

Perception et production du trait de voisement chez l'enfant porteur d'implant(s) cochléaire(s).

Sophie Fagniard^{1,*}, Brigitte Charlier^{2,3}, Véronique Delvaux^{1,4}, Chloé Doutriaux², Anne Huberlant³, Kathy Huet¹, Myriam Piccaluga¹ et Bernard Harmegnies¹

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

²Université Libre de Bruxelles, Belgique

³Centre « Comprendre et Parler », Belgique

⁴Fond National de la Recherche Scientifique, Belgique

Résumé. Dans cette communication, nous décrivons une première étude visant à caractériser la perception et la production de consonnes occlusives voisées et non voisées auprès d'enfants présentant une surdité et porteurs d'implant(s) cochléaire(s), et d'enfants normo-entendants. Une tâche de perception catégorielle a ainsi montré des profils différents entre nos deux groupes d'enfants, les enfants implantés présentant des performances dans des tâches d'identification et de discrimination qui différaient de celles de leurs pairs entendants, pouvant suggérer une perception moins catégorielle. Au niveau productif, tandis que les deux groupes d'enfants présentaient des performances équivalentes en termes d'adéquation des productions voisées et non voisées, les analyses acoustiques réalisées sur les productions ont montré des valeurs de Voice Onset Time significativement plus courtes chez les enfants implantés.

Abstract. Perception and production of the voicing feature in cochlear implanted children. In this article, we will describe a first study aiming to characterize perception and production of voiceless and voiced stops in cochlear implanted and normal-hearing children. A categorical perception paradigm (identification and discrimination tasks) shows different profiles between our two groups, cochlear implanted children exhibiting behaviors that may suggest a less categorical perception. In the production task, while the two groups showed equivalent performance in the accuracy of their answers, the acoustical analyses conducted on these productions have revealed significantly shorter Voice Onset Time in the cochlear implanted children's productions.

1 Introduction

La surdité est une des atteintes sensorielles les plus fréquentes chez l'enfant, à raison de plus d'un enfant sur 1000 par an (Truy & Lina, 2003). Les répercussions de la surdité sur le développement du langage oral dans le cas des surdités modérées à sévères ou profondes

* Corresponding author : sophie.fagniard@umons.ac.be

sont importantes, entraînant un développement retardé, voire déviant. Les différentes aides auditives conventionnelles, permettant de suppléer des pertes auditives modérées, ne sont pas suffisantes pour atteindre un niveau d'acuité auditive suffisante pour percevoir adéquatement une langue orale dans le cas des surdités plus sévères (Leybaert, Colin, Willems, Schepers, Renglet, Mansbach, Simon & Ligny, 2007).

Dans ce contexte, l'apparition de l'implant cochléaire, dispositif permettant de remplacer la fonction auditive dégradée de l'oreille interne, a permis une réelle révolution dans le domaine de l'audiologie : pour la première fois, il est possible de rétablir un système sensoriel défectueux, celui de l'audition. Ne cessant de se perfectionner et de se démocratiser au fil des ans, la pose chirurgicale d'un implant cochléaire est à présent pratique courante, aussi bien chez le nouveau-né souffrant de surdité congénitale que chez l'adulte ayant perdu de façon irréversible ses capacités auditives.

Dans les milieux médicaux et paramédicaux, on ne peut que constater les effets bénéfiques de l'implantation cochléaire : avec un suivi et une prise en charge adaptée, enfants et adultes sont capables d'acquérir un niveau perceptif suffisant pour une communication orale efficace. Les jeunes enfants sont capables de développer leurs capacités langagières de façon satisfaisante, et ainsi d'atteindre des compétences leur permettant de suivre une scolarité normale (Van Den Abeele, 2003).

Toutefois, l'implant cochléaire ne permet pas de restituer une acuité auditive aussi précise qu'au sein de l'audition ordinaire. En effet, le dispositif est contraint par les limites technologiques actuelles et ne peut transmettre qu'une information acoustique partielle. Le signal de parole comporte un grand nombre d'indices physiques liés de manière complexe aux représentations phonologiques. Beaucoup des corrélats acoustiques principaux de quantité de traits phonologiques ont été identifiés de longue date. Il n'en reste pas moins que les phénomènes de parole charrient des informations complémentaires plus ou moins indirectes accompagnant les marqueurs principaux, et dont la contribution à la perception des traits reste aujourd'hui mal connue. De ce fait, il y a lieu de se questionner sur l'efficacité avec laquelle les enfants implantés peuvent acquérir tous les contrastes phonologiques de leur langue maternelle, pour ensuite développer les différentes compétences linguistiques lexicales, morphosyntaxiques et pragmatiques de façon similaire à leurs pairs normo-entendants. Qui plus est, l'implémentation des traits peut varier selon les langues. Or, la majeure partie de la littérature sur l'implantation interroge des individus et des phénomènes relevant de la sphère anglo-saxonne. Il est donc important de développer des stratégies de recherche permettant d'investiguer les caractéristiques de la perception et de la production de parole chez des individus utilisant la langue française à des fins communicatives.

Le présent travail se centre plus particulièrement sur les capacités de perception et de production d'un trait spécifique : le trait de voisement, ainsi que d'une catégorie de phonèmes où il revêt une grande importance : les occlusives. En première analyse, on soulignera que les consonnes occlusives non voisées et voisées constituent des événements acoustiques brefs, reposant en bonne part sur des informations acoustiques de basses fréquences, qui peuvent ne pas être codées entièrement par le dispositif qu'est l'implant cochléaire. Les enfants implantés sont donc davantage à risque de présenter des difficultés à correctement traiter, catégoriser et produire adéquatement ces phonèmes.

Dans cette communication, nous commencerons, dans un premier temps, par présenter une brève revue de la littérature concernant le traitement du trait phonétique de voisement dans la population implantée. Ensuite, nous présenterons notre étude expérimentale et

discuterons des résultats obtenus en lumière des éléments avancés actuellement par la littérature.

2 Revue de littérature

2.1 Le trait de voisement

Le trait de voisement, reposant sur des indices acoustiques de basses fréquences, pourrait présenter davantage de vulnérabilité à être correctement codé par l'implant. Différentes études se sont ainsi intéressées à la perception et la production du trait de voisement au sein de la population implantée, comme nous le verrons dans la section suivante. Dans ces études, les performances d'enfants atteints de surdité et porteurs d'implants cochléaires, que nous nommerons pour plus de facilité « groupe IC », sont comparées aux performances d'enfants normo-entendants, que nous nommerons « groupe NE », et parfois à des enfants atteints de surdité et porteurs d'appareils de correction auditive, que nous nommerons « groupe ACA ».

2.1.1 Etudes de la perception du trait de voisement

Les travaux de Pisoni (1999, 2005), partant du constat d'une grande variabilité dans les habiletés langagières au sein de la population des enfants implantés, a comparé deux groupes d'enfants implantés anglophones : des enfants dits « stars », ayant obtenu des résultats dans les 20% supérieurs à un test de reconnaissance de mots, et des enfants dits « low performing », ayant obtenus des scores dans les 20% les plus bas à ce même test. Les auteurs ont soumis ces enfants à des tests mesurant leur niveau de langage réceptif et productif, ainsi que leur niveau d'intelligibilité chaque année, durant 6 années après l'implantation. Au sein des tâches réceptives, une tâche de désignation de paires minimales permettait d'évaluer leur perception du trait de voisement, du mode et du lieu d'articulation. Les résultats montrent que les deux groupes évoluent positivement avec le temps, mais que les enfants « low performing » ont des performances significativement plus faibles. En effet, leurs scores moyens ne dépassent le seuil de hasard qu'à partir de la quatrième année post-implant pour la perception du mode d'articulation, alors qu'il reste au niveau du seuil du hasard pour la perception du lieu d'articulation et du trait de voisement. De leur côté, les enfants « stars » obtiennent dès le début des résultats supérieurs et évoluent jusqu'à obtenir des résultats proches de 100% pour le mode d'articulation, jusqu'à 90% pour le trait de voisement et jusqu'à 80% pour le lieu d'articulation. Ces résultats montrent que, même chez les enfants « stars », la perception du voisement et le lieu d'articulation n'atteignent pas le maximum après 6 ans d'utilisation de l'implant, tandis que les enfants « low performing » n'atteignent pas des performances supérieures au niveau du hasard pour ces traits phonétiques, suggérant des difficultés de traitements de détails phonétiques fins en contexte de mots isolés. Les auteurs suggèrent que les deux groupes d'enfants encodent leurs représentations phonologiques des mots parlés de façon davantage « holistique » et contenant moins d'informations détaillées au niveau acoustique.

Au sein de leur étude, Bouton, Serniclaes, Bertoncini & Colé (2012) ont évalué les capacités de perception de différents traits phonétiques, dont le trait de voisement, au sein de consonnes et voyelles du français, au moyen d'une tâche de discrimination de paires minimales, auprès de 25 enfants IC âgés de 7 à 12 ans et de 25 enfants NE appariés en âge auditif. Les résultats montrent des performances significativement plus faibles chez les

enfants implantés, et ce aussi bien pour les traits distinctifs des consonnes que des voyelles. Les différences entre les deux groupes étaient toutefois davantage marquées pour certains traits, comme le lieu d'articulation pour les consonnes, mais surtout le trait de nasalité, qui cause davantage d'erreurs au sein des consonnes et des voyelles. Les auteurs justifient la difficulté accrue de perception des traits de nasalité et de lieu d'articulation au sein des consonnes par le fait que ces derniers pourraient être portés par la structure temporelle fine (caractérisée par des transitions rapides de fréquence), contrairement aux traits de voisement et de mode d'articulation, portés par l'enveloppe temporelle du signal (caractérisée par les variations lentes d'amplitude du signal), supposée être mieux codée par l'implant.

Peng (2019) a également évalué la perception du contraste de voisement et de lieu d'articulation, cette fois auprès d'enfants normo-entendants et implantés, âgés de 2 à 3 ans, en utilisant un paradigme de « Reach for Sound ». Les stimuli employés étaient des paires minimales contrastées par le lieu et le voisement - « bee » (/bi :/) vs « key » (/ki :/)-, le lieu d'articulation seul - « pea » (/pi:/) vs « key » (/ki:/) -, le voisement seul - « bee » (/bi:/) vs « pea » (/pi:/) - et un contraste de voisement portant sur des mots au sein desquels les valeurs de Voice Onset Time (VOT) ont été raccourcies. Les résultats ont montré des performances significativement moins bonnes pour tous les contrastes évalués chez les enfants implantés, à l'exception du contraste portant sur des valeurs de VOT modifiées. Pour celui-ci, les enfants normo-entendants présentaient également des difficultés à identifier les phonèmes-cible, ce qui témoigne du fait que les valeurs de VOT constituent un indice critique pour la perception du trait de voisement chez les enfants normo-entendants. Les jeunes enfants implantés semblent donc avoir des difficultés à se baser sur cet indice pour l'identification de consonnes voisées et non voisées.

Giezen, Escudredo & Baker (2010) ont également évalué la perception auditive d'enfants germanophones implantés âgés de 5 à 6 ans, par une tâche de catégorisation de stimuli au sein d'un continuum acoustique portant sur des vocoïdes et des contoïdes variant sur les traits de voisement ou de lieu d'articulation. Le contraste de voisement a été évalué au moyen d'un continuum allant de la consonne occlusive voisée /bu/ vers la non voisée /pu/, en modulant les valeurs de VOT. Les résultats montrent une courbe d'identification significativement plus faible pour les 4 contrastes identifiés chez les enfants implantés, en comparaison aux courbes obtenues par des enfants normo-entendants du même âge et des adultes, et plus particulièrement pour le contraste portant sur le lieu d'articulation. Il était également demandé aux participants d'identifier les phonèmes aux deux extrémités du continuum, afin d'observer si les catégories de phonèmes étaient bien identifiées. Les résultats montrent des résultats équivalents entre les enfants normo-entendants et implantés, sauf en ce qui concerne le lieu d'articulation, les phonèmes /b/ de /bu/ et /p/ de /pu/ ayant quant à eux été mieux reconnus. On remarque donc que la perception se ferait de façon moins catégorielle pour le trait de voisement, mais cela ne semble pas affecter l'identification de syllabes comportant des consonnes voisées et non voisées.

Medina & Serniclaes (2009) ont également investigué la perception catégorielle d'enfants implantés et normo-entendants francophones, âgés de 6 à 11 ans, en fonction de différents traits phonétiques, dont la perception du trait de voisement au moyen d'un continuum entre une occlusive non voisée /t/ et une occlusive voisée /d/. Tandis qu'ils obtiennent des différences significatives entre les deux groupes en ce qui concerne le lieu d'articulation, ils obtiennent des performances similaires en ce qui concerne la perception du trait de voisement. Les auteurs concluent ainsi que le trait de voisement semblerait dès lors très robuste contrairement au trait de lieu d'articulation.

Ces études montrent des résultats contrastés. En effet, l'étude de Peng et al. (2019) montre que de très jeunes enfants implantés ne perçoivent pas encore correctement le trait de voisement en comparaison à des enfants normo-entendants du même âge. En revanche, Bouton et al. (2012) obtiennent des performances satisfaisantes pour l'identification pour ce même type de tâche chez des enfants francophones âgés entre 7 et 12 ans, tandis que Pisoni (2005), met en évidence une importante variabilité au sein des groupes d'enfants implantés, certains enfants présentant de réelles difficultés à percevoir le trait de voisement au sein de paires minimales. En ce qui concerne la perception catégorielle de ce trait au sein d'un continuum, l'étude de Giezen et al. montre un effet de perception catégorielle moins marqué chez les enfants implantés par rapport aux enfants normo-entendants, tandis que Medina et al. (2009) ne montrent aucune différence entre ces deux groupes lors de son étude sur des enfants francophones.

2.1.2 Etudes de la production du trait de voisement

Certaines études ont évalué la qualité de la production des consonnes occlusives chez les enfants sourds porteurs d'implant(s) cochléaire(s), en employant l'analyse des mesures de VOT, permettant une mesure objective de la distinction du contraste de voisement en production.

Uchanski et Geers (2003) ont comparé les mesures de VOT sur les consonnes occlusives /t/ et /d/ produites par des enfants anglophones implantés, âgés de 8 à 9 ans, utilisant la communication orale, d'autres enfants implantés utilisant la communication orale et signée, avec les productions d'un groupe d'enfants NE du même âge. Ils ont montré que les enfants implantés utilisant une communication orale présentaient des productions plus contrastées et équivalentes aux productions des enfants normo-entendants que les enfants implantés utilisant un mode de communication orale et signée. Le marquage de ce contraste se concrétisait par la longueur du VOT de l'occlusive non voisée, qui était significativement plus longue chez le groupe implanté de communication orale et le groupe normo-entendants. Les résultats ne montraient pas de différences en ce qui concerne la durée de l'occlusive voisée entre les trois groupes.

Horga & Liker, en 2006, ont également réalisé des mesures de VOT sur les consonnes /t/ et /d/ produites par trois groupes d'enfants croates : des enfants implantés, des enfants porteurs d'appareils de correction auditive et des enfants normo-entendants. Leurs résultats ont montré une différence entre le groupe des enfants NE, chez lesquels le trait de voisement était bien contrasté, et les deux autres groupes IC et ACA dont les productions n'étaient que très peu contrastées, sans gain de l'IC sur la production du voisement. Les difficultés de contraste se marquaient dans les deux groupes par des valeurs de VOT pour les occlusives non voisées beaucoup plus faibles et très proches de l'occlusive voisée correspondante, ces deux productions ne différaient donc que très peu sur leurs valeurs de VOT. Malgré ces productions peu contrastées dans les deux groupes d'enfants sourds, les productions des enfants IC ont été jugées comme mieux distinguées et mieux prononcées à la faveur d'évaluations perceptives réalisées par des juges.

Sur base du constat d'un manque de documentation concernant l'évaluation de la production acoustique des enfants implantés en langue française, Grandon (2016), dans le cadre de sa thèse, a réalisé une étude approfondie de la production des consonnes, des voyelles ainsi qu'une investigation des mécanismes de coarticulation, auprès de deux groupes d'enfants francophones (IC et NE), âgés de 5 à 11 ans. Les résultats ont montré de

très nombreuses similitudes entre les résultats des enfants sourds implantés et les enfants normo-entendants, menant l'auteur à avancer la possibilité d'acquérir la phonologie d'une langue malgré un accès limité à la langue orale durant les premières années de vie, remettant en cause l'idée de « période critique » pour l'acquisition langagière. Au niveau de la production des consonnes occlusives, l'auteur remarquait des productions aussi bien distinguées entre les occlusives voisées et non voisées en termes de VOT dans les deux groupes, sauf pour l'occlusive non-voisée /k/ produite avec un VOT plus court chez les implantés, et donc un moindre marquage du contraste avec la voisée correspondante /g/. L'auteur justifiait cette différence par une plus grande ambiguïté visuelle au sein de ces phonèmes. Les enfants implantés, n'ayant pas bénéficié d'un bain de langage aussi précoce que leurs pairs entendants, auraient dès lors plus de difficultés à les distinguer malgré l'implantation. Par ailleurs, tandis que les enfants normo-entendants ne montraient pas d'influence de la tâche sur les valeurs des VOT produits, suggérant une acquisition stabilisée de cette classe de phonèmes, les enfants implantés présentaient des VOT positifs plus courts en tâche de dénomination qu'en tâche de répétition. Ces derniers pourraient être encore en processus de stabilisation de la catégorisation du contraste de voisement, expliquant l'apport de l'input auditif fourni en modalité de répétition.

Au terme de ce survol de la littérature, nous remarquons que les études montrent des résultats divergents, et ce aussi bien pour l'aspect perceptif que productif du trait de voisement. Afin de pouvoir contribuer à alimenter les données francophones sur les capacités perceptives et productives des enfants implantés, en particulier portant sur le trait de voisement, nous allons, au sein de notre étude, évaluer ces deux versants auprès d'enfants implantés et normo-entendants.

3 Méthodologie

3.1 Participants

Le protocole expérimental a été administré à deux groupes d'enfants âgés entre 5 et 12 ans : un groupe d'enfants présentant une 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, âgés entre 5 ;8 ans et 11 ;6 ans (moyenne : 8 ;6 ans). Ces enfants présentent une surdité de perception pré-linguale profonde bilatérale. L'ensemble des caractéristiques de ces sujets est repris en tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des sujets du groupe IC

Sujet	Age	Sexe	Age implantation	Pratique du LPC en contexte familial	Bilan langage
IC1	5 ;1	M	9 mois	Non	OK
IC2	6 ;8	F	10 mois	Oui	KO EVIP + production énoncé (ELO)
IC3	6 ;1	F	13 mois	Oui	OK
IC4	6 ;11	M	10 mois	Oui	OK
IC5	8 ;6	F	19 mois	Non	OK
IC6	8 ;8	M	12 mois	Oui	OK
IC7	9 ;7	M	9 mois	Non	KO production énoncé (ELO)
IC8	10 ;8	F	19 mois	Non	OK
IC9	10 ;8	M	10 mois	Non	OK

IC10	10 ;11	F	10 mois	Non	OK
IC11	11 ;5	F	12 mois	Oui	KO compréhension syntaxique (Exalang)
IC12	11 ;6	F	30 mois	Oui	N.C.

Les enfants sont tous porteurs d'implants cochléaires bilatéraux de la marque « Cochlear », l'implantation ayant été réalisée entre 9 et 30 mois. Le groupe se compose de 7 filles et de 5 garçons, recrutés grâce aux orthophonistes du centre « Comprendre et Parler » de Bruxelles (n=9) et au « Centre Médical d'Audiophonologie (CMAP) » de Montegnée (n=3).

Les enfants du groupe IC 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 (LPC), soutien à la discrimination auditive 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). La courbe d'audiométrie vocale en répétition de ces enfants se situe de 88 à 100% à 55/60dB. Les données des derniers bilans langagiers de ces enfants rapportent des résultats satisfaisants pour la majorité des enfants, seuls trois sujets présentant des scores déficitaires : le sujet 3 en lexique réceptif (EVIP) et en production d'énoncés (ELO), le sujet 8 en production d'énoncés (ELO) et le sujet 12 en compréhension syntaxique (Exalang). Notons que des questionnaires ont été administrés afin de vérifier la présence de bilinguisme oral familial. Tous les enfants ont le français pour langue maternelle, onze enfants sont issus de familles monolingues, tandis que deux enfants (IC1 & IC12) sont issus d'une famille bilingue néerlandais-français. La plupart des enfants sont en enseignement francophone, seuls trois sont en immersion en néerlandais (enseignement en contexte francophone, mais où certaines matières sont enseignées en néerlandais).

Le groupe NE était constitué de 18 enfants âgés de 5 ;2 à 10 ;6 ans (moyenne : 7 ; 9 ans – écart-type : 1 ;6 ans), scolarisés dans l'enseignement général. Le groupe se compose de 13 filles et 5 garçons. Leur langue maternelle est le français, ils viennent de familles monolingues et sont scolarisés en enseignement francophone. Les sujets ayant reçu ou suivant une prise en charge orthophonique ont été exclus lors du recrutement.

3.2 Tâches

Les stimuli utilisés pour la tâche de perception catégorielle ont été construits à partir des syllabes /ga/ et /ka/ de la parole naturelle, en modifiant les valeurs de VOT et en utilisant une voyelle hybride. Nous avons commencé par créer une voyelle hybride, par la fusion acoustique des voyelles obtenues au sein des voyelles /ga/ et /ka/ via le logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2009) et la fonction « Mix » du Praat Vocal Toolkit (Corretge, 2019). Cette manœuvre a permis d'obtenir une voyelle dont les transitions formantiques sont intermédiaires entre les deux productions, et éviter de biaiser la perception du voisement par les transitions formantiques de la syllabe employée. Le stimulus S0, c'est-à-dire comportant une valeur de VOT nulle, a été obtenu en supprimant la portion de signal contenant le prévoisement de la syllabe /ga/, puis nous avons combiné cette portion comportant un bref burst avec notre voyelle hybride. Ensuite, les stimuli S-10, S-20, S-30, S-40 et S-50 ont été créés en ajoutant à ce stimulus une phase de prévoisement (VOT négatif) de la durée visée, les phrases de prévoisement étant extraites et redupliquées de la syllabe naturelle /ga/. Les stimuli S10, S20, S30 ont également été créés sur base sur stimuli

S0, auquel on a ajouté une phase d'aspiration (VOT positif) issue de la syllabe naturelle /ka/. De la sorte, un continuum /ga/-/ka/ a été constitué, avec un VOT allant de -50ms à +30ms (voir figure 1). Le choix de s'arrêter à 30ms de VOT positif au sein de notre continuum était motivé par le souhait de réaliser des stimuli se rapprochant le plus de la parole naturelle.

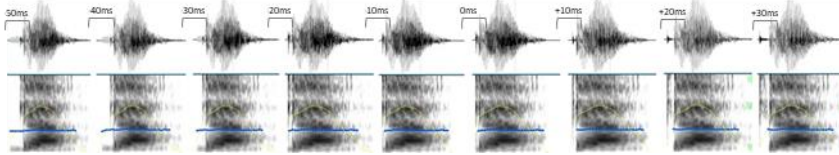


Fig. 1. Représentations acoustiques des stimuli du continuum /ga/-/ka/.

La tâche d'identification a consisté en la présentation de chacun des stimuli aux enfants testés, ceux-ci devant juger s'ils avaient entendu /ga/ ou /ka/. La tâche a été créée sous un script PRAAT afin de réaliser la passation de façon automatisée sur une tablette portable. L'enfant devait donc appuyer sur la zone correspondant à la réponse choisie. Afin de faciliter la compréhension et la rétention des consignes, des aides visuelles étaient fournies, à savoir la syllabe écrite ainsi qu'un dessin représentant un mot contenant ces phonèmes en position initiale de mot, à savoir « Garçon » pour /ga/ et « Carotte » pour /ka/. Les 9 stimuli de la série étaient présentés un à un dans un ordre pseudo-aléatoire, et la série était répétée de 3 à 5 fois selon les enfants. En effet, les tranches d'âge évaluées allant de 5 à 8 ans, nous avons craint une certaine fatigue et une démotivation des enfants. Le protocole de passation comportait donc une possibilité d'arrêter la tâche après 3 itérations de l'ensemble des stimuli. La tâche était alors poursuivie jusqu'aux 5 itérations ou stoppée selon le désir de l'enfant. Le nombre d'items réalisés allait de 27 items, pour les enfants ayant désiré cesser la tâche, à 45 pour ceux l'ayant réalisée dans son intégralité.

Pour la tâche de discrimination, des paires de stimuli issus du continuum /ga/-/ka/ ont été présentées aux enfants. Nous avons constitué des paires de stimuli différents et des paires de stimuli identiques. Pour les paires de stimuli différents, il s'agissait tout d'abord de 6 paires comportant une différence de 30 ms de VOT, que l'on nommera les paires AB (S-50/S-20, S-40/S-10, S-30/S0, S-20/S10, S-10/S20, S0/S30). Les mêmes paires ont été utilisées en inversant la succession des deux items au sein de chaque paire, constituant 6 paires de type BA. Pour les paires d'items identiques, trois paires ont été employées, en employant les deux extrémités des valeurs du continuum et une valeur intermédiaire, soit S-50/S-50, S0/S0 et S30/S30. Au total, nous avons donc 12 paires d'items différents, et 3 items identiques. L'intervalle inter-stimuli au sein de chaque paire était de 100ms, tandis que l'intervalle de temps entre chaque stimulus était de 500ms.

L'épreuve de discrimination a également été administrée au moyen d'une tablette portable, la tâche ayant été automatisée au moyen d'un script PRAAT. Les paires de stimuli étaient présentées à l'enfant, et celui-ci devait juger si les deux items présentés étaient pareils ou différents. A nouveau, une aide visuelle était fournie afin de faciliter la compréhension et l'exécution de la tâche ainsi que la rétention des consignes. Chaque paire de stimuli, à raison de 12 paires différentes et 6 paires identiques, a également été présentée au minimum 3 fois et au maximum 5 fois à chaque enfant, le protocole ayant à nouveau été construit de façon à permettre aux enfants de cesser la tâche après 3 itérations en cas de fatigue. Le nombre d'items réalisés allait de 45 items, pour les enfants ayant désiré cesser la tâche, à 75 pour ceux l'ayant réalisée dans son intégralité.

La tâche de production a consisté en une tâche de dénomination d'images, d'abord en contexte isolé, puis en contexte phrastique. Les mots-cible des deux tâches étaient identiques, constitués de 24 mots contenant toutes les consonnes occlusives du français, en trois positions syllabiques (initiale, médiane, finale). La première phase consistait à faire dénommer les mots-cible au moyen d'images, permettant d'obtenir une production du mot-cible en contexte isolé. Dans un second temps, l'enfant était amené à produire des phrases au moyen d'une animation contenant les différents mots-cible, afin d'obtenir la production des mots-cible en contexte phrastique.

3.3 Procédure

Les enfants des deux groupes ont passé les tâches d'identification, de discrimination et de production durant la même session d'évaluation, qui a duré entre 45 et 60 minutes. Pour les enfants du groupe IC, les passations ont été réalisées au centre Comprendre et Parler, dans une pièce sans réverbérations acoustiques. Pour les enfants du groupe NE, les passations ont eu lieu au domicile ou à l'école des enfants testés, dans une pièce isolée et calme.

3.4 Traitement des données

Pour la tâche d'identification, nous avons calculé le pourcentage de réponse « ka » et, pour la tâche de discrimination, le pourcentage de réponse « différent ». Ensuite, afin de pouvoir qualifier les courbes d'identification et de discrimination au sein des deux groupes, nous avons calculé des coefficients de régression entre les courbes obtenues et une fonction sigmoïde, ainsi que les pentes, et les valeurs de pente de la droite. La fonction sigmoïde a été choisie car elle permet de représenter au mieux la courbe attendue en cas de perception catégorielle, à savoir des performances équivalentes au sein des valeurs intra-catégorielles et un basculement des réponses aux frontières catégorielles. Pour la tâche de dénomination de mots, nous avons calculé les pourcentages des différents mots-cibles correctement produits, en contexte isolé et 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.

Afin de mener une analyse acoustique des productions issues de la tâche de dénomination, la segmentation des consonnes occlusives au sein de chacun des mots a été réalisée à l'aide du logiciel PRAAT. Chaque phonème-cible au sein des productions a ainsi été identifié, de sorte à isoler la portion du signal représentant le VOT positif ou négatif en fonction du type de consonne occlusive produite. Chaque segmentation a ensuite été consignée au moyen d'un fichier «.textgrid ». Ensuite, une procédure automatique, via un script développé sur PRAAT, a permis d'extraire les durées de voice onset time de chacune des productions.

3.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées via le logiciel SPSS version 25 (IBM Corp., 2017). Les données ne présentant pas une distribution normale et ne répondant pas à la condition d'homogénéité des variances pour les variables testées, nous avons employé exclusivement des procédures non-paramétriques. Pour les comparaisons de performances globales sous l'effet d'une variable indépendante à deux niveaux (deux groupes), nous avons recouru au test de Mann-Whitney ; pour les comparaisons de performances globales sous l'effet d'une variable indépendante à plus de deux niveaux, nous avons utilisé

l'analyse de variance de Kruskal-Wallis. Les corrélations ont été établies grâce au coefficient Rho de Spearman. Nous avons néanmoins utilisé l'ANOVA paramétrique à critères croisés pour investiguer d'éventuels effets d'interaction ; ces résultats seront à interpréter avec prudence en raison des conditions d'application non respectées par nos données.

4 Résultats

Les résultats aux deux tâches perceptives du paradigme de perception catégorielle, en comparant à chaque fois les enfants du groupe normo-entendant (ou « NE ») avec le groupe d'enfants implantés (ou « IC »).

Pour la tâche d'identification, nous n'observons pas de différence significative lorsque l'on observe les pourcentages de réponses /ka/ des deux groupes sur l'ensemble de la tâche ($U(1) = 462084$; $p < .001$). Lorsque l'on s'intéresse plus précisément à chaque stimuli, on observe des différences significatives pour les stimuli positifs du continuum : S10 ($U(1) = 155,0$; $p = .048$), dont le pourcentage de réponse /ka/ est alors supérieur pour le groupe CI ; pour S20 ($U(1) = 54,0$; $p = .022$) et S30 ($U(1) = 54,5$; $p = .022$), dont le pourcentage de réponse /ka/ est alors plus faible pour le groupe CI par rapport au groupe NE.

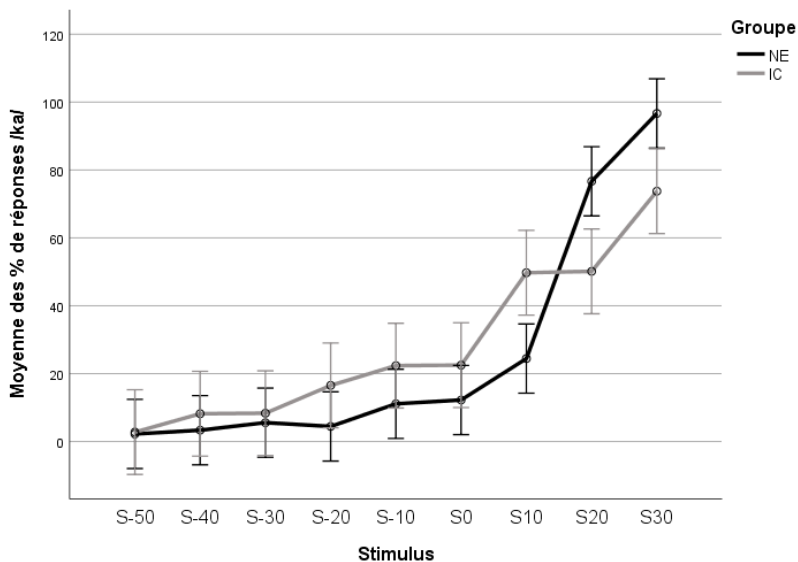


Fig. 2. Pourcentage de réponses "KA" au sein des deux groupes par type de stimuli.

La frontière catégorielle des enfants du groupe CI semble donc se situer entre S0 et S10, tandis qu'elle se situe entre S10 et S20 pour les enfants du groupe NE (figure 2). De plus, nous remarquons qu'au-delà de cette frontière, les deux groupes se comportent différemment : les enfants NE présentent une courbe d'identification /ka/ en forme de sigmoïde bien marquée démontrant dès lors un effet de perception « catégorielle », tandis que la courbe des enfants IC montre une tendance moins franche et un pourcentage de réponse /ka/ qui reste assez bas, même pour le stimuli S30 à l'extrémité du continuum, le pourcentage d'identification moyen de ce stimulus étant de l'ordre de 73,7% chez les IC contre 96,9% chez les NE. Les coefficients de régression obtenus en comparant les courbes à des fonctions sigmoïdes confirment cette observation, ceux-ci étant significativement plus faibles ($U(1) = 171,0$; $p = .007$) chez les enfants implantés ($r = .63$) que chez les enfants normo-entendants ($r = .92$). Les enfants implantés présentent également des valeurs de pente

($m = 2,64$) significativement plus faible ($U(1)=174,0$; $p=.004$) que les normo-entendants ($m= 15,95$).

Pour la tâche de discrimination, nous avons tout d'abord analysé, au sein des paires différentes, le pourcentage de réponses « Différent », afin d'obtenir une mesure du pourcentage de discrimination des différents stimuli. On observe tout d'abord un effet marginal du groupe sur le pourcentage global de réponses « Différent » ($U(1)=4505.0$; $p=.062$), les enfants du groupe NE présentant un plus haut pourcentage de discrimination (31,6%) que les enfants du groupe CI (28,1%). Lorsque l'on analyse plus précisément les différences entre les deux groupes pour chacun des stimuli, on observe un effet significatif du groupe NE pour les paires différentes centrées autour de S-25 ($U(1)=168.0$; $p=.010$), S-15 ($U(1)=161.5$; $p=.022$), S-5 ($U(1)=161.0$; $p=.025$), les enfants du groupe CI ayant des pourcentages de discrimination plus élevés pour ces paires de stimuli, tandis qu'un voit un effet du groupe inverse pour la paire S15 ($U(1)=25.0$; $p<.000$), les enfants du groupe CI ayant pour ces paires une moins bonne discrimination que les enfants du groupe NE.

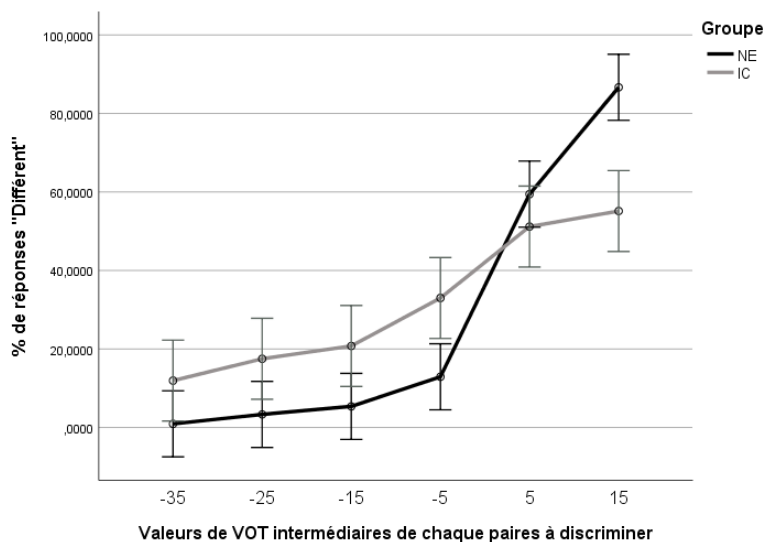


Fig. 3. Pourcentage de réponses "différent" au sein des deux groupes par type de stimuli.

On observe que l'allure de la courbe de discrimination (figure 3) est moins pentue chez les enfants CI que chez les enfants NE, suggérant que ces derniers discriminent davantage les paires de stimuli se situant au sein des catégories, tandis que le passage de la frontière catégorielle (à environ 5ms pour le groupe CI et 15ms pour le groupe NE) n'entraîne pas une amélioration des performances de discrimination aussi marquée que pour le groupe NE. Le pic de discrimination est en effet bien plus faible pour le groupe CI (55,1%) que pour le groupe NH (86,6%). Les coefficients de régression obtenus en comparant les courbes à des fonctions sigmoïdes confirment à nouveau ces observations, les coefficients étant significativement plus faibles ($U(1)=183,5$; $p=.001$) chez les enfants implantés ($r=.70$) que chez les enfants normo-entendants ($r=.99$). Les enfants implantés présentent également des valeurs de pente ($m = 5,05$) significativement plus faible ($U(1)=156,5$; $p=.039$) que les normo-entendants ($m= 15,59$).

Pour la tâche de production, les pourcentages de réponses jugées correctes par un auditeur expert au sein des deux groupes ont été analysés. On n'observe pas de différences de performances au sein des deux groupes, le groupe NE (91,9%) comme le groupe CI (91,8%) produisent correctement les consonnes occlusives voisées et non voisées

($U(1)=246761,0$; $p=.956$). Lorsque l'on compare ces mêmes productions d'un point de vue acoustique, en calculant les moyennes des durées de VOT positifs et négatifs au sein des deux groupes, on peut voir que les enfants du groupe CI produisent, d'une part, des VOT négatifs significativement ($U(1)=49000,0$; $p=.029$) plus courts ($m = -0,69ms$) que les enfants NE ($m = -0,72ms$) et, d'autre part, des VOT positifs également significativement ($U(1)=47966$; $p<.001$) plus courts ($m= 32ms$) que les enfants NE ($m= 39ms$).

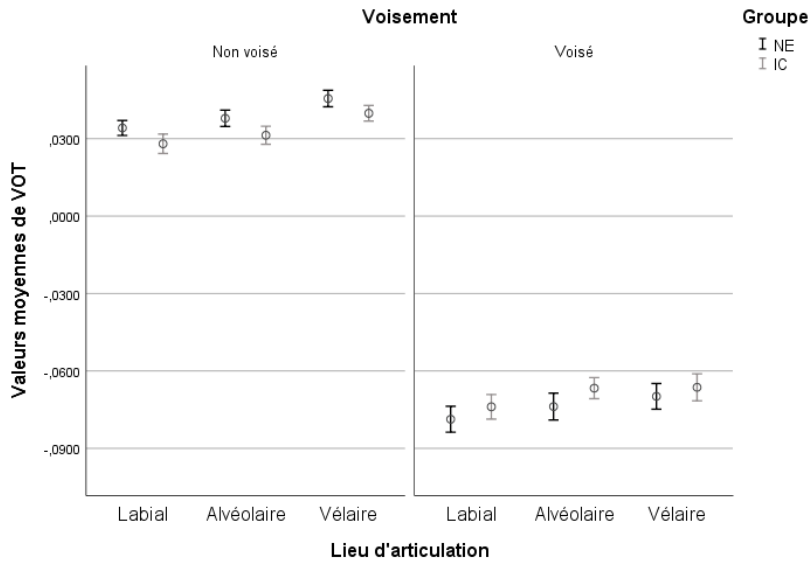


Fig. 4. Moyennes des valeurs de VOT positifs (gauche) et négatifs (droite) au sein des deux groupes, en fonction du lieu d'articulation.

Lorsque l'on analyse plus précisément ces différences en fonction du lieu d'articulation des consonnes (figure 4), on peut voir que, pour les VOT positifs, les différences entre nos groupes sont significatives aussi bien pour les consonnes labiales ($U(1)=4825,0$; $p<.001$), alvéolaires ($U(1)=5267,0$; $p=.004$) que vélaire ($U(1)=5509,0$; $p=.040$). Pour les VOT négatifs, les différences entre groupes, bien que présentes, ne sont toutefois pas significatives lorsque l'on cible chacun des lieux d'articulation. Le débit de parole a été contrôlé entre les deux groupes, par des mesures de durées segmentales des syllabes. Les valeurs de durées syllabiques étant équivalentes dans les groupes, différences de VOT relevées ne peuvent s'expliquer par un débit de parole différent au sein des deux groupes.

Nous n'avons relevé aucun effet de l'âge auditif ou chronologique sur nos données, et ce pour les deux groupes d'enfants.

5 Discussion

Les résultats de notre étude montrent des différences entre nos deux groupes, aussi bien au sein des tâches perceptives que des tâches productives en ce qui concerne le traitement du trait de voisement.

Au sein de notre paradigme de perception catégorielle, évaluant l'identification et la discrimination de stimuli issus d'un continuum portant sur le trait de voisement (/ga/-/ka/) allant de -50 à +30 ms de VOT, nous avons observé des patterns de réponses différents

dans nos deux groupes. Tout d'abord, en identification, la frontière catégorielle des enfants implantés se situe à environ 5 ms alors que celle des enfants normo-entendants se situe à environ 15ms. De plus, les enfants normo-entendants présentent des performances dites équivalentes pour les valeurs se situant à l'extérieur de cette frontière avec un basculement rapide du type de réponse une fois la frontière franchie, ce qui signifie que ceux-ci ne perçoivent pas ou négligent perceptuellement ces différences intra-catégorielle mais sont au contraire sensibles aux différences inter-catégorielles, ce qui témoigne d'un effet de perception catégorielle. Les enfants implantés présentent en revanche des courbes d'identification et de discrimination davantage linéaires, ceux-ci semblant percevoir les différences au sein même des catégories de façon graduelle, sans un basculement aussi net des réponses après le franchissement de la frontière catégorielle. Ces enfants semblent ainsi davantage sensibles aux différences intra-catégorielles qu'aux différences inter-catégorielles, témoignant d'une perception davantage linéaire de la variation acoustique du VOT que catégorielle.

Ces profils différents entre nos deux groupes d'enfants pourraient témoigner d'une catégorisation imprécise des phonèmes investigués chez les enfants implantés. Si l'on se réfère à la théorie de l'aimant perceptuel de Kuhl (1991), les enfants acquièrent leurs compétences perceptives des différents phonèmes de leur langue, en mémorisant des « prototypes », qui sont des exemplaires représentatifs des différentes catégories présentes dans leur système phonologique. Ces prototypes organisent et structurent l'espace perceptuel, si bien qu'ils exercent un effet « d'attraction perceptive » sur les sons partageant des caractéristiques phonétiques avec eux. Ainsi, les sons proches phonétiquement d'un prototype auront tendance à être perçus comme identiques à ce prototype, alors que les sons à la périphérie de deux prototypes pourront donner lieu à davantage d'incertitude perceptive. Les enfants normo-entendants de notre étude ont pu ainsi percevoir comme identiques les différentes réalisations phonétiques des deux phonèmes /ka/ et /ga/ tant que les variations ne s'éloignaient pas trop de la réalisation prototypique stockée en mémoire. En revanche, nos enfants implantés ont présenté des résultats semblant témoigner de représentations prototypiques très peu marquées, voire absentes. De ce fait, les enfants se sont davantage focalisés sur le traitement de différences sur le plan acoustique, menant à des courbes de réponses plus linéaires. L'information acoustique transmise par l'implant cochléaire permettrait de la sorte de percevoir des différences sur le plan acoustique, mais le système perceptif n'a pas acquis les compétences catégorielles suffisantes pour négliger des variations non pertinentes dans la constitution de leur système phonologique. La déprivation auditive initiale de ces enfants, ayant causé une absence d'expérience auditive intra-utérine et néo-natales pourrait éventuellement expliquer cette différence dans le fonctionnement de leur système perceptif.

N'oublions toutefois pas que certaines études ont montré que les résultats obtenus au sein de paradigmes de perception catégorielle pouvaient être influencés par les consignes et conditions de passation. Bien que nos deux groupes aient reçu les mêmes consignes, il est toutefois possible que notre groupe d'enfants implantés, ayant l'habitude de réaliser des tâches perceptives de discrimination (lors des suivis d'éducation/rééducation auditive, des bilans langagiers, des bilans audiométriques), soit davantage sensible à la perception des différences. De plus, si l'on s'en tient à ce qui est avancé par certains auteurs, comme Baudonck (2012), l'implant cochléaire permettrait de mieux coder l'information temporelle que l'information spectrale. Les différences au sein de notre continuum, portant sur des variations de durées, ont pu être davantage saillantes pour ces enfants que d'autres informations moins bien codées par l'implant, favorisant l'orientation de leur attention sur celles-ci.

Ces résultats sont en désaccord avec l'étude de Medina et al. (2009) ayant montré des performances en perception catégorielle équivalentes entre les enfants normo-entendants et implantés francophones en ce qui concernait le trait de voisement. Il est possible que ces différences soient dues au choix des phonèmes utilisés pour notre continuum. En effet, tandis que Medina et al. ont utilisé un continuum entre les consonnes occlusives alvéolaires /t/ et /d/, nous avons choisi d'employer les consonnes occlusives vélares /k/ et /g/. Les consonnes vélares, par leur articulation postérieure, bénéficient de moins de visibilité en lecture labiale que les consonnes alvéolaires. Or, un effet de visibilité des phonèmes a très largement été rapporté dans la population présentant une surdité, et récemment par l'étude d'enfants sourds implantés de Grandon (2016), qui avait notamment évoqué une moins bonne distinction phonétique de ces phonèmes en production. Les enfants implantés, par un accès retardé et partiel à l'information auditive, pourraient davantage s'appuyer sur les indices visuels lors de la perception des sons de parole, et ainsi avoir davantage de difficultés à catégoriser adéquatement des phonèmes moins visibles.

En ce qui concerne la production, nous avons à nouveau obtenu des résultats en contradiction avec la littérature francophone. En effet, tandis que Grandon (2016) obtenait des valeurs de VOT positifs et négatifs équivalentes entre ses sujets normo-entendants et implantés, à l'exception de la consonne occlusive /k/, nous avons obtenu des différences aussi bien pour les valeurs de VOT positifs que négatifs, tout lieu articulaire confondu. Les enfants implantés présentent des valeurs de VOT négatifs et positifs significativement plus courtes que les enfants normo-entendants. Ces différences sont toutefois infra-cliniques : un juge expert a jugé comme correctes la grande majorité des productions des deux groupes d'enfants. La réalisation acoustique des consonnes occlusives voisées et non voisées est donc différente au sein de notre groupe d'enfant implanté, ce qui peut témoigner d'une réalisation articulaire légèrement hypoarticulée. Notons que les productions des enfants ont été recueillies au moyen d'une tâche de dénomination, et donc sans présentation d'un modèle auditif. Or, Grandon (2016) avait montré une sensibilité à la tâche des enfants implantés, ceux-ci marquant davantage les contrastes de voisement en situation de répétition. Les enfants de notre étude auraient pu éventuellement marquer davantage les contrastes de voisement produits sur base d'un input auditif, témoignant d'une acquisition non stabilisée de la production de ce contraste, il pourrait ainsi être intéressant de comparer à nouveau ces deux modalités à l'avenir.

Nos résultats suggèrent que la déprivation auditive vécue par les enfants implantés durant les premiers mois de leur vie, ainsi que l'accès à une information acoustique partielle via l'implant, pourraient entraîner un fonctionnement de la boucle audio-phonatoire différent de celui de leurs pairs normo-entendants. Les résultats obtenus dans notre tâche de perception catégorielle auprès de ces mêmes enfants corroborent cette hypothèse, leur fonctionnement perceptif semblant être moins organisé sous forme de catégories phonologiques robustes. Le fonctionnement de la boucle audio-phonatoire permet un feedback auditif de l'enfant de ses propres productions, permettant lors de son développement de les ajuster afin de maîtriser les sons de sa langue. Or, si les représentations phonologiques sont imprécises, la boucle audio-phonatoire fonctionnera également de manière, donnant un feedback biaisé de l'enfant sur ses propres productions. On peut donc aisément imaginer que si certains traits phonétiques ne sont pas perçus adéquatement, ils seront également sujets à des imprécisions au niveau articulaire. Ceci pourrait expliquer les particularités articulatoires relevées dans notre groupe d'enfants implantés.

6 Conclusion

Les résultats de l'étude présentée suggèrent que les enfants présentant une surdité et porteurs d'implants cochléaires présentent un fonctionnement perceptif et des réalisations articulatoires qui diffèrent de façon subtile par rapport à leurs pairs entendants en ce qui concerne le trait de voisement. Les différences de réalisations acoustiques ne sont pas perçues par un auditeur externe, et les enfants testés semblent avoir des résultats dans la norme au niveau des tests de langage, témoignant de capacités langagières perceptives et productives satisfaisantes. L'implant cochléaire semble ainsi fournir suffisamment d'informations acoustiques pour développer une perception auditive fonctionnelle et l'acquisition d'une langue maternelle de façon adéquate.

Toutefois, les imprécisions du système phonético-phonologique des enfants implantés suggérées par nos résultats mènent à penser qu'il convient de rester prudents dans l'évaluation et le suivi de ces enfants. En effet, bien que les enfants implantés soient capables d'exploiter adéquatement l'input fourni par l'implant et ses ressources cognitives pour développer un niveau de langage satisfaisant, des représentations phonologiques sous-spécifiées pourraient être à l'origine de difficultés langagières se présentant au moment de l'acquisition de compétences langagières ultérieures, nécessitant davantage de ressources cognitives, voire de situations adverses pour la perception. Notamment, le passage de l'école élémentaire à l'école secondaire nécessite le traitement de l'information auditive dans des contextes discursifs plus complexes, des structures syntaxiques plus élaborées, l'apprentissage de langues secondes, ... coûteuses cognitivement, et donc nécessitant un fonctionnement optimal et automatisé des fonctions langagières. De plus, gardons 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 celui-ci 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. Une attention particulière doit donc être portée sur l'impact de ces manifestations infra-cliniques sur le plan phonético-phonologique dans le développement des compétences langagières de plus haut niveau chez ces enfants.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement les enfants ayant participé à cette étude et leurs parents, ainsi que les collaborateurs des équipes du centre « Comprendre et parler » de Bruxelles et du Centre Médical d'Audiophonologie de Montegnée.

Références bibliographiques

- Bouton, S., Serniclaes, W., Bertoncini, J., & Colé, P. (2012). Perception of speech features by French-speaking children with cochlear implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 55(1), 139-153.
- Giezen, M. R., Escudero, P., & Baker, A. (2010). Use of acoustic cues by children with cochlear implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 53(6), 1440-1457.
- 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, Grenoble.
- Horga, D., & Liker, M. (2006). Voice and pronunciation of cochlear implant speakers. *Clinical linguistics & phonetics*, 20(2-3), 211-217.

- Kuhl, P. K. (1991). Human adults and human infants show a “perceptual magnet effect” for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception & psychophysics*, 50(2), 93-107.
- Leybaert, J., Colin, C., Willems, P., Schepers, F., Renglet, T., Mansbach, A.-L., Simon, P., & Ligny, C. (2007). Implant cochléaire, plasticité cérébrale et développement du langage. In J. Lopez-Crahe (Ed.), *Surdit  et langage : proth ses, LPC et implants cochl aires*, 13-67.
- Medina, V., & Serniclaes, W. (2009). Development of voicing categorization in deaf children with cochlear implant. In *Tenth Annual Conference of the International Speech Communication Association*, 152-155.
- Peng, Z. E., Hess, C., Saffran, J. R., Edwards, J. R., & Litovsky, R. Y. (2019). Assessing Fine-Grained Speech Discrimination in Young Children With Bilateral Cochlear Implants. *Otology & Neurotology*, 40(3), e191-e197.
- 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.
- Pisoni, D. B., & Remez, R. E. (Eds.). (2005). *The handbook of speech perception* (p. 708). Oxford: Blackwell.
- Truy, E., & Lina, G. (2003). Cochlear implantation in children. *Archives de p diatrie: organe officiel de la Soci t  fran aise de p diatrie*, 10(6), 554.
- Uchanski, R. M., & Geers, A. E. (2003). Acoustic characteristics of the speech of young cochlear implant users: A comparison with normal-hearing age-mates. *Ear and hearing*, 24(1), 90S-105S.
- Van Den Abbeele, T. (2003). Implantation cochl aire chez l'enfant. *M decine th rapeutique / P diatrie* 6(5), pp. 320-327.