



Développement phonético-phonologique d'enfants porteurs d'implants cochléaires et normo-entendants : lien avec différents indices acoustiques de nasalité vocalique.

Sophie Fagniard¹ Brigitte Charlier^{3,4}, Véronique Delvaux^{1,2,3}, Bernard Harmegnies¹, Anne Huberlant³, Myriam Piccaluga¹ & Kathy Huet¹

(1) UMONS - Laboratoire de Phonétique, Place du Parc 18, 7000 Mons, Belgique

(2) FNRS

(3) Université Libre de Bruxelles, Av. Franklin Roosevelt 50, 1050 Bruxelles

(4) Centre Comprendre et Parler, Rue de la Rive 101, 1200 Bruxelles, Belgique

sophie.fagniard@umons.ac.be

RÉSUMÉ

Notre étude investigate les compétences réceptives (traitement de morphèmes grammaticaux et lexicaux), la structuration phonologique et les capacités de production du trait de nasalité acoustique, ainsi que le lien entre ces deux types de compétences, auprès d'un groupe d'enfants porteurs d'implants cochléaires et de pairs normo-entendants. Les résultats montrent des compétences réceptives plus faibles, associées à davantage d'erreurs phonologiques en production, chez les enfants implantés, ainsi que des différences dans l'utilisation des différents indices acoustiques portant la nasalité vocalique, tendant à suggérer un profil perceptivo-productif davantage axé sur les indices saillants visuellement. Ces profils peuvent être mis en lien avec les compétences linguistiques, l'utilisation d'indices purement acoustiques étant associée à de meilleures performances linguistiques.

ABSTRACT

Phonetic and phonological development of cochlear implanted and normal hearing children: focus on some acoustical features of vowel nasality. Our study investigates the receptive skills (processing of grammatical and lexical morphemes), the phonological structuration, the skills in acoustic production of the vowel nasality feature, as well as the link between these two types of skills, within a group of children with cochlear implants and normal-hearing pairs. The results show lower phonological processing and production skills in implanted children, as well as differences in the use of the different acoustic cues carrying vowel nasality, suggesting a perceptual-productive profile more focused on visually salient cues. These profiles can be associated to linguistic skills, the use of purely acoustic cues being associated with better linguistic performance.

MOTS-CLÉS : implant cochléaire, surdité, phonétique, développement langagier, nasalité

KEYWORDS: cochlear implant, deafness, phonetics, language development, nasality

1 Langage et implant cochléaire

L'implant cochléaire, dispositif introduit chirurgicalement au sein de l'oreille interne et permettant de suppléer une fonction cochléaire d ficiante, est à présent très largement utilisé auprès de jeunes enfants et d'adultes présentant une surdité sensorielle. L'amélioration de la perception auditive et de

l'intelligibilité ne sont plus à démontrer chez les jeunes enfants présentant une surdité pré-linguale. Toutefois, les études sur le développement du langage d'enfants implantés montrent une grande variabilité dans les compétences en perception et production langagière, ainsi que certaines composantes linguistiques semblant présenter des profils de développement retardés et/ou atypiques par rapport aux enfants normo-entendants. Plus précisément, au niveau des compétences phonéto-phonologiques, on note des profils de performances suggérant un effet de visibilité dans le traitement des traits acoustiques, ayant un impact sur les capacités de traitement (Bouton et al., 2012) et de production (Grandon, 2016). La composante morphosyntaxique est souvent rapportée comme déficitaire auprès des groupes d'enfants implantés en comparaison à leurs pairs normo-entendants (Bourdin et al., 2016, Duchesne, 2010). Ces différents constats mènent à penser que l'implant cochléaire, bien que permettant l'accès à un input langagier suffisant pour acquérir la majorité des contrastes phonologiques, pourrait ne pas être suffisant dans le traitement de l'ensemble des traits acoustiques, plus particulièrement dans des contextes perceptifs moins saillants, comme, par exemple dans le traitement des morphèmes grammaticaux. Ce phénomène pourrait s'expliquer, d'une part, par le nombre limité d'électrodes permettant de coder le son de parole, bien inférieur au nombre de cellules ciliées codant la même information dans une oreille saine, et, d'autre part, par les différentes transformations du signal acoustique opérées par le dispositif. Certains sons de parole pourraient être davantage impactés par le traitement du son par l'implant cochléaire, notamment les sons dont les oppositions phonologiques portent sur des traits moins visibles (segments postérieurs), mais aussi ceux dont les oppositions sont portées par des indices acoustiques complexes et marqués par un traitement spectral précis, ce qui est le cas du trait de nasalité vocalique.

2 Implant cochléaire et nasalité vocalique

Les voyelles nasales constituent des réalisations acoustiques complexes, par la mise en correspondance de deux systèmes de résonance via l'abaissement du voile du palais au sein du tractus vocal. Le couplage des cavités orales avec les cavités nasales entraîne de nombreuses transformations du signal acoustique. Styler (2017) relève quatre types de changements acoustiques liés à la nasalité : l'apparition de pôles nasaux, l'apparition de pôles zéros (ou « anti-formants), des changements de structures formantiques et des changements spectraux diffus. Une autre manière d'envisager acoustiquement les voyelles nasales est de considérer que sa perception/production repose sur deux types d'indices : ceux liés à la configuration orale propre à toute voyelle, et ceux liés au couplage des cavités oro- et naso-pharyngée par l'abaissement du voile du palais (Delvaux, 2012). La distinction phonétique entre voyelles orales et nasalisées est ainsi portée par des variations fines et subtiles du signal acoustique. Si, comme on peut le soupçonner, le traitement du signal par l'implant cochléaire ne permet pas de coder aussi finement les informations spectrales que l'oreille saine, les voyelles nasales pourraient être moins bien perçues/produites au sein des populations implantées. Borel (2015) a en effet relevé des difficultés de perception des voyelles nasales auprès d'une population adulte francophone implantée (82 sujets). Les sujets de l'étude présentaient une tendance à percevoir les voyelles nasales comme des orales proches phonétiquement sur leur configuration orale. Crouzet (2018), a, quant à lui, étudié la perception de voyelles et de consonnes nasales auprès de 19 sujets normo-entendants, en manipulant les stimuli de façon à simuler le traitement sonore lié à l'implant cochléaire par l'emploi d'un vocodeur. Les transformations opérées sur les phonèmes ont mené les participants à des difficultés de perception de la nasalité vocalique, cet effet ne se retrouvant en revanche pas pour les consonnes. Dans une étude ultérieure, nous avons étudié les capacités de perception et de production d'enfants âgés entre 9 et 12 ans et porteurs d'implants cochléaires en comparaison à des pairs normo-entendants (Fagniard et al., 2020). Les résultats ont montré des difficultés légères au sein de tâche de discrimination et d'identification de voyelles nasales chez les enfants implantés. Les analyses acoustiques réalisées sur leurs productions ont montré des effets de

proximité entre les voyelles nasales et les orales proches phonétiquement sur leurs valeurs de F1 et F2, des valeurs de bandes passantes moins élevées et des durées segmentales allongées pour les voyelles nasales, suggérant un profil productif davantage axé sur les indices perceptifs plus saillants (configuration orale, durées segmentales) et supposés mieux codés par l'implant cochléaire. Ces données suggéraient donc un lien entre ce profil de production avec la façon dont les enfants IC perçoivent et exploitent les différents indices acoustiques au travers de leur implant. A l'issue de ces données de la littérature, nous avons souhaité investiguer les capacités de production phonéto-phonologiques des voyelles nasales auprès de jeunes enfants normo-entendants et implantés cochléaires, ainsi que l'impact de ces capacités de production sur les compétences de traitement morphémique et de structuration phonologique. En effet, il y a lieu de soupçonner un effet des possibles difficultés de perception des traits acoustiques, dont le trait de nasalité, sur la qualité des représentations phonologiques, un système phonologique complet et qualitatif étant pourtant nécessaire pour le traitement et la production adéquats des morphèmes lexicaux et grammaticaux.

3 Méthodologie

L'étude a consisté en l'administration de deux tâches auprès de deux groupes d'enfants (implantés cochléaires et normo-entendants) ayant pour objectif d'étudier, d'une part, les compétences en traitement de morphèmes grammaticaux et lexicaux, d'autre part, la structuration phonologique et la capacité à marquer phonétiquement la nasalité vocalique, ainsi que l'impact des capacités de production acoustique sur les compétences linguistiques évaluées.

3.1 Participants

Nous avons administré nos tâches à deux groupes d'enfants : 27 enfants normo-entendants (Groupe « NE ») et 16 enfants porteurs d'implants cochléaires (Groupe « IC »). Les enfants du groupe IC sont 8 garçons et 8 filles âgés entre 4 ans 6 mois et 7 ans 3 mois, la moyenne d'âge est de 5 ans et 7 mois (écart-type : 1 an 3 mois). Ils présentent tous une surdité prélinguale profonde et bilatérale et ont reçu une éducation de type « oraliste ». Les implantations ont eu lieu entre 7 mois et 3 ans 3 mois (dont 15 implantations bilatérales). Dans le milieu familial de ces enfants, la Langue de Signes a été pratiquée en phase pré-implantation et/ou en soutien à la communication auprès de 13 d'entre eux, et le Langage Parlé Complété auprès de 6 d'entre eux. Le français est la langue maternelle de la plupart des enfants (n = 12), deux ont également été élevés en milieu bilingue portugais-français et un en milieu bilingue turc-français. La plupart sont scolarisés en intégration dans l'enseignement général ou en enseignement spécialisé de type 7¹. Le groupe NE est constitué de 15 filles et 12 garçons âgés entre 2 ans 10 mois et 6 ans 6 mois, la moyenne d'âge étant de 4 ans 9 mois (écart-type : 1 an 1 mois). Tous ont le français pour langue maternelle et sont scolarisés en enseignement général. Ils ne présentent pas de difficultés langagières ou cognitives diagnostiquées.

3.2 Tâches

Les participants ont réalisé deux tâches : une tâche de désignation de syntagmes et une tâche de dénomination d'images. La tâche de désignation consistait à demander à l'enfant d'écouter un mot/un syntagme (nominal/verbal) puis de désigner une image-cible adéquate parmi deux images. La tâche comporte au total 28 items. Les différences entre les mots/phrases-cible et leurs opposés portent pour

¹ Dans la typologie belge, l'enseignement de type 7 renvoie aux établissements adaptant l'enseignement fondamental aux besoins éducatifs de personnes atteintes de déficiences auditives.

13 items sur des marques de nombre (ex : il va/ils vont), pour 7 items sur des marques de genre (boulangier/boulangère) et pour 8 items sur des variations de sons entre de mots proches (bain/banc). Ces différents marquages grammaticaux et lexicaux sont portés par différentes oppositions phonologiques : substitutions de voyelles orales/nasales (va/vont), orales/orales (il le/la lave), nasales/nasales (blond/blanc) ou des ajouts phonémiques (boulangier/boulangère). Notons que les items-cible ont été présentés au travers d'un enregistrement audio (sans locuteur visible) : le recours à la lecture labiale n'était donc pas possible. La tâche de dénomination d'image, ayant pour objectif d'étudier la production phonologique et phonétique des enfants, développée par Philippart De Foy et al. (2018), consiste en la dénomination de 48 items comprenant l'ensemble des phonèmes de la langue en différentes positions (initiales, médianes, finales).

3.3 Traitement des données et analyses

Pour la tâche de désignation, le score total et les différents sous-scores associés (marques du nombre, du genre, items lexicaux) ont été transformés en score d' , calculés selon la méthode de MacMillan & Creelman (1991). Des sous-scores bruts par type de transformation phonologique portant l'opposition grammaticale/lexicale ont également été réalisés : sous-scores aux items opposés par des voyelles orales/nasales, orales/orales, nasales/nasales, ou des ajouts phonémiques. Pour la tâche de dénomination, les productions des enfants ont été transcrites au moyen du logiciel Phon (Hedlung & Rose, 2020) pour ensuite être analysées sous l'angle phonologique et phonétique. Les analyses phonologiques ont consisté en le calcul des pourcentages de consonnes, voyelles, groupes consonantiques et phonèmes totaux corrects. Des analyses des erreurs produites ont également été menées auprès de nos deux groupes sur base des productions retranscrites. Les analyses phonétiques ont consisté en l'analyse de la distinction entre les voyelles orales et nasales, en comparant chaque nasale avec son correspondant phonologique et phonétique. Nous avons donc comparé des paires dites phonologiques (suivant la description articulatoire classique : / \tilde{a} /-/a/ ; / \tilde{o} /-/o/ ; / \tilde{e} /-/e/) et phonétiques (/ \tilde{a} /-/o/ ; / \tilde{o} /-/o/ ; / \tilde{e} /-/a/). Ces dernières comparaisons par proximité phonétique sont inspirées des résultats obtenus par Borel (2015). La distinction entre chaque voyelle orale et nasale a été opérée sur base de deux types d'indices acoustiques : les valeurs de distances euclidiennes dans un espace F1/F2 entre les voyelles chaque paire orale/nasale (paires phonologiques et phonétiques), et l'indice A1P0. Cet indice permet de rendre compte de l'augmentation d'amplitude de P0 (premier pôle nasal) conjointement à la diminution de l'amplitude du premier harmonique (A1), conséquences de la mise en résonance nasale (Styler, 2017, Carignan, 2021). Les valeurs formantiques et les indices A1P0 ont été obtenus à l'aide du script Praat décrit par Carignan (2021). Nous avons choisi ces deux indices car nous pensons qu'ils sont portés par des mécanismes perceptivo-productifs distincts : tandis que les valeurs de distances euclidiennes F1/F2 permettent de refléter la configuration orale, partiellement accessible visuellement, des productions, les valeurs de A1P0 reflètent quant à elles des indices de mécanismes articulatoires non visibles (mise en résonance nasale) et accessibles uniquement sur base du traitement acoustique. On suppose que les premiers types d'indices, plus saillants car moins tributaires des capacités de perception acoustique fines, supportaient davantage le mode de perception de la nasalité chez les enfants implantés.

Les différences de groupe ont été réalisées au moyen de tests de Mann-Whitney et les effets d'interaction au moyen d'ANOVA univariées. Les indices acoustiques ont été étudiés en comparant les différences entre chaque paires orales-nasales (paires phonologiques/phonétiques) dans nos deux groupes. Des corrélations ont également été réalisées au moyen de R de Bravais-Pearson sur les valeurs moyennes des indices acoustiques par types de paires et des scores aux tâches linguistiques par sujet. Notons que les valeurs de A1P0 sont porteuses de valences négatives/positives critiques pour l'interprétation de la présence d'un pôle nasal. Les corrélations réalisées sur les valeurs

moyennes de cet indice par sujet et par paires orales/nasales ont été réalisées séparément selon la valence négative (A1P0-) ou positive (A1P0+) des valeurs obtenues.

4 Résultats

4.1 Tâche de désignation

Les scores à la tâche de désignation montrent des performances totales majoritairement inférieures chez le groupe IC en comparaison au groupe NE. Ces différences se retrouvent aussi bien sur le score total obtenu, que pour les sous-scores portant sur les items traitant de la marque grammaticale de nombre et de genre, et pour les items lexicaux (table 1). Si l'on se penche sur les types de processus phonologiques portant les marques grammaticales/lexicales des items, on voit que les enfants du groupe IC ont des scores inférieurs pour les items dont l'opposition était portée par une distinction entre une voyelle orale et nasale, ainsi que par des ajouts phonémiques. Lorsqu'on regarde plus précisément les types de paires « orales/nasales » correspondantes, les performances des enfants IC sont plus faibles pour chaque type de paires, l'écart le plus grand entre les performances de nos deux groupes se situe au niveau des paires phonétiques.

Sous-scores	Entendant	Sourd	Mann-Whitney
d' score total	0,75 (0,11)	0,59 (0,09)	U(43) = -3,82 ; p < .001**
d' items « nombre »	0,67 (0,13)	0,55 (0,15)	U(43) = -2,34 ; p = .019*
d' items « genre »	0,78 (0,13)	0,61 (0,18)	U(43) = -2,552 ; p = .011*
d' items « lexique »	0,86 (0,14)	0,66 (0,10)	U(43) = -4,056 ; p < .001**
Sous-score items « orales-nasales »	83,70 (13,05)	56,88 (12,50)	U(43) = -4,596 ; p < .001**
Sous-score items « orales-orales »	62,96 (21,35)	52,08 (29,74)	U(43) = -1,442 ; p = .149
Sous-score items « nasales-nasales »	77,78 (18,49)	68,75 (19,12)	U(43) = -1,476 ; p = .140
Sous-score items « ajouts »	73,46 (11,56)	60,94 (15,73)	U(43) = -2,644 ; p = .008**
Items orales-nasales/paires phonologiques (/â/-/a/)	94,44 (16,01)	79,41 (30,92)	U(43) = -1,196 ; p = .05*
Items orales-nasales/ paires phonétiques (/â/-/a/ ; /â/-/o/)	92,59 (19,25)	47,06 (20,61)	U(43) = -5,512 ; p < .001**
Items orales nasales/sans correspondance (/â/-/a/, /â/-/e/)	74,07 (18,24)	47,06 (22,29)	U(43) = -3,649 ; p < .001**

TABLE 1 : Résultats obtenus par nos deux groupes à la tâche de désignation.

Nous avons étudié l'effet de l'âge chronologique et auditif au moyen de corrélations : tandis que les enfants du groupe NE voient leur âge chronologique corrélé avec leurs scores aux items « nombre », « lexique », « orales-nasales » (score total et sous-scores « paire phonologique » et « sans correspondance », on ne retrouve chez les enfants IC qu'une corrélation entre leur âge auditif (et non chronologique) et les items « orales-nasales/paire phonologique ».

4.2 Tâche de dénomination

4.2.1 Analyses phonologiques

Les analyses de la structure phonologique des productions obtenues à la tâche de dénomination ont permis de montrer des scores plus faibles chez nos enfants du groupe IC en termes de pourcentages de consonnes correctes (NE= 89,43 ; IC = 65,12 ; U(43) = -4,699 ; p <.001**), de voyelles correctes (NE = 95,38 ; IC = 79,0734 ; U(43) = -4,749 ; p <.001**) et au score total des phonèmes corrects (NE = 91,92 ; IC = 70,7387 ; U(43) = -4,849 ; p <.001**). Le pourcentage de groupes consonantiques corrects montre un léger avantage des enfants IC, bien que non significatif (NE = 74,22 ; IC = 79,28 ; U(43) = 0,515 ; p = .606). L'étude des types d'erreurs produites met en évidence que les enfants du groupe IC commettent significativement plus de délétions consonantiques et de substitutions phonémiques. Les substitutions commises constituent majoritairement des erreurs de dénasalisations de consonnes (NE : 0,44 ; IC : 2,31) et voyelles nasales

(NE : 0,77 ; IC : 5,69) dans le groupe IC, mais également des nasalisations de consonnes orales (NE : 1,04 ; IC : 6,44). On relève également des changements de lieux d'articulation (antériorisations – NE : 1,26 – IC : 2,38 ; postériorisations – NE : 0,3 ; IC : 1,3) et de mode (occlusivisations – NE : 0,11 ; IC : 2,13). On relève également plus d'erreurs de type voisement de phonèmes non voisés (NE : 0,15 ; IC : 1,69), les dévoisements étant quant à eux présents de façon équivalente dans les deux groupes (NE : 5,85 ; IC : 8,5). En ce qui concerne les caractéristiques des sujets, on relève des corrélations positives entre l'âge chronologique des enfants du groupe NE et les pourcentages de consonnes, voyelles et phonèmes corrects, et négatives avec le nombre de postériorisations et de dénasalisation de voyelles nasales. Pour les enfants du groupe IC, on retrouve des corrélations positives de l'âge auditif (et non chronologique) sur le pourcentage de consonnes et de phonèmes totaux corrects, et des corrélations négatives avec le nombre de délétions consonantiques et de dénasalisations de consonnes nasales.

4.2.2 Analyses acoustiques

Nous avons commencé par étudier s'il existait un effet de groupe et du type de paires orales/nasales sur nos deux types d'indices acoustiques : les distances euclidiennes F1-F2 et les valeurs de A1P0 auprès de chaque couple de paires orales-nasales. Au niveau des distances euclidiennes, on relève un effet de groupe en faveur du groupe NE (NE = 600Hz ; IC = 575Hz ; $F(1) = 7,868$; $p = .005$), un effet du type de paires en faveur des paires phonologiques (Phonologique = 645 Hz ; Phonétique = 537Hz ; $F(1) = 192,402$; $p < .001$) ainsi qu'un effet d'interaction entre ces deux variables [NE(Phonologique) = 644Hz ; NE(Phonétique) = 555Hz ; IC(Phonologique) = 646Hz ; IC(Phonétique) = 506Hz ; $F(1) = 9,331$; $p = .002$]. Alors qu'on observe, sans surprise, que les distances euclidiennes F1/F2 sont plus importantes pour les paires phonologiques par rapport aux paires phonétiques, cette distance est plus réduite pour le groupe IC (figure 1).

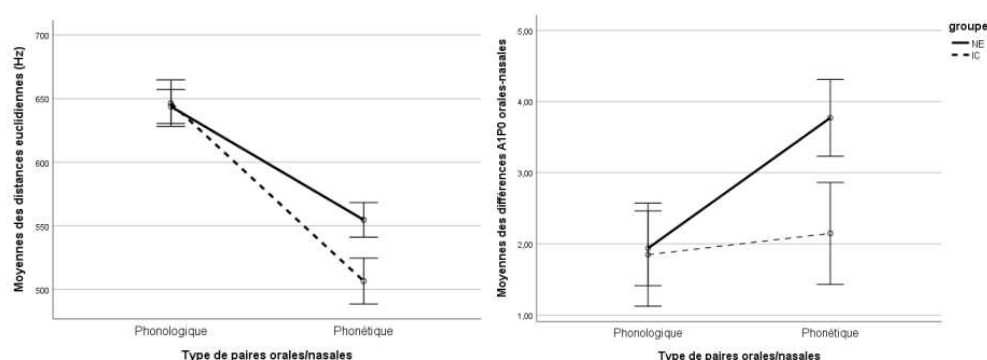


FIGURE 1 : Moyennes des distances euclidiennes F1/F2 (gauche) et des valeurs de A1P0 (droite) en fonction du groupe et du type de paires.

Au niveau des valeurs A1P0, on relève également un effet de groupe (NE = 2,96dB ; IC = 2,00dB), un effet du type de paires (Phonologique = 1,97dB ; Phonétique = 3,26dB) ainsi qu'un effet d'interaction [NE(Phonologique) = 2,04dB ; NE(Phonétique) = 3,92dB ; IC(Phonologique) = 1,85dB ; IC(Phonétique) = 2,15dB]. En effet, les enfants du groupe NE marquent davantage de différences entre les paires phonétiques orales-nasales que les enfants du groupe IC. Notons que ces derniers ont des valeurs équivalentes entre les deux types de paires. Au niveau des caractéristiques des sujets, nous notons une corrélation positive entre l'âge chronologique des enfants NE avec les scores « A1P0-/Paire phonétique », et négatives avec les scores « A1P0+/Paire phonétique » et « A1P0+/Paire phonologique ». Les enfants du groupe IC voient leurs âges auditifs corrélés positivement avec les valeurs de distances euclidiennes F1F2/Paire phonétique. Tandis que l'âge influence positivement le marquage de la distinction orale/nasale au travers l'utilisation de la résonance nasale (manifestée par la présence de pôles nasaux)

chez le groupe NE, l'âge auditif des enfants du groupe IC influence plutôt un marquage par la configuration orale (manifestée ici par les distances euclidiennes F1/F2).

4.3 Mises en lien des données linguistiques et acoustiques

L'étude des corrélations entre nos variables linguistiques et nos variables acoustiques a montré des corrélations entre nos valeurs acoustiques liées à la nasalité phonétique (A1P0) avec les items de désignation dont l'opposition était marquée par des voyelles orales/nasales. Les corrélations étaient positives pour les valeurs négatives de A1P0 (le nombre de productions nasales présentant un pôle nasal d'amplitude supérieure à A1 étant associée à un meilleur score) et négatives pour les valeurs positives de A1P0 (le nombre de productions nasales dont le pôle nasal comportait une amplitude inférieure à A1 étant associées à de moins bons scores). Notons que ces corrélations se retrouvent également (bien que non significatives statistiquement) pour les items « ajouts », et significativement pour le score d' des items de genre chez le groupe IC, et d' « lexique » pour le groupe NE (table 2). On note que seuls les indices acoustiques liés à la nasalité phonétique (A1P0) influencent les scores des enfants NE (« A1P0-/Paire phonétique » étant corrélé positivement, « A1P0+/Paire phonologique » étant corrélé négativement avec les pourcentages de voyelles et de phonèmes corrects), tandis que ce sont les indices liés à la configuration orale qui influencent les scores des enfants du groupe IC (« DE F1F2/Paire phonétique étant corrélé avec le pourcentage de consonnes correctes »).

5 Discussion

Nos résultats mettent en évidence, d'une part, des compétences linguistiques plus faibles chez notre groupe d'enfants implantés, et d'autre part, un profil productif en termes de nasalité vocalique spécifique qui pourrait partiellement expliquer les performances linguistiques déficitaires. En ce qui concerne les résultats de la tâche de désignation, on constate en effet des scores plus faibles au sein du groupe IC sur les différents types de marques grammaticales visées. Ces difficultés pourraient être liées à des difficultés de traitement phonologique, les marques grammaticales portées par des distinctions orales/nasales et par des ajouts phonémiques étant les plus touchées. Ces difficultés de traitement phonologique peuvent être mises en lien avec les compétences en production phonologique relevées au travers la tâche de dénomination. En effet, les enfants du groupe IC présentent des pourcentages de consonnes et de voyelles correctes inférieurs à leurs pairs entendants, et les substitutions les plus fréquemment opérées sur les voyelles sont des oralisations de voyelles nasales. Nos analyses acoustiques permettent d'émettre différentes hypothèses quant à la manière dont ces voyelles nasales pourraient être perçues par notre groupe IC. En effet, alors que les enfants du groupe NE distinguent les paires phonologiques orales/nasales davantage au travers de la configuration orale et plutôt au travers la nasalité phonétique pour les paires phonétiques, les enfants du groupe IC distinguent les paires phonologiques par une configuration articuloire et une nasalité phonétique adéquate, mais distinguent beaucoup moins les paires phonétiques au travers les deux mécanismes. L'utilisation de la nasalité phonétique est par ailleurs globalement plus faible dans le groupe IC. Ces résultats semblent aller dans le sens des observations faites par Borel (2015) auprès d'adultes implantés substituant les voyelles nasales par des paires phonétiquement proches sur le plan articuloire (et non acoustique) et des résultats obtenus précédemment auprès d'enfants implantés (Fagniard et al., 2020), relevant un profil perceptif et productif davantage axés sur les indices acoustiques plus saillants visuellement. Des données similaires avaient été relevées par Grandon (2016), la production de consonnes et de voyelles montrant des différences entre enfants implantés et normo-entendants principalement pour les segments vocaliques et consonantiques moins accessibles visuellement (segments médiaux et postérieurs). Par ailleurs, on relève des liens différents dans nos

deux groupes entre les données acoustiques et phonologiques : tandis que les meilleures performances relevées sur tous les types de segments en production sont associées à des marquages acoustiques liés à la nasalité phonétique, on retrouve des liens entre la production correcte des consonnes et un marquage par la configuration articulatoire chez nos enfants IC. L'utilisation du marquage au travers la nasalité acoustique est, chez nos deux groupes, associé à de meilleures performances à différents sous-scores de la tâche de désignation, surtout pour les items dont l'opposition morphémique était portée par des distinctions entre voyelles orales/nasales. Ces derniers constats permettent de rendre compte de l'importance de l'utilisation des indices purement acoustiques pour le traitement de morphèmes grammaticaux et lexicaux portés par des distinctions entre voyelles nasales, et de la possible difficulté des enfants IC pour traiter cette information. Par ailleurs, notons que les effets d'âge portent sur des aspects différents dans nos deux groupes : tandis que les enfants NE plus âgés traitent mieux les différentes marques lexicales et grammaticales de genre et les distinctions orales/nasales (paires phonologiques/phonétiques), et présentent une meilleure production phonologique sur tous les types de segments, les enfants IC voient l'amélioration de leurs capacités de traitement lié à leur âge auditif limitée au traitement des paires phonologiques orales/nasales, et voient leur niveau de production phonologique augmenter au niveau des consonnes mais pas des voyelles. Ces différences dans l'évolution liée à l'âge se retrouvent également dans les types d'indices employés pour le marquage acoustique de la nasalité : les enfants NE voient les indices de nasalité acoustique augmenter avec l'âge, tandis que ce sont les indices liés à la configuration articulatoire qui évoluent chez les IC. On pourrait voir un lien entre cette évolution du profil perceptif davantage axé sur les indices visuellement saillants et l'évolution positive en production de consonnes : les enfants plus âgés pourraient davantage consacrer leur attention perceptivo-productive sur des indices acoustiques plus saillants perceptivement, mais également pertinents pour la perception/production des segments consonantiques. Les résultats présentés dans cette étude sont toutefois à nuancer par différentes limites. En effet, la variabilité des performances dans les groupes d'enfants implantés a été largement documentée, il serait donc nécessaire d'élargir l'échantillon d'enfants testés. Par ailleurs, il existe une multitude d'autres indices acoustiques témoignant de la nasalité vocalique : l'étude de différents autres indices permettraient éventuellement de mieux rendre compte du profil perceptivo-productif des enfants testés.

6 Conclusions

Cette étude suggère, à l'instar de ce qui a souvent été pointé dans la littérature, que la population d'enfants implantés est davantage susceptible de présenter des difficultés linguistiques, notamment dans les composantes phonologiques et morphosyntaxiques. L'investigation des profils de production phonétique du trait de nasalité vocalique permet de suggérer un lien avec ces capacités perceptives, et permet de mettre en lumière un possible effet de saillance perceptuelle des indices acoustiques supposés mieux codés par l'implant (configuration des articulateurs visibles), au détriment d'indices purement acoustiques. Cette stratégie perceptive, bien qu'efficace car permettant de produire bon nombre de productions jugées adéquatement comme nasalisées, peut toutefois mener à des imprécisions dans la constitution du système phonologique, et être responsable de difficultés dans le traitement des morphèmes grammaticaux et lexicaux. Une prise en charge précoce et adéquate des compétences perceptives visant à exploiter au maximum les indices acoustiques présents dans le signal sonore semble être du plus grand intérêt pour cette population.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement les enfants et leurs parents pour leur participation à l'étude, ainsi que les équipes de logopèdes ayant permis la bonne réalisation des testings.

Références

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 Sorbonne Paris Cité.*

BOURDIN, B., IBERNON, L., LE DRIANT, B., LEVREZ, C., & VANDROMME, L. (2016). Troubles morphosyntaxiques chez l'enfant sourd et chez l'enfant dysphasique : similarités et spécificités. *Revue de neuropsychologie*, 8(3), 161-172.

BOUTON, S., SERNICLAES, BERTONCINI J. & COLE P. (2012). Perception of speech features by French-speaking children with cochlear implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55(1), 139-153.

CARIGNAN, C. (2021). A practical method of estimating the time-varying degree of vowel nasalization from acoustic features. *The Journal of the Acoustical Society of America* 149(2), 911-922.

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.

DELVAUX, V. (2012). Les voyelles nasales du français. Aérodynamique, articulation, acoustique et perception. Presses Interuniversitaires de Bruxelles, Belgique : GRAMM-R.

DUCHESNE, L. (2010). Développement linguistique d'enfants porteurs d'un implant cochléaire: le vocabulaire et la grammaire chez les enfants ayant reçu un implant en bas âge. Éditions universitaires européennes.

FAGNIART, S., CHARLIER, B., DELVAUX, V., HUBERLANT, A., HUET, K., PICCALUGA, M., & HARMEGNIES, B. (2020). Perception et production du trait de nasalité vocalique chez l'enfant porteur d'implants cochléaires. Actes *6e conférence conjointe Journées d'Études sur la Parole* (JEP, 33e édition), Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN, 27e édition), 217-225.

GRANDON, B. (2016). Développement typique et atypique de la production de parole : caractéristiques segmentales et intelligibilité de la parole d'enfants porteurs d'un implant cochléaire et d'enfants normo-entendants de 5 à 11 ans. *Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes.*

HEDLUND, G., & ROSE Y. (2020). Phon 3.1 [Computer Software]. Retrieved from <https://phon.ca>.

MACMILLAN, N. A., & CREELMAN, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide* Cambridge University Press. New York.

DE FOY, M. P., DELVAUX, V., HUET, K., MONNIER, M., PICCALUGA, M., & HARMEGNIES, B. Un protocole de recueil de productions orales chez l'enfant préscolaire: une étude préliminaire auprès d'enfants bilingues. XXXIIe Journées d'Études sur la Parole, 639-647.

PISONI, D. B., CLEARY, M., GEERS, A. E., & TOBEY, E. A. (1999). Individual differences in effectiveness of cochlear implants in children who are prelingually deaf: New process measures of performance. *The Volta Review* 101(3), 111.

STYLER, W. (2017). On the acoustical features of vowel nasality in English and French. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142(4), 2469-2482.