

# Perception et production du trait de nasalité vocalique chez l'enfant porteur d'implants cochléaires.

Sophie Fagniard<sup>1</sup>, Brigitte Charlier<sup>2,3</sup>, Véronique Delvaux<sup>1,4</sup>, Anne Huberlant<sup>3</sup>, Kathy Huet<sup>1</sup>, Myriam Piccaluga<sup>1</sup>, Isabelle Watterman<sup>2</sup> et Bernard Harmegnies<sup>1</sup>

(1) Institut de Recherche en Sciences et Technologie du Langage UMONS, Belgique

(2) Université Libre de Bruxelles, Avenue Franklin Roosevelt 50, 1050 Bruxelles, Belgique

(3) Centre « Comprendre et Parler », Rue de la Rive 101, 1200 Woluwe-Saint-Lambert, Belgique

(4) Fond National de la Recherche Scientifique, Belgique

sophie.fagniard@umons.ac.be

## RÉSUMÉ

---

L'implant cochléaire, malgré une amélioration considérable de la perception auditive, ne fournit qu'une information acoustique partielle, pouvant donner lieu à des difficultés de perception de certains contrastes phonétiques. L'étude présentée vise à déterminer les compétences de perception et de production des voyelles nasales et orales d'enfants porteurs d'implants cochléaires en comparaison aux compétences d'enfants normo-entendants. Malgré des résultats très satisfaisants dans les deux groupes, on observe des patterns d'erreurs spécifiques au groupe d'enfants implantés dans les tâches perceptives, ainsi que certaines particularités dans la réalisation phonétique des voyelles nasales, portant notamment sur les valeurs de bande passante.

## ABSTRACT

---

### Perception and production of the nasal vowels in cochlear implanted children.

Cochlear implant, despite a considerable improvement of the auditory perception, provides only partial acoustic information, which can lead to difficulties in perceiving some phonetic contrasts. The present study aimed to determine the skills in perception and production of nasal and oral vowels between children with cochlear implants and normal hearing children. Despite very satisfactory results in both groups, there are patterns of errors specific to the group of children implanted in perceptual tasks, as well as some characteristics in the phonetic realization of nasal vowels, in particular with the bandwidth values.

**MOTS-CLÉS :** Implant cochléaire, nasalité vocalique, phonétique, perception, production

**KEYWORDS:** Cochlear implant, vocalic nasality, phonetics, perception, production

---

## 1 Introduction

Les voyelles nasales, du fait de leur réalisation articulatoire impliquant le couplage de trois systèmes de résonance, donnent lieu à un signal acoustique riche et complexe. Dans ce cadre, il y a lieu de s'interroger sur la perception de cette classe de phonèmes auprès des personnes atteintes de surdité, dont l'accès à l'information acoustique est limité, la lecture labiale ne permettant pas de distinguer la nasalité vocalique (Borel, 2015). En ce qui concerne plus particulièrement la population atteinte de

surdité et porteuse d'un implant cochléaire, il y a lieu, qui plus est, de se questionner sur la représentativité du signal émis par le dispositif – celui-ci étant composé de 12 à 22 électrodes de transmission contre des milliers de cellules ciliées dans l'oreille saine. Hawks, Fourakis, Skinner Holden & Holden (1997) ont notamment mis en évidence des difficultés à discriminer des voyelles orales aux bandes passantes plus larges auprès d'une population implantée. Borel (2015) a centré différentes recherches sur la perception de la nasalité auprès d'une population adulte implantée (76 implantations unilatérales, 6 implantations bilatérales), au sein de différents paradigmes expérimentaux. Les 82 sujets testés ont présenté, dans une tâche d'identification phonémique, des performances significativement inférieures à celles de leurs pairs entendants en ce qui concerne la perception des voyelles nasales, qu'ils perçoivent comme des voyelles orales, et ce même après un délai post-implantation d'un an. Dans son étude de 2018, Crouzet a investigué la perception des consonnes et voyelles nasales auprès de 19 participants normo-entendants, en traitant les phonèmes utilisés via un vocodeur permettant de simuler la déformation sonore liée à l'implant en faisant varier différents paramètres permettant de moduler la résolution spectrale du son. Les résultats sont très marqués : tandis que les sujets ne présentent pas de difficulté accrue à traiter la nasalité au sein des consonnes – avec une tendance à l'amélioration des performances avec l'augmentation de la résolution spectrale - les voyelles nasales sont significativement moins bien perçues, quel que soit le paramétrage sélectionné pour les synthétiser. Ces différentes études corroborent l'hypothèse de difficultés accrues dans la perception des voyelles nasales chez les individus porteurs d'implant(s) cochléaire(s). Toutefois, nous notons l'absence d'études portant sur les compétences de production de cette distinction entre voyelles orales et nasales chez les individus porteurs d'implant(s) cochléaire(s) : est-ce que les déficits perceptifs se manifestent par une distinction moins marquée des voyelles orales/nasales en production ? De plus, la perception de la distinction des voyelles orales/nasales n'a été évaluée que chez l'adulte implanté. Qu'en est-il de l'enfant atteint de surdité pré-linguale porteur d'implants cochléaires ?

Par ailleurs, les études de la perception du son au travers d'un vocodeur par des sujets normo-entendants, outre le fait qu'elles peuvent ne pas représenter précisément l'input auditif perçu au travers de l'implant, ne permettent pas de rendre compte des stratégies perceptuelles mises en place par la population implantée. L'étude décrite ci-après vise à répondre à ces interrogations, en investiguant les capacités de perception et de production de voyelles orales et nasales auprès d'enfants atteints de surdité pré-linguales et porteurs d'implants cochléaires.

## **2 Méthodologie**

### **2.1 Participants**

L'étude a été menée auprès de deux groupes d'enfants âgés entre 5 et 12 ans : un groupe d'enfants atteints de surdité et porteurs d'implants cochléaires (groupe IC) et un groupe témoin d'enfants normo-entendants (groupe NE). Le groupe IC était constitué de 13 enfants (7 filles et 6 garçons), âgés entre 5;8 ans et 11;6 ans, présentant une surdité de perception pré-linguale profonde bilatérale, tous porteurs d'implants cochléaires bilatéraux de la marque « Cochlear » (implantation entre 9 et 30 mois), recrutés grâce aux logopèdes du centre « Comprendre et Parler » de Bruxelles (n=9) et au « Centre Médical d'Audiophonologie (CMAP) » de Montegnée (n=4). Ils ont tous reçu une rééducation auditive de type « oraliste », aussi bien dans le contexte de leur centre de réhabilitation que dans leur contexte familial. Le « Langage parlé complété », soutien à la discrimination phonologique et à la lecture labiale, est couramment utilisé auprès de ces enfants avec les orthophonistes et aidants de leur centre de réhabilitation, et certains le pratiquent également en contexte familial (n=7). Leur courbe d'audiométrie vocale en répétition de mots/pseudo-mots se situe de 88 à 100% à 55/60dB. Le groupe

NE était constitué de 25 enfants (11 filles et 14 garçons) âgés de 5 à 12 ans (moyenne : 8;6 ans – écart-type : 2;4 ans), scolarisés dans l’enseignement général, ayant pour langue maternelle le français (familles monolingues), notons que certains sont toutefois en enseignement néerlandophone (n= 7). Les sujets ayant reçu ou suivant une prise en charge orthophonique ont été exclus lors du recrutement.

## 2.2 Tâches

Trois tâches ont été administrées : une tâche d’identification de mots-cible (pseudo-mots C1V1C2V2 avec C1=C2=/t/ et V1=V2 parmi /ã, õ, ê/ ou /a, o, ε, u/ : /tãtã/, /tõtõ/, /têtê/, /tata/, /toto/, /tetε/, /tutu/) en contexte phrastique, une tâche de discrimination et une tâche de répétition de ces pseudo-mots. La tâche d’identification consistait à présenter une phrase au sein de laquelle se trouvait un mot-cible contenant une voyelle orale ou nasale. Nous avons choisi d’utiliser des pseudo-mots afin d’éviter tout effet de fréquence lexicale, et afin de pouvoir utiliser une structure commune pour tous les items. Les pseudo-mots cibles ont ainsi été construits de telle façon qu’il soit nécessaire de traiter l’information spectrale des voyelles orales et nasales, en limitant des effets de coarticulation, de longueur de segments ou encore d’indices prosodiques. Les voyelles orales sélectionnées présentent soit une proximité phonologique, soit une proximité phonétique avec une des voyelles nasales du français. Par exemple, l’opposition phonologique de la voyelle nasale /ã/ est constituée par la voyelle orale /a/, tandis que la réalisation phonétique de cette même voyelle nasale sans nasalité est davantage proche phonétiquement de la voyelle orale /ɔ/ (français parisien : Borel, 2015 ; français de Belgique : Delvaux, 2012). La consonne /t/ a été choisie afin de limiter des effets de variabilité liés à la coarticulation. Les pseudo-mots ont été construits sur base de stimuli naturels, produits par un locuteur masculin. La durée de V1 et V2 a été contrôlée et fixée à 100ms afin d’éviter des biais de réponse liés à la longueur des voyelles – celle-ci étant un indice perceptif important dans la discrimination des voyelles orales et nasales (Delattre & Monnot, 1968). Huit phrases (produites de façon naturelle par un locuteur masculin) ont été construites de sorte que le pseudo-mot soit placé en position intermédiaire (« J’ai vu tantan près du bus ») ou en position finale (« Près du bus, j’ai vu tantan »), pour un total de 56 items (8 phrases\*7 mots-cible).

Lors de la tâche d’identification, chaque pseudo-mot était associé à un personnage représenté sur une carte disposée sur la table. Durant une phase d’apprentissage, l’expérimentateur apprenait à l’enfant le nom des personnages par l’association d’un geste et d’une phrase mnémotechnique afin de faciliter leur rétention. Ensuite, il était demandé à l’enfant de prendre la carte correspondante au personnage cité au sein d’une phrase qu’il entendait, pour la placer sur une image correspondant à la phrase produite (pour exemple : « J’ai vu tonton près du bus », l’enfant prend la carte « Tonton » et la place à côté de l’image du bus). La tâche de discrimination (même/différent) a consisté en la présentation de 63 paires de pseudo-mots (5\*9 paires différentes et 1\*18 paires identiques, écart inter stimuli = 100ms) constituées de façon à évaluer si les voyelles orales étaient moins aisément discriminées si elles étaient présentées avec une voyelle orale proche phonétiquement ou phonologiquement (tableau 1).

nasales/orales – <i>correspondant phonologique</i>	Tantan – Tata (5x) Tantan – Tantan Tata – Tata	Tintin – Tète (5x) Tintin – Tintin Tète – Tète	Tonton – Toutou (5x) Tonton – Tonton Toutou – Toutou
nasales/orales – <i>correspondant phonétique</i>	Tantan – Toto (5x) Tantan – Tantan Toto – Toto	Tintin – Tata (5x) Tintin – Tintin Tata – Tata	Tonton – Toto (5x) Tonton – Tonton Toto – Toto
Orales/orales	Tata – Toto (5x) Tata – Tata Toto – Toto	Tète – Tata (5x) Tète – Tète Tata – Tata	Toutou – Toto (5x) Toutou – toutou Toto – Toto

TABLEAU 1 : Tâche de discrimination : paires de stimuli présentés.

Les réponses des enfants étaient récoltées via une application informatique développée par le laboratoire de phonétique de l'UMONS sur tablette tactile (Microsoft Surface Pro3). Afin de faciliter la rétention des consignes, des pictogrammes étaient placés sur les zones de réponses. Pour les deux tâches (identification et discrimination), les stimuli sonores étaient présentés aux enfants en champ libre via haut-parleurs (Bose Soundlink II) dont le volume sonore moyen était contrôlé grâce à un sonomètre et ajusté à 60dB, placés à 1 mètre du sujet.

Lors de la tâche de répétition, il était demandé aux enfants de produire une partie des stimuli-phrases de la tâche d'identification : les 4 phrases avec le pseudo-mot placé en position finale, soit 28 items (7 mots-cibles\*4 phrases). Lors de cette tâche, afin de laisser au sujet la possibilité de capter les mouvements faciaux, l'expérimentateur produisait les phrases, tout en plaçant la carte du pseudo-mot cible sur la scène correspondante afin d'illustrer la phrase-cible produite. L'enfant était alors invité à produire oralement la phrase (production enregistrée via un magnétophone portable Zoom H5 posé à 25cm du sujet).

### 2.3 Traitement et analyse des données

Pour la tâche d'identification, nous avons analysé les pourcentages de bonnes réponses de chaque sujet pour chacun des phonèmes-cibles testés. Pour la tâche de discrimination, nous avons analysé les scores  $d'$ , calculés selon la méthode de MacMillan & Creelman (1991). Pour la tâche de répétition de phrases, nous avons calculé les pourcentages des différents mots-cibles correctement produits au sein des phrases. Un mot-cible était jugé comme correct lorsqu'il était identifié de façon univoque par l'expérimentateur lors de la réécoute attentive des enregistrements.

Par ailleurs, une analyse acoustique a été menée sur les productions de la tâche de répétition : segmentation manuelle des voyelles et, extraction de leur durée, mesures des valeurs des trois premiers formants et des bandes passantes grâce à une procédure automatique via le logiciel PRAAT (paramétrage : 5 formants, fréquence maximale = 5500Hz et fenêtre temporelle = 0,025s).

Les analyses acoustiques, plus spécifiquement de certains paramètres acoustiques liés à la distinction voyelles orales/nasales, doivent nous permettre de qualifier objectivement les patterns de réalisations acoustiques de nos sujets. Ainsi, nous avons mesuré la durée des différentes voyelles produites, afin de voir si l'allongement caractéristique des voyelles nasales (Delattre, 1968) se retrouvait davantage dans un de nos groupes. Nous avons également mesuré les valeurs des trois premiers formants, afin d'observer si les réalisations acoustiques des deux groupes d'enfants étaient similaires sur les voyelles orales et nasales. D'autre part, nous avons utilisé ces valeurs afin de situer chaque production d'enfants dans le plan F1/F2 et de procéder à différentes comparaisons entre les paires de voyelles orales et nasales nous intéressant. Enfin, nous avons aussi extrait les valeurs des bandes passantes des trois formants de chacune des productions. En effet, certains auteurs ont rapporté que les bandes passantes des deux premiers formants pourraient être impliquées dans la perception de la nasalité (Hawks, Fourakis, Skinner & Holden, 1997 ; House & Stevens, 1956 ; Delvaux, 2013).

## 3 Résultats

Pour la tâche d'identification, on observe tout d'abord significativement ( $U(1) = 462084$  ;  $p < .001$ ) de moins bonnes performances chez les enfants IC (88,5%) que chez les enfants NE (97,8%). Une analyse des comparaisons spécifiques indique que les différences de performance sont associées aux phonèmes /ã/ avec une performance de 90% pour le groupe NE contre 75% pour le groupe IC ( $U(1) = 79,5$  ;  $p = .009$ ) ; aux phonèmes /a/ avec une performance de 98% pour le groupe NE contre 87,5%

pour le groupe IC ( $U(1) = 88,5$  ;  $p=.021$ ) et aux phonèmes /u/ avec une performance de 100% pour le groupe NE contre 76,92% pour le groupe IC ( $U(1) = 37,5$  ;  $p<.001$ ).

Stimulus	Réponse						
	ã	õ	ẽ	a	o	u	ε
ã	NE : 90% IC : <b>76%</b>	NE : 10% IC : <b>22,1%</b>	NE : / IC : <b>0,9%</b>	NE : / IC : /	NE : / IC : <b>1%</b>	NE : / IC : /	NE : / IC : /
õ	NE : / IC : <b>5,8%</b>	NE : 97,5% IC : <b>92,3%</b>	NE : / IC : <b>1%</b>	NE : / IC : /	NE : 2% IC : 1%	NE : 0,5% IC : /	NE : / IC : /
ẽ	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : 98,5% IC : <b>90,4%</b>	NE : 1,5% IC : <b>9,6%</b>	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : /
a	NE : 0,5% IC : 1,9%	NE : / IC : /	NE : 1% IC : <b>9,6%</b>	NE : 98,5% IC : <b>87,5%</b>	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : <b>1%</b>
o	NE : / IC : /	NE : / IC : 1,9%	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : 100% IC : 98,1%	NE : / IC : /	NE : / IC : /
u	NE : / IC : /	NE : / IC : <b>1%</b>	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : <b>15,4%</b>	NE : 100% IC : <b>76,9%</b>	NE : / IC : <b>6,7%</b>
ε	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : /	NE : / IC : <b>1,9%</b>	NE : / IC : /	NE : 100% IC : 98,1%

TABLEAU 1 : Matrice de confusions des enfants normo-entendants (NE) et implantés (IC) pour chacun des phonèmes-cibles.

Lorsque l'on examine la matrice de confusion (tableau 2), on voit que l'erreur la plus fréquente aussi bien chez les enfants IC que les enfants NE sont les substitutions des phonèmes /ã/ par /õ/. Chez les enfants IC, les erreurs les plus fréquentes et peu/pas observées chez les enfants NE sont des substitutions des phonèmes /u/ par /o/, et de /ẽ/ par /a/, et de /a/ par /ẽ/, de /u/ par /ε/ et de /õ/ par /ã/.

Pour la tâche de discrimination, la moyenne des scores  $d'$  des enfants NE (4,41 – ce qui correspond à 98,45%) est significativement plus élevée que celle des enfants IC (4,12 – ce qui correspond à 94,87%), témoignant de moins bonnes capacités de discrimination chez ces derniers ( $U(1) = 11421$  ;  $p=.04$ ). En analysant plus spécifiquement les scores  $d'$ , nous voyons des différences significatives entre les deux groupes pour /ẽ/-/a/-/ε/ ( $IC = 4.21$  ;  $NE=4.47$  ;  $U(1)=1233.5$  ;  $p=.027$ ), et /õ/-/u/-/o/ ( $IC = 3.86$  ;  $NE=4.39$  ;  $U(1)=1153$  ;  $p=.013$ ), les enfants IC commettant davantage d'erreurs que les enfants NE. On observe des performances équivalentes des deux groupes pour /ã/-/a/-/o/ ( $U(1) = 1434$  ;  $p=.808$ ).

Pour la tâche de répétition, on observe que les deux groupes ont des performances élevées, le taux d'erreurs étant très bas pour ce qui est de l'adéquation des deux voyelles produites au sein de chaque pseudo-mot, les enfants IC étant néanmoins globalement significativement meilleurs ( $U(1)=469694$  ;  $p=.01$ ). En ce qui concerne les mesures de durées des phonèmes en fonction du type de voyelle (figure 1), on constate : (1) que les voyelles nasales sont significativement plus longues lors de la production (orales= 0,097s – nasales = 0,135s - ( $U$ )=808056 ;  $p<.001$ ), et (2) que les enfants du groupe IC produisent des segments significativement plus longs que ceux du groupe NE, et ce aussi bien pour les voyelles orales (NE = 0,093s - IC = 0,105s - ( $U$ )=193408 ;  $p<.001$ ) que nasales (NE = 0,129s – IC = 0,147s - ( $U$ )=11262,5 ;  $p<.001$ ).

L'analyse des valeurs de F1, F2 et F3 au sein des deux groupes, indique : (1) que les deux groupes présentent des valeurs formantiques similaires pour les voyelles nasales sauf pour le phonème /ẽ/ dont la valeur de F2 est significativement plus élevée au sein du groupe IC, (2) qu'en ce qui concerne les voyelles orales, il existe des différences significatives pour les valeurs de F1 de /a/ et /o/ qui sont plus élevées chez les enfants du groupe IC, et pour les valeurs du F2 du /o/ et /u/ qui sont cette fois moins élevées chez le groupe IC. Nous avons également comparé, entre les deux groupes, les distances euclidiennes dans le plan F1/F2 entre les paires de phonèmes associés selon leur proximité phonétique

ou phonologique. On constate que les groupes diffèrent significativement pour les valeurs de distances euclidiennes de / $\tilde{a}$ / et /o/, la distance relative entre ces deux phonèmes étant plus faible chez les IC par rapport aux NE.

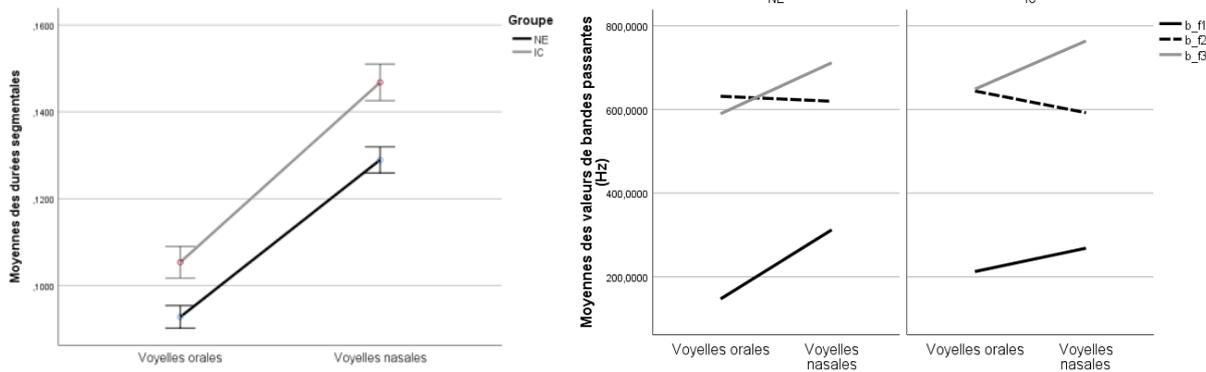


FIGURE 1 (gauche) : Moyennes des durées segmentales, en fonction du groupe et du type de voyelle - FIGURE 2 (droite) : Moyennes des valeurs moyennes de bandes passantes des trois premiers formants, en fonction du groupe et du type de voyelle.

Enfin, nous avons comparé, entre les deux groupes, les moyennes des bandes passantes des trois premiers formants (Figure 2), pour chaque type de voyelle (orales/nasales). On observe une différence significative entre les valeurs de bande passante de F1 : (1) pour les voyelles orales ((U)=80056 ;  $p=.030$ ), les enfants IC ayant des valeurs supérieures (IC= 212,44 Hz; NE= 147,00 Hz), et (2) pour les nasales ((U)=170372,5 ;  $p=.006$ ), les enfants IC ayant des valeurs plus basses (IC= 268,24 Hz; NE =312,14 Hz), mais également des différences significatives sur les valeurs de bande passante de F3 uniquement pour les nasales ((U)=176371 ;  $p<.001$ ), les enfants IC ayant alors des valeurs plus élevées (IC = 763,9 Hz; NE = 711,77 Hz).

Par ailleurs, un effet d'interaction significatif entre la variable groupe et la variable nasalité sur les valeurs de bande passante de F1 ( $F(1, 2064)= 14,919$  ;  $p<.001$ ) a été mis en évidence : les enfants NE marquent de façon nette la nasalité par une augmentation de 212%, correspondant à une augmentation de 168 Hz, l'augmentation de bande passante des nasales pour le groupe IC n'est que de 126%, correspondant à une augmentation de 56 Hz.

## 4 Discussion

Tout d'abord, en ce qui concerne la première tâche perceptive (identification de pseudo-mots au sein de phrases), notons que les enfants IC, malgré des performances moins élevées que le groupe NE, présentent des performances assez satisfaisantes de presque 90% de réponses correctes. Lors de la tâche de discrimination, les enfants IC ont à nouveau présenté des scores inférieurs aux NE. En outre, l'erreur la plus fréquente lors de la tâche d'identification au sein du groupe IC porte sur le phonème nasal / $\tilde{a}$ / confondu avec une autre nasale / $\tilde{o}$ /, et davantage d'erreurs au sein du triplet / $\tilde{a}$ /-/a/-/o/ lors de la tâche de discrimination, erreurs qui sont également les plus fréquentes dans le groupe NE, ne semblant pas témoigner de difficultés spécifiques au groupe IC. Par ailleurs, on note certaines erreurs chez les IC qui sont très peu présentes voire totalement absentes chez les enfants NE, à savoir : (1) des erreurs de confusion entre les phonèmes / $\tilde{e}$ / et /a/, ou sur le phonème /u/, confondu avec /o/ et / $\epsilon$ / lors de la tâche d'identification, et (2) davantage d'erreurs pour / $\tilde{e}$ /-/a/-/u/ et / $\tilde{o}$ /-/o/-/u/ en discrimination. Des confusions entre voyelles nasales / $\tilde{e}$ /, / $\tilde{o}$ / avec les orales /a/, /o/, /u/ proches phonétiquement avaient déjà été rapportées comme une erreur fréquente dans la population implantée

adulte (Borel, 2015), ce qui corrobore l'hypothèse d'une difficulté à percevoir la nasalité de certains phonèmes, alors confondus avec une voyelle orale proche phonétiquement. Pour ce qui est du phonème /u/, nous n'avons pas connaissance d'études ayant rapporté de difficultés de perception de ce phonème chez l'enfant implanté. Nous pouvons évoquer comme piste explicative la compacité de ce phonème, ayant des valeurs formantiques plus basses et très rapprochées par rapport aux autres voyelles orales du français. Du fait du manque relatif de finesse des informations spectrales par l'implant, notamment en basses fréquences les informations spectrales liées à ce phonème pourraient être moins bien perçues et donner lieu à des confusions. Le phonème /o/, ayant des valeurs spectrales proches de ce phonème, est un parfait candidat pour le substituer. De plus, /u/ et /o/ ont une configuration articulatoire proche, du moins sur la dimension la plus visible, à savoir l'arrondissement des lèvres.

Au niveau de la production, on a remarqué des performances similaires entre les deux groupes d'enfants, les enfants IC n'ayant donc pas de difficultés à répéter adéquatement des pseudo-mots contenant des voyelles orales ou nasales. Toutefois, nous remarquons des différences se marquant au niveau acoustique. Tout d'abord, les enfants IC présentent des durées phonémiques plus élevées que les NE, cet allongement étant davantage marqué sur les voyelles nasales. Sachant que l'allongement de la durée des segments aide à la perception de la nasalité (Delattre, 1968), il est possible que cet allongement témoigne de l'utilisation d'indices temporels dans la perception et la production de segments vocaliques. Pour ce qui est des valeurs formantiques, on remarque que les valeurs sont pratiquement similaires au sein des trois premiers formants pour la production des voyelles orales et nasales, traduisant un geste articulatoire très proche entre les deux groupes. Les quelques différences portent sur les voyelles orales /a/ et /o/ ayant des valeurs de F1 plus élevées, pouvant traduire une ouverture plus importante, et /o/, /u/ dont les valeurs de F2 sont plus faibles, peut-être donc davantage antériorisées. La voyelle nasale /ẽ/ présente quant à elle des valeurs de F2 plus élevées, témoignant d'une antériorisation de cette voyelle. Par ailleurs, nous avons mesuré les distances euclidiennes entre chaque voyelle nasale et son correspondant phonétique et phonologique au sein des deux groupes. On a remarqué une tendance générale à produire de façon plus proche des paires dites « phonétiques » (/ã/ et /o/, /ẽ/ et /a/, /õ/ et /o/) montrant à nouveau que ces paires de phonèmes semblent plus proches perceptuellement et qu'il y a donc lieu de les voir comme les principaux correspondants de l'opposition « orale/nasale ». Cette observation corrobore celle de différents auteurs ayant rapporté davantage de proximité perceptuelle et acoustique entre ces différentes paires (Delvaux, 2013 ; Carignan, 2014). Par ailleurs, nous avons noté que les distances euclidiennes de l'opposition /ã/ et /o/ étaient plus faibles au sein des productions des enfants IC, signifiant encore davantage de proximité dans la réalisation acoustique de ces deux phonèmes.

Enfin, les analyses réalisées sur les bandes passantes des formants nous ont permis de montrer, d'une part, une augmentation significative généralisée de la bande passante de F1 et F3 pour les voyelles nasales au sein des deux groupes, et, d'autre part, une augmentation moindre pour les enfants IC par rapport aux enfants NE sur les valeurs de bande passante de F1. L'augmentation de la bande passante pour les voyelles nasales avait déjà été rapportée dans la littérature. Les auteurs justifient cette augmentation par un amortissement du pic fréquentiel liée à la mise en résonance des cavités nasales, dont la surface plus étendue et surmontée d'une muqueuse absorbante va amortir le son, augmentant sa bande passante et diminuant son intensité (Bernthal & Beuckelman, 1977 ; Delvaux, 2012). Nos résultats confirment que la nasalité est bien associée à des valeurs de bande passante augmentées, du moins pour F1 et F3. Par ailleurs, nous avons vu que cette augmentation liée à la nasalité se réalisait de façon moins importante pour les valeurs de F1 dans notre groupe IC, d'une part car les valeurs de bande passante étaient plus élevées pour les voyelles orales, et d'autre part car ces valeurs étaient beaucoup plus faibles pour les voyelles nasales, donnant une augmentation très faible liée à la production de la nasalité (d'environ 120% contre 210% pour les NE). Ces différences suggèrent une

production atypique des voyelles, avec une faible différenciation des voyelles nasales et orales concernant les valeurs de bande passante. Or, si cette augmentation de bande passante traduit la mise en résonance de la cavité nasale, il est ainsi possible que les mouvements du port vélo-pharyngé soient imprécis, incomplets ou encore absents lors de la transition entre résonance orale et nasale. Cette proposition serait congruente avec les résultats de l'étude de Baudonck, Van Lierde, D'haeseleer et Dhooge (2015), observant en nasalance davantage de nasalité dans le timbre des enfants IC. Si les enfants IC ont des difficultés à gérer le contrôle entre nasalité et oralité via les mouvements de leur port vélo-pharyngé, il est normal que ceux-ci présentent une résonance nasale plus proche lors de sons oraux et nasaux. Notons toutefois que ces différences n'ont pas été perçues lors des productions qui ont été identifiées comme adéquates à plus de 95%, pouvant laisser penser à l'emploi de stratégies alternatives permettant la production de variantes phonétiques adéquates pour permettre de distinguer les voyelles orales des voyelles nasales. L'allongement des segments oraux et nasaux observé chez les enfants IC, combiné à une configuration articulo-oraire très proche de la réalisation phonétique des voyelles nasales, pourrait ainsi constituer une stratégie efficace de marquage de la nasalité vocalique.

Les erreurs observées lors des tâches de perception et les particularités relevées lors des productions de segments oraux et nasaux peuvent être mises en lien. En effet, si l'implant cochléaire transmet incomplètement et de manière atypique les informations spectrales nécessaires à la perception de certains indices acoustiques, comme la nasalité vocalique, l'enfant présentera, dès lors, des difficultés à traiter ces phonèmes mais aussi à les produire, du fait du fonctionnement imprécis de la boucle audio-phonatoire. Le fonctionnement de cette boucle permet un feedback auditif à l'enfant de ses propres productions, permettant lors de son développement de les ajuster afin de maîtriser les sons de sa langue. Or, si le système auditif est défaillant, la boucle audio-phonatoire fonctionnera de manière imprécise, donnant un feedback biaisé de l'enfant sur ses propres productions. On peut donc aisément imaginer que si certains traits phonologiques ne sont pas perçus adéquatement, ils seront également sujets à des imprécisions au niveau articulo-oraire. Ceci pourrait expliquer les particularités acoustiques relevées dans notre groupe d'enfants implantés concernant la production des voyelles nasales.

## 5 Conclusion

Ces résultats semblent intéressants à prendre en compte pour le diagnostic et la prise en charge des enfants porteurs d'implants cochléaires. En effet, malgré des performances en apparence très satisfaisantes, les patterns d'erreurs en perception et les particularités en production laissent à penser que le signal acoustique n'est pas traité de la même manière chez l'enfant implanté et chez l'enfant normo-entendant. Par ailleurs, bien que les résultats obtenus par les enfants implantés de notre étude soient en apparence très proches de ceux obtenus par les enfants normo-entendants, il faut garder à l'esprit que les tâches administrées ne reflètent peut-être pas le fonctionnement perceptif et productif de l'enfant dans sa vie de tous les jours, où il sera confronté à du bruit, différents locuteurs, des états de fatigue et de santé variables, ou tout autre facteur pouvant limiter la mise en place de stratégies de compensation pour percevoir adéquatement un input auditif dégradé. De plus, notons que le trait phonétique de nasalité a été ici évalué dans un contexte lexical. Bien que les mots-cible aient été des pseudo-mots, l'association préalable avec des personnages les ont lexicalisés, et, en outre, ces mots-cible étaient présentés aussi bien en perception qu'en production comme des éléments saillants au sein de phrases. De plus, les possibilités de réponse étaient restreintes aux choix proposés à l'enfant, on peut se demander, en contexte d'identification libre des phonèmes, comment les enfants implantés classifient les sons de parole perçus. Si l'on remarque certaines particularités perceptives et productives dans des contextes privilégiés comme ceux-ci, qu'en est-il du traitement de ce type de contraste phonétique au sein de segments moins saillants et plus abstraits du langage, comme les morphèmes grammaticaux ? Les morphèmes grammaticaux sont davantage vulnérables à des

difficultés de traitement cognitif et/ou perceptif. L'investigation du lien entre le développement phonético-phonologique et les composantes langagières dites de niveaux supérieurs, comme la morphosyntaxe, nous semble être du plus grand intérêt au sein de la population d'enfants implantés, et fera l'objet de nos travaux de thèse.

## Références

- BAUDONCK, N., VAN LIERDE, K., D'HAESELEER, E., & DHOOGHE, I. (2015). Nasalance and nasality in children with cochlear implants and children with hearing aids. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 79(4), 541-545. [doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.01.025](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.01.025)
- BERNTHAL, J. E., & BEUKELMAN, D. (1977). The effect of changes in velopharyngeal orifice area on vowel intensity. *Cleft Palate Journal*, 14(1), 63-77.
- BOERSMA, P. (2001). Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott International* 5:9/10, 341-345.
- BOERSMA, P. & WEENINK, D. (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.56, retrieved 13 March 2019 from <http://www.praat.org/>
- BOREL, S. (2015). Perception auditive, visuelle et audiovisuelle des voyelles nasales par les adultes devenus sourds. Lecture labiale, implant cochléaire, implant du tronc cérébral (Doctoral dissertation). Université de Sorbonne Nouvelle.
- CARIGNAN, C. (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. [doi.org/10.1016/j.wocn.2014.05.001](https://doi.org/10.1016/j.wocn.2014.05.001)
- CORRETGE, R. (2019). Praat Vocal Toolkit. <http://www.praatvocaltoolkit.com>
- CROUZET, O. (2018). Perception des consonnes et voyelles nasales en parole vocodée: Analyse de la contribution des niveaux de résolution spectrale et temporelle. Actes des XXXIIèmes Journées d'Études sur la Parole–JEP2018, Aix-en-Provence, France, 4-8.
- DELATTRE, P., & MONNOT, M. (1968). The role of duration in the identification of French nasal vowels. *IRAL-International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 6(1-4), 267-288.
- DELVAUX, V., METENS, T., & SOQUET, A. (2002). Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du français. XXIVèmes Journées d'étude sur la parole, Nancy, 1, 348-352.
- DELVAUX, V., DEMOLIN, D., SOQUET, A., & KINGSTON, J. (2004). La perception des voyelles nasales du français. Actes des XXVèmes JEP, 157-160.
- DELVAUX, V. (2012). Les voyelles nasales du français. Aérodynamique, articulation, acoustique et perception. Presses Interuniversitaires de Bruxelles, Belgique : GRAMM-R.
- HAWKS, J. W., FOURAKIS, M. S., SKINNER, M. W., HOLDEN, T. A., & HOLDEN, L. K. (1997). Effects of formant bandwidth on the identification of synthetic vowels by cochlear implant recipients. *Ear and hearing*, 18(6), 479-487.
- MACMILLAN, N. A., & CREELMAN, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide* Cambridge University Press. New York.
- MAEDA, S. (1993). Acoustics of vowel nasalization and articulatory shifts in French nasal vowels. In Huffman, M.K. & Krakow, R.A. (Eds.) *Phonetics and phonology : Nasals, nasalization, and the velum* (pp. 147-167). New York : Academic Press. [doi.org/10.1016/B978-0-12-360380-7.50010-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-360380-7.50010-7)