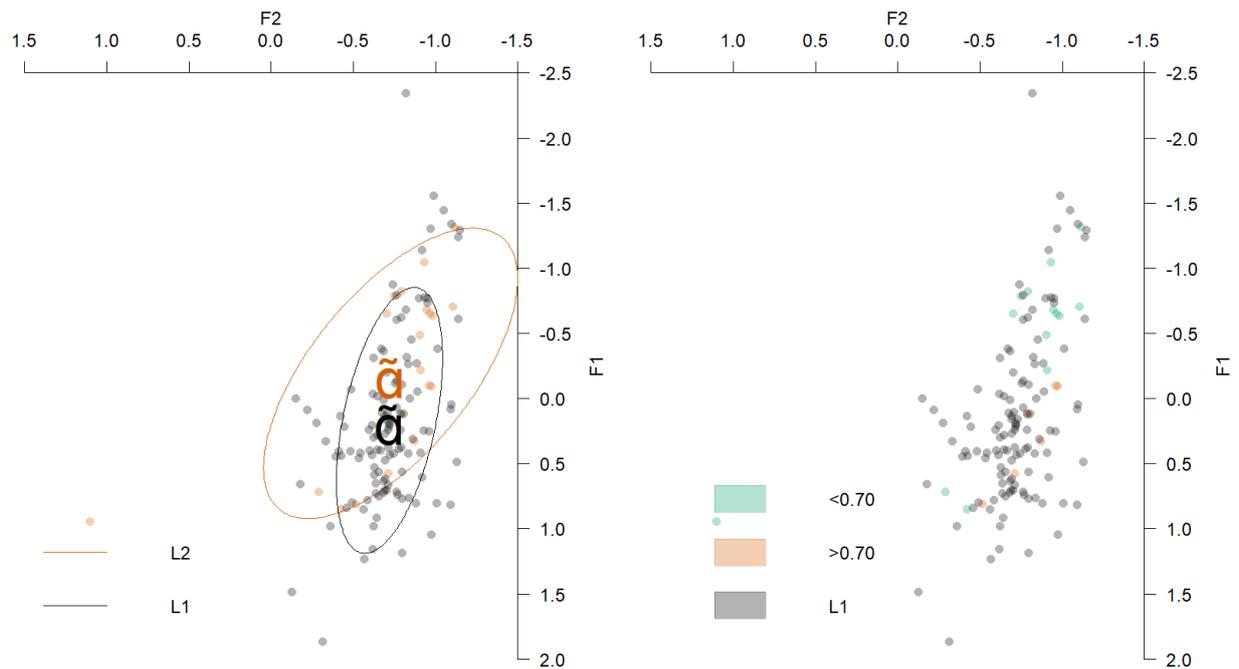


**Figure 6.** Graphique de l'intercept aléatoire associé aux vingt apprenants néerlandophones (et leurs niveaux).

### 3.3. Focus sur la voyelle nasale /ã/

Après avoir étudié en détail les données obtenues via l'expérience perceptive, il est intéressant de faire un petit zoom sur la voyelle nasale /ã/ et cela sous les deux angles de cette étude, la production et la perception. Cet approfondissement mérite bien le détour, puisque, comme nous l'avons dit, la voyelle /ã/ fait bande à part dans l'expérience perceptive.

Dans la figure 7, nous visualisons d'abord les formants 1 et 2 normalisés de la nasale /ã/ telle qu'elle a été réalisée par les apprenants néerlandophones (rouge) et par les locuteurs natifs du français hexagonal (noir) dans Carignan (2014). L'ellipse affiche de nouveau un intervalle de confiance de 68%. Notons que les réalisations des néerlandophones s'étendent sur une plage relativement grande qui ne coïncide que partiellement avec les réalisations des francophones natifs. Le second volet de cette figure visualise les résultats de l'expérience perceptive et oppose les voyelles qui ont été identifiées dans moins de 70% des cas à celles qui ont atteint un taux d'identification de 70%. Ainsi, on constate que les réalisations plus fermées, c'est-à-dire les moins canoniques, ont été identifiées considérablement moins bien par rapport aux réalisations plus ouvertes.



**Figure 7.** Corrélacion entre les scores d'identification de la voyelle nasale /ã/ et les formants F1 et F2 (normalisés) d'occurrences de la voyelle nasale /ã/ chez vingt apprenants néerlandophones (rouge) et douze locuteurs natifs (turquoise).

#### 4. Discussion

Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la production des voyelles nasales du français chez les néerlandophones. Si le mode de nasalité est familier aux apprenants néerlandophones, les voyelles nasales phonémiques sont absentes du système vocalique du néerlandais. Ainsi, ces voyelles ont tout pour poser des problèmes de réalisation aux apprenants néerlandophones. Nous avons abordé la problématique sous deux angles complémentaires : une approche perceptive s'intéressant à l'intelligibilité des voyelles nasales non natives pour les natifs et à leur qualité de catégorie et une approche acoustique comparative sondant les contrastes fonctionnels entre les nasales et les orales correspondantes chez les apprenants et les natifs. La discussion reprendra les deux grands axes de cette étude, en commençant par les résultats de l'expérience perceptive.

Les résultats de l'expérience perceptive ont d'abord mis en évidence que les auditeurs francophones identifient relativement bien les nasales réalisées par les apprenants néerlandophones, exception faite de /ã/, et que l'intelligibilité des monosyllabes réalisées par les néerlandophones diffère d'après la voyelle qui en constitue le noyau. Dans ce qui suit, nous nous pencherons sur les voyelles nasales au cas par cas.

Commençons par la voyelle qui sort du lot, à savoir la nasale /ã/, observation qui est consistante avec Inceoglu (2016) et Martin (2023). Le taux d'identification bas de /ã/ s'explique par une confusion asymétrique entre /ã/ et /õ/, c'est-à-dire que les réalisations de /ã/ ont été confondues avec celles de /õ/, mais l'inverse s'est produit nettement moins souvent. En reprenant la notion de Best (1995), on pourrait considérer le contraste minimal /ã/-/õ/ comme un cas de *Différence de qualité d'appariement*. Cela veut dire que les auditeurs francophones assimilent les réalisations non natives des deux phones à une seule catégorie native, à savoir /õ/, mais que les réalisations non natives de /õ/ se rapprochent naturellement plus de cette catégorie dans la perception des francophones. Remarquons qu'une analyse supplémentaire a

révélé que ce sont surtout les réalisations les plus fermées de /ã/, empiétant sur le domaine du /õ/ natif, qui n'ont pas été identifiées. Ainsi, l'on pourrait avancer l'hypothèse selon laquelle les réalisations plus fermées de /ã/ passent toujours pour les moins canoniques et cela malgré le changement en chaîne affectant les voyelles nasales du français hexagonal (cf. Hansen 2001). Au vu de ce changement en chaîne toujours en cours, de nouvelles études seront nécessaires afin de mieux capter son impact sur la production et perception de ces voyelles, tant en L1 qu'en L2.

Passons à la voyelle nasale /ẽ/, identifiée dans 87% des cas. Malgré ce taux d'identification élevé, les réalisations de cette catégorie diffèrent de la catégorie /ẽ/ telle qu'elle est stockée dans la perception des auditeurs francophones. C'est ce qui ressort de la moyenne du score de qualité de catégorie attribué à cette voyelle. Cette double tendance va dans le sens des résultats des études antérieures sur d'autres L1, à savoir le fait que les auditeurs natifs identifient les réalisations non natives de /ẽ/ le mieux (Inceoglu 2016), alors que le score de qualité de catégorie attribué à cette voyelle est le plus bas parmi les nasales (Detey et al. 2010). Dans ce contexte, le mécanisme d'assimilation perceptive permet aux auditeurs francophones d'identifier des réalisations phonétiques déviantes par rapport à leur propre catégorie. L'on pourrait ainsi considérer les contrastes /ẽ/-/ã/ et /ẽ/-/õ/ comme des cas de *Deux catégories de L2*. Cela signifie que les auditeurs francophones assimilent les réalisations non natives des deux phones à deux catégories natives différentes. Le contraste /ẽ/-/ã/ est néanmoins moins robuste que celui de /ẽ/-/õ/, observation logique qui se reflète dans nos données expérimentales et qui s'explique par la différenciation maximale sur l'axe antérieur-postérieur, ainsi que quant à l'arrondissement de la voyelle.

Pour finir, conformément à notre hypothèse, les auditeurs francophones sont de manière générale capables de distinguer entre les réalisations non natives des voyelles nasales et celles des orales correspondantes, ce qui implique que nos apprenants néerlandophones ont bien

acquis le trait de nasalité vocalique. Cela signifie donc que, même si le néerlandais ne contient pas de voyelles nasales, ce n'est pas la nasalité même de ces voyelles qui pose des problèmes aux apprenants néerlandophones, mais plutôt le timbre vocalique. Dans ce sens, il est tout à fait justifié de se focaliser sur les formants 1 et 2 des réalisations non natives dans l'analyse acoustique, d'autant plus que ce type d'analyse reste toujours pertinent (et usuel), aussi dans le cas des voyelles nasales (Carignan 2014 : 24).

Ensuite se pose encore la question de savoir si l'intelligibilité diffère d'après le groupe d'auditeurs en jeu. A ce sujet, nous avons mené une régression logistique qui nous a permis de construire un modèle linéaire généralisé à effets mixtes qui rend compte de l'intelligibilité des stimuli pour les auditeurs. Ce modèle nous a montré que les Liégeois identifient mieux la voyelle / $\tilde{\epsilon}$ / réalisée par les apprenants néerlandophones que les Parisiens, mais qu'il n'existe pas d'autre différence significative. Si, globalement parlant, la perception des deux groupes d'auditeurs francophones ne diffère donc pas significativement, ces résultats confirment en grande partie notre hypothèse : les deux variantes de français, celle de Liège et celle de l'Île de France, appartiennent à la même aire régionale en ce qui concerne les voyelles nasales, à savoir le français septentrional. La différence observée pour / $\tilde{\epsilon}$ / pourrait tout de même s'expliquer par (i) de légères différences régionales en L1, tel que le maintien de l'opposition / $\tilde{\epsilon}$ - $\tilde{\alpha}$ / en français liégeois (Hambye 2005, Hambye et Simon 2012), ou encore par (ii) la familiarité des auditeurs avec la parole accentuée des néerlandophones quand ils s'expriment en français et avec la langue native des apprenants. Dans le second cas, cela signifie que les Liégeois assimileraient plus facilement les réalisations de / $\tilde{\epsilon}$ / à leur propre catégorie / $\tilde{\epsilon}$ /. Il existe en effet une corrélation entre l'intelligibilité de la parole non native et la familiarité des auditeurs avec la langue native des apprenants (p. ex. Derwing et Munro 1997 : 14). Rappelons que la majorité du groupe liégeois (72%) avait indiqué d'avoir appris le néerlandais, contre aucun Francilien. De plus, l'étude pionnière de Gass et Varonis (1984) montrait déjà que la familiarité avec un accent non

natif en particulier pouvait avoir une incidence sur l'intelligibilité d'un énoncé. En effet, il est très probable que les auditeurs liégeois étaient familiers avec le français accentué des Flamands. Comme nous l'avons déjà indiqué dans la section 1.2, la notion d'« intelligibilité » doit donc également être appréhendée à travers une dimension sociale qui concerne l'auditeur.

Notons que, dans une étude de suivi, il serait intéressant de réaliser des enregistrements audio des auditeurs participant à l'expérience perceptive pour recueillir des informations plus circonstanciées sur leur production, ainsi qu'afin de prédire de manière plus exacte la manière dont ces auditeurs perçoivent les réalisations non natives. Dans la perspective inverse, il faut remarquer que, pour ce qui est des locuteurs néerlandophones, nous ne possédons pas de données acoustiques sur la réalisation de leurs voyelles orales en néerlandais, notamment quand celles-ci sont nasalisées par coarticulation (ex. *brand* 'feu' [brã:(n)t]. Or, de telles données permettraient d'expliquer encore mieux pourquoi telle voyelle nasale est plus difficile à réaliser qu'une autre, notamment dans la perspective du SLM (Flege 1995).

Passons maintenant aux résultats de l'analyse acoustique focalisant sur les formants 1 et 2. En ce qui concerne la voyelle /ã/, on a d'abord constaté que le point d'articulation est flottant chez les néerlandophones et que ce flottement entraîne un chevauchement très important avec les voyelles /o/ et /õ/. Chez les francophones natifs, on observe le même chevauchement, mais dans une bien moindre mesure. Rappelons à ce sujet que Carignan (2014 : 31) note que les réalisations acoustiques de /ã/ et /õ/ correspondent respectivement à [õ̃] et à [õ̃] et que cette observation est cohérente avec l'idée d'un changement en chaîne affectant les voyelles nasales des variantes septentrionales du français. Notons que chez les néerlandophones, cette confusion est le résultat du fait qu'ils éprouvent des difficultés à réaliser le contraste entre /ã/ et /õ/, contraste qui est devenu moins marqué par suite de ce changement en chaîne. Ainsi, nos résultats vont dans le sens des études de Detey et Racine (2015) et Inceoglu (2016) qui ont également observé que ce contraste pose souvent des problèmes aux apprenants de français de

langue étrangère. Cette hypothèse est d'ailleurs corroborée par les résultats de l'expérience perceptive, qui montrent que le contraste /ã-õ/ peut être considéré comme un cas de *Différence de qualité d'appariement* (Best 1995 : 95) sur le plan perceptif. Pour ce qui est de la voyelle nasale /ẽ/, l'analyse acoustique a mis en évidence que le point d'articulation reste flottant chez les néerlandophones. Ce flottement entraîne des chevauchements marginaux avec les voyelles orales /a/ et /ε/, ainsi qu'avec la voyelle nasale /ã/. A titre de comparaison, chez les francophones natifs, on a également observé des chevauchements marginaux avec la voyelle orale /a/, ainsi qu'avec la voyelle nasale /ã/, mais de nouveau dans une bien moindre mesure. Le timbre de la voyelle nasale /ẽ/ semble donc difficile à maîtriser pour les apprenants néerlandophones, comme le suggèrent d'ailleurs aussi les résultats de l'expérience perceptive. Ce constat pourrait s'expliquer par la dimension graphémique de /ẽ/. En effet, la nasale /ẽ/ est une voyelle très lourde en termes de traitement cognitif, puisqu'elle présente le nombre de variantes graphiques le plus élevé par rapport à /ã/ et /õ/ (Detey et al. 2010 : 288). De plus, à part /œ/, la nasale /ẽ/ est la moins fréquente tant en français écrit qu'en français parlé, ce qui signifie donc que les apprenants sont également moins exposés à cette voyelle (Delvaux 2012 : 22). Dans cette perspective, il est logique que cette voyelle montre le plus de variation.

## 5. Conclusion

Dans la présente étude, nous avons entrepris de cartographier la production des voyelles nasales du français par les apprenants néerlandophones. Concrètement, nous avons abordé leur compétence phonique à travers deux notions, à savoir l'« intelligibilité » et la « nativité phonétique » (à la fois acoustique et perçue), en menant une expérience perceptive auprès d'auditeurs représentant l'Île-de-France et Liège, et une analyse acoustique sur des monosyllabes réalisées par des apprenants néerlandophones (flamands).

Les résultats de l'expérience perceptive ont d'abord indiqué que l'intelligibilité globale des voyelles nasales des locuteurs néerlandophones était plutôt grande, à l'exception de la voyelle /ã/. Une analyse plus approfondie a révélé que les productions plus fermées et donc moins canoniques de cette voyelle ([ã - õ]) étaient moins souvent identifiées. Ce résultat est associé au changement en chaîne qui affecte en ce moment les voyelles nasales dans le français hexagonal actuel, conduisant à la réduction du contraste phonologique /ã/ - /õ/ (Hansen 2001). De plus, il s'est avéré que les deux groupes d'auditeurs ne diffèrent pas dans leur compréhension effective des voyelles nasales accentuées non natives, sauf pour la voyelle /ẽ/, qui a été identifiée significativement plus souvent par les Liégeois. Deux causes probables de la différence observée sont (i) l'impact de la variation régionale en L1 et (ii) la familiarité des auditeurs belges avec la parole accentuée des néerlandophones et avec le néerlandais.

Pour ce qui est de la qualité de catégorie, les résultats de l'expérience perceptive ont montré que la réalisations non natives de /ẽ/ différaient de la catégorie phonétique telle qu'elle était stockée dans la perception des auditeurs francophones, alors que ce n'était pas tant le cas pour les réalisations non natives de /ã/ et de /õ/. Cette observation se reflète dans les résultats de notre analyse acoustique, indiquant que surtout le point d'articulation de la nasale /ẽ/ était flottant. Enfin, fait intéressant, cette étude montre que ce n'est pas tant la nasalité même qui pose des difficultés de production aux apprenants néerlandophones, mais l'interaction avec le

timbre vocalique, ce qui semble ainsi corroborer l'hypothèse développementale de Detey et Durand (2021) selon laquelle l'acquisition de la nasalité s'effectue avant celle du timbre vocal.

A la lumière de ces résultats, cette étude a des implications pour l'enseignement de la prononciation, car elle révèle les particularités des voyelles nasales aux accents néerlandais à la fois d'un point de vue acoustique et perceptif. Si l'objectif de l'enseignement de la prononciation dans le contexte actuel de la mondialisation est avant tout d'atteindre une parole dite *intelligible* (Conseil de l'Europe 2001), nous avons montré que les voyelles nasales non natives des Flamands sont intelligibles pour des auditeurs natifs du français, exception faite de /ã/, malgré les différences acoustiques que nous avons pu observer par rapport aux nasales natives du français hexagonal. Il nous semble donc justifié que l'enseignement de la prononciation se concentre sur l'apprentissage du contraste phonémique /ã-/õ/, c'est-à-dire un des corrélats linguistiques de l'intelligibilité du français de langue étrangère. Or, comme le remarque Didelot (2019 : 120), « dans les faits, l'objectif de l'apprenant reste bien souvent de parler 'comme un natif' ». Notre étude montre que les réalisations non natives de /ẽ/ diffèrent le plus de cette catégorie phonétique en français hexagonal, tant d'un point de vue acoustique que d'un point de vue perceptif. Retenons ici que la notion de « nativité phonétique » (acoustique et perçue) se définit toujours par rapport au groupe de locuteurs de référence, tout comme l'« intelligibilité » se définit également par rapport à l'auditeur en question.

## Références

- Abrahamsson, Niclas et Kenneth Hyltenstam. 2009. Age of onset and nativelikeness in second language: Listener perception versus linguistic scrutiny. *Language learning* 59(2) : 249-306.
- Babel, Molly et Jamie Russel. 2015. Expectations and speech intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(5) : 2823-2833.
- Bates, Douglas, Martin Mächler, Ben Bolker et Steven Walker. 2014. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1) : 1-48.
- Best, Catherine T. 1995. A direct realist view of cross-language speech perception. Dans *Speech perception and linguistic experience: issues in cross-language research*, sous la direction de Winifred Strange, 171-204. Baltimore : York Press.
- Best, Catherine T. et Michael D. Tyler. 2007. Nonnative and second-language speech perception: commonalities and complementarities. Dans *Language experience in second language speech learning: in honor of James Emil Flege*, sous la direction de Ocke-Schwen Bohn et Murray J. Munro, 13-34. Amsterdam : Benjamins.
- Berns, Janine et Dominique Nouveau. 2017. Les néerlandophones. Dans : *La prononciation du français dans le monde : du natif à l'apprenant*, sous la direction de Sylvain Detey, Yuji Kawaguchi et Julien Eychenne, 174-179. Paris : Clé International.
- Boersma, Paul et David Weenink. 2023. Praat: doing phonetics by computer, version 5.0.27 [programme informatique]. Récupéré de <http://www.praat.org>.
- Bongaerts, Theo. 2003. Effets de l'âge sur l'acquisition de la prononciation d'une seconde langue. *Acquisition et interaction en langue étrangère* 18 : 79-98.
- Carignan, Christopher, Ryan Shosted et Zsuzsanna Fagyal. 2013. *Northern Metropolitan French acoustic, EMA, and aerodynamic database*.  
<http://www.christophercarignan.com/products/nmf-database>.

- Carignan, Christopher. 2014. An acoustic and articulatory examination of the “oral” in “nasal”: The oral articulations of French nasal vowels are not arbitrary. *Journal of Phonetics* 46 : 23-33.
- Chalier, Marc. 2021. *Les normes de prononciation du français : une étude perceptive panfrancophone*. Berlin: De Gruyter.
- Cheng, Laretta S., Danielle Burgess, Natasha Vernooij, Cecilia Solís-Barroso, Ashley McDermott et Savithry Namboodiripad. 2021. The problematic concept of native speaker in psycholinguistics: Replacing vague and harmful terminology with inclusive and accurate measures. *Frontiers in Psychology* 12 : 1-22.
- Collins, Beverly et Inger Margrethe Mees. 2003. *The Phonetics of English and Dutch*. Leiden : Brill.
- Conseil de l'Europe. 2001. *Cadre européen commun de référence pour les langues : apprendre, enseigner, évaluer*. Paris : Didier.
- Debrock, Mark et Gabriel Forrez. 1976. Analyse mathématique des voyelles orales du néerlandais et du français, Méthode et résultats. *Revue Phonétique Appliquée* 37 : 27- 73.
- Debrock, Mark et Piet Mertens. 1993. *Phonétique générale et française : une introduction*. Louvain : Presses universitaires de Louvain.
- De Haes, Hanna, Lauwers, Peter et Ellen Simon. 2024. Replication Data for: L'acquisition des voyelles nasales en français : une étude acoustique et perceptive sur la prononciation des apprenants néerlandophones belges, *DataverseNO*, V1.
- Delvaux, Véronique et Katy Huet. 2006. Perception de la nasalité en français de Belgique : catégorisation dirigée et catégorisation libre. *Revue Parole* 39/40 : 137-176.
- Delvaux, Véronique. 2012. *Les voyelles nasales du français. Aérodynamique, articulation, acoustique et perception*. Bruxelles : Peter Lang.

- Derwing, Tracey M. et Murray J. Munro. 1997. Accent, intelligibility, and comprehensibility: Evidence from four L1s. *Studies in Second Language Acquisition* 19(1) : 1-16.
- Detey, Sylvain, Isabelle Racine et Yuji Kawaguchi. 2010. Assessing non-native speakers' production of French nasal vowels: A multitask-corpus-based study. *Working Papers in Corpus-based Linguistics and Language Education* 5: 277- 293.
- Detey, Sylvain et Isabelle Racine. 2015. Does perception precede production in the initial stage of French nasal vowel quality acquisition by Japanese learners? A corpus-based discrimination experiment. Dans *Proceedings of the 18th International Congress of Phonetic Sciences*. Glasgow, UK: University of Glasgow.
- Detey, Sylvain et Jacques Durand. 2021. Acquisition de la prononciation en langue étrangère. Dans : Introduction à l'acquisition des langues étrangères, sous la direction de Pascale Leclercq, Amanda Edmonds, Elisa Sneed German, 111-123. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Didelot, Marion. 2019. La hiérarchisation des accents en français, entre représentations et réalité: étude de perception d'accents natifs et non natifs en Suisse romande. *Minorités linguistiques et société* 12 : 101-124.
- Didelot, Marion, Isabelle Racine, Françoise Zay et al. 2019. Enseignement et évaluation de la prononciation aujourd'hui: l'intelligibilité comme enjeu. *Recherches en didactique des langues et des cultures. Les cahiers de l'Acedle*, 16(1) :1-16.
- Escudero, Paula, Ellen Simon et Holger Mitterer. 2012. The perception of English front vowels by North Holland and Flemish listeners: Acoustic similarity predicts and explains cross-linguistic and L2 perception. *Journal of Phonetics* 40(2) : 280-288.
- Flege, James Emil. 1992. The intelligibility of English vowels spoken by British and Dutch talkers. Dans *Intelligibility in speech disorders: Theory, measurement, and management*, sous la direction de Raymond D. Kent, 157-232. Amsterdam: John Benjamins.

- Flege, James Emil. 1995. Second language speech learning: Theory, findings, and problems. Dans *Speech perception and linguistic experience: issues in cross-language research*, sous la direction de Winifred Strange, 233-277. Timonium: York Press.
- Flege, James Emil et Ocke-Schwen Bohn. 2021. The revised speech learning model (SLM-r). Dans *Second language speech learning: theoretical and empirical progress*, sous la direction de Ratreé Wayland, 3-83. Cambridge : Cambridge University Press.
- Floccia, Caroline, Jeremy Goslin, Frédérique Girard et Gabrielle Konopczynski. 2006. Does a regional accent perturb speech processing? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 32(5) : 1276–1293.
- Francard, Michel. 2010. Variation diatopique et norme endogène. Français et langues régionales en Belgique francophone. *Langue Française* 3 :113-126.
- Gass, Susan et Evangeline Marlos Varonis. 1984. The effect of familiarity on the comprehensibility of nonnative speech. *Language learning* 34(1) : 65-87.
- Gimenes, Manuel et Boris New. 2016. Worldlex: Twitter and blog word frequencies for 66 languages. *Behavior research methods* 48 : 963-972.
- Hansen, Anita Berit. 2001. Les changements actuels des voyelles nasales du français parisien : confusions ou changement en chaîne. *La linguistique* 37(2) : 33-48.
- Hambye, Philippe. 2005. La prononciation du français contemporain en Belgique : Variation, normes et identités. Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain.
- Hambye, Philippe et Anne-Catherine Simon. 2004. The production of social meaning via the association of variety and style: A case study of french vowel lengthening in belgian French. *Canadian Journal of Linguistics/Revue canadienne de linguistique* 49(3-4) : 397-421.
- Hambye, Philippe et Anne-Catherine Simon. 2012. The variation of pronunciation in Belgian French: from segmental phonology to prosody. Dans *Phonological variation in French:*

- illustrations from three continents*, sous la direction de Radall Scott Gess, Chantal Lyche et Trudel Meisenburg, 129-149. Amsterdam : Benjamins.
- Inceoglu, Solène. 2016. Effects of perceptual training on second language vowel perception and production. *Applied Psycholinguistics* 37(5) : 1175-1199.
- Li, Junkai, Yi Yin et Zhihong Pu. 2019. Acquisition des voyelles nasales du français et interférences du cantonais. Lidil. *Revue de linguistique et de didactique des langues* 59. <https://journals.openedition.org/lidil/6473>.
- Lobanov, Boris M. 1971. Classification of Russian vowels spoken by different speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America* 49(2) : 606–608.
- Lüdecke, Daniel. 2018. ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software* 3 (26) : 772.
- Lüdecke, Daniel. 2023. *sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science*. R package version 2.8.14. <https://cran.r-project.org/web/packages/sjPlot/index.html>
- Maddieson, Ian et Kristin Precoda. 1990. Updating UPSID. *UCLA Working Papers in Phonetics* 74 : 104-111.
- Major, Roy. 2001. *Foreign Accent: The Ontogeny and Phylogeny of Non-Native Speech*. New Jersey/London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Martin, Oriane Mathilde. 2023. Perception and production of French nasal vowels by German native speakers. Mémoire de maîtrise, Université Uppsala.
- McCloy, Daniel R. 2016. *phonR: tools for phoneticians and phonologists*. R package version 1.0-7. <https://cran.r-project.org/web/packages/phonR/>.
- Miller, Joanne L. 1997. Internal structure of phonetic categories. *Language and cognitive processes*, 12(5-6) : 865-870.
- Munro, Murray J. et Tracey M. Derwing, T. M. 1995. Foreign accent, comprehensibility, and intelligibility in the speech of second language learners. *Language learning* 45(1) : 73-97.

- Nagle, Charles L et Melissa M. Baese-Berk. 2022. Advancing the state of the art in L2 speech perception production research: Revisiting theoretical assumptions and methodological practices. *Studies in Second Language Acquisition* 44(2) : 580-605.
- Peirce, Jonathan, Jeremy R. Gray, Sol Simpson, Michael MacAskill, Hiroyuki Sogo, Erik Kastman et Jonas Kristoffer Lindeløv. 2019. PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods* 51 : 195-203.
- R Core Team. 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for statistical computing.
- Rys, Kathy. 2020. 1.1.4.4 Nasalering van klinkers (versie 3.0). Algemene Nederlandse Spraakkunst. <https://e-ans.ivdnt.org/topics/pid/topic-16044031787917735>.
- Stroop, Jan. 1994. Afgedwongen nasalering. *Tijdschrift voor Nederlandse Taal- en Letterkunde* 110(1) : 55-67.
- Sumner, Meghan et Arthur G. Samuel 2009. The role of experience in the processing of cross-dialectal variation. *Journal of Memory and Language* 60 : 487–501.
- Van de Velde, Hans, Mikhail Kissine, Evie Tops, Sander Van der Harst et Roeland Van Hout, R. 2010. Will Dutch become Flemish? Autonomous developments in Belgian Dutch. *Multilingua* 29 : 385-416.
- Van Heuven, Walter J., Pawel Mandera, Emmanuel Keuleers et Marc Brysbaert. 2014. SUBTLEX-UK: A new and improved word frequency database for British English. *Quarterly journal of experimental psychology* 67(6) : 1176-1190.
- Wickham, Hadley. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag: New York.
- Zampini, Mary. 2008. L2 speech production research. Dans *Phonology and Second Language Acquisition*, sous la direction de Jette Hansen Edwards et Mary Zampini, 219-249. Amsterdam: Benjamins.