



**HAL**  
open science

# Étude acoustique de la production de consonnes et de voyelles du français par des enfants porteurs d'un implant cochléaire

Lucie Scarbel

► **To cite this version:**

Lucie Scarbel. Étude acoustique de la production de consonnes et de voyelles du français par des enfants porteurs d'un implant cochléaire. Sciences de l'Homme et Société. 2012. dumas-00708291

**HAL Id: dumas-00708291**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00708291>**

Submitted on 14 Jun 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# **Etude acoustique de la production de consonnes et de voyelles du français par des enfants porteurs d'un implant cochléaire**

**Lucie SCARBEL**

UFR Sciences du Langage

---

Mémoire de master 2 recherche - 30 crédits –

Spécialité Langage Parole Variation et Surdité

Sous la direction d'Anne VILAIN et Hélène LOEVENBRUCK

Année universitaire 2011-2012



# Etude acoustique de la production de consonnes et de voyelles du français par des enfants porteurs d'un implant cochléaire

**Lucie SCARBEL**

UFR Sciences du Langage

---

Mémoire de master 2 recherche - 30 crédits –

Spécialité Langage Parole Variation et Surdité

Sous la direction d'Anne VILAIN et Hélène LOEVENBRUCK

Année universitaire 2011-2012

Mots-clefs : implant cochléaire, enfants, étude acoustique, production, voyelles du français, consonnes

## RESUME

Depuis l'invention de l'implant cochléaire, en 1978, qui permet à de nombreux sourds de récupérer un signal auditif, plusieurs études se sont penchées sur la description de la parole des enfants porteurs d'implant cochléaires. Ces études montrent que les enfants implantés semblent avoir des difficultés de production des consonnes fricatives, occlusives et latérales, ainsi que des voyelles, particulièrement pour les valeurs du F2. Cependant ces études présentent des erreurs de méthodologie puisqu'elles calculent des moyennes à partir d'enfants d'un panel d'âge très étendu et/ou d'âge d'implantation différents et elles ne les comparent pas toujours à des enfants entendants. De plus, la plupart des études utilisent une méthode d'évaluation perceptive et non acoustique ce qui implique des jugements subjectifs. Enfin, les études sur la parole d'enfants implantés francophones sont très rares.

Le but de cette étude est de réaliser une analyse acoustique de la parole des enfants sourds implantés. Pour cela nous avons enregistré un groupe de 5 enfants implantés et un groupe contrôle de 8 enfants entendants lors d'une tâche de répétition de mots, dans le but de mesurer les consonnes fricatives, occlusives voisées et sourdes et les voyelles orales du français.

Nous supposons que les enfants implantés aient des difficultés dans la production de ces phonèmes. Nos résultats indiquent que les productions des enfants implantés présentent des valeurs des quatre moments spectraux pour les fricatives et des VOT pour les occlusives plus bas que ceux des enfants entendants. De plus, même si la valeur des triangles vocaliques des enfants implantés et entendants ne diffère pas de manière significative, les enfants implantés présentent des moyennes de F2 et des gammes de F2 plus basses que celles des enfants entendants

Keywords: Cochlear implant, children, acoustic study, production, French vowels, consonants

## ABSTRACT

Since the cochlear implant's invention in 1978, several studies, which describe speech production by children wearing cochlear implant (CI children), seem to suggest that CI children have difficulties correctly producing fricatives, stops, laterals and formant 2 (F2) in vowels. But we can say that there are some problems in these studies. First, lots of studies calculate average over children of different ages and/or different implantation ages and they do not always include a comparison with normal-hearing children. Secondly only a few studies are based on objective acoustic measurements, often only perceptual analysis which implies subjective judgments. There are also no consistent acoustic measurements (formant space, formant distances, spectral slopes, etc.). And at least, there are no known studies on French although French is interesting because has many vowels, including nasal vowels. The aim of this paper is to present an acoustic analysis of speech production by French deaf children wearing cochlear implants (CI). With this intention, we recorded 5 CI children and 8 children with normal hearing in a word repetition task to measure all oral French vowels, voiced and unvoiced stops and sibilant fricatives.

The results indicate that CI children have difficulties producing the four spectral moments in fricative consonant production, VOTs with lowest values for stops and for vowels they also have lowest values for mean F2 and range F2.

## Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Anne et Hélène d'avoir été si présentes et si gentilles pour moi cette année, et ce dès septembre. Merci de m'avoir soutenue, de m'avoir aidée et de m'avoir permis de mener mon projet de recherche à ses fins. Merci Anne d'avoir été là malgré les centaines de kilomètres et les neuf heures de décalage horaires qui nous séparent.

Merci aux membres de mon jury, Jean-Marc Colleta, Jean-Pierre Chevrot et Tom Sawallis pour le temps passé à la lecture et à la soutenance de mon mémoire.

Merci à Christophe et Coriandre (alias Pipou) de m'avoir aidé à enregistrer les enfants. Merci Pipou de m'avoir accompagnée au CHU même si j'ai cru mourir en te suivant à vélo !

Merci aux orthophonistes de m'avoir épaulée dans les enregistrements des enfants implantés, merci au Pr. Schmerber de me les avoir présentées et de m'avoir permis de faire passer mon expérience dans son service.

Merci à tous les membres du Gipsa-lab pour leur accueil durant mon stage, en particulier à l'équipe PCMD et à l'équipe Plasmody. Merci tout particulièrement à Tom pour sa bonne humeur et ses cours de prononciation américaine !

Merci à Avril et Chloë pour leur amitié et pour les multiples pauses café/thé/klix. Merci Chloë de me supporter comme co-bureau, je sais que ce n'est pas facile tous les jours !

Merci aux copains du Ptit Vélo pour leur confiance et leurs encouragements. Merci François de m'avoir remplacée dans mon rôle de secrétaire pendant la dure période de rédaction de mémoire.

Merci à tous les enfants qui ont participé à mon expérience, et merci à leurs parents de m'avoir autorisée à les enregistrer.

Merci à ma famille de me soutenir et de m'avoir fait confiance, je sais qu'il a été compliqué de penser que j'arriverai à faire quelque chose...

Merci à Sam pour ses encouragements.

Merci à Manon pour son soutien pendant la dernière journée de rédaction, merci de m'avoir aidé à comprendre Word et la mise en page, Word et la bibliographie JabRef...

Et enfin merci à tous ceux que j'ai oublié de citer !

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Remerciements .....  | 4  |
| INTRODUCTION.....  | 7  |
| CADRE THEORIQUE .....  | 10 |
| I.1.    L’implantation chez les enfants sourds .....   | 10 |
| I.1.1.    L’audition .....   | 10 |
| I.1.2.    La surdité.....  | 12 |
| I.1.3.    L’implant .....  | 14 |
| I.2.    Etat de l’art .....  | 17 |
| I.2.1.    Perception.....  | 18 |
| I.2.2.    Production de parole.....  | 23 |
| PARTIE EXPERIMENTALE.....  | 48 |
| I.1.    Méthodologie .....   | 48 |
| I.1.1.    Choix du corpus pour les deux tâches de production de mots (tâches de répétition de mots et de dénomination assistée)..... | 49 |
| I.1.2.    Enregistrement des stimuli utilisés pour la tâche de répétition .....  | 52 |
| I.1.3.    Condition de passation expérimentale.....  | 53 |
| I.1.4.    Passation des tâches de répétition et de dénomination assistée .....   | 56 |
| I.1.5.    Traitement des données .....   | 57 |
| I.1.6.    Pré-traitement des productions de la tâche de narration .....  | 64 |
| I.2.    Analyse des données .....  | 64 |

|                               |   |    |
|-------------------------------|---|----|
| I.2.1.                        | Analyse des erreurs de production .....       | 64 |
| I.3.                          | Résultats .....                               | 68 |
| I.3.1.                        | Accuracy.....                                 | 68 |
| I.3.2.                        | Résultats pour les consonnes fricatives ..... | 69 |
| I.3.3.                        | Résultats pour les consonnes occlusives ..... | 77 |
| I.3.4.                        | Résultats pour les voyelles .....             | 83 |
| DISCUSSION ET CONCLUSION..... |   | 90 |
| I.4.                          | Consonnes fricatives .....                    | 90 |
| I.5.                          | Consonnes occlusives.....                     | 92 |
| I.6.                          | Voyelles.....                                 | 92 |
| Conclusion.....               |   | 94 |

# INTRODUCTION

De par le monde vivent 278 millions de personnes sourdes. Depuis l'invention du cornet acoustique, des progrès considérables ont été faits pour permettre à ces personnes d'entendre, jusqu'à la création de l'implant cochléaire, en 1978 par Graeme Clark de l'université de Melbourne. Des électrodes placées chirurgicalement permettent de stimuler directement les terminaisons nerveuses de l'audition situées dans la cochlée. L'implantation courante des adultes sourds a commencé au début des années 1980, aux Etats-Unis, avant de se généraliser dans d'autres pays, puis les enfants sourds ont pu être implantés au début des années 1990. Les premiers implants étant composés de très peu d'électrodes, le stimulus auditif est spectralement pauvre pour les premiers enfants implantés, et leur acquisition de la parole s'en ressent.

Aujourd'hui, l'implant cochléaire est composé d'une vingtaine d'électrodes, ce qui permet une meilleure stimulation chez les personnes sourdes. De plus, les enfants sont implantés de plus en plus tôt, c'est-à-dire en moyenne à l'âge de deux ans ; ainsi, les enfants recevant un signal auditif très tôt, la parole leur sera plus rapidement acquise.

Notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre de l'ANR Plasmody, qui regroupe plusieurs laboratoires autour de l'étude de la perception et de la production de parole par les personnes sourdes implantées.

Au commencement de notre étude notre question principale était de savoir si les enfants implantés présentaient des troubles de production de la parole au niveau acoustique. En effet, il a été montré chez les personnes sourdes (voir Maillou et al. 2011) que le formant F2, qui correspond aux mouvements d'avant en arrière de la langue, est mal maîtrisé. Il est alors naturel de se poser les questions suivantes chez les enfants implantés : est-ce que l'implant permet de corriger ces erreurs de production, est-ce qu'il les supprime ou est-ce qu'il les réduit seulement, si bien qu'elles ne seraient pas audibles et que la parole de l'enfant serait compréhensible par un entendant, mais qu'elles sont toujours présentes sur le plan acoustique ?

Les études sur les productions de parole des enfants implantés sont relativement récentes et peu concernent le français. Toutefois, quelques études permettent de s'interroger en effet sur la qualité de la production de parole des enfants implantés.

En particulier, concernant les voyelles, Löfqvist et al. (2010) ainsi que Horga et Liker (2006), dans leurs études sur la production des enfants sourds implantés, ont trouvé des espaces vocaliques plus petits chez ces enfants que chez des enfants entendants. Par contre, Baudonck et al.(2011), eux, ont observé un plus grand espace vocalique chez les enfants implantés que chez les enfants entendants, alors que Uchanski & Geers (2003) n'ont observé aucune différence entre les enfants implantés et les enfants entendants.

D'autre part, concernant la production des consonnes chez les enfants sourds implantés, Dillon et al.(2004) et Baudonck et al.(2010), ont observé des difficultés de production de voisement pour les consonnes occlusives, les cibles non-voisées étant produites avec voisement, ou inversement. De plus, Horga et Liker (2006) ont remarqué des anomalies dans les délais d'établissement du voisement à partir de l'explosion consonantique (Voice Onset Time ou VOT dans la suite de ce manuscrit) chez des enfants implantés. Uchanski et Geers (2003) et Baudonck et al.(2010) ont observé que les consonnes fricatives sont plus difficilement produites par les enfants implantés que les consonnes occlusives, en conséquence de quoi certaines consonnes fricatives sont remplacées par d'autres consonnes. Enfin, Todd et al. (2011) qui ont étudié la production des consonnes fricatives chez les enfants implantés, ont observé que les productions de la fricative alvéolaire /s/ étaient plus perturbées chez les enfants implantés que chez les enfants entendants, alors que la fricative post-alvéolaire /ʃ/ était similaire dans les productions des deux groupes d'enfants.

Au regard de ces différentes études, il nous semblait donc que les enfants sourds implantés présentent effectivement des difficultés de production de voyelles et de consonnes, même si ces problèmes ne sont pas clairement identifiés. Nous nous sommes donc demandé quels sont réellement ces difficultés, comment elles se caractérisent, même si nous supposons qu'au travers de nos résultats, nous allions observer chez les enfants implantés une gamme de F2 réduite ou différente, des consonnes fricatives mal produites et/ou remplacées par d'autres consonnes et des anomalies de VOT et de voisement.

Dans ce travail, nous avons enregistré un groupe d'enfants implantés âgés de 6 à 10 ans dans un contexte de répétition de mots avec implant allumé ou éteint, ainsi qu'un groupe contrôle d'enfants entendants de tranche d'âge similaire (5 à 8 ans) dans un contexte de répétition et de production de mots. De plus, nous avons proposé aux deux groupes d'enfants une tâche de narration de dessin animé, mais les données récoltées pour cette tâche seront traitées dans un travail ultérieur.

Les enfants ont dû produire des mots commençant par les consonnes occlusives voisées et non-voisées /p t k b d g/, les consonnes fricatives /f s ʃ/ et les voyelles du français. L'analyse acoustique a consisté à mesurer les valeurs de VOT pour les consonnes occlusives, les valeurs des différents moments spectraux pour les consonnes fricatives, et enfin les valeurs des formants pour les voyelles, ceci afin d'établir la taille de l'espace acoustique de chaque groupe d'enfants.

L'intérêt de notre travail est donc d'évaluer les déficits en production de parole des enfants implantés, ceci afin de permettre aux orthophonistes d'orienter leur démarche de rééducation pour aider au mieux les enfants implantés. De plus, l'intérêt théorique d'étudier la production des enfants implantés par rapport aux enfants entendants et aux adultes implantés est important puisque la plupart des études sur les personnes implantées portent sur des adultes, et donc des personnes devenues sourdes après l'acquisition du langage ; or nous nous intéressons, dans la mesure du possible, à des sujets ayant peu voire pas d'expérience auditive avant leur implantation.

Il est donc intéressant de voir l'intérêt de l'implant dans la production de parole, ainsi que l'influence d'un accès retardé à une information auditive.

Enfin, nous pensons que la tâche de répétition de mots pour les enfants implantés avec implant éteint est importante pour tester le poids du retour auditif que peut avoir l'enfant sur ses propres productions ainsi que sur son contrôle articulatoire.

Le premier chapitre de notre travail sera consacré au cadre théorique de notre étude. Nous allons tout d'abord expliquer ce qu'est la surdité, et comment fonctionne l'implant cochléaire, puis nous allons présenter les différentes études menées sur la perception et la production de parole par les enfants sourds porteurs d'un implant cochléaire. Le second chapitre présentera tout d'abord la méthodologie que nous avons suivie, puis nous exposerons les résultats obtenus lors de notre étude. Enfin, dans le dernier chapitre, nous discuterons de ces résultats en les mettant en parallèle avec les résultats des différentes études menées précédemment.

Dans la suite de ce manuscrit, nous utiliserons les termes CI (Cochlear Implanted) pour évoquer les enfants sourds implantés, NH (Normal Hearing) pour parler des enfants entendants et encore HA (Hearing Impaired) pour les enfants sourds porteurs d'une aide auditive classique.

# CADRE THEORIQUE

## I.1. L'implantation chez les enfants sourds

### I.1.1. L'audition

Avant de présenter l'implant cochléaire, il convient d'expliquer tout d'abord très brièvement le fonctionnement d'une oreille entendante puis le dysfonctionnement d'une oreille malentendante.

L'oreille (Figure 1) possède trois éléments principaux : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. L'oreille externe, appelée pavillon, recueille les sons et les transmet à l'oreille moyenne via le conduit auditif. Le son, qui est une vibration de l'air, passe à travers le tympan qui le transforme en vibrations mécanique, puis celles-ci traversent les trois osselets, le marteau, l'enclume et l'étrier, avant d'aboutir à l'oreille interne. L'oreille interne est elle composée de la cochlée, du système vestibulaire et du nerf auditif. Le système vestibulaire est un organe comprenant des cellules essentielles pour l'équilibre. La cochlée, également appelée limaçon, est un organe creux osseux, de la taille d'un petit pois, empli de fluide et recouvert de cellules ciliées ressemblant à des poils, qui bougent lorsqu'elles sont stimulées par les vibrations sonores. Les cellules ciliées envoient alors un signal électrique au cerveau, grâce au nerf auditif, où le signal est interprété comme un son.



**Figure 1: Schéma de l'oreille**

([http://www.bionicear-europe.com/UserFiles/Image/FR/ear\\_fr.jpg](http://www.bionicear-europe.com/UserFiles/Image/FR/ear_fr.jpg))

Une oreille humaine fonctionnant correctement peut percevoir une gamme de fréquence comprise entre 20 et 20 000 Hz. Les vibrations stimulent les cellules ciliées à différents endroits de la cochlée selon leur fréquence, phénomène de tonotopie passive.

(Figure 2) En effet, plus la fréquence est basse, plus elle fait vibrer les cellules profondément dans la cochlée. Ainsi, les cellules ciliées situées à l'entrée de la cochlée sont sensibles aux sons aigus c'est-à-dire aux fréquences hautes, tandis que celles situées plus profondément dans la cochlée sont sensibles aux sons graves, c'est-à-dire aux fréquences basses.

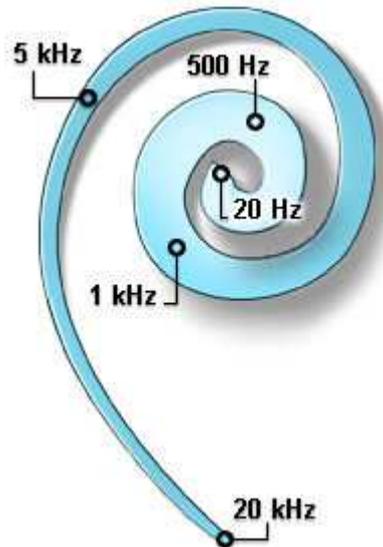


Figure 2: Distribution des fréquences dans la cochlée humaine. (<http://users.skynet.be/illusionsauditives/images/1%27ouie4.jpg>)

L'oreille humaine a un seuil de perception différent selon les fréquences. Ainsi les fréquences les mieux perçues se situent entre 1 et 3 kHz. (Figure 3)

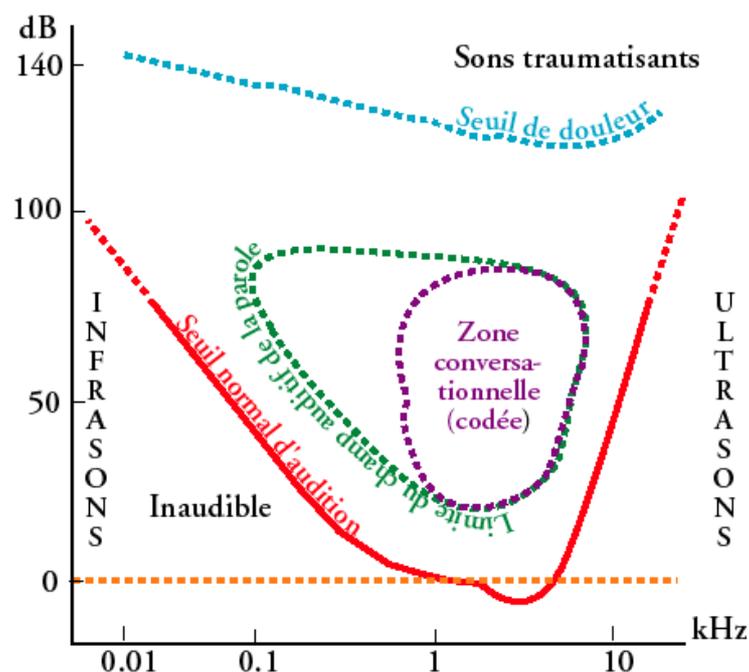


Figure 3: Courbe audiométrique de l'oreille humaine ([http://www.ac-clermont.fr/hygiene-securite/Risques\\_et\\_ambiances/Bruit/image001.png](http://www.ac-clermont.fr/hygiene-securite/Risques_et_ambiances/Bruit/image001.png))

### **I.1.2. La surdité**

On dénombre trois catégories de pertes d'auditions : la surdité de transmission, la surdité cochléaire et la surdité mixte. La surdité de transmission est due à un dysfonctionnement de l'oreille externe et/ou de l'oreille moyenne, lorsque les sons ne peuvent plus parvenir jusque la cochlée, à cause de la présence d'un corps étranger ou d'un excès de cérumen dans le conduit auditif, ou encore d'une malformation des structures de l'oreille moyenne. Ce type de surdité peut souvent être soigné grâce à des médicaments ou à une opération.

La surdité cochléaire se produit dans l'oreille interne. En général, elle est due à une altération des cellules ciliées, qui ne transmettent plus le signal électrique au nerf auditif. Plus les cellules ciliées sont abimées, plus la surdité sera importante.

Enfin, la surdité mixte est une combinaison des deux autres types de surdité.

On parle de surdité unilatérale lorsqu'une seule oreille est déficiente, et d'une surdité bilatérale lorsque les deux oreilles présentent une perte d'audition.

On distingue quatre niveaux de surdité (Figure 4), en fonction des degrés de perte d'audition. Pour évaluer le degré de surdité, on fait la moyenne des pertes d'audition pour la meilleure oreille pour les fréquences de 500, 1000 et 2000 Hz. On considère que l'audition est normale entre 0 et 20 dB de perte.

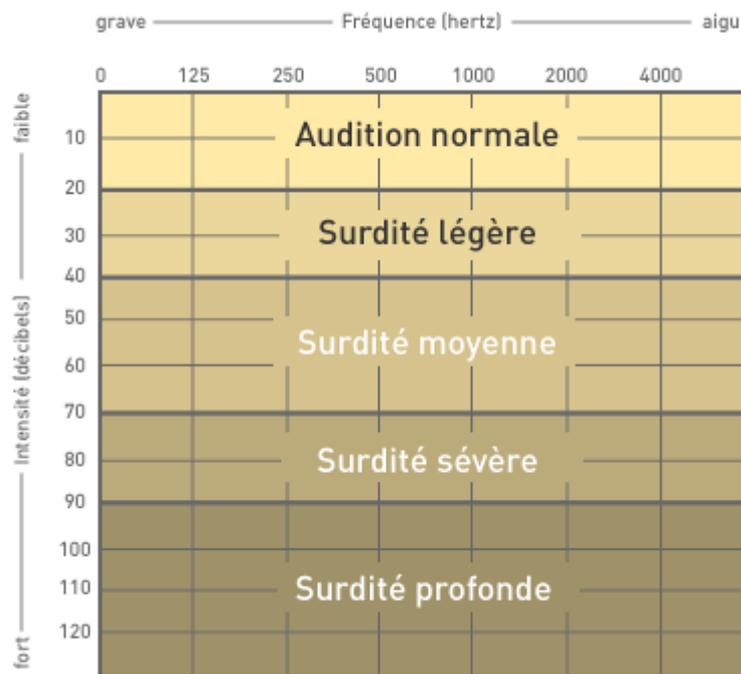
Entre 20 et 40 dB de perte, il s'agit d'une surdité légère, où la parole est perçue, même si certains éléments phonologiques ne sont pas audibles, ce qui entraîne une fatigue et parfois une difficulté d'attention et de compréhension. A partir de 30 dB de perte, l'enfant peut être appareillé s'il présente trop de problèmes de compréhension.

On considère que l'enfant est atteint d'une surdité moyenne lorsqu'il présente une perte de 40 à 70 dB. Il ne perçoit la parole que lorsqu'elle est forte. A partir de 55 dB de perte, l'enfant ne comprend plus la parole criée mais il la perçoit. Il aura également des troubles de langage importants et l'appareillage et la rééducation seront obligatoires.

On parle de surdité sévère entre 70 et 90 dB de perte. Dans ce cas, pour une acquisition de la parole, l'enfant a besoin d'un appareillage, d'une rééducation et d'un apprentissage de la lecture labiale.

Entre 90 et 120 dB de perte, la surdité est appelée surdité profonde. L'enfant ne perçoit pas la voix. Enfin, à partir de 120 dB de perte, on parle de surdité totale.

Dans ces deux cas, si le type de surdité le permet, c'est-à-dire si c'est la cochlée qui est déficiente, l'enfant peut être muni d'un implant cochléaire qui lui permettra de récupérer le plus d'informations auditives possible, puisqu'un appareillage classique se révélerait incomplet. L'enfant sourd peut n'avoir qu'une oreille implantée (on parlera d'implantation unilatérale) ou avoir les deux oreilles implantées (on parlera d'implantation bilatérale). Dans le cas d'une implantation unilatérale, l'information auditive apportée par l'implant sera souvent complétée par un appareillage de l'autre oreille.



**Figure 4 : Les degrés de surdité**  
([http://www.cis-basse-normandie.fr/photos/niveaux\\_surdite.gif](http://www.cis-basse-normandie.fr/photos/niveaux_surdite.gif))

Les sourds peuvent communiquer de plusieurs manières : la LSF, le Français Signé, le français oral associé ou non à la LPC.

La LSF, Langue des Signes Française, est une langue gestuelle ; elle est considérée comme la langue des sourds. Cette langue est composée d'une grammaire complexe, différente de celle du français. On parle de bilinguisme lorsque le sourd utilise la LSF et le français écrit.

Le français signé est une combinaison de la langue orale française et de quelques signes tirés de la LSF utilisés pour la compréhension.

Les sourds peuvent également utiliser le français oral et écrit, on parlera dans ce cas d'oralisme. Le français peut être associé à la LPC, la Langue Parlée Complétée, qui est une

aide à la lecture labiale, constituée d'un système de codage manuel des sons de la parole. Ce code est composé d'une série de huit gestes simples, effectués avec la main droite associés à cinq emplacements au niveau du visage.

Le code LPC permet une meilleure compréhension de la langue orale, puisqu'il complète l'information auditive, dégradée chez les sourds, par une information visuelle.

Les enfants sourds, en France, ont accès à plusieurs types de scolarisation, principalement en fonction du mode de communication utilisé par les parents. Les enfants peuvent être scolarisés en classe spécialisée à l'intérieur des établissements scolaires, les CLIS (Classe d'Intégration Scolaire). Ils peuvent être dans des établissements spécialisés comme par exemple dans les Instituts Nationaux des Jeunes Sourds, où le bilinguisme LSF/français écrit est favorisé. Enfin, certains enfants sont intégrés à des classes entendantes, souvent accompagnés d'une AVS (Assistante de Vie Scolaire) et/ou d'un traducteur en LSF ou d'un codeur LPC.

### **I.1.3. L'implant**

A l'heure actuelle, il existe divers implants dans le monde, produits par quatre fabricants : Cochlear®, Neurelec®, Advanced Bionic® et Med El®.

L'implant est composé de deux parties : une partie interne et une partie externe. La partie interne est similaire sur les différents modèles d'implants, alors qu'on trouve plusieurs types de parties externes.

La partie externe comprend en général quatre parties : l'antenne émettrice, le processeur, les batteries et le micro.

Le micro, les batteries et le processeur peuvent être placés à différents endroits selon les modèles d'implant. Les modèles les plus courants (Figure 5) comportent un contour d'oreille comprenant à la fois les piles permettant de faire fonctionner l'implant, le processeur et le micro. D'autres modèles sont composés d'un boîtier, de la taille d'un paquet de cigarette contenant soit les piles, soit le processeur soit ces deux éléments, et d'un contour d'oreille portant le micro. Enfin, un troisième type d'implant existe, qui est seulement composé d'un boîtier, le micro étant intégré à l'antenne émettrice.



**Figure 5: Partie externe d'un implant sans boîtier ; Marque Cochlear ®**  
([http://www.cochlear.com/files/assets/nucleus-5/adult/lp\\_products\\_cn5\\_02.jpg](http://www.cochlear.com/files/assets/nucleus-5/adult/lp_products_cn5_02.jpg))

Le processeur contient un ou des logiciels permettant au porteur de l'implant de s'adapter à la situation ; les logiciels adaptent l'apport de l'implant, en fonction du bruit environnant et de la situation de communication, c'est-à-dire si le porteur d'implant parle à une ou plusieurs personnes, s'il est dans une salle de classe où le locuteur est éloigné de lui... Il est possible de connecter des systèmes FM au processeur ; de même, on peut relier son téléphone au processeur afin de mieux percevoir les conversations téléphoniques, ou encore son lecteur Mp3 pour écouter de la musique.

Il faut noter que les processeurs présents dans le contour d'oreille peuvent contenir moins de logiciels que ceux étant placés dans un boîtier, le porteur de l'implant sera donc moins adapté aux différentes situations.

Cependant, certaines marques d'implants, comme la marque Cochlear® ou MedEl®, proposent sur leurs modèles les plus récents et les plus chers, des télécommandes appelées « assistant sans fil » permettant de changer de logiciel adaptatif, de modifier les paramètres de l'implant ou encore de vérifier si l'implant fonctionne bien.

L'implant est alimenté en énergie soit par des piles, soit par des batteries rechargeables. Selon les modèles on observe différentes capacités d'autonomie d'énergie, entre une journée et plusieurs jours.

L'antenne émettrice, présente sur chaque modèle d'implant, est placée au dessus de l'oreille au moyen d'un aimant et transmet les signaux électriques à la partie interne.

La partie interne (Figure 6) comporte deux éléments principaux : le récepteur (n°2 sur la figure) situé au dessus du pavillon de l'oreille, et le tube d'électrode (n°1 sur la figure), qui est inséré dans la cochlée.



**Figure 6: Partie interne d'un implant cochléaire – Marque Advanced Bionic ®**  
(<http://www.bionicear-europe.com/UserFiles/Image/Products/90K.jpg>)

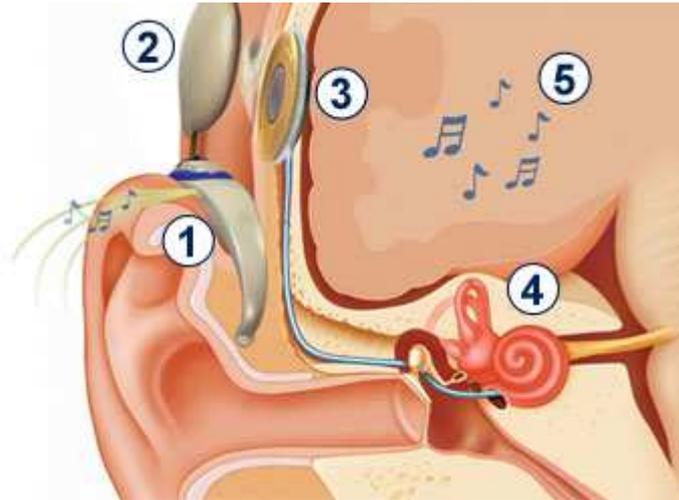
Le récepteur est une petite capsule électronique, d'une épaisseur de 4 à 8 mm, constituée de céramique, de titane et d'un aimant permettant de connecter le récepteur à l'antenne. Avec les modèles d'implants les plus récents, les enfants implantés ont la possibilité de passer des IRMs, l'aimant étant adapté et compatible avec la technologie de l'IRM ou facilement retirable.

Le tube d'électrodes peut contenir entre 6 et 22 électrodes, qui stimulent le nerf de la cochlée en remplaçant les cellules ciliées.

Selon le type de fréquences touchées par la surdité et le degré d'ossification de la cochlée, le porte-électrodes est plus ou moins long, et il est inséré à différents endroits de la cochlée. De plus selon les marques, il peut être plus ou moins souple et/ou divisé en deux tubes.

On peut résumer le fonctionnement d'un implant cochléaire ainsi. (Figure 7)

Le message audio passe d'abord par le micro (1), puis il arrive au processeur (1) qui le code en message électronique. Le message passe par l'antenne externe (2) pour parvenir au récepteur interne (3) puis il devient une onde électrique qui circule jusqu'aux électrodes (4). Celles-ci stimulent les fibres nerveuses de la cochlée qui envoient des impulsions électriques au cerveau (5) qui les interprétera en tant que son.



**Figure 7: Le fonctionnement d'un implant cochléaire**  
([http://www.bionicear-europe.com/UserFiles/Image/Neutral/ci\\_how\\_it\\_works.jpg](http://www.bionicear-europe.com/UserFiles/Image/Neutral/ci_how_it_works.jpg))

Avant l'implantation, plusieurs rendez-vous sont pris : chez le médecin ORL, chez le psychologue pour les enfants en âge de voir un psychologue mais également pour les parents, chez l'audioprothésiste, le chirurgien ou encore l'orthophoniste.

Quand l'enfant est considéré comme implantable, c'est-à-dire qu'il remplit les critères nécessaires à l'implantation, il peut subir l'opération. L'implant n'est activé qu'un mois après l'opération, le temps que la cicatrisation soit effective.

Une fois l'implantation réalisée, l'enfant doit continuer à être suivi régulièrement. Il doit aller chez l'audioprothésiste pour régler l'implant et vérifier qu'il fonctionne correctement toutes les semaines juste après l'opération, puis les rendez-vous s'espaceront, avant de se réduire à un par an.

Un suivi orthophonique est obligatoire, afin de rééduquer la parole de l'enfant. Les entretiens sont réguliers particulièrement pendant la première année post-implantation.

Enfin, l'enfant est aussi suivi par un psychologue, l'opération et les changements de perception qu'elle engendre entraînant des bouleversements chez l'enfant.

## **I.2. Etat de l'art**

Dans cette partie, nous allons réaliser un aperçu de l'état de l'art concernant la production et la perception de parole chez des enfants sourds implantés cochléaires. Tout d'abord, nous allons nous intéresser aux études portant sur la perception de la parole chez des enfants implantés, et nous ferons un lien entre cette partie et la partie suivante qui traitera de

la production de parole par des enfants implantés cochléaires, puisqu'il est établi que la perception de la parole influence la production chez les sujets normo-entendants (Schwartz et al. 2010).

### **I.2.1. Perception**

De nombreux auteurs se sont intéressés à la perception de la parole chez les enfants sourds porteurs d'un implant cochléaire, cependant nous ne donnons ici que quelques éléments tirés de deux études sur ce thème, dans le but d'éclairer nos travaux sur la production.

Ces deux études concernent la perception des aspects supra-segmentaux et segmentaux de la parole. Most et Peled (2007) étudient la perception des aspects suprasegmentaux chez trois groupes d'enfants : des enfants implantés, des enfants porteurs d'aide auditive classique et des enfants entendants. Giezen et collègues, en 2010, observent la discrimination de plusieurs phonèmes chez un groupe d'enfants entendants, un groupe d'enfants sourds implantés et un groupe d'adultes entendants.

#### **Aspects supra-segmentaux**

Most et Peled (2007) étudient la perception des aspects supra-segmentaux de la parole par dix enfants sourds implantés et vingt enfants sourds utilisateurs d'aide auditive classique, âgés entre 8 et 15 ans. Tous les enfants sont locuteurs de l'Hébreu.

Les dix enfants implantés ont reçu leur implant entre 3,6 et 12,4 ans. Le groupe d'enfants sourds porteurs d'aide auditive classique est divisé en deux sous groupes de dix enfants chacun, selon le degré de surdité des enfants, sévère ou profond.

Les enfants doivent passer quatre tests. Le premier test est composé d'une tâche de perception de patrons de mots, il comprend douze items de trois mots chacun, composé de une, deux ou trois syllabes, les enfants devant identifier les mots.

Le second test est une tâche de discrimination d'intonation entre une phrase déclarative et une phrase interrogative. Le troisième test est une tâche de différenciation d'accentuation de syllabes, il comprend douze paires minimales bi-syllabiques, c'est-à-dire des mots qui diffèrent seulement en accentuation de syllabes. Enfin, le quatrième test est une

tâche de perception d'accentuation de mots à l'intérieur d'une phrase, qui est composée de douze phrases, comprenant trois mots uni-syllabiques. Les douze phrases sont enregistrées trois fois, en accentuant un mot différent à chaque enregistrement.

Les stimuli sont produits par une locutrice de l'hébreu, ils sont ensuite vérifiés lors d'une étude pilote sur cinq enfants normo-entendants locuteurs de l'hébreu, âgés de 8,8 à 15,3 ans, qui ont obtenu des scores d'identification de 95 à 100%.

Les enfants implantés (CI) ont obtenu des scores plus bas en perception d'intonation, d'accentuation de mot (*emphasis*) et de syllabe (*stress*) par rapport aux enfants appareillés (HA). Par contre, ils ont mieux perçu les patrons de mot (*pattern*) que les enfants appareillés ayant une surdité profonde, même si cette différence est minime.

Figure 8 et Tableau 1).

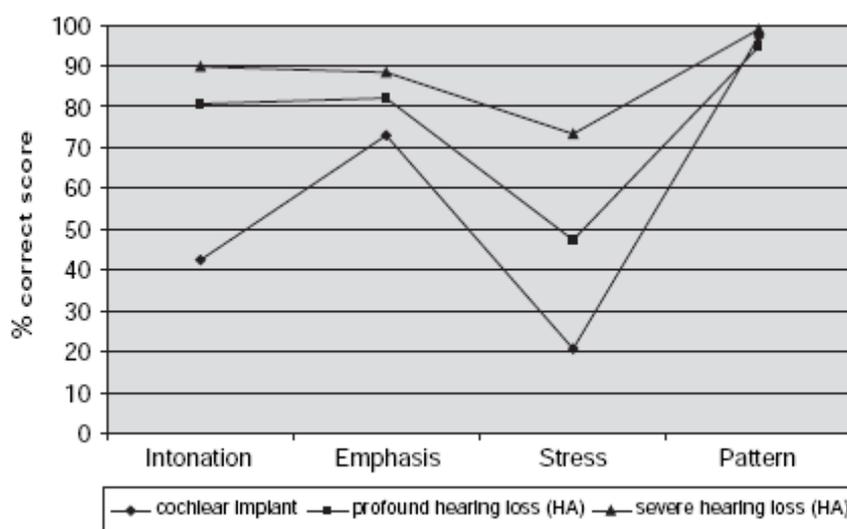


Figure 8: Résultats des tests de perception des trois groupes d'enfants. (Most & Peled, 2007)

Table 1 Mean scores (in percentages) and SDs on the four tests, by group

| Task       | CI (n 5 10) |       | Hearing aid—profound loss (n 5 10) |       | Hearing aid—severe loss (n 5 10) |       | F(1, 27) | Effect size |
|------------|-------------|-------|------------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------|-------------|
|            | M           | SD    | M                                  | SD    | M                                | SD    |          |             |
| Pattern    | 97.05       | 4.38  | 94.76                              | 6.34  | 99.11                            | 1.42  | 2.31     | 0.15        |
| Stress     | 20.83       | 27.56 | 47.5                               | 26.07 | 73.33                            | 14.59 | 12.51*** | 0.48        |
| Emphasis   | 72.92       | 15.8  | 82.08                              | 14.09 | 88.33                            | 11.49 | 3.10     | 0.19        |
| Intonation | 42.5        | 27.55 | 80.82                              | 18.85 | 89.99                            | 14.98 | 14.22*** | 0.51        |

\*\*\*p , .001.

Tableau 1: Résultats détaillés des trois groupes d'enfants pour chaque tâche. (Most & Peled, 2007)

Les auteurs ont ensuite voulu vérifier quels types d'erreurs de perception les enfants sont susceptibles de présenter.

Pour la tâche de perception de syllabes accentuées, deux types d'erreurs étaient possibles :

-erreur n°1 : perception d'un mot ayant une syllabe initiale accentuée comme un mot ayant une syllabe finale accentuée

-erreur n°2 : perception d'un mot ayant une syllabe finale accentuée comme un mot ayant une syllabe initiale accentuée.

Les enfants des groupes CI et HAP ont plus réalisé l'erreur n°2 que les enfants du groupe HAS. Il n'y a pas de différence significative entre les enfants du groupe CI et les enfants du groupe HAP. De plus, chez ces deux groupes d'enfants, on n'observe pas de différence significative entre les deux types d'erreurs alors que chez les enfants du groupe HAS, l'erreur la plus fréquente est l'erreur n°2. Il semble donc que les enfants sourds, qu'ils soient implantés ou appareillés perçoivent plus facilement l'accentuation de la syllabe initiale que celle de la syllabe finale.

Pour la tâche de perception d'accentuation de mots, alors que trois types d'erreurs étaient possibles, en analyse statistique, on n'observe pas de différences significatives entre les types d'erreurs, ni entre les trois groupes d'enfants.

Lors de la tâche de discrimination d'intonation, deux types d'erreurs étaient possibles :

-erreur n°1 : perception des phrases interrogatives comme des phrases déclaratives

-erreur n°2 : perception des phrases déclaratives comme des phrases interrogatives

Pour chaque type d'erreurs, on n'observe pas de différences significatives entre les trois groupes. Par contre, on observe une différence significative entre les deux types d'erreurs, puisque l'erreur n°2 est plus réalisée que l'erreur n°1.

Les enfants sourds, qu'ils soient implantés ou appareillés semblent donc reconnaître plus facilement les phrases interrogatives que les phrases déclaratives

Enfin, les auteurs ont vérifié l'influence des variables démographiques sur les résultats des trois groupes d'enfants. Dans le groupe CI, on n'observe pas de corrélation entre l'âge d'implantation et les performances des enfants, ni entre la durée d'utilisation de l'implant et les performances. Dans les groupes d'enfants porteurs d'aides auditives classiques, on observe que moins la surdité est importante, meilleurs sont les résultats pour les quatre tâches.

Cette étude montre donc que les enfants implantés ont de moins bons résultats que les enfants appareillés ayant une surdité sévère ou profonde pour la perception de l'intonation de phrase et de l'accent de mot et de syllabe.

Elle présente cependant quelques problèmes de méthodologie. Tout d'abord, le panel d'âge des enfants est très étendu. Ensuite, les enfants sont implantés relativement tard par

rapport à l'âge moyen d'implantation actuel (c'est-à-dire environ un an et demi). Enfin, les résultats des enfants implantés sont moins bons que les résultats des enfants porteurs d'aide auditive classique (HA), mais l'article ne mentionne pas l'âge de début d'appareillage des enfants des groupes HA. Or, si les enfants des groupes HA ont une expérience auditive depuis plus longtemps que les enfants implantés, alors il est logique que leurs résultats en perception soient meilleurs que ceux des enfants implantés.

### **Aspects segmentaux**

Giezen et al. (2010) étudient la perception de phonèmes chez 15 enfants implantés âgés en moyenne de 5,8 ans, ayant été implantés en moyenne à 1,8 ans, 20 enfants normo-entendants âgés en moyenne de 5,10 ans et 21 jeunes adultes normo-entendants âgés en moyenne de 22,3 ans. Les sujets néerlandophones sont soumis à une tâche de discrimination de phonèmes selon les contrastes :

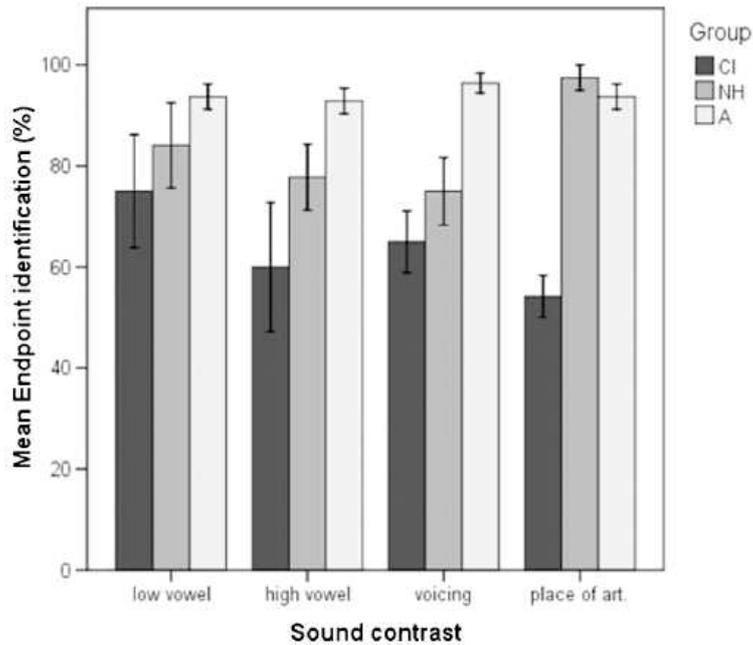
-vocaliques : /a/ vs /ɑ/ et /i/ vs /ɪ/ en contexte VCV /\_p\_/

- de voisement : /bu/ vs /pu/ et /su/ vs /fu/ en contexte CVC /\_u\_/

Trois des enfants implantés n'ont pas suivi le test jusqu'au bout, principalement à cause de problèmes de concentration.

Pour la distinction entre les phonèmes /a/ et /ɑ/, on n'observe pas de différence entre les trois groupes. Pour les phonèmes /i/ vs /ɪ/ on n'observe pas de différence entre les deux groupes d'enfants mais les enfants implantés ont des résultats inférieurs à ceux des adultes. Pour les syllabes /bu/ et /pu/, on n'observe pas de différence entre les deux groupes d'enfants mais ils ont des résultats inférieurs à ceux des adultes. Enfin, pour la distinction entre les deux consonnes fricatives, les enfants implantés ont des résultats inférieurs aux enfants entendants et aux adultes. (Figure 9)

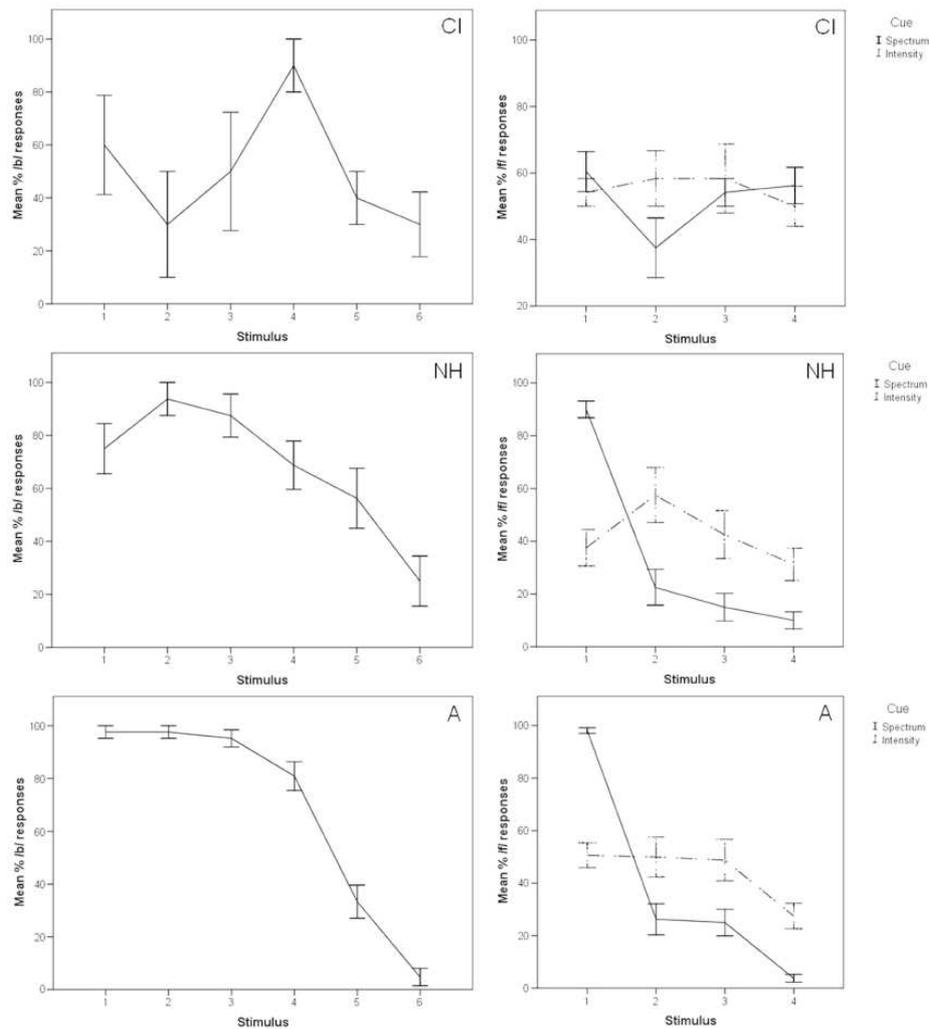
Les auteurs ne constatent pas de corrélation entre les résultats des enfants implantés et leur âge d'implantation.



**Figure 9: Résultats d'identification des phonèmes pour chaque groupe (CI= enfants implantés, NH= enfants entendants, A= adultes) (Giezen et al. 2010)**

Les trois groupes de sujets ont également passé une tâche de catégorisation, où, pour chaque paire de phonèmes, on leur a proposé un continuum de stimuli variant en termes de durées et de combinaison F1/F2 pour les voyelles, en termes de VOT pour les consonnes occlusives et en termes d'intensité pour les consonnes fricatives.

Les enfants implantés ont eu des résultats inférieurs à ceux des enfants entendants et des adultes, pour toutes les dimensions testées, comme on peut le voir par exemple dans la Figure 10 pour les consonnes : ils ne présentent pas de frontière catégorielle là où les entendants en perçoivent une, ce qui signifie qu'ils présentent une mauvaise catégorisation.



**Figure 10: Résultats des tests de catégorisation pour les consonnes (occlusives à droite, fricatives à gauche) pour chaque groupe de sujets (enfants implantés en haut, enfants entendants au centre, adultes entendants en bas) (Giezen et al. 2010)**

En conclusion, selon ces deux études on peut dire que les enfants implantés semblent avoir plus de difficulté à percevoir la parole que les enfants entendants, les adultes entendants et les enfants sourds appareillés. Ces résultats sont à mettre en relation avec les résultats des enfants en production de parole, puisque la plupart des auteurs ayant étudié la parole des enfants implantés ont observé qu'elle présentait plus d'anomalies que celle des enfants entendants. En revanche, elle semble être moins troublée que celle des enfants appareillés (Baudonck et al. 2010 et 2011).

## I.2.2. Production de parole

Les études sur la production de parole chez les enfants implantés sont relativement peu nombreuses, de plus les méthodes d'analyse de ces études sont souvent subjectives, c'est-à-

dire qu'on annoté perceptivement l'adéquation entre la cible à produire et la production, et non objective, c'est à dire appuyée sur des critères acoustiques. Les études ne comparent pas forcément les enfants implantés avec d'autres enfants, et lorsqu'elles le font, le panel d'âge des enfants est souvent large. Enfin, les résultats des études s'opposent entre eux, particulièrement dans les études de production des voyelles.

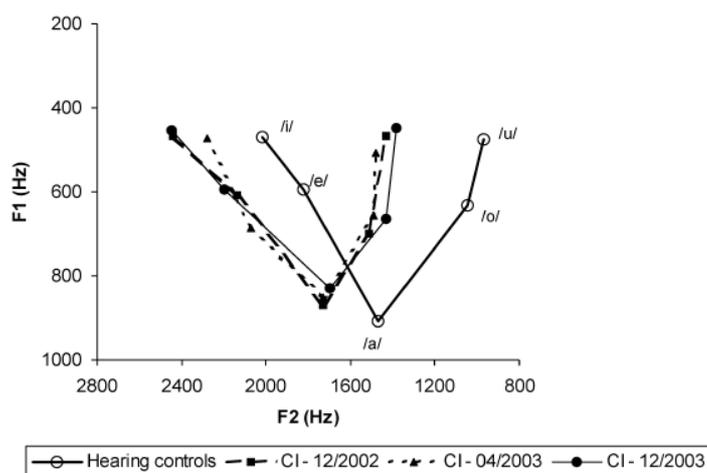
## **Production des voyelles**

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la production des voyelles chez les enfants implantés; les méthodes d'analyse des productions diffèrent selon les auteurs. En effet, Liker et al. (2007), Baudonck (2011) et Horga & Liker (2006) se sont intéressés à la taille de l'espace vocalique, et ont obtenu des résultats contradictoires, tandis que Löfqvist et al. (2010) et Uchanski et Geers (2003) se sont intéressés aux moyennes des gammes de F1 et F2 ainsi qu'à la différence inter-voyelles.

Liker et al. (2007) s'intéressent à la production de parole chez de jeunes croates sourds implantés cochléaires. Ils enregistrent 3 fois à 6 mois d'intervalle 18 enfants implantés, âgés en moyenne de 7,6 ans. Ils enregistrent aussi un groupe de contrôle composé de 18 enfants entendants d'âge, de sexe et d'éducation similaires aux enfants implantés. On propose aux enfants une tâche de répétition de non-mots [papa] [pipa] [popa] [pepa] [pupa], pour analyser les cinq voyelles du croate.

Les voyelles sont analysées en termes de F1 et F2.

Les enfants implantés produisent un F2 nettement plus élevé que les enfants entendants, à part pour la voyelle /a/ où la différence est moins marquée. Pour les valeurs de F1, il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes d'enfants, ni entre les trois moments d'enregistrement des enfants implantés. (Figure 11)



**Figure 11: Triangle vocalique des deux groupes d'enfants.(Liker et al. 2007)**

Cette étude montre donc que les enfants implantés produisent un F2 plus élevé que les enfants entendants, ce qui implique que leur triangle vocalique est décalé par rapport à celui des enfants entendants.

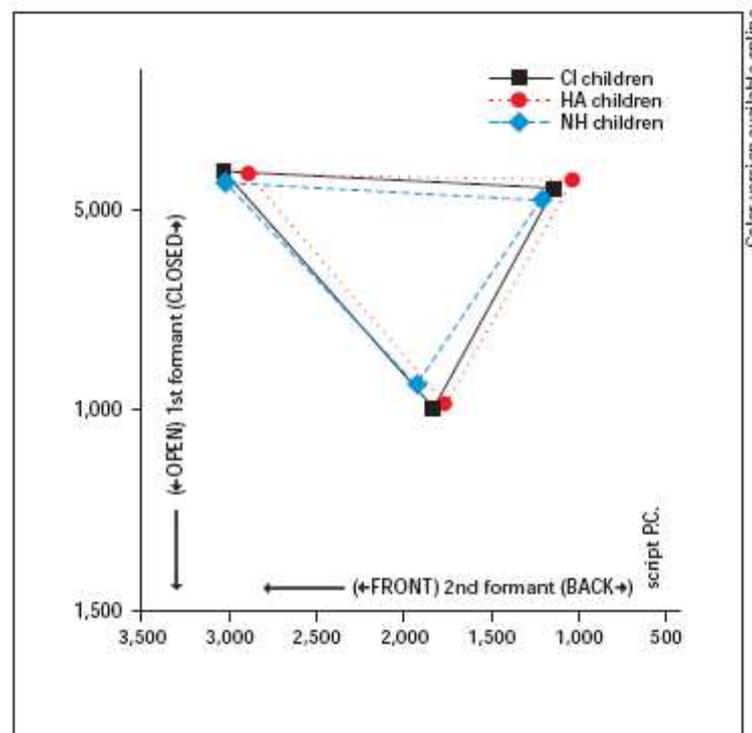
Par la suite, Baudonck et al. (2011) se sont également intéressés à la production de voyelles chez des enfants implantés, des enfants sourds appareillés et des enfants entendants, tous parlant flamand.

Ils ont étudié la production de 40 enfants implantés, âgés de 4,2 à 15,5 ans, 34 enfants sourds appareillés âgés de 4,1 et 14,2 ans et 42 enfants entendants âgés de 4,3 et 15,5 ans. Les enfants doivent nommer des objets ou des actions, représentés sur des images.

On analyse les productions des trois voyelles /i a u/. Pour chaque enfant, on récolte dix segments de formants stables au milieu de la voyelle, dans des mots monosyllabiques ou dans les syllabes accentuées de mots dissyllabiques grâce à une détection algorithmique de formants. Les valeurs sont comparées avec les valeurs de formants d'enfants anglophones et néerlandophones d'âge comparable des études de Vorperian et Kent (2007) et de Pols (1977). Ensuite, on calcule la distance euclidienne entre les voyelles sur les axes F1 et F2 ainsi que l'aire du triangle vocalique. Les mesures sont vérifiées par 2 personnes différentes pour chaque enfant.

En production des voyelles /a/ et /i/, on ne constate pas de différence de formants entre les enfants implantés et les enfants entendants. Chez les enfants appareillés, le F2 est significativement plus bas que chez les enfants entendants. Par contre, on observe une différence interindividuelle significativement plus grande entre les enfants implantés qu'entre les enfants entendants.

Aucune différence significative entre les enfants implantés et les enfants appareillés n'est constatée pour la production de la voyelle /u/. Pour les deux autres voyelles, les deux groupes d'enfants sourds présentent des F1 et des F2 plus bas que les enfants entendants. Les deux groupes d'enfants sourds ont de plus grandes valeurs intervocaliques que les enfants entendants, c'est-à-dire que leur espace vocalique est plus grand, comme le montre la Figure 12



**Figure 12: Triangle vocalique des enfants entendants, des enfants implantés et des enfants appareillés (Baudonck et al. 2011)**

Cependant la différence de distance entre /a/ et /u/ est significative entre les enfants entendants et les enfants sourds, alors que la distance entre /a/ et /i/ n'est significative qu'entre les enfants implantés et les enfants entendants.

Horga et Liker, en 2006, étudient également la production du croate chez 10 enfants sourds implantés mais ils obtiennent des résultats contradictoires par rapport aux deux études détaillées précédemment. Les enfants implantés observés sont âgés de 9,7 à 15,2 ans, et ont été implantés de 2,11 à 7,8 ans; leurs productions sont comparées avec celles de dix enfants sourds appareillés âgés de 7,4 à 15,1 ans et de dix enfants entendants, âgés de 9,6 à 15,1 ans.

Les enfants sont soumis à une tâche de répétition de mots et de phrases. Dans leurs productions, on mesure le F1 et le F2 des voyelles /i/ /a/ et /u/, pour calculer l'espace vocalique via des analyses statistiques.

L'espace vocalique des enfants appareillés est réduit par rapport à celui des enfants implantés et des enfants normo-entendants. (Figure 13)

En effectuant un test d'intelligibilité des voyelles, on constate que seule la voyelle /a/ est moins intelligible chez les enfants implantés que chez les enfants appareillés. (Figure 14)

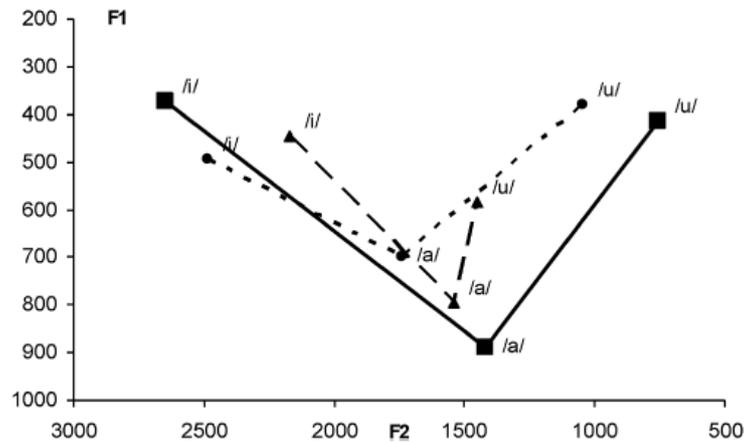


Figure 13: Espaces vocaliques des trois groupes d'enfants (Horga et Liker 2006) (cercles= enfants implantés, triangles=enfants appareillés, carrés=enfants normo-entendants)

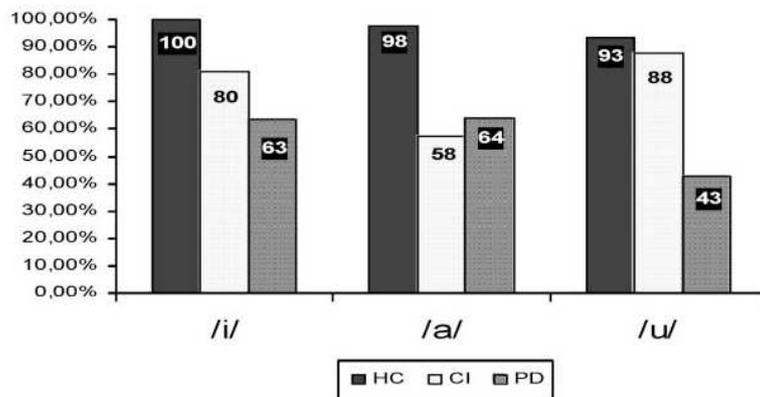


Figure 14: Intelligibilité des voyelles produites par les trois groupes d'enfants (Horga et Liker 2006) (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants appareillés)

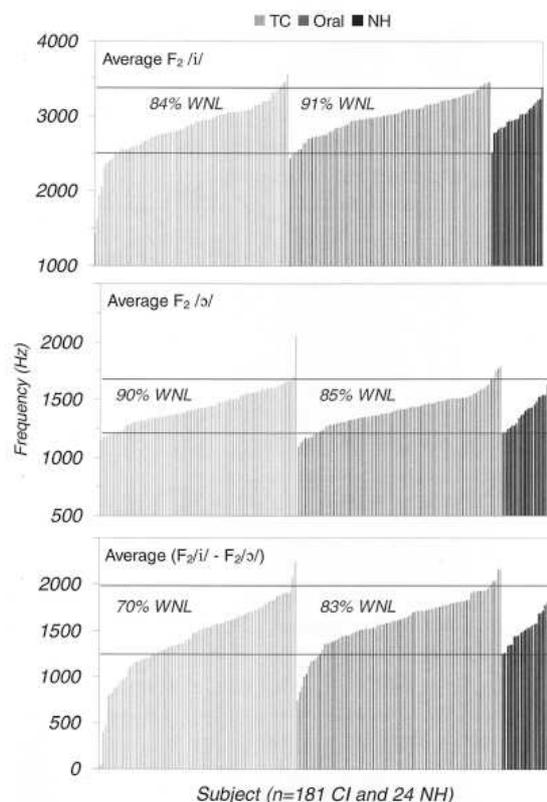
Uchanski et Geers (2003) étudient la production de voyelles de l'anglais chez 181 enfants sourds implantés âgés de 8 à 9 ans et ils comparent leurs productions avec celles de 24 enfants entendants d'âges similaires.

Les enfants doivent répéter onze phrases deux fois, qui seront analysées acoustiquement, ainsi que trente-six phrases d'une étude de McGarr (1983) enregistrées pour tester l'intelligibilité de parole des enfants et la durée de leurs phrases.

A partir des phrases enregistrées, on mesure douze caractéristiques acoustiques sélectionnées sur trois critères : leur utilisation précédente pour étudier la parole des enfants

sourds, leur précédente association avec des jugements d'intelligibilité de parole et leur probabilité d'être influencées par la sensibilité aux hautes fréquences provoquée par l'implant cochléaire. Les mesures du F2 sont faites à la main. Pour chaque enfant, la moyenne des F2 de /i/ et /ɔ/ est calculée ainsi que la différence entre ces deux moyennes.

Les voyelles /i/ et /ɔ/ sont produites avec un F2 correct, ce qui reflète un bon geste articulatoire de la langue ainsi qu'une habilité générale à contrôler les mouvements de la langue pour ces voyelles. On note que seulement un petit pourcentage des enfants implantés produit des F2 bas. (Figure 15)



**Figure 15: Moyenne des valeurs du F2 pour chaque groupe de sujets**  
 (TC (total communication)= enfants implantés en communication totale, O (oral)= enfant implanté en communication orale seulement, NH (Normal hearing)= enfants normo-entendants, WNL (With Normal Limits)=valeurs limites normales) (Uchanski & Geers, 2003)

Par la suite, en 2010, Löfqvist et al. étudient l'espace vocalique d'adolescents sourds porteurs d'un implant cochléaire; les résultats obtenus diffèrent de ceux de l'étude d'Uchanski et Geers (2003), puisque Löfqvist et al. observent que les adolescents implantés ont des résultats différents de ceux des enfants entendants.

Leur étude fait suite à celle de Plant et Öster de 1986 qui observaient la production de parole d'un suédois avant et après son implantation. Leurs résultats avaient montré une

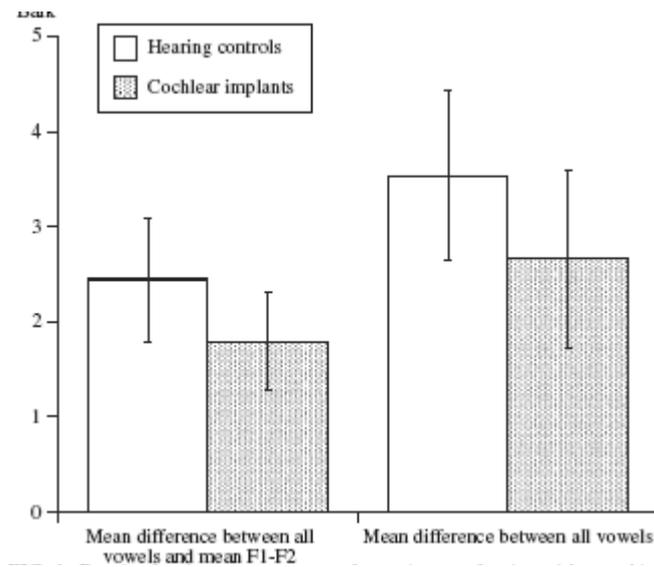
amélioration du F1 post-implantation et une dégradation du F2, c'est-à-dire que les enfants implantés présentaient des valeurs de F1 plus similaires à celles des enfants entendants et des valeurs de F2 plus éloignées de celles des enfants entendants après l'implantation, même si ce changement dépendait des voyelles. Plant et Öster émirent alors l'hypothèse que ce changement était dû à la rééducation mais il faut rappeler qu'à cette époque, les implants ne possédaient qu'une seule électrode alors qu'actuellement ils en possèdent en général vingt et une.

Löfqvist et al. analysent la production des neuf voyelles du suédois (/i y e æ ø α o u ʉ /) prononcées dans le mot [rVta], chez 11 adolescents normo-entendants âgés de 8,5 à 9,3 ans et chez douze adolescents sourds entre 12 et 19 ans implantés entre 1 et 12,5 ans, ayant été diagnostiqués majoritairement avant quatre ans, et ayant suivi une éducation oraliste.

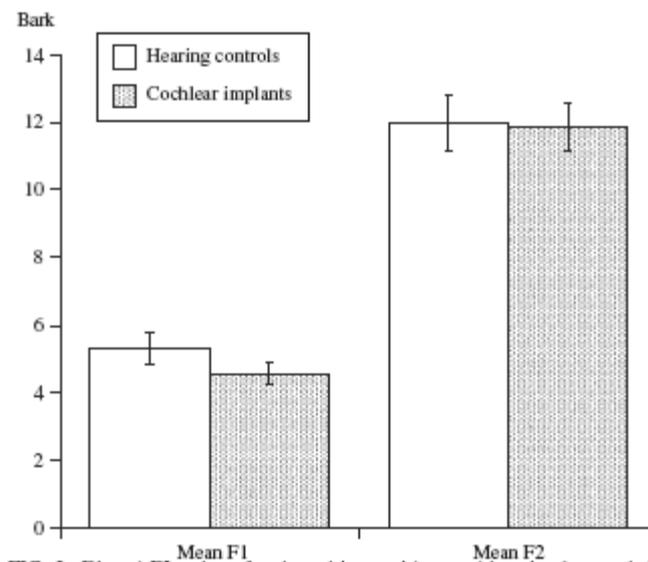
Les formants F1 et F2 des voyelles sont mesurés avec le logiciel Praat (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>) au milieu de la voyelle. On calcule la distance euclidienne entre la moyenne des valeurs des premiers et seconds formants, ainsi que la distance euclidienne entre les neuf voyelles, puis la moyenne de ces distances.

On fait ensuite écouter les enregistrements des adolescents pour mesurer leur intelligibilité de parole selon une échelle d'appréciation à six niveaux entre pauvre, juste et excellent.

L'espace vocalique des enfants implantés est de taille réduite par rapport à celui des enfants entendants, comme le montre la Figure 16. De plus, la moyenne des valeurs du F1 est plus basse chez les enfants implantés que chez les enfants entendants (4,59 pour les implantés contre 5,29 pour les entendants) alors qu'on ne constate pas de différences significatives entre les moyennes des valeurs du F2 dans les deux groupes d'adolescents. (Figure 17)



**Figure 16: Résultat des deux mesures de l'espace vocalique dans les deux groupes (Valeurs en Bark) (Löfqvist et al. 2010)**

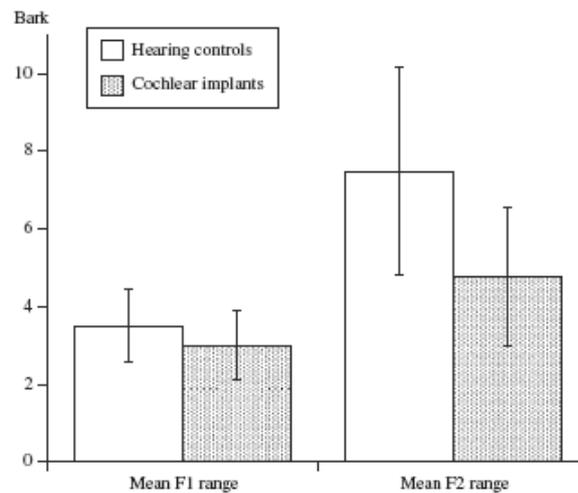


**Figure 17 : Moyenne des valeurs du F1 et du F2 dans les deux groupes (Valeurs en bark) (Löfqvist et al. 2010)**

On n'observe pas de corrélation entre l'espace vocalique et l'intelligibilité de parole des enfants.

En identification des voyelles produites, les enfants implantés présentent plus de confusion que les enfants entendants.

La gamme des F1 n'est pas statistiquement différente entre les deux groupes, alors que la gamme des F2 est réduite dans la production des enfants implantés par rapport à celles des enfants entendants. (Figure 18)



**Figure 18 : Gamme des F1 et F2 dans les deux groupes (Löfqvist et al. 2010)**

Enfin, les auteurs comparent les résultats en fonction de l'âge d'implantation des adolescents sourds. Les enfants implantés après 62 mois ont une parole plus intelligible que les enfants implantés plus précocement. Cependant, en analyse acoustique on ne constate pas de différences selon l'âge d'implantation. Les auteurs expliquent cette différence d'intelligibilité par l'âge de découverte de la surdité. En effet, les enfants implantés tardivement ont été découverts sourds plus tard que les autres. N'ayant pas plus de précision sur l'étiologie des adolescents sourds, on suppose donc que ces adolescents sont devenus sourds et non pas nés sourds, ce qui sous-entend qu'ils ont été exposés à l'oral avant leur surdité, ce qui influencerait leur intelligibilité de parole.

En conclusion, on peut dire que les résultats de ces différentes études s'opposent les uns aux autres, mais il semble que la production de voyelles des enfants implantés est perturbée puisque, si l'étude de Uchanski et Geers (2003) établit des résultats corrects chez les enfants implantés, les autres études font état de productions perturbées. Ainsi Liker et al. (2007) observent un espace vocalique décalé entre les enfants implantés et appareillés et les enfants entendants, Horga & Liker (2006) constatent que les enfants implantés ont un espace vocalique plus petit que celui des enfants entendants contrairement à Baudonck et al. (2011) qui observent que les enfants implantés ont un espace vocalique plus grand que celui des enfants entendants. Les résultats de l'étude de Löfqvist (2010) vont dans le sens de ceux de

l'étude d'Horga et Liker puisque même s'ils ne calculent pas le triangle vocalique des enfants de leur étude, ils constatent que les enfants implantés ont une gamme de F2 plus petite que celle des enfants entendants et que la moyenne des différences entre les voyelles est plus importante chez les enfants entendants que chez les enfants implantés ce qui implique un triangle vocalique plus petit pour les enfants implantés que pour les enfants entendants.

## **Production des consonnes**

Plusieurs auteurs ont étudié la production de consonnes par les enfants implantés. Deux méthodes d'analyse des productions sont utilisées : l'analyse perceptive subjective et l'analyse acoustique objective. L'analyse perceptive, ou analyse d'accuracy, consiste à annoter l'adéquation entre la consonne cible et la consonne produite. En revanche, l'analyse acoustique va consister à effectuer des mesures précises sur les productions, comme le calcul du VOT pour les consonnes occlusives par exemple. Nous avons choisi de nous intéresser en premier aux études utilisant l'analyse acoustique seule ou accompagnée d'analyse perceptive, puis nous nous sommes intéressés aux études utilisant l'analyse perceptive seule.

### ***2.2.2.1. Etudes acoustiques et perceptives***

Parmi les études utilisant l'analyse acoustique, Horga & Liker (2006) et Uchanski et Geers (2003) se sont intéressés au calcul du VOT dans la production d'occlusives. Comme pour les études portant sur la production des voyelles, les résultats s'opposent puisque Uchanski et Geers observent des valeurs de VOT correctes chez les enfants implantés, alors que Horga & Liker constatent que les enfants implantés ont des scores de production correcte (accuracy) inférieurs à ceux des enfants entendants.

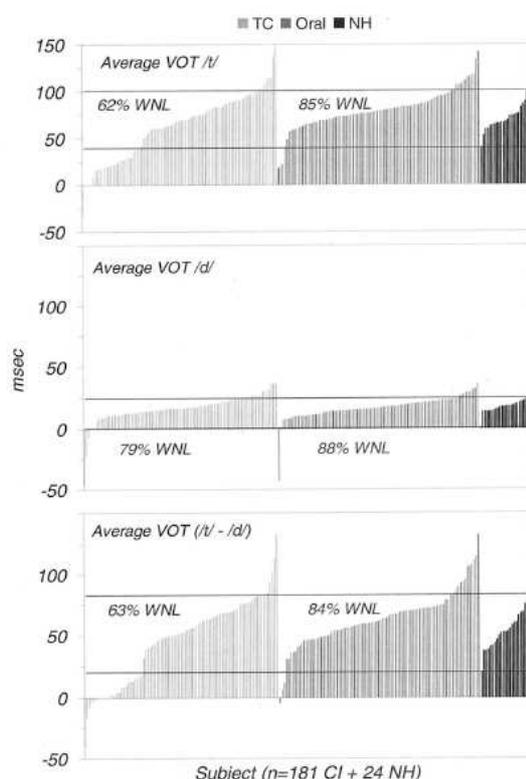
Uchanski & Geers (2003) et Liker (2007) ont également étudié la production des consonnes fricatives par les enfants implantés. Ils ont constaté que les enfants implantés avaient des scores de production correcte inférieurs à ceux des entendants. Todd et al., en 2011, confirment ces observations puisque dans leur étude, les enfants implantés ont également des scores plus bas que les enfants entendants, c'est-à-dire qu'ils produisent les consonnes fricatives moins distinctement que les enfants entendants.

## A. Mesures du VOT

Uchanski et Geers (2003), lors de leur étude sur la production des enfants implantés, ont comparé le VOT des consonnes /t/ et /d/ entre trois groupes d'enfants : des enfants implantés en communication totale, c'est-à-dire des enfants qui utilisent à la fois la communication orale et la langue de signes, des enfants implantés en communication orale, et des enfants entendants.

Les enfants implantés en communication orale produisent des VOT proches des valeurs normales pour les deux consonnes (85% des valeurs sont proches des valeurs normales pour la consonne /t/ et 88% des valeurs sont proches des valeurs normales pour la consonne /d/). Les enfants implantés en communication totale produisent un VOT plus correct pour la consonne /d/ que pour la consonne /t/ (Figure 19).

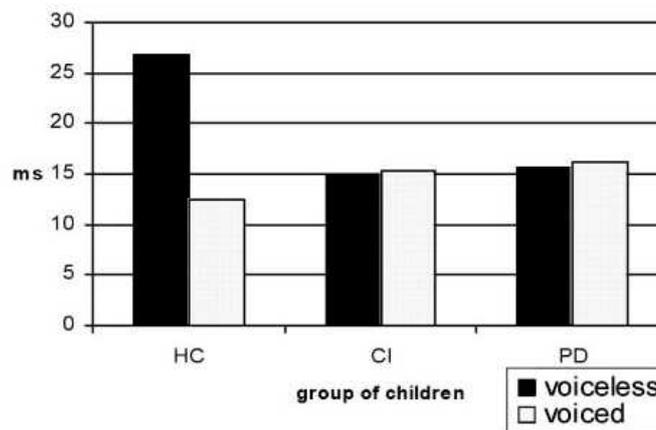
Par contre, il est important de noter qu'on observe plus de différences interindividuelles chez les deux groupes d'enfants implantés que chez les enfants entendants. De plus, dans le groupe d'enfants en communication totale, certaines productions n'ont pas pu être prises en compte car les enfants n'ont pas produit une occlusive pour les cibles /t/ ou /d/.



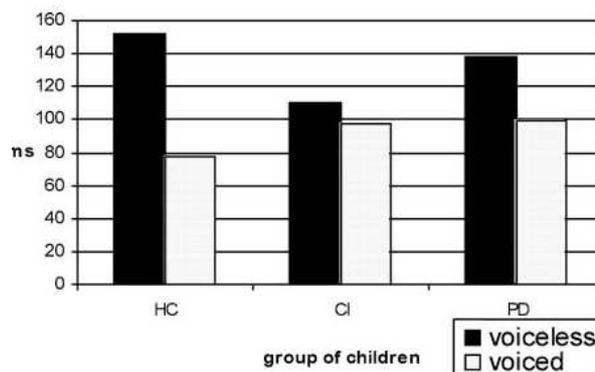
**Figure 19: Moyennes des valeurs de VOT pour /t/ (figure du haut), pour /d/ (figure du milieu) et pour /t/ et /d/ (figure du bas) par sujets, pour chaque groupe de sujet (TC (Total Communication)=enfants implantés en communication totale, Oral= enfants implantés en communication orale, NH (Normal Hearing)= enfants entendants WNL (With Normal Limits)= valeurs limites normales)(Uchanski & Geers 2003)**

Par la suite, Horga et Liker, dans leur étude de 2006, mesurent, outre les formants pour les voyelles, la différence de production entre les consonnes voisées vs. non-voisées (dans les consonnes /t/ /d/ /ʃ/ /ʒ/ /tʃ/ /dʒ/), le VOT et la durée de fermeture des consonnes /t/ et /d/.

Les analyses de VOT et de durée de fermeture ne montrent pas de différences entre les résultats des enfants implantés et des enfants appareillés, puisque dans ces deux groupes, la durée de VOT est similaire pour les consonnes voisées et non-voisées, alors que chez les enfants entendants, la durée du VOT pour les consonnes non-voisées est plus longue que pour les consonnes voisées. (Figure 20 et Figure 21)



**Figure 20: Durée du VOT pour les consonnes voisées et non-voisées dans les trois groupes d'enfants (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants appareillés)(Horga & Liker 2006)**



**Figure 21: durée de fermeture (en ms) des consonnes voisées et non-voisées chez les trois groupes d'enfants. (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants appareillés)(Horga & Liker 2006)**

En faisant écouter les consonnes par des locuteurs, les auteurs ont constaté que les consonnes produites par les enfants implantés n'étaient pas reconnues, ce qui est particulièrement le cas pour les consonnes voisées. (Tableau 2)

|    | /t/ | /d/ | /ʃ/  | /z/ | /tʃ/ | /dʒ/ |
|----|-----|-----|------|-----|------|------|
| HC | 81% | 99% | 100% | 90% | 94%  | 100% |
| CI | 64% | 33% | 97%  | 4%  | 84%  | 23%  |
| PD | 59% | 49% | 77%  | 21% | 74%  | 15%  |

**Tableau 2: Perception de la production des trois groupes d'enfants des consonnes voisées et non voisées (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants appareillés)(Horga & Liker 2006)**

Ces deux études s'opposent donc dans leurs résultats puisque Uchanski & Geers (2003) n'observent pas de différences entre les productions des enfants implantés et celles des enfants entendants, alors que Horga & Liker (2006) constatent à travers leurs analyses acoustique et perceptive, que les enfants implantés ont des scores plus bas que ceux des enfants entendants.

## B. Mesures acoustiques des fricatives et affriquées

Uchanski et Geers en 2003, ont étudié la production de voyelles et de consonnes occlusives, mais aussi la production de consonnes fricatives /s/ et /ʃ/ chez des enfants entendants et des enfants implantés. Dans les productions de ces deux consonnes, ils mesurent les 4 moments spectraux : la moyenne spectrale, l'écart-type, la « spectral skewness » et le « spectral kurtosis ».

Chez les enfants entendants, on constate une plus grande moyenne spectrale, une « spectral skewness » plus négative et un « spectral kurtosis » plus pointu pour la consonne /s/ que pour la consonne /ʃ/. Même si la plupart des enfants implantés présentent les mêmes tendances, certains ne le font pas. En effet, chez certains enfants, les deux consonnes fricatives ne sont pas produites distinctivement (Figure 22, Figure 23 et Figure 24).

Si l'on compare les deux groupes d'enfants implantés, on constate que pour la consonne /s/ les enfants en communication orale ont des valeurs plus proches des valeurs « normales » que celles des enfants en communication totale. Ces tendances ne sont pas présentes pour la consonne /ʃ/.

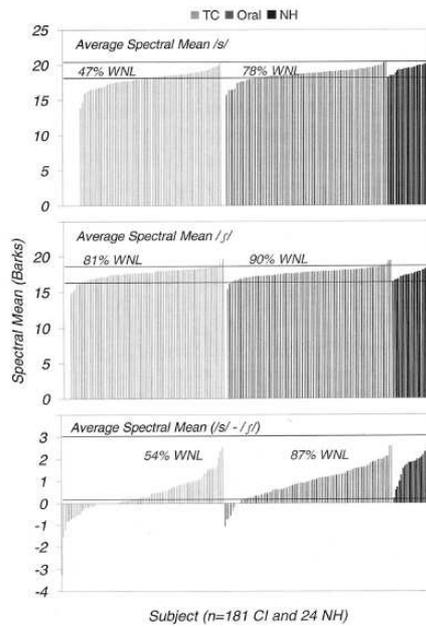


Figure 22: Mesures des moyennes spectrales pour les consonnes /s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers 2003)

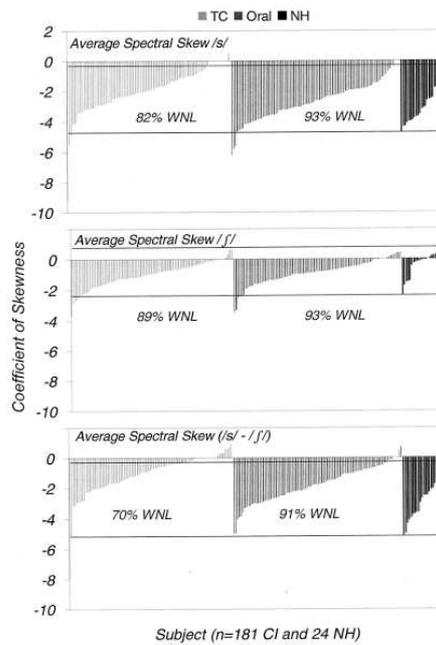
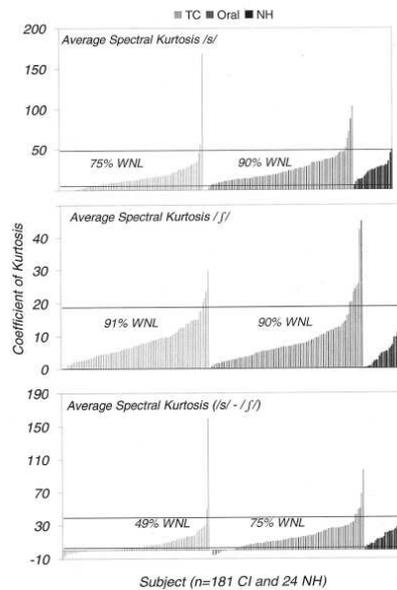


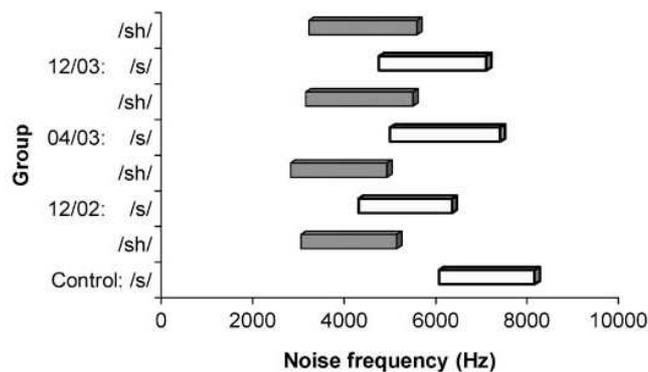
Figure 23: Mesures des "spectral skewness" pour les consonnes/s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers 2003)



**Figure 24: Mesures des "spectral kurtosis" pour les consonnes /s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers 2003)**

Liker et al. (2007) ont mesuré la fréquence du bruit de friction pour les consonnes fricatives /s/ et /ʃ/ et la durée totale des consonnes affriquées /ts/ et /tʃ/ chez un groupe d'enfants implantés et un groupe d'enfants entendants.

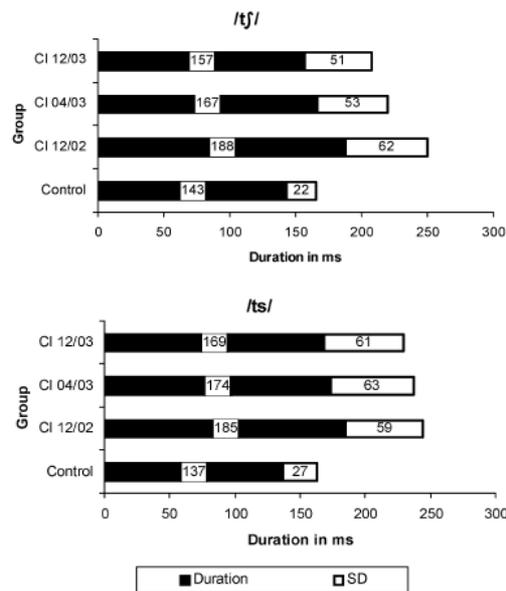
Pour les consonnes fricatives, il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes d'enfants pour la production de la consonne /ʃ/, par contre pour la consonne /s/ le bruit est plus faible chez les enfants implantés lors du premier enregistrement, avant qu'il n'y ait une amélioration à partir du deuxième enregistrement.



**Figure 25: Production des consonnes fricatives par les deux groupes d'enfants (enfants entendants en bas de figure, enfants implantés lors des trois enregistrements) (Liker et al. 2007)**

En ce qui concerne les consonnes affriquées, les enfants implantés produisent des consonnes plus longues que les enfants entendants lors du premier enregistrement, puis, par la

suite, grâce à la rééducation, les consonnes deviennent moins longues, même si cette amélioration est plus visible pour la consonne /tʃ/.



**Figure 26: Production des consonnes affriquées par les deux groupes d'enfants.(Liker et al. 2007)**

Les erreurs de production et les substitutions des consonnes affriquées sont comparables entre /s/ et /ʃ/ et /ts/ et /tʃ/, probablement car le /s/ et le /ts/ sont plus difficiles à produire que le /ʃ/ et le /tʃ/.

Dans leur étude de 2011, Todd et al. s'intéressent également à la production des fricatives /s/ et /ʃ/ par les enfants implantés anglophones et observent eux aussi que les enfants implantés ont de la difficulté à différencier ces consonnes. Ils enregistrent 33 enfants sourds ayant entre 4 et 9 ans et ayant été implantés avant 2,5 ans, excepté un enfant ayant été implanté à 5,2 ans. Hormis un enfant ayant été éduqué en communication totale, tous les enfants implantés ont été éduqués en communication orale. Parallèlement aux enfants implantés, 43 enfants normo-entendants âgés de 2 à 7 ans ont été enregistrés. Les enregistrements de 21 des enfants implantés sont comparés avec des enfants normo-entendants de même sexe et de même âge chronologique et les enregistrements de 32 des enfants implantés sont comparés à ceux d'enfants normo-entendant de même âge auditif.

Les enfants sont soumis à une tâche de répétition de neuf mots avec la consonne /s/ en initiale, et de neuf mots avec la consonne /ʃ/ en initiale. La première syllabe de chaque mot est composée de la consonne et d'une voyelle /i a u/. Les stimuli sont enregistrés par une femme adulte entendante.

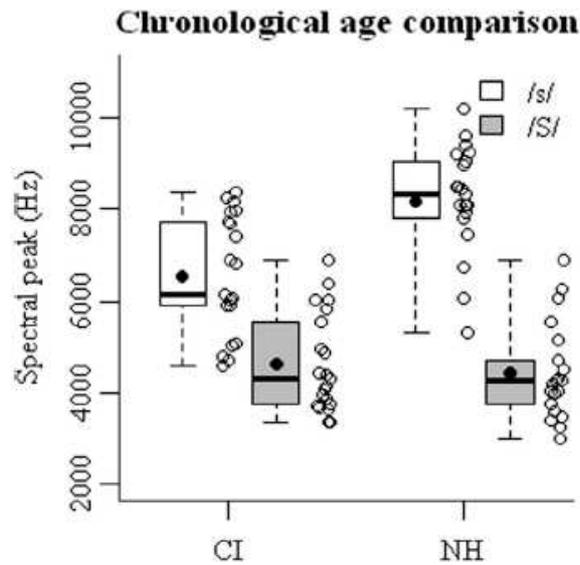
Les enregistrements des enfants sont annotés en combinant le signal auditif, le spectrogramme et l'onde du signal. De plus, les productions des enfants sont codées comme correctes ou incorrectes (distorsion, de substitution ou de suppression de la consonne).

Les résultats montrent que les enfants implantés ont une parole moins intelligible que les enfants entendants de même âge chronologique et auditif même si les enfants entendants font aussi des erreurs de substitution de consonnes. En effet, la consonne /s/ est souvent substituée par /f θ/ ou par une occlusive alors que les enfants entendants la substituent par les consonnes /f ts θ/ et la consonne /ʃ/ est substituée par les consonnes /tʃ s/ dans les deux groupes d'enfants.

|                | CI               |                             | NH               |                             |
|----------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
|                | Number of tokens | Number of children (n • 21) | Number of tokens | Number of children (n • 21) |
| Errors for /s/ |                  |                             |                  |                             |
| [f]            | 21               | 11                          | 0                | 0                           |
| [h]            | 13               | 8                           | 16               | 6                           |
| [ʃ]            | 5                | 4                           | 13               | 9                           |
| [ts]           | 8                | 5                           | 9                | 6                           |
| Stops          | 16               | 9                           | 1                | 1                           |
| distortions    | 10               | 4                           | 3                | 2                           |
| Other          | 12               | 6                           | 3                | 3                           |
| Total          | 85               |                             | 45               |                             |
| Errors for /ʃ/ |                  |                             |                  |                             |
| [s]            | 6                | 4                           | 3                | 1                           |
| [tʃ]           | 23               | 13                          | 7                | 5                           |
| distortions    | 6                | 2                           | 0                | 0                           |
| Other          | 12               | 7                           | 4                | 4                           |
| Total          | 47               |                             | 14               |                             |

**Tableau 3: Types d'erreurs de production réalisées par chaque groupe d'enfants, par consonne.(Todd et al. 2011)**

Si on compare les analyses acoustiques des productions des enfants, on observe que les enfants implantés font moins la différence entre les deux consonnes fricatives. En effet, la valeur du pic spectral (« spectral peak ») du /ʃ/ est similaire entre les enfants implantés et les enfants entendants de même âge chronologique et auditif, tandis que la valeur du pic spectral pour la consonne /s/ est plus basse chez les enfants implantés que chez les enfants entendants de même âge auditif et chronologique. (Figure 27)

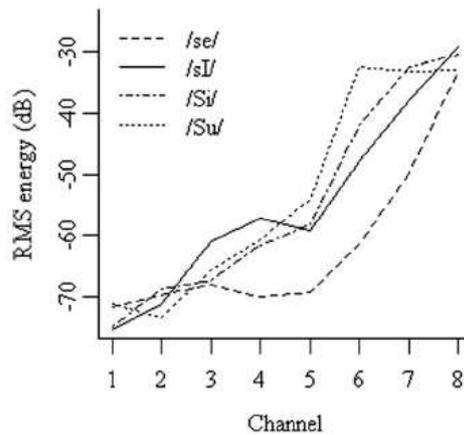


**Figure 27: Valeurs du pic spectral pour les consonnes /s/ et /S/ dans les deux groupes d'enfants.(Todd et al. 2011)**

Les auteurs vérifient que l'âge n'influence pas les valeurs du pic spectral car il est établi que les enfants plus âgés ont un conduit vocal plus grand, ce qui implique une valeur de pic spectral plus basse, or, les enfants implantés sont en moyenne plus âgés que les enfants entendants. Ils remarquent qu'il y a une interaction entre l'âge et les valeurs de pic spectral chez les enfants entendants et pas chez les enfants implantés, ce qui signifie que l'âge n'entre pas en cause dans les valeurs basses de pic spectral pour la consonne /s/ chez les enfants implantés.

Enfin, les auteurs ont voulu savoir si la perception de leur propre voix par les enfants implantés pourrait influencer leur production de la consonne /s/. Ils modifient l'enregistrement d'une enfant entendante pour transformer sa voix en une simulation d'implant cochléaire. Ils constatent que les enfants implantés peuvent faire la différence entre /s/ et /ʃ/ grâce aux niveaux d'énergie des canaux « moyen-hauts » (« mid-upper channel ») qui sont plus élevés pour la consonne /S/, ce qui implique une énergie spectrale plus basse pour la consonne /ʃ/. (Figure 28)

Par contre les auteurs notent que cette différenciation peut être plus ou moins difficile selon le niveau d'énergie pour la consonne /s/ dans les canaux moyen-hauts, ce qui pourrait influencer la production des enfants. En effet, les auteurs supposent que les enfants implantés produisent /s/ à des fréquences plus basses que les enfants entendants pour respecter le rang de fréquences qu'ils peuvent entendre.



**Figure 28: Simulation de sortie des canaux d'un implant cochléaire des consonnes /s/ et /S/ produites par une enfant entendante.(Todd et al. 2011)**

En conclusion, on peut dire que les enfants implantés semblent produire les consonnes fricatives et affriquées avec plus de difficultés que les enfants entendants.

#### **2.2.2.2. Evaluations perceptives**

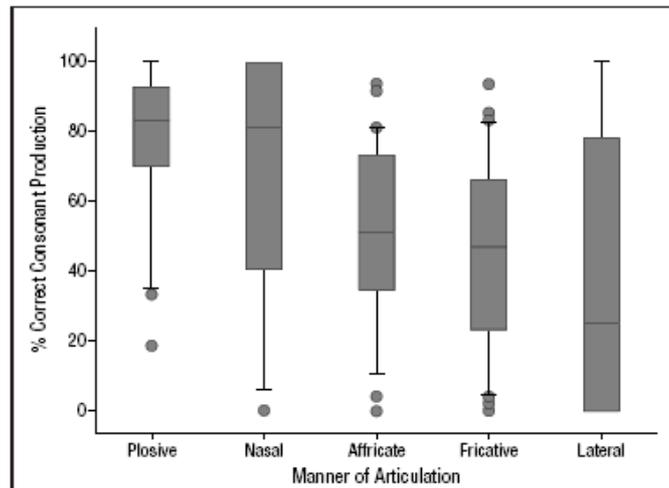
Peng et al., dans leur article de 2004, étudient la production des consonnes du mandarin par trente enfants sourds prélinguaux implantés, âgés de 9,3 ans au moment de l'étude.

Les enfants doivent effectuer une tâche de dénomination d'images où un personnage inventé de dessin animé est représenté. On leur donne le nom du personnage et l'enfant doit répéter ce nom. Chaque nom comporte une des 21 consonnes du mandarin en initiale d'une syllabe CV (Consonne Voyelle) ou CVN (Consonne Voyelle Nasale), en accord avec les contraintes phonologiques du chinois mandarin. Les productions des enfants sont annotées en mettant un point pour chaque consonne cible correctement produite, puis le score des productions correctes est calculé en pourcentage.

Les enfants passent également deux tests langagiers : le Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT) qui évalue les compétences de reconnaissance et de vocabulaire réceptif, et le Assessment of Preschool Language Disorders (APLD) qui évalue les compétences langagières en réception et en production.

La moyenne des scores de production correcte des consonnes par les enfants implantés est de 57,9%. On observe une meilleure production des occlusives que des autres consonnes.

Si on classe les consonnes dans un ordre décroissant de production correcte, on obtient : occlusives, nasales, affriquées, fricatives, latérales. (Figure 29)



**Figure 29 : Pourcentage de production correcte pour chaque type de consonnes.(Peng et al. 2004)**

Dillon et al. (2004) étudient la production de consonnes de l'anglais par 76 enfants implantés ayant entre 7,8 et 9,9 ans au moment de l'étude. Les enfants doivent prononcer vingt non-mots adaptés du Children's Test of Nonword Repetition, qui sont des combinaisons de phonèmes créées à partir de 112 consonnes. Les productions sont transcrites par trois phonéticiens qui comparent la consonne produite et la consonne attendue. Ils doivent observer si la consonne est produite correctement, et si le voisement, le mode et le lieu (labial, coronal et dorsal) sont corrects.

Ils constatent une meilleure production des consonnes coronales.

En ce qui concerne le mode de production des consonnes, 52% des fricatives, 54% des fricatives, 50% des nasales et 46% des liquides sont correctement produites.

Les cibles non voisées sont correctement produites à 59% alors que les cibles voisées sont bien produites à 63%.

Enfin, on n'observe pas de corrélation avec l'âge d'implantation, l'âge au début de la surdité, ni avec la durée de surdité.

Baudonck et al. (2010) étudient la production de consonnes chez des enfants néerlandophones implantés et appareillés.

Ils récoltent les productions de 39 enfants implantés âgés de 5,4 à 13,7 ans ainsi que de 32 enfants appareillés. Les enfants doivent nommer des dessins représentant des actions ou des objets communs.

On compare les productions de consonnes en analyse perceptive en les comparant avec les consonnes cibles pour observer les erreurs de type segmental : distorsions, substitutions, omissions ou additions.

Les analyses font ensuite l'objet de plusieurs comparaisons : le groupe d'enfants implantés par rapport au groupe d'enfants appareillés, le groupe d'enfant implanté par rapport aux trois sous-groupes d'enfants appareillés (groupés selon leur degré de surdité) et le groupe d'enfants implantés à plus de 70 dB de perte d'audition par rapport aux deux sous groupes d'enfants implantés (un sous-groupe d'enfants implantés avant cinq ans et un sous groupe d'enfants implantés après 5 ans).

Chez les enfants appareillés on observe plus d'erreurs en général par rapport aux enfants implantés, même si cette différence est plus importante pour les erreurs de substitutions. Ainsi les enfants appareillés font nettement plus d'erreurs de substitution ou d'omission que les enfants implantés.

Que ce soit chez les enfants implantés ou chez les enfants appareillés, les erreurs de distorsion sont le type d'erreurs le plus fréquent.

En ce qui concerne les procédés phonologiques, on observe un procédé commun aux deux groupes d'enfants sourds : le dévoisement. De plus on constate une réduction des groupes consonantiques et une suppression des consonnes finales, ainsi que le « stopping », c'est-à-dire la transformation des non-occlusives en occlusives (stops en anglais), chez les enfants appareillés.

Enfin, les deux groupes d'enfants substituent également des /R/ aux /s/ et des /m/ aux /n/ même si, en proportion, toutes les erreurs sont plus importantes chez les enfants appareillés que chez les enfants implantés.

Si on compare les enfants implantés et les trois sous groupes d'enfants appareillés (moins de 70dB de perte, entre 70 et 90dB de perte et plus de 70dB de perte auditive), on constate plus d'erreurs pour le sous-groupe d'enfants appareillés à plus de 90 dB de perte que pour les autres groupes d'enfants. Les enfants implantés font moins d'erreurs que les enfants appareillés même si cette différence n'est significative que si on les compare aux enfants à plus de 70 dB de perte.

En comparant le groupe d'enfants appareillés avec les deux sous-groupes d'enfants implantés, on observe que les enfants implantés avant 5 ans ont de meilleurs résultats que les autres enfants.

En conclusion, même si ces trois études utilisant l'analyse perceptive ne comparent pas les enfants implantés avec d'autres enfants sourds porteurs d'un appareillage classique ou entendants, on peut dire que la précision de leurs productions est assez faible, ce qui sous-entend que les enfants implantés semblent avoir une parole peu intelligible puisque l'évaluation perceptive est une mesure de l'intelligibilité de la parole.

### **Production des aspects supra-segmentaux.**

Enfin, nous nous sommes intéressés à la production des aspects supra-segmentaux, puisque nous voulions étudier la prosodie chez les enfants implantés. Peu d'études ont été réalisées sur ce sujet.

Bergeson et al. (2009) étudient la production de parole chantée et de prosodie chez quatre enfants implantés cochléaires.

Les enfants ont entre 8,9 et 15 ans, et ont été implantés entre 1,7 et 8 ans. Leurs productions sont comparées avec celles de trois adultes entendants.

Les participants doivent effectuer trois tâches : tout d'abord ils doivent chanter la chanson traditionnelle « Happy birthday », ensuite ils doivent produire la voyelle /a/ avec plusieurs contours mélodiques: ascendant, descendant, ascendant-descendant et descendant-ascendant. Enfin, ils doivent écouter un locuteur produisant des phrases avec plusieurs contours intonatifs : gai, triste, interrogatif et neutre, puis répéter ces phrases en respectant leur intonation.

Des auditeurs adultes doivent classer les phrases, écoutées à 400Hz utilisées pour la tâche d'intonation, puis ils doivent noter les productions des enfants et du locuteur-modèle pour la tâche d'intonation sur une échelle de sept points.

Dans la première tâche, on peut observer plusieurs différences entre les productions des enfants et des adultes. Les enfants implantés ont des variations de hauteurs plus importantes que celles des adultes. On constate qu'en termes de hauteur, les productions présentent plus de problèmes qu'en termes de rythme, même si le rythme est souvent inapproprié chez les enfants implantés par rapport aux adultes normo-entendants. (Tableau 4)

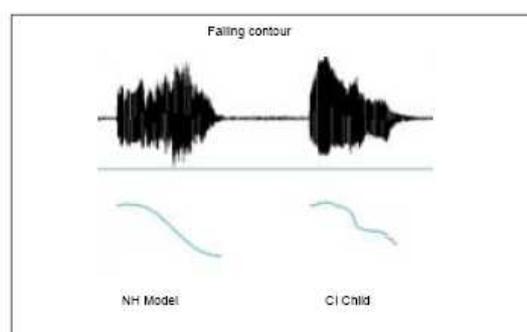
|        | Pitch Direction (%) | Pitch Variation (s.d.) | Pitch Range (Hz) | Beat Variation (s.d.) |
|--------|---------------------|------------------------|------------------|-----------------------|
| SPJ    | 76                  | 60                     | 170              | 318                   |
| SOG    | 61                  | 15                     | 38               | 115                   |
| SPH    | 48                  | 33                     | 66               | 247                   |
| SPF    | 16                  | 8                      | 25               | 80                    |
| CI Avg | 50                  | 29                     | 75               | 190                   |
| Model  | 100                 | 67                     | 196              | 63                    |

**Tableau 4: Résultats des enfants implantés et des adultes pour la première tâche.(Bergeson et al. 2009)**

En observant la production d'un des enfants de manière plus détaillée, on constate que les patrons globaux de rythme sont maintenus, comme dans la variation long-court-long dans les syllabes /a/ /pi/ et /bærs/, alors que dans les autres syllabes, le rythme est perturbé, voire absent.

Pour la deuxième tâche, les enfants implantés présentent une courbe mélodique (ascendante, descendante, ascendante-descendante ou descendante-ascendante) préservée, mais l'amplitude fréquentielle est plus limitée que celle des adultes.

De plus, alors que chez les adultes, le tracé du contour prosodique est caractérisé par une progression lente, chez les enfants implantés, le tracé du contour prosodique est caractérisé par une série de diminutions rapides de la fréquence fondamentale suivies de plateaux. (Figure 30)



**Figure 30: Tracés des contours prosodiques chez un enfant implanté et chez le locuteur-modèle.(Bergeson et al. 2009)**

Concernant la troisième tâche, les adultes ont reconnu l'intonation des productions des enfants à 36,8%, ce qui n'excède pas le pourcentage lié à la chance, et celles du locuteur-modèle à 58,3%.

De plus, les productions des enfants implantés reçoivent des scores plus bas (moins de 4,7 points) que les productions du locuteur-modèle (au moins 6 points). (Tableau 5)

|        | % Sentences Correctly Identified | Happy Ratings | Sad Ratings | Question Ratings | Neutral Ratings | Mean Rating Score |
|--------|----------------------------------|---------------|-------------|------------------|-----------------|-------------------|
| SPJ    | 52.8                             | 6.0           | 4.3         | 4.3              | 3.7             | 4.6               |
| SOG    | 25.0                             | 4.7           | 4.0         | 3.0              | 6.3             | 4.5               |
| SPH    | 19.4                             | 4.7           | 4.3         | 3.3              | 4.3             | 4.2               |
| SPF    | 50.0                             | 3.0           | 4.3         | 3.3              | 4.3             | 3.8               |
| CI Avg | 36.8                             | 4.6           | 4.2         | 3.5              | 4.7             | 4.3               |
| Model  | 58.3                             | 7.0           | 6.0         | 7.0              | 6.0             | 6.5               |

**Tableau 5: Scores de production des enfants implantés et du locuteur-modèle.(Bergeson et al. 2009)**

Les auteurs concluent en expliquant que les enfants sourds implantés semblent avoir des difficultés dans la production de la prosodie dans différents contextes. Il serait donc utile d'introduire la musique et la prosodie dans les séances de rééducation orthophonique.

Holler et al. (2010) observent le F0 (fréquence fondamentale ou hauteur du son) dans la production de la voyelle /a/ chez des enfants implantés bilatéralement.

Vingt-sept enfants de 3 à 15 ans font partie de l'étude. Ils doivent produire la voyelle /a/ trois fois pendant trois secondes. Cinq paramètres sont choisis pour l'analyse : le F0, le jitter (c'est-à-dire la perturbation de la fréquence à court terme), le shimmer (c'est-à-dire la perturbation de l'amplitude à court terme), le vF0 (c'est-à-dire la perturbation de la fréquence à long terme) et le vAm (c'est-à-dire la perturbation de l'amplitude à long terme). On utilise aussi des tests pour comparer la moyenne des valeurs acoustiques. Enfin, on observe également la corrélation entre les résultats et la durée d'utilisation de l'implant.

On compare les résultats des enfants implantés avec les normes pédiatriques.

Les enfants implantés ont des vF0 et des vAm plus élevés que dans les normes pédiatriques. Leur contrôle du F0 est aussi plus pauvre et l'intensité est plus faible, par contre, le jitter et le shimmer des enfants implantés sont conformes aux normes pédiatriques.

Si on regarde la corrélation entre les résultats et la durée d'utilisation de l'implant, on constate une amélioration du vF0 et du vAm dans le temps ainsi qu'un meilleur contrôle de la fréquence fondamentale.

Ainsi, plus l'enfant a été exposé aux sons, mieux il saura contrôler la fréquence fondamentale et l'intensité, même si la corrélation entre la durée d'utilisation de l'implant et les résultats n'est statistiquement significative que pour le vF0.

En conclusion, on peut dire que les enfants implantés semblent présenter des troubles de la production qui sont corrélés avec les troubles de la perception de parole de leurs

interlocuteurs. En effet, la perception des enfants implantés est moins bonne que celle des enfants entendants, ce qui influe sur la production des enfants implantés, comme par exemple pour la production des consonnes fricatives, où les enfants implantés ont de la difficulté à percevoir et donc à produire la différence entre les consonnes /s/ et /ʃ/ (Todd et al. 2011)

Enfin, il faut noter que les troubles de la production ne sont pas clairement caractérisés puisque les différentes études menées sur le sujet ont des résultats qui s'opposent entre eux ou qui diffèrent, en fonction de l'âge des enfants enregistrés de la méthode d'analyse utilisée...

# **PARTIE EXPERIMENTALE**

## **I.1. Méthodologie**

Comme nous l'avons expliqué plus tôt, nous cherchons à caractériser les aptitudes phonologiques des enfants sourds implantés en étudiant la qualité acoustique de leurs productions des voyelles et de certaines consonnes du français. Pour cela nous avons enregistré un groupe d'enfants implantés et un groupe contrôle d'enfants normo-entendants. Afin de rendre la tâche la plus naturelle possible, nous avons choisi d'étudier la production de mots simples, contenant les phonèmes cibles. Afin d'étudier l'éventuelle influence du modèle sonore adulte ainsi que l'éventuel rôle du retour auditif dans la production de parole, deux tâches ont été proposées. La première est une tâche de répétition, où le mot cible, représenté par une image, est présenté de façon auditive (enregistrement d'un adulte) à l'enfant qui le répète. La seconde est une tâche de dénomination assistée, au cours de laquelle l'enfant voit une image d'un objet ou d'un être vivant et doit le nommer. Les images à nommer sont celles de la tâche de répétition et sont donc connues des enfants. En cas de difficulté, l'enfant est aidé de l'expérimentatrice, l'étude ne portant pas sur l'accès lexical, mais sur la capacité à produire des mots sans modèle sonore.

Enfin, nous avons également pour objectif à plus long terme d'étudier la prosodie (notamment F0, durée, rythme) chez les enfants sourds implantés lors de la production de parole spontanée. Nous proposons pour cela une tâche de narration au cours de laquelle l'enfant raconte librement une série d'épisodes d'un dessin animé à une expérimentatrice assise en face de lui.

Cependant, par manque de temps, nous n'avons pas pu traiter les données recueillies lors de la tâche de narration, qui seront utilisées dans une étude ultérieure.

### **I.1.1. Choix du corpus pour les deux tâches de production de mots (tâches de répétition de mots et de dénomination assistée)**

Comme expliqué ci-dessus, afin d'analyser la parole des enfants sourds implantés, nous avons choisi de leur proposer une tâche de production de mots isolés courants en français. Nous avons également demandé à des enfants entendants de produire ces mots pour nous permettre de comparer la parole des enfants entendants avec celle des enfants sourds implantés.

Les enfants participant à notre étude ayant entre 6 et 9 ans, nous avons sélectionné des mots fréquents dans la langue française, et surtout étant connus par de jeunes enfants. Nous nous sommes aidés de la base de données LEXIQUE (<http://www.lexique.org>, New et al. (2004)<sup>1</sup>), qui nous a permis de trouver des mots correspondant à nos critères de choix.

#### **1.1.1. Mots utilisés pour l'analyse des consonnes**

En nous basant sur plusieurs études précédentes menées sur la parole des enfants sourds implantés présentées en introduction (Horga et Liker, 2006, Baudonck et al. 2010, Dillon et al. 2004, Unchanski et Geers, 2003, Ménard et al. 2007), nous avons choisi d'analyser les consonnes occlusives voisées /b d g/ et non voisées /p t k/ ainsi que trois consonnes fricatives, /f s ʃ/.

Nous avons choisi des items composés d'une consonne (C) en début de mot suivie d'une voyelle (V).

En effet, il a été montré, en français comme dans beaucoup de langues, que les phonèmes en début de mot sont articulés de façon plus soignée que dans d'autres positions (cf. par exemple pour le français, Fougeron & Keating, 1997). Ainsi, dans la langue ambiante, les phonèmes sont prononcés de façon plus claire, et donc plus perceptible pour les enfants, en position initiale de mot. De plus, le langage adressé à l'enfant contient de nombreux mots monosyllabiques (lait, chat, loup, pou, pot, lit, seau, chou, etc.) pour lesquels la seule position possible pour la consonne est initiale. Le choix de phonèmes en position initiale permet donc d'étudier la production de mots de différentes tailles syllabiques.

---

<sup>1</sup> LEXIQUE 2 : New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., Ferrand, L. (2004) Lexique 2 : A New French Lexical Database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36 (3), 516-524.

Afin de contrôler l'influence du contexte vocalique, nous avons cherché des mots commençant par les différentes consonnes, et suivies d'une part par une voyelle antérieure, /i/, et d'autre part par une voyelle postérieure /u/.

Pour une séquence CV cible, deux mots de difficulté différente étaient proposés à l'enfant.

En effet, la complexité de la séquence qui suit la première syllabe peut influencer la réalisation de celle-ci. Il peut être intéressant d'étudier si les enfants porteurs d'implants sont plus susceptibles de présenter des difficultés de production pour les mots complexes que les enfants normo-entendants. D'autre part, certains mots simples acquis tôt par les enfants peuvent rester dans une forme figée, comportant une erreur de production, et pourront être moins bien produits qu'un mot nouveau (et plus complexe) acquis lorsque l'enfant a une meilleure maîtrise de la phonologie de sa langue. Il est donc intéressant de ne pas se limiter aux mots « simples ». Ainsi le premier mot était composé d'une ou deux séquences CV ou CVC.CV, le deuxième mot était composé de trois syllabes dans la majorité des cas, ou d'une syllabe CV suivie d'un glide (semi-voyelle) ou d'un groupe consonantique.

Par exemple, pour la séquence CV /pi/ nous avons choisi tout d'abord le mot « pie » mot simple puisqu'il est composé d'une syllabe et le mot « pistache » mot que nous considérons comme plus complexe.

Au total, notre liste de mots pour les consonnes était composée de 36 mots.

|      |         |             |
|------|---------|-------------|
| /pi/ | pie     | pistache    |
| /pu/ | poupée  | poulpe      |
|      |         |             |
| /ti/ | ticket  | tirelire    |
| /tu/ | toupie  | tournesol   |
|      |         |             |
| /ki/ | kiwi    | kimono      |
| /ku/ | couteau | couverture  |
|      |         |             |
| /bi/ | biche   | bicyclette  |
| /bu/ | boucle  | bouteille   |
|      |         |             |
| /di/ | dix     | dinosaure   |
| /du/ | doudou  | douze       |
|      |         |             |
| /gi/ | guitare | guirlande   |
| /gu/ | goutte  | gouvernail  |
|      |         |             |
| /si/ | sirop   | cygne       |
| /su/ | soupe   | souterrain  |
|      |         |             |
| /fi/ | filet   | filtre      |
| /fu/ | four    | fourchette  |
|      |         |             |
| /ʃi/ | chiffon | chirurgien  |
| /ʃu/ | chou    | chouchouter |

Tableau 6: Liste des mots choisis pour les consonnes

## Mots utilisés pour l'analyse des voyelles

Pour l'analyse des voyelles, nous avons plus ou moins utilisé les mêmes critères de choix de mots que pour l'analyse des consonnes.

Notre premier critère de choix a été celui de mots commençant par une voyelle, ceci afin de minimiser l'impact de la coarticulation. Les voyelles retenues sont les dix voyelles orales du français, /i y e ε a ɔ o u œ ø / et trois voyelles nasales /ã ĩ ɔ̃/. Nous avons choisi de ne pas étudier la voyelle nasale /œ̃/ puisque qu'il s'agit d'une variante peu utilisée dans la région où les enfants sont testés.

Notre deuxième critère de choix a été celui de la complexité du mot. Ainsi, pour chaque voyelle choisie pour l'analyse, les enfants devaient produire deux mots d'une difficulté croissante. Le premier mot était composé d'une à deux syllabes, alors que le

deuxième mot était composé d'au moins deux syllabes, d'un groupe consonantique et/ou d'un glide.

Notre liste finale de mots sélectionnés pour l'analyse des voyelles comprenait 26 mots.

|      |         |               |
|------|---------|---------------|
| /a/  | avion   | artichaut     |
| /e/  | école   | éléphant      |
| /ɛ/  | aile    | herbe         |
| /i/  | île     | hippocampe    |
| /o/  | olive   | oreiller      |
| /ɔ/  | ortie   | ordinateur    |
| /u/  | houx    | ouvre-boîte   |
| /y/  | usine   | uniforme      |
| /œ/  | œil     | œuf de pâques |
| /ø/  | heureux | eucalyptus    |
| /ã / | enfant  | enveloppe     |
| /õ / | onze    | ombrage       |
| /ẽ / | indien  | infirmière    |

**Tableau 7: Liste des mots retenus pour l'analyse des voyelles**

### **I.1.2. Enregistrement des stimuli utilisés pour la tâche de répétition**

Les soixante-deux mots utilisés pour la tâche de répétition de mot ont été enregistrés cinq fois en chambre sourde par une locutrice adulte francophone, grâce à un enregistreur numérique de type Marantz PMD 670. Celle-ci devait prononcer les mots dans un style typique du langage adressé à l'enfant de façon à les rendre les plus intelligibles possible pour les enfants.

Ces enregistrements ont été présentés dans un ordre aléatoire à une autre locutrice adulte francophone, qui avait pour consigne de les transcrire orthographiquement puis de les noter sur une échelle de 1 à 5, en fonction de l'intelligibilité de la production (1= inintelligible et 5= parfaitement intelligible).

Nous avons sélectionné une production de chaque mot parmi celles notées de 4 à 5. Puis nous avons renommé les fichiers sonores par un nom composé de quatre lettres (exemple pour le mot « biche » → biSS.wav), format requis pour l'utilisation du script de présentation des stimuli (cf. ci-dessous).

### I.1.3. Condition de passation expérimentale

#### Description des participants implantés et conditions de passation

Nous avons enregistré cinq enfants implantés âgés de 5 à 10 ans (moyenne d'âge : 8 ans 3 mois), ayant été implantés unilatéralement entre 2 et 6 ans (moyenne d'âge à l'implantation : 3 ans 2 mois) et porteurs d'une prothèse auditive classique dans l'oreille non-implantée. Tous les enfants implantés enregistrés sont exempts d'autres pathologies que la surdité. Les audiogrammes des enfants implantés se trouvent en annexes.

Quatre des enfants implantés sont nés de parents entendants francophones, une enfant ayant été adoptée, nous ne savons pas si ses parents naturels sont entendants par contre ses parents d'adoption sont entendants.

Tous les enfants implantés ont été éduqués en communication orale, ont utilisé le code LPC à l'école et sont scolarisés dans une classe générale.

| ID  | Sexe | Etiologie de la surdité | Date de naissance | Age de découverte de surdité | Age lors de l'implantation | Age lors de la passation | Durée d'utilisation de l'implant | Classe |
|-----|------|-------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------|
| CI1 | F    | inconnue                | 06/01/2002        | 1,4                          | 3,8                        | 10,3                     | 6,7                              | CM1    |
| CI2 | F    | inconnue                | 23/02/2003        | 1,5                          | 3,3                        | 9,2                      | 5,11                             | CE2    |
| CI3 | G    | connexine 26            | 29/06/2004        | 2,6                          | 5,6                        | 7,10                     | 2,4                              | CE1    |
| CI4 | G    | inconnue                | 18/07/2006        | 1                            | 1,8                        | 5,9                      | 4,1                              | GSM    |
| CI5 | F    | Génétique               | 23/08/2003        | 1,1                          | 2                          | 8,8                      | 6,8                              | CE2    |

Tableau 8: Détails des enfants implantés

Tous les enfants implantés ont passé la tâche de narration et les tâches de production de mots au service d'ORL du CHU de Grenoble, dans une pièce calme réservée habituellement aux tests audiométriques, et étaient enregistrés via un enregistreur numérique de type Marantz PMD 670.

Les enfants passaient une première fois la tâche de répétition de mot, puis la tâche de narration et ceux qui étaient d'accord passaient une deuxième fois la tâche de répétition de mot.

Deux enfants implantés (CI1 et CI2) ont passé la tâche de répétition de mot une fois avec implant ON et une fois avec implant OFF. Deux enfants (CI3 et CI4) n'ont passé la tâche qu'une fois avec implant ON pour cause de fatigue, et la dernière participante implantée (CI5), ayant refusé d'éteindre son implant, a passé la tâche deux fois avec implant ON.

### **Description du groupe contrôle d'enfants normo-entendants et conditions de passation**

Notre groupe contrôle était composé de huit enfants normo-entendants. En raison des contraintes de temps du projet de recherche nous avons enregistré les entendants avant les enfants implantés. Pour cette raison les enfants entendants sont légèrement plus jeunes que les enfants implantés. Pour ne pas fausser nos résultats, nous avons dû exclure un enfant de cette étude, cet enfant étant bilingue anglais-français et produisant certains phonèmes avec une articulation typique des anglophones (aspiration des occlusives sourdes notamment).

Les sept enfants normo-entendants retenus pour l'étude (4 garçons et 3 filles) étaient âgés de 5 à 8 ans (moyenne d'âge : 6 ans et 17 mois)

Pour vérifier que les enfants normo-entendants n'avaient pas de problèmes auditifs, nous leur avons fait passer un audiogramme (cf. annexe).

| ID  | Sexe | Date de naissance | Age au moment de la passation | Classe |
|-----|------|-------------------|-------------------------------|--------|
| NH1 | G    | 05/05/2003        | 8,10                          | CE2    |
| NH3 | G    | 14/03/2006        | 6,11                          | GSM    |
| NH4 | G    | 30/10/2004        | 7,6                           | CE1    |
| NH5 | F    | 17/11/2004        | 7,4                           | CE1    |
| NH6 | G    | 24/04/2005        | 6,11                          | CP     |
| NH7 | F    | 24/04/2005        | 6,11                          | CP     |
| NH8 | F    | 29/09/2006        | 5,6                           | GSM    |

**Tableau 9: Détails des enfants normo-entendants**

Pour les tâches de répétition de mots et de dénomination assistée, tous les enfants normo-entendants ont été enregistrés individuellement en chambre sourde alors que la tâche de narration a été enregistrée dans une pièce calme. Lors de cette dernière tâche, l'enfant et l'expérimentatrice sont assis face à face et filmés chacun par un caméscope numérique de type Sony HDR-XR500. Ceci permet de recueillir, en plus de la parole, les gestes manuels

effectués par les enfants, en vue d'une étude parallèle sur l'utilisation compensatoire des gestes lorsque la parole est perturbée. Pour une meilleure qualité de l'enregistrement sonore, l'enfant porte un micro-cravate. Lors des deux tâches de production de mots, les enfants sont enregistrés avec un microphone AKG 1000S et un enregistreur numérique de type Marantz PMD 670.

Les enfants passaient la tâche de répétition de mots en premier lieu, puis la tâche de narration et enfin la tâche de production de mot. Nous avons choisi cet ordre, intercalant la narration entre les deux tâches de production, afin de limiter l'influence de la tâche de répétition de mots sur la tâche de production.

### **Description du test ELO**

Pour contrôler le niveau de langage oral des enfants, nous leur avons également fait passer une partie du test ELO (Khomis, 2002). La batterie d'Évaluation du Langage Oral (ELO) de Khomsi (2002) est étalonnée de la Petite Section de maternelle au CM2. Nous avons choisi trois épreuves : une épreuve de répétition de mots qui évalue la phonologie lexicale, une épreuve de Lexique en Réception (LexR), qui évalue le vocabulaire réceptif de l'enfant, et où il doit désigner une image parmi quatre à partir d'un nom d'objet proposé et enfin une épreuve de Production d'Énoncés, qui évalue la production linguistique, dans laquelle l'enfant complète une phrase du type : « sur cette image, il n'y a qu'un seul oiseau ; sur l'autre image il y a... ». Cette dernière épreuve permet de mettre en évidence d'éventuels troubles linguistiques, si l'enfant présente des problèmes dans la morphologie ou la syntaxe, ou pragmatiques, si l'enfant ne tient pas compte du contexte linguistique ou pragmatique qu'on lui propose.

Les enfants entendants et quatre enfants implantés ont passé les trois épreuves. Un des enfants implantés n'a pas passé l'épreuve de production d'énoncés, pour cause de fatigue. Deux des enfants implantés ont eu besoin, pour l'épreuve de répétition de mot, que les mots leur soient proposés en les codant avec le LPC.

Tous les enfants entendants ont obtenu des résultats égaux ou supérieurs à la moyenne de leur classe. Trois des enfants implantés ont obtenu des résultats légèrement inférieurs à la moyenne de leur classe, et deux des enfants implantés ont obtenu des résultats bien en dessous de la moyenne de leur classe, particulièrement lors du test de répétition de mots, où beaucoup de phonèmes sont oubliés.

#### **I.1.4. Passation des tâches de répétition et de dénomination assistée**

Pour les tâches de répétition et de production sans modèle sonore, nous avons utilisé le script « Show&Play » développé par Mary Beckman dans le cadre du projet Paidologos (<http://learningtotalk.org/?q=node/24>) et utilisé sous le logiciel TCL-TK (<http://www.tcl.tk/>). Ce script permet de faire défiler des photographies accompagnées des sons correspondants, diffusés par des haut-parleurs reliés à l'ordinateur. De plus, sur la gauche de l'écran, on peut voir un canard montant sur une échelle en fonction de l'avancée de l'enfant dans la tâche. Cette application a été ajoutée pour ajouter un côté ludique à l'expérimentation, et ainsi motiver les plus jeunes enfants à finir le test.

Toutes les images choisies pour ces deux tâches sont des photographies, afin d'éviter de perturber les enfants par un graphisme irréaliste.

Pour la tâche de répétition de mots, l'enfant est assis devant un ordinateur, l'expérimentatrice à côté de lui, il voit une photographie (par exemple la photographie d'une pie) et entend en même temps le mot « pie », à la suite de quoi il doit répéter le mot. Si un bruit a perturbé la diffusion du son, il est possible de rejouer le stimulus audio.

Les conditions pour la tâche de dénomination assistée sont similaires à celles de la tâche de répétition, en dehors du fait que les haut-parleurs sont désactivés ; ainsi les stimuli ne sont plus auditifs et visuels mais seulement visuels. Les mots à produire sont les mêmes que dans la tâche de répétition. Hormis pour les deux premiers sujets normo-entendants, les stimuli de la tâche de répétition ont été présentés dans un ordre aléatoire différent de celui de la tâche de production.

Lors de la tâche de production sans stimulus audio, lorsque l'enfant se trompe de mot (par exemple quand il dit « coussin » à la place de « oreiller ») ou qu'il ne trouve pas le mot, l'expérimentatrice essaye de lui faire deviner le mot, en proposant une définition ou un rébus à l'enfant. La consigne est donnée à l'expérimentatrice de ne pas prononcer la première syllabe du mot afin d'éviter d'influencer la production de l'enfant. Toutefois, si l'enfant n'arrive pas à dénommer correctement malgré les aides fournies, l'expérimentatrice peut chuchoter le mot à produire.

Par contre si l'enfant a produit le mot « chouchoute » à la place du mot « chouchouter » nous avons gardé la production pour analyse, puisque la syllabe cible était correcte.

Pour certains des enfants implantés, la tâche de répétition de mots a été effectuée une deuxième fois, leur implant étant éteint. Cette tâche de répétition implant OFF est donc similaire à la tâche de dénomination assistée passée par les enfants normo-entendants, puisque les enfants n'entendaient alors pas le modèle sonore. Notons que la tâche avec implant OFF est rendue plus difficile que la tâche de dénomination assistée des normo-entendants, par le fait que les enfants implantés n'ont alors qu'un très faible retour auditif (voire aucun retour) sur leurs propres productions.

## **Passation de la tâche de narration**

Pour la tâche de narration, nous avons utilisé un extrait d'un dessin animé sans parole, tiré de la série des Tom & Jerry (« Hatch Up Your Troubles », réalisé par Hanna & Barbera, 1949), découpé en huit épisodes d'une ou deux minutes chacune. L'enfant, assis en face de l'expérimentatrice, regarde les séquences une par une, l'ordinateur portable sur les genoux. A la suite du visionnage de chaque séquence, l'ordinateur est repris par l'expérimentatrice, et l'enfant doit raconter ce qui s'est passé dans l'épisode. Si l'enfant n'a pas beaucoup développé sa narration, l'expérimentatrice le guide en posant des questions du type « mais alors, à ce moment là, qu'a fait la souris ? »

### **I.1.5. Traitement des données**

Le premier objectif de ce travail est, comme expliqué plus haut, de comparer la qualité acoustique des productions de parole des enfants implantés cochléaires à celles des enfants normo-entendants. Nous avons choisi d'analyser les voyelles du français ainsi que les consonnes occlusives voisées /b d g/ et non voisées /p t k/ ainsi que trois consonnes fricatives, /f s ʃ/.

Afin d'évaluer la qualité des voyelles, nous proposons d'effectuer des mesures de fréquence fondamentale (F0) et de formants (F1 et F2 essentiellement).

Afin d'évaluer la qualité des paires voisées / non-voisées (/p/-/b/, /t/-/d/ et /k/-/g/), nous proposons de mesurer le délai de voisement (Voice Onset Time ou VOT, délai d'apparition du voisement à partir de l'explosion consonantique).

Afin d'évaluer la qualité des consonnes fricatives, nous proposons des mesures de moments spectraux.

De plus, nous proposons de mesurer la durée des syllabes et phonèmes cibles, ces données étant susceptible d'être exploitées dans une prochaine étude.

Le second objectif est de comparer la prosodie des enfants sourds implantés à celle des enfants normo-entendants lors de la production de parole spontanée. Nous proposons pour cela des mesures de fréquence fondamentale (F0), de durée, et de rythme, qui seront effectuées dans un travail ultérieur.

### **Annotation des productions lors des tâches de répétition et de production**

Pour préparer l'analyse des productions des enfants pour les tâches de répétition et de dénomination assistée, les fichiers sons ont été importés sous le logiciel Praat (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>), et une segmentation semi-automatique mot par mot, grâce à un script, a été effectuée.

Chaque mot était ensuite annoté dans un fichier .TextGrid selon des critères précis, permettant la mesure du VOT pour les occlusives et des moments spectraux pour les fricatives. Pour les occlusives, trois lignes d'annotation (dit « tiers » sous Praat) étaient utilisées. Une ligne pour les syllabes cibles (début et fin de chaque syllabe initiale de mot) appelée « syllabe », une ligne pour les repères servant à calculer le VOT et les formants, appelée « VOT-formants », une ligne pour les phonèmes cibles (V ou C et V) appelée « début VC ». Pour les voyelles et les fricatives, seules les deux premières lignes étaient utiles. Plus précisément, les annotations ont été les suivantes.

Pour les consonnes occlusives sourdes (cf. Figure 31) :

- sur la ligne « syllabe » : transcription de la syllabe

- sur la ligne « début VC » :

-C: début de la consonne (aligné en principe avec le début de l'explosion consonantique ou burst)

-V: début de la voyelle (aligné en principe avec le début du voisement)

- sur la ligne « VOT-formants » :

-b: début du burst

-dv: début du voisement

Pour les consonnes occlusives voisées (cf. Figure 32) :

- sur la ligne « syllabe » : transcription de la syllabe
- sur la ligne « début VC » :
  - C: début de la consonne (aligné en principe avec le début du voisement)
  - V: début de la voyelle
- sur la ligne « VOT-formants » :
  - b: début du burst
  - dv: début du voisement

Pour les consonnes fricatives (cf. Figure 33) :

- sur la ligne « syllabe » : transcription de la syllabe
- sur la ligne «début VC» :
  - C : début de la consonne (au début du bruit de friction)
  - V : début de la voyelle

Pour les voyelles (cf. Figure 34):

- sur la ligne « syllabe » : transcription de la voyelle ; les scripts sous R ne prenant pas en compte les accents ni les caractères API, nous les avons nommé comme ceci :

| caractère API | transcription Praat | caractère API | transcription Praat | caractère API | transcription Praat |
|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| e             | eA                  | ɔ             | au                  | a             | a                   |
| ɛ             | eG                  | o             | o                   | ã             | an                  |
| y             | y                   | ø             | eu                  | õ             | on                  |
| u             | u                   | œ             | oe                  | ẽ             | in                  |

- sur la ligne « VOT-formants » :
  - Fi : moment où les formants vocaliques sont stables

Les critères précis utilisés pour l'annotation étaient les suivants.

Pour les consonnes occlusives, l'étiquette de début du burst a été placée dès le début de la zone perturbée (qui ne correspond pas nécessairement à un passage par zéro). L'étiquette de début du voisement a été placée dès que le signal acoustique devient périodique. (cf. Figure 35)

Pour les consonnes fricatives, l'étiquette de début de la consonne a été placée dès le début du bruit de friction.

Pour les voyelles, l'étiquette de début de la voyelle a été placée sur le passage par zéro du front montant du premier cycle vocalique. L'étiquette de fin de la voyelle a été placée au passage par zéro du front descendant du premier cycle vocalique ne présentant plus de structure formantique détectable.

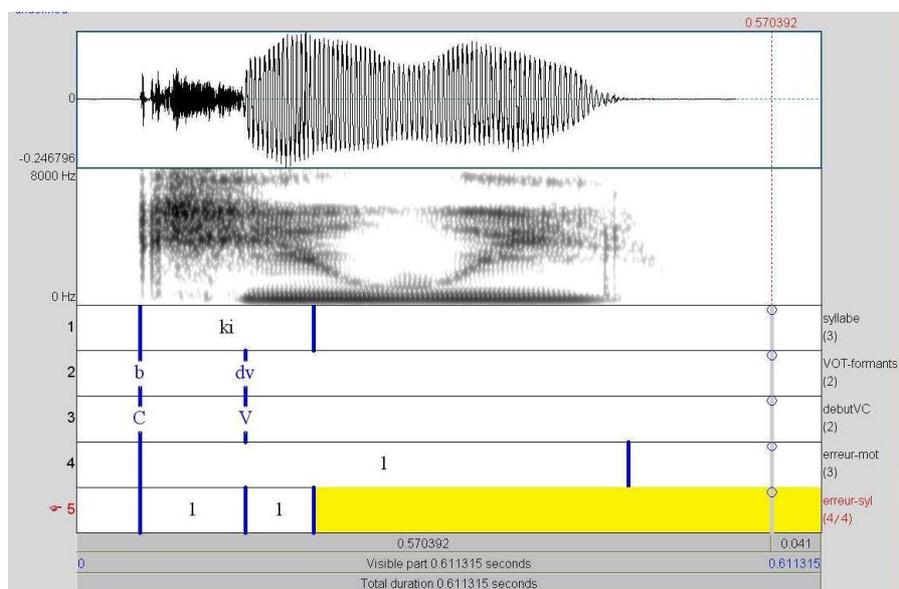


Figure 31: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne occlusive sourde ("kiwi")

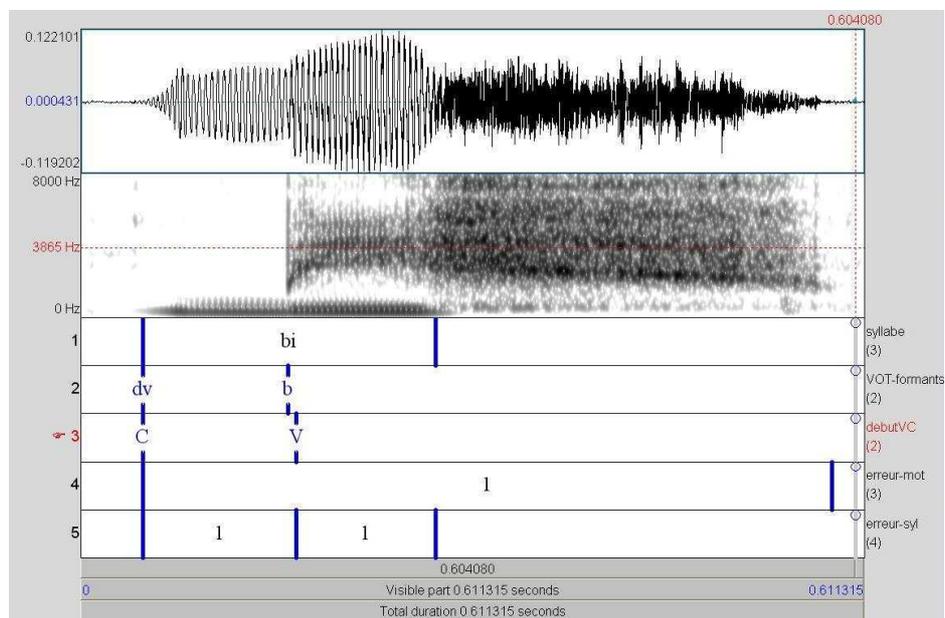
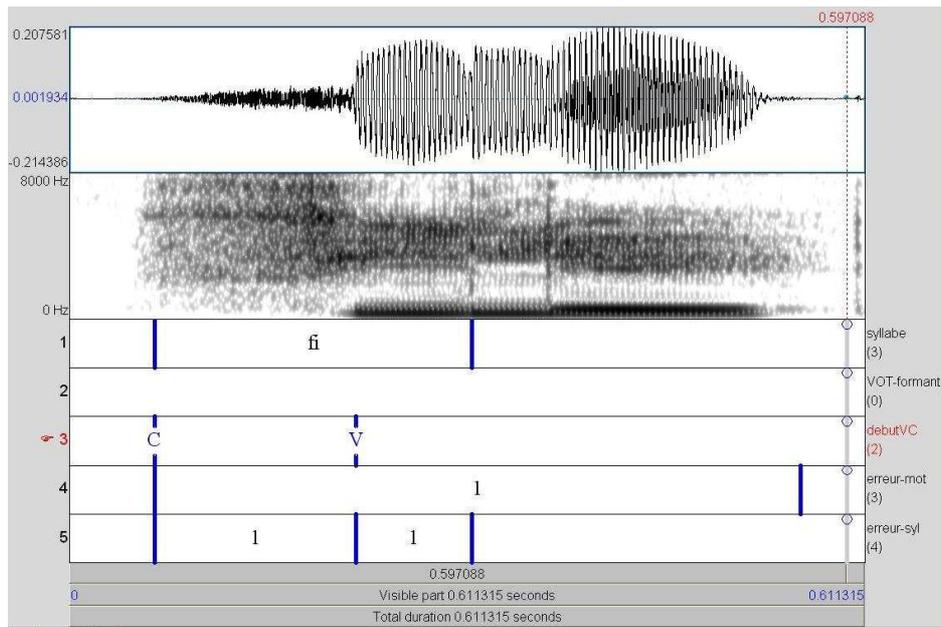
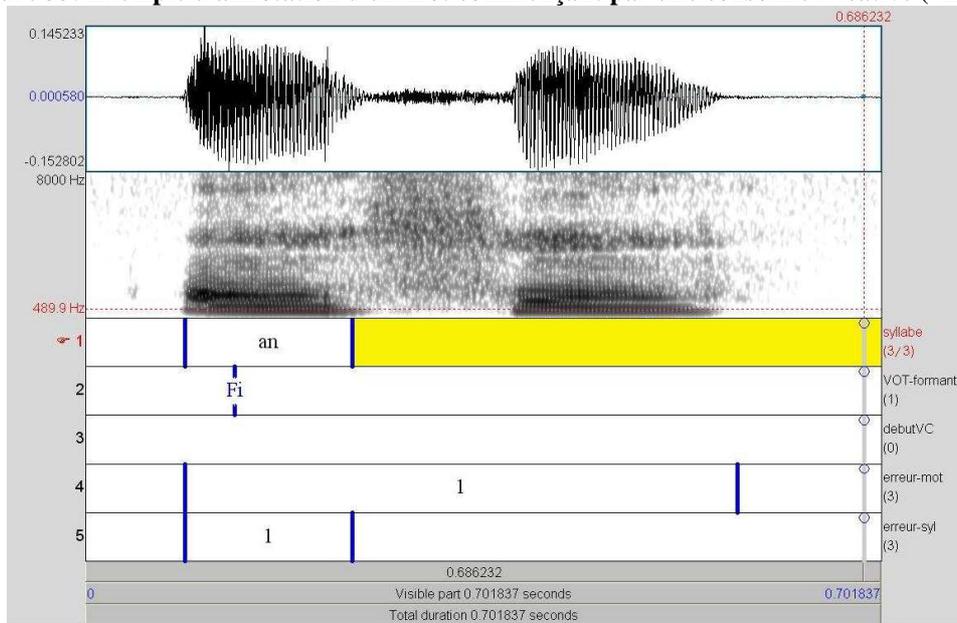


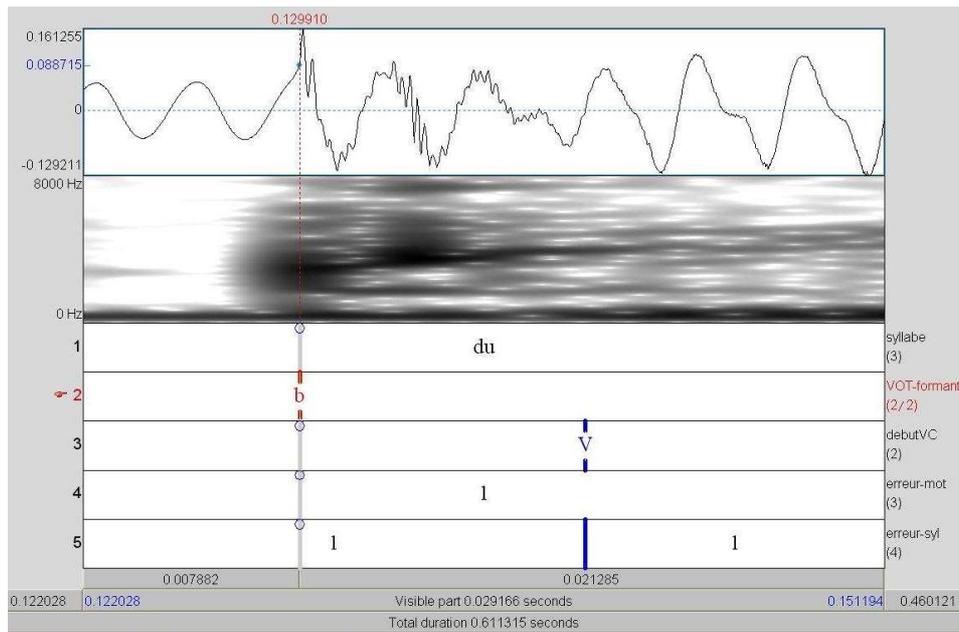
Figure 32: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne occlusive voisée ("biche")



**Figure 33: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne fricative ("filet")**



**Figure 34: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une voyelle ("enfant")**

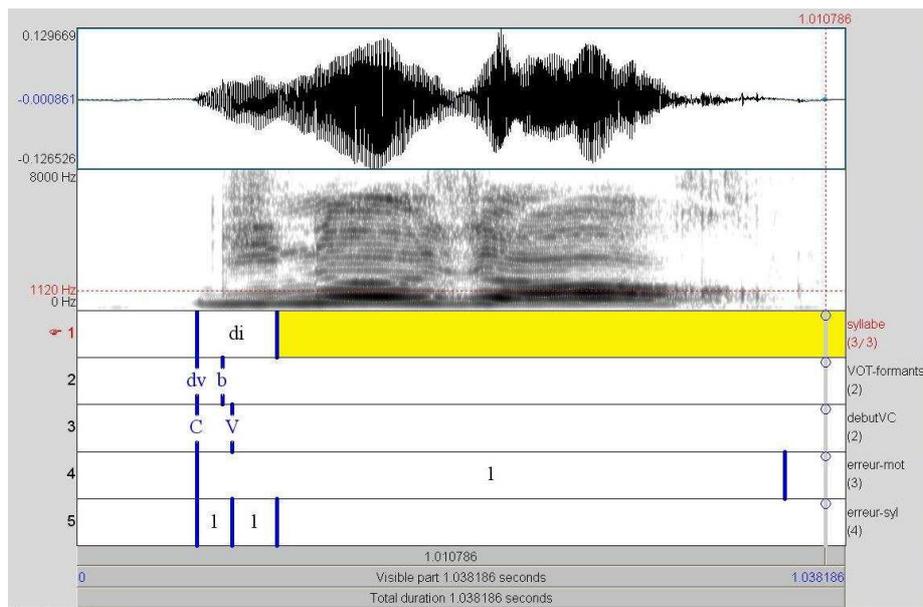


**Figure 35: Exemple d'annotation du burst et du voisement pour une consonne occlusive voisée (dans le mot "doudou")**

## Transcription des erreurs de production

Lorsque les productions des enfants ne correspondaient pas à la cible de production proposée, nous avons opté pour un codage des erreurs perçues, en plus de l'analyse acoustique.

Nous avons ajouté dans le fichier .textGrid, une ligne pour l'étiquetage de la justesse de la production du mot entier, appelée « erreur-mot » et une ligne, appelée « erreur-syl » pour l'étiquetage de la justesse de production de la syllabe initiale (cf. Figure 36). Dans la ligne erreur-mot, nous avons étiqueté le mot, tandis que dans la ligne erreur-syl, nous avons étiqueté soit la voyelle seule (dans le cas des mots commençant par une voyelle) soit la consonne initiale et la voyelle séparément (dans le cas des mots commençant par une syllabe CV). Les codes utilisés pour l'étiquetage perceptif étaient 0 (incorrect) et 1 (correct).



**Figure 36: annotation de la justesse de production pour le mot dinosaure chez un enfant implanté. Dans cet exemple, l'enfant n'a fait aucune erreur de production, ni sur la syllabe initiale ni sur le mot, les étiquettes sont donc toutes à 1.**

Si une erreur était remarquée, nous avons décidé de préciser les types d'erreur dans une ligne spéciale nommée « erreur » (cf. Figure 37). Le codage choisi est inspiré de celui du projet Paidologos, mentionné plus haut.

- « deletion » : suppression du son attendu, pas de production du son cible et pas de remplacement
- « devoisement » : quand la consonne cible voisée est dévoisée
- « voisement » : quand la consonne cible sourde est voisée
- « substitution » : substitution du phonème par un autre. Par exemple, si l'enfant produit un [e] à la place de [ø] attendu, on notera « substitution \$e »
- « substitution mot » : quand l'enfant produit un autre mot que celui attendu.
- « insertion » : quand l'enfant insère un phonème avant la consonne ou la voyelle initiale (/ndi/ au lieu de /di/)
- entre deux sons : exemple, l'enfant prononce un son entre /s/ et /t/ pour une cible /t/ on note « s : \$t ».

Si la première syllabe est juste mais que le reste du mot est faux, on mettra 1 à la syllabe et 0 au mot. On n'ajoutera pas de ligne « erreur » si c'est une substitution de phonèmes dans une autre syllabe que la première (ex : [turnøSɔl] au lieu de /turnøsol/).

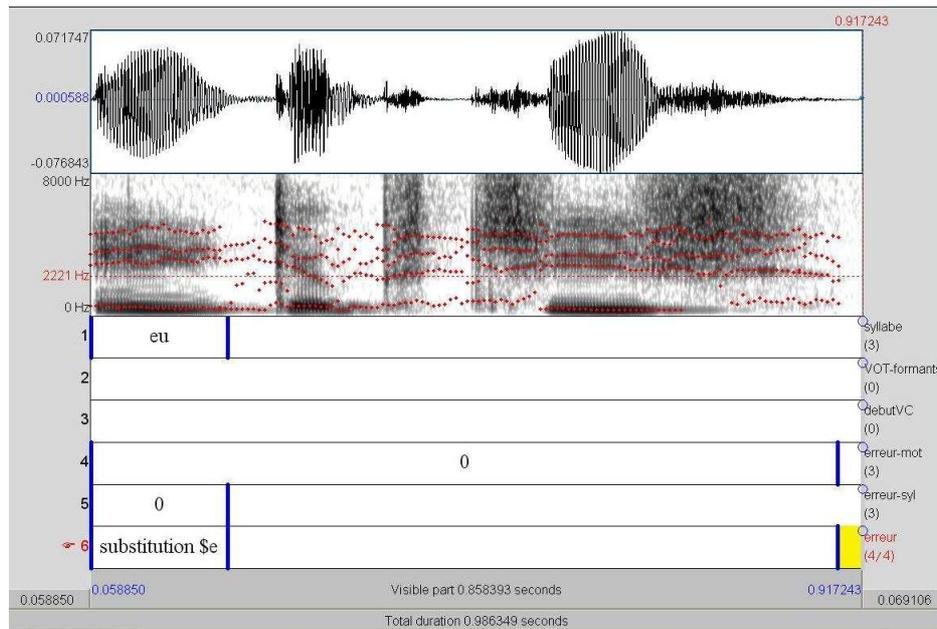


Figure 37: annotation des erreurs de production du mot « eucalyptus » chez un enfant implanté

### I.1.6. Pré-traitement des productions de la tâche de narration

Pour préparer l'analyse des productions des enfants pour la tâche de narration, nous avons exporté les fichiers vidéo .mpg fournis par le caméscope numérique dans le logiciel Avidemux qui a permis de les séparer en fichiers audio .wav et en fichiers vidéo .avi.

## I.2. Analyse des données

### I.2.1. Analyse des erreurs de production

Nous avons utilisé un script Praat qui nous a permis d'extraire le codage des erreurs de production.

Nous avons effectués des calculs de pourcentages pour connaître le taux de réponses correctes pour chaque groupe d'enfants.

Par contre, nous n'avons pas eu le temps d'extraire les annotations de type d'erreurs.

## Analyse des consonnes fricatives

Afin d'analyser les consonnes fricatives, nous nous sommes basés sur les études de Li et al. (2009) et de Nissen & Fox (2005), qui étudient les caractéristiques acoustiques et spectrales chez des enfants.

Nous avons tout d'abord utilisé un script Praat pour extraire les données précédemment annotées dans les fichiers TextGrid. Le script utilisé permet d'obtenir les valeurs de durées de la syllabe initiale et de la consonne, ainsi que quatre moments spectraux : centre de gravité, écart-type, coefficient de dissymétrie et kurtosis. Li et al. (2009) expliquent à quoi correspondent les moments spectraux :

« Une méthode communément utilisée pour examiner les propriétés spectrales du bruit de friction des consonnes fricatives est l'analyse des moments spectraux, dans laquelle le spectre de puissance est traité comme une distribution de probabilité c'est-à-dire que les moments mathématiques peuvent être calculés.

Le premier moment spectral (la moyenne ou le centre de gravité) est très utile pour distinguer les consonnes /s/ et /ʃ/ en anglais. Dans un spectre où il y a seulement un mode proéminent, la fréquence du premier moment est corrélée négativement avec la longueur de la cavité de résonance avant, ce qui permet de décrire où la constriction est faite, relativement à la longueur de la cavité orale. » Traduit de Li et al. (2009)

Ainsi, /s/ qui est alvéolaire, aura un centre de gravité plus haut en fréquence que /ʃ/, qui est post-alvéolaire.

« Le second moment spectral (écart-type) ne semble pas utile pour distinguer les deux fricatives sibilantes de l'anglais, mais il est plutôt utilisé pour différencier une forme spectrale diffuse et plate, comme pour la consonnes /f/ d'une forme compacte et pointue, comme pour /s/. [...] » Traduit de Li et al. (2009) /s/ et /ʃ/, qui sont compactes, auront un écart-type faible, alors que /f/ en aura un plus large.

Le troisième moment spectral (« skewness » en anglais ou le coefficient de dissymétrie), décrit la répartition de l'énergie du spectre par rapport à la moyenne.

« Il est lui aussi utile pour distinguer la consonne /s/ et la consonne /ʃ/ en anglais, car il est corrélé avec le lieu d'articulation. En général, /ʃ/ a une valeur positive, ce qui indique une concentration d'énergie dans les fréquences les plus basses, sous la valeur moyenne, alors que

/s/ va avoir une valeur négative, ce qui indique une concentration de l'énergie dans les fréquences hautes, au-dessus de la valeur moyenne. » Traduit de Li et al. (2009)

Le quatrième moment spectral (kurtosis ou coefficient d'aplatissement), décrit l'aplatissement vs acuité du pic spectral, c'est-à-dire le fait que l'énergie soit concentrée sur une bande de fréquences large vs étroite. Il est corrélé par exemple avec le contraste entre une articulation apicale vs laminaire : Nissen et Fox (2005) montrent que le /s/ apical de l'anglais se distingue du /ʃ/ laminaire par une valeur de kurtosis plus basse chez l'adulte.

« L'analyse des moments spectraux a aussi été utilisée pour classer les productions des fricatives dans la parole des enfants anglophones. Nittrouer (1995) l'a utilisé pour comparer les productions de /s/ et /ʃ/ chez des enfants âgés de 3 à 7 ans à celles des adultes. Elle trouve une plus grande variabilité dans les productions des enfants par rapport à celles des adultes. Nissen and Fox (2005) ont trouvé que le premier et le troisième moments spectraux sont très utiles pour classer les productions des consonnes /s/ et /ʃ/ chez des enfants âgés de 3 à 6 ans. » Traduit de Li et al. (2009)

Ensuite, nous nous sommes servis de deux scripts fonctionnant avec le logiciel de statistiques R (<http://www.r-project.org/>) pour créer des figures.

Le premier script permet de comparer les valeurs des moments spectraux des enfants implantés par rapport à celles des enfants entendants, en fonction des syllabes (fi, si, ʃi, fu, su ʃu) et des lieux d'articulation des consonnes (labiodentale, alvéolaire et post-alvéolaire).

Le second script permet de comparer les valeurs des moments spectraux selon les tâches effectuées (c'est-à-dire, pour les enfants implantés les tâches de répétition avec implant on ou off, et pour les enfants entendants, la tâche de répétition et la tâche de production), en fonction des syllabes et des lieux d'articulation.

Enfin, des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées sur les données, pour les deux groupes d'enfants, en fonction des syllabes, des lieux d'articulation, et des tâches. Nous avons également effectué des tests t (appelés aussi tests de Student), pour comparer les résultats des deux groupes d'enfants, ceci afin de déterminer pour quels lieux d'articulation les résultats sont significativement différents.

## **Analyse des consonnes occlusives**

Pour analyser les consonnes occlusives, nous nous sommes également servis des logiciels R et Praat.

Un premier script, utilisé sous Praat, nous a permis d'extraire les valeurs annotées dans les fichiers TextGrid, c'est-à-dire le burst, ou explosion consonantique, et le début du voisement et de la voyelle suivante. A partir de ces valeurs, le script calcule le VOT et la durée de la consonne.

Un second script, utilisé sous R, a servi à créer des figures comparant la valeur des VOT chez les deux groupes d'enfants ou dans les différentes tâches, en fonction des lieux d'articulation (labial, alvéolaire, vélaire) ou des modes (voisé vs. non-voisé). Ce script a aussi créé des figures comparant les valeurs de VOT selon le lieu ou le mode d'articulation, par répétition et ce pour chaque groupe d'enfants, une figure comparant la moyenne des VOT pour chaque groupe d'enfants selon le mode et une figure comparant la fréquence des VOT chez les deux groupes d'enfants.

Comme pour les consonnes fricatives, des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées sur les mesures de VOT, en fonction du lieu et du mode d'articulation, pour les syllabes et les deux groupes d'enfants. Nous avons également réalisé des tests t pour les comparaisons entre les deux groupes d'enfants afin de savoir pour quels lieux ou quels modes d'articulation les résultats sont significativement différents.

## **Analyse des voyelles**

Pour l'analyse des voyelles, nous nous sommes aussi servis des deux logiciels Praat et R. Nous avons extrait les valeurs de formants et de durées de voyelles grâce à un script Praat, puis nous avons utilisé un script avec le logiciel R pour créer les triangles vocaliques en bark et en Hertz, ce qui nous a permis d'obtenir, à partir du même script, la taille de l'espace vocalique de chaque enfant, pour chaque tâche. Nous avons choisi de calculer les valeurs en bark car il s'agit d'une échelle plus représentative de la perception de l'oreille humaine.

La formule utilisée pour calculer les données en bark à partir de valeurs en Hz est celle utilisée par Traunmuller (1990):

$$\text{donnees\_bark} = (26.81 / (1 + (1960 / \text{donnees\_Hz}))) - 0.53$$

Pour calculer la taille de l'espace vocalique de chaque enfant, nous avons utilisé la formule proposée par Löfqvist (2010) qui consiste à calculer la moyenne des distances euclidiennes entre chaque voyelle et la moyenne des voyelles dans l'espace F1/F2.

Le logiciel Praat ne nous ayant pas permis d'obtenir des valeurs correctes des formants des voyelles nasales, les pics spectraux étant de faibles amplitudes pour ces voyelles, et n'ayant pas le temps d'obtenir ces valeurs par un autre moyen, nous avons choisi de ne pas traiter les données des voyelles nasales.

### I.3. Résultats

#### I.3.1. Accuracy

Les enfants implantés ont des scores de productions correctes inférieurs à ceux des enfants entendants, que ce soit pour les consonnes occlusives ou fricatives ou pour les voyelles. (Cf. Tableau 10: Taux de productions correctes pour chaque groupe d'enfants (CI= enfants implantés, NH=enfants entendants))

On constate également que les enfants implantés ont des scores plus élevés pour la syllabe initiale par rapport au mot entier. En effet, les enfants ont souvent produit correctement la syllabe initiale alors que le mot entier n'était pas correctement produit. On suppose que les enfants se concentraient sur la production de la syllabe initiale et non sur le mot entier.

| <b>Accuracy VOT</b>     | mot    | syllabe initiale | consonne | voyelle |
|-------------------------|--------|------------------|----------|---------|
| CI                      | 73,96% | 91,67%           | 87,50%   | 95,83%  |
| NH                      | 86,35% | 92,88%           | 89,32%   | 96,34%  |
| <b>Accuracy fric</b>    | mot    | syllabe initiale | consonne | voyelle |
| CI                      | 62,50% | 86,46%           | 84,38%   | 88,54%  |
| NH                      | 90,36% | 96,39%           | 96,99%   | 95,78%  |
| <b>Accuracy voyelle</b> | mot    | voyelle          |          |         |
| CI                      | 69,90% | 83,50%           |          |         |
| NH                      | 95,88% | 95,88%           |          |         |

**Tableau 10: Taux de productions correctes pour chaque groupe d'enfants (CI= enfants implantés, NH=enfants entendants)**

Nous avons ensuite calculé le taux de productions correctes pour chaque lieu d'articulation pour les consonnes fricatives. (Cf. Tableau 11)

| <b>accuracy fricatives</b> | labiodentales | alvéolaires | post alvéolaires |
|----------------------------|---------------|-------------|------------------|
| CI                         | 84%           | 87%         | 81%              |
| NH                         | 94%           | 100%        | 93%              |

**Tableau 11: Taux de productions correctes des consonnes fricatives pour chaque groupe d'enfants en fonction du lieu d'articulation de la consonne.**

On constate que les enfants implantés ont des taux de productions correctes inférieurs pour les post-alvéolaires (/ʃ/) et les labiodentales (/f/) que pour les consonnes alvéolaires (c'est-à-dire /s/).

### **I.3.2. Résultats pour les consonnes fricatives**

#### **Résultats pour les consonnes fricatives comparant enfants entendants et enfants implantés**

Nous avons commencé par comparer les caractéristiques des consonnes fricatives pour les deux groupes d'enfants, normo-entendants (notés NH pour « normally hearing ») et implantés cochléaires (notés CI pour « cochlear implant »).

Les résultats des deux groupes d'enfants sont comparés pour chaque moment spectral (centre de gravité, variance, coefficient de dissymétrie, kurtosis), selon le lieu d'articulation.

Les résultats de l'analyse du premier moment spectral sont fournis sur la figure 1. On observe que pour les enfants NH, la valeur du centre de gravité croît en fonction du lieu d'articulation dans l'ordre suivant : post-alvéolaire, labiodental, alvéolaire (Moyenne des valeurs de centre de gravité pour les consonnes fricatives des enfants entendants : post alvéolaires=4102 ; labiodentales=5601 ; alvéolaires =6269). Ce résultat est conforme à ce qui est observé classiquement chez l'adulte (cf. Nissen & Fox, 2005). Les enfants normo-entendants que nous avons enregistré semblent donc avoir acquis les schémas de production du premier moment spectral pour les fricatives. Rappelons de plus que ce moment spectral permet de distinguer les consonnes /s/ et /ʃ/. Il semble donc que les enfants NH de notre étude différencient bien ces deux consonnes.

L'ordre classique des lieux d'articulation pour la valeur du centre de gravité n'est pas retrouvé pour les enfants implantés (Moyennes des valeurs de centre de gravité pour les consonnes fricatives des enfants implantés : labiodentales=3446 ; post alvéolaires=4128 ; alvéolaires=5548). On trouve en effet une valeur du centre de gravité plus élevé pour les post-

alvéolaires que les labiodentales. Il se peut donc que les enfants implantés de notre étude produisent une moins nette distinction entre les consonnes fricatives en termes de ce moment spectral.

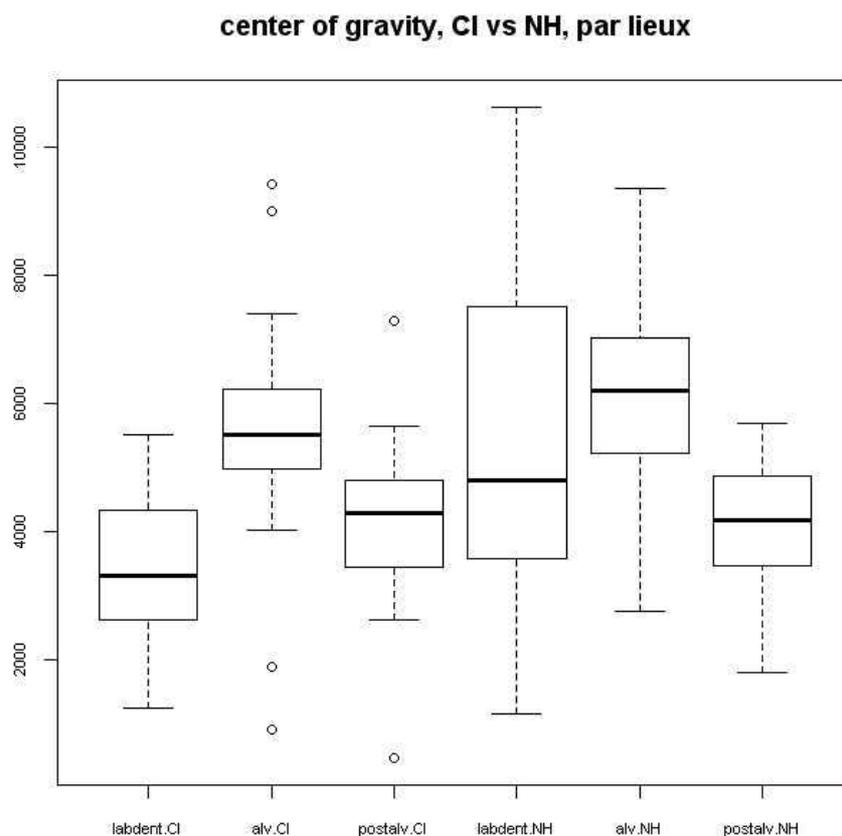
Pour confirmer les tendances observées sur les valeurs moyennes du premier moment spectral présentées sur la figure 1, nous avons réalisé une analyse de variance, avec comme facteurs le lieu d'articulation (trois niveaux : labiodental, alvéolaire, post-alvéolaire) et le groupe de sujets (deux niveaux : NH, CI), qui nous montre qu'il y a un effet significatif du lieu d'articulation ( $F(2,20) = 9.5, p=0.001$ ) et du groupe de sujets ( $F(1,10)=6.37, p=0.045$ ). Par contre, il n'y a pas d'effet significatif de l'interaction entre le groupe de sujets et le lieu d'articulation ( $F(2,20)=2.29, p>0.1$ ).

| Error: sujet  |    |          |          |         |         |
|---|----|----------|----------|---------|---------|
|   | Df | Sum Sq   | Mean Sq  | F value | Pr(>F)  |
| groupe  | 1  | 42146894 | 42146894 | 6.375   | 0.045 * |
| lieu  | 2  | 27200570 | 13600285 | 2.057   | 0.209   |
| groupe:lieu   | 2  | 14191528 | 7095764  | 1.073   | 0.400   |
| Residuals   | 6  | 39667839 | 6611307  |         |         |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |          |          |         |         |

| Error: sujet:lieu   |    |          |          |         |            |
|---|----|----------|----------|---------|------------|
|   | Df | Sum Sq   | Mean Sq  | F value | Pr(>F)     |
| lieu  | 2  | 1,67E+08 | 83300990 | 9.497   | 0.00126 ** |
| groupe:lieu   | 2  | 40240080 | 20120040 | 2.294   | 0.12680    |
| Residuals   | 20 | 1,75E+08 | 8771180  |         |            |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |          |          |         |            |

**Tableau 12: Anova des valeurs du centre de gravité par lieux d'articulation selon le groupe de sujets**

Nous avons représenté les valeurs du troisième moment spectral par lieux d'articulation chez les enfants implantés et les enfants entendants dans un graphique (Cf. Figure 38), ce qui nous a permis d'observer que les enfants implantés ont des valeurs de centre de gravité pour la consonne fricative labiodentale /f/ inférieures à celles des enfants entendants, même si ce n'est pas significatif. On suppose que la tendance des enfants implantés à produire des centres de gravité inférieurs à ceux des enfants entendants est due à l'implant cochléaire. En effet, l'implant a une meilleure résolution des fréquences basses, ce qui implique que l'enfant sourd implanté va mieux percevoir les fréquences basses et cette perception pourrait influencer leur production. Cependant, il faudrait vérifier si cette tendance est présente chez un plus grand nombre d'enfants.



**Figure 38: Valeurs du centre de gravité pour les deux groupes d'enfants selon le lieu d'articulation.**

Les valeurs moyennes du second moment spectral sont plus élevées pour les labiodentales (Moyennes des valeurs de l'écart-type pour les consonnes fricatives des enfants implantés : labiodentales=2577 alvéolaires=2233 post alvéolaires=1770 Moyennes des valeurs de l'écart-type pour les consonnes fricatives des enfants entendants : labiodentales=3399 alvéolaires=2498 post alvéolaires=1708) que pour les autres fricatives dans les deux groupes d'enfants, un résultat trouvé classiquement chez les adultes (cf. Nissen & Fox, 2005). Toutefois, les valeurs obtenues pour les labiodentales sont plus faibles chez les enfants implantés que chez les enfants entendants. Rappelons que Li et al. (2010) indiquent que ce moment ne permet pas de distinguer /s/ et /ʃ/ mais qu'il caractérise /f/. Il semble donc que les enfants entendants ont des productions du second moment spectral typiques de celles attendues pour /f/ mais que les enfants CI ont des valeurs moins typiques.

Pour confirmer ces tendances observées à partir de la moyenne des valeurs du second moment spectraux, nous avons réalisé une analyse de la variance (ANOVA) ayant comme facteurs le lieu d'articulation (trois niveaux : labiodental, alvéolaire, post alvéolaire) et le

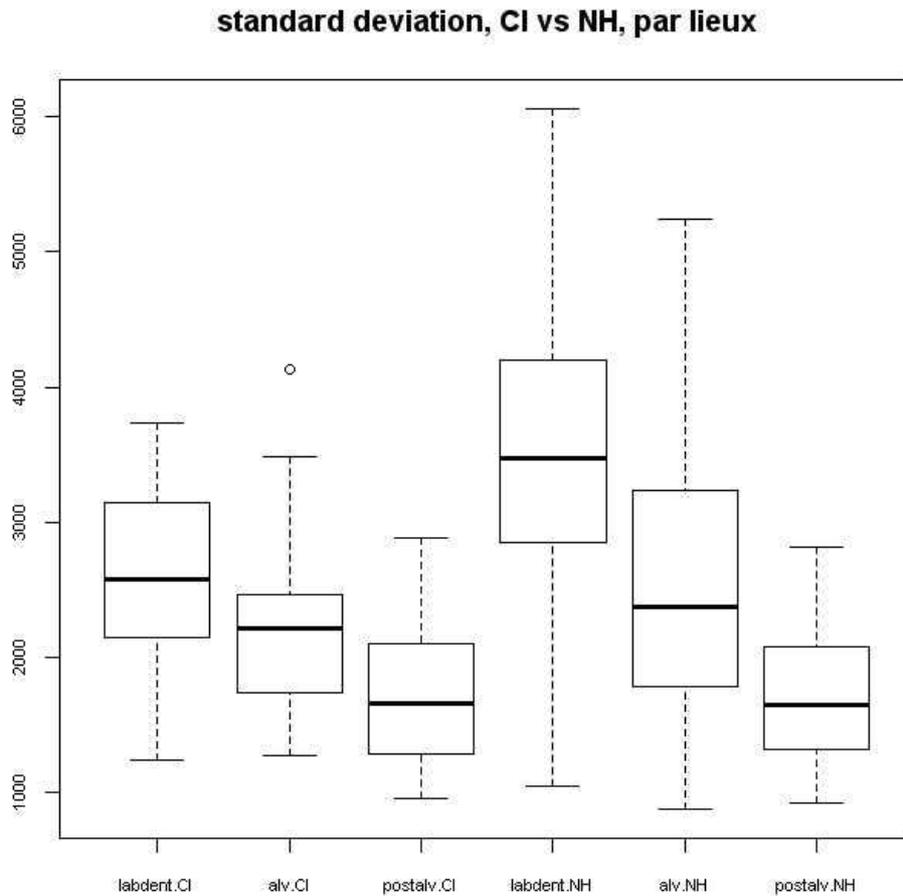
groupe de sujets (deux niveaux : NH et CI). Cette analyse montre qu'il y a un effet significatif du lieu d'articulation ( $F(2,20) = 32.61, p < 0.001$ ); Par contre il n'y a pas d'effet significatif du groupe de sujets ( $F(1,6) = 2.8, p > 0.1$ ), ni de l'interaction entre le lieu d'articulation et le groupe de sujets ( $F(2,20) = 2.609, p > 0.1$ ) (Cf. Tableau 13)

| Error: sujet  |    |          |         |         |        |
|---|----|----------|---------|---------|--------|
|   | Df | Sum Sq   | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| groupe  | 1  | 5809848  | 5809848 | 2.800   | 0.145  |
| lieu  | 2  | 1612560  | 806280  | 0.389   | 0.694  |
| groupe:lieu   | 2  | 5482500  | 2741250 | 1.321   | 0.335  |
| Residuals   | 6  | 12449178 | 2074863 |         |        |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |          |         |         |        |

| Error: sujet:lieu   |    |          |          |         |          |
|---|----|----------|----------|---------|----------|
|   | Df | Sum Sq   | Mean Sq  | F value | Pr(>F)   |
| lieu  | 2  | 76857766 | 38428883 | 32.613  | 5.06e-07 |
| groupe:lieu .   | 2  | 6147572  | 3073786  | 2.609   | 0.0985   |
| Residuals   | 20 | 23566257 | 1178313  |         |          |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |          |          |         |          |

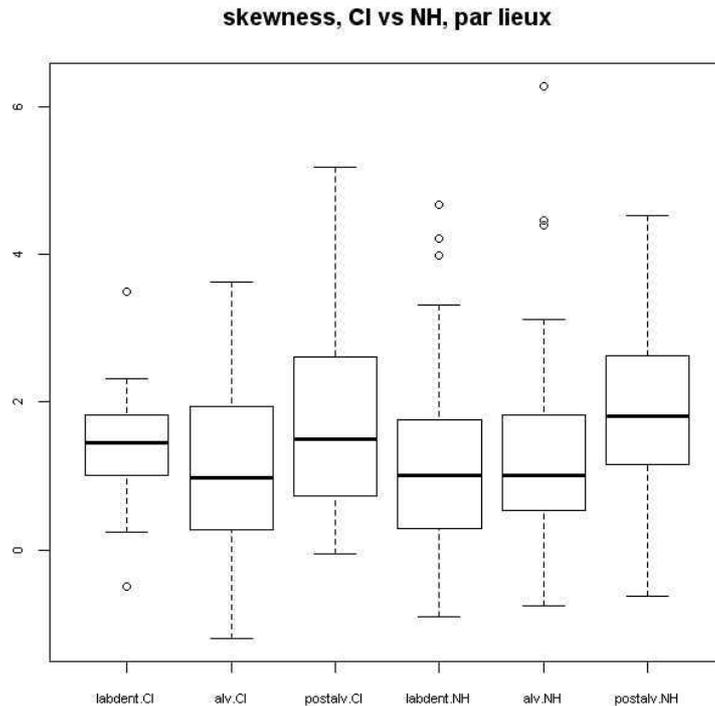
**Tableau 13: Anova des valeurs de l'écart-type selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets.**

En observant la Figure 39, on constate que enfants implantés ont des valeurs d'écart-type inférieures à celles des entendants, même si ce n'est pas significatif. Comme nous l'avons dit précédemment pour les valeurs du premier moment spectral, on suppose que la distribution plus resserrée du spectre des consonnes fricatives chez les enfants implantés pourraient être reliée à leurs capacités auditives.



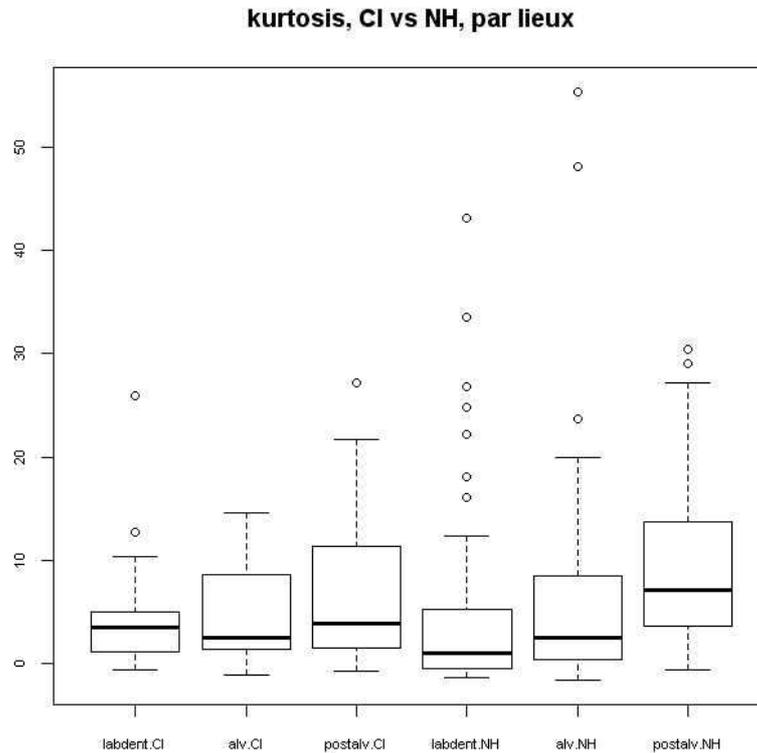
**Figure 39: Valeurs de l'écart-type pour les deux groupes d'enfants selon le lieu d'articulation**

Le troisième moment spectral permet de différencier classiquement la consonne /s/ et la consonne /ʃ/, /ʃ/ ayant une valeur supérieure à celle de /s/. En examinant les valeurs moyennes chez les deux groupes d'enfants enregistrés, on retrouve cette tendance. Moyennes des valeurs de coefficient de dissymétrie pour les consonnes fricatives des enfants implantés : labiodentales=1.457 alvéolaires=1.174 post alvéolaires=1.759 Moyennes des valeurs de coefficient de dissymétrie pour les consonnes fricatives des enfants entendants : labiodentales=1.209 alvéolaires=1.295 post alvéolaires=1.978) (Figure 40)



**Figure 40: Valeurs du troisième moment selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets**

Selon les résultats de Nissen & Fox (2005), les valeurs du quatrième moment spectral (kurtosis) pour les alvéolaires et labiodentales sont inférieures à celles des post-alvéolaires. Nos résultats sur les valeurs moyennes suivent cette tendance pour les deux groupes d'enfants mais elle est plus flagrante dans les résultats des enfants entendants, puisque les enfants implantés ont des valeurs de kurtosis très proches pour les consonnes labiodentales et alvéolaires (Moyennes des valeurs de kurtosis pour les consonnes fricatives des enfants implantés : labiodentales=4.570 alvéolaires=4.793 post alvéolaires=6.973 ; Moyennes des valeurs de kurtosis pour les consonnes fricatives des enfants entendants : labiodentales=5.041 alvéolaires=6.376 post alvéolaires=9.807) (Figure 41)



**Figure 41: Valeurs du kurtosis selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets**

Pour confirmer ces tendances observées à partir de la moyenne des valeurs du second moment spectraux, nous avons réalisé une analyse de la variance (ANOVA) réalisée avec comme facteurs le lieu d'articulation (trois niveaux : labiodental, alvéolaire, post alvéolaire) et le groupe de sujets (deux niveaux : NH et CI). Cette analyse montre qu'il y a un effet significatif du lieu d'articulation ( $F(2,20) = 5.076, p=0.016$ ), mais pas du groupe de sujets ( $F(1,6)=0.054 ; p>0.1$ ), et qu'il n'y a pas d'effet significatif de l'interaction entre le lieu d'articulation et le groupe de sujets ( $F(2,20)=0.318 ; p>0.1$ ).

Nous avons également calculé l'ANOVA des valeurs de kurtosis avec les mêmes facteurs, ce qui nous a permis de constater que s'il y a un effet significatif du lieu d'articulation ( $F(2,20) = 4.616, p=0.02$ ), il n'y a pas d'effet significatif du groupe de sujets ( $F(1,6)=1.025 ; p>0.1$ ) ni de l'interaction entre le groupe de sujets et le lieu d'articulation ( $F(2,20)=0.255 ; p>0.1$ ).

(Cf. Tableau 14 et Tableau 15)

| Error: sujet |    |        |         |         |        |
|--------------|----|--------|---------|---------|--------|
|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| groupe       | 1  | 0.156  | 0.156   | 0.054   | 0.824  |
| lieu         | 2  | 5.692  | 2.846   | 0.988   | 0.426  |
| groupe:lieu  | 2  | 14.619 | 7.310   | 2.539   | 0.159  |
| Residuals    | 6  | 17.277 | 2.879   |         |        |

| Error: sujet:lieu   |    |        |         |         |          |
|---|----|--------|---------|---------|----------|
|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
| lieu  | 2  | 22.95  | 11.476  | 5.076   | 0.0165 * |
| groupe:lieu   | 2  | 1.44   | 0.718   | 0.318   | 0.7315   |
| Residuals   | 20 | 45.22  | 2.261   |         |          |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |          |

**Tableau 14: Anova des valeurs du troisième moment selon le lieu d'articulation et les groupes de sujets**

| Error: sujet |    |        |         |         |        |
|--------------|----|--------|---------|---------|--------|
|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| groupe       | 1  | 156.1  | 156.1   | 1.025   | 0.350  |
| lieu         | 2  | 162.9  | 81.5    | 0.535   | 0.611  |
| groupe:lieu  | 2  | 638.1  | 319.1   | 2.094   | 0.204  |
| Residuals    | 6  | 914.0  | 152.3   |         |        |

| Error: sujet:lieu   |    |        |         |         |          |
|---|----|--------|---------|---------|----------|
|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
| lieu  | 2  | 718.7  | 359.4   | 4.616   | 0.0225 * |
| groupe:lieu   | 2  | 39.6   | 19.8    | 0.255   | 0.7777   |
| Residuals   | 20 | 1557.0 | 77.8    |         |          |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |          |

**Tableau 15: Anova des valeurs du kurtosis selon les lieux d'articulation et les groupes de sujets.**

On peut donc dire que les enfants implantés ont plus de difficultés à produire des productions ayant des valeurs correctes pour le centre de gravité et l'écart-type particulièrement dans la production des consonnes /s/ et /f/, ce qui peut sous entendre que les enfants implantés font moins de distinction entre les consonnes fricatives en terme des deux premiers moments spectraux. De plus, en observant les valeurs du troisième moment spectral, on constate que les valeurs des productions des enfants implantés, même si elles suivent les

même tendances que les enfants entendants, sont plus proches que chez les enfants entendants pour les consonnes /f/ et /s/, même si cette différence n'est pas significative.

### Résultats pour les consonnes fricatives comparant les productions selon les tâches

Nous avons voulu vérifier si les productions des enfants étaient influencées par la tâche proposée, c'est-à-dire la tâche de répétition de mot ou celle de production de mots pour les enfants entendants, et la tâche de répétition de mot avec implant allumé ou éteint pour les enfants implantés.

Les ANOVA réalisées pour vérifier cette influence montrent que chez les enfants implantés et chez les enfants entendants, la tâche réalisée n'influence pas les productions, puisque les effets de l'interaction entre le type de syllabe ou de lieu d'articulation et le type de tâche réalisée ne sont pas significatifs. L'effet principal du type de tâche n'est pas significatif alors que l'effet principal du type de syllabe ou de lieu d'articulation est significatif pour tous les moments spectraux chez les entendants, et pour le premier et le second moment spectral chez les implantés (c'est-à-dire pour le centre de gravité et l'écart-type). (Cf. Tableau 16)

| <b>CI-lieux</b>   | lieu    | répétition | lieu/répet.  | <b>NH-lieux</b>   | lieu    | répétition | lieu/répet.  |
|-------------------|---------|------------|--------------|-------------------|---------|------------|--------------|
| Centre de gravité | ***     |            |              | Centre de gravité | ***     |            |              |
| écart-type        | ***     |            |              | écart-type        | ***     |            |              |
| skewness          |         |            |              | skewness          | **      |            |              |
| kurtosis          |         |            |              | kurtosis          | *       |            |              |
| <b>CI-syllabe</b> | syllabe | répétition | syll./répet. | <b>NH-syllabe</b> | syllabe | répétition | syll./répet. |
| Centre de gravité | ***     |            |              | Centre de gravité | ***     |            |              |
| écart-type        | ***     |            |              | écart-type        | ***     |            |              |
| skewness          |         |            |              | skewness          | **      |            |              |
| kurtosis          |         |            |              | kurtosis          | **      |            |              |

Tableau 16: Valeurs significatives des ANOVA réalisées pour comparer les tâches selon le groupe d'enfants et le lieu d'articulation ou la syllabe (skewness : coefficient de dissimilarité, \*\*\*= $<0.001$ , \*\*= $<0.01$ , \*= $<0.05$ )

### I.3.3. Résultats pour les consonnes occlusives

Pour l'analyse des consonnes occlusives, nous nous sommes intéressés aux valeurs du VOT (Voice Onset Time, le délai d'établissement du voisement après l'explosion consonantique) selon le type de sujets et le lieu ou le mode d'articulation.

Tout d'abord, nous avons calculé une ANOVA qui a pour facteurs principaux le lieu d'articulation et le groupe de sujets. L'effet principal du lieu d'articulation est significatif ( $F(5,50) = 158.32, p < 0.001$ ), l'effet du groupe de sujet n'est pas significatif ( $F(1,2)=3.299 ; p > 0.1$ ) et l'interaction entre le lieu d'articulation et le groupe de sujet est significative ( $F(5,50)=4.443, p=0.002$ ).

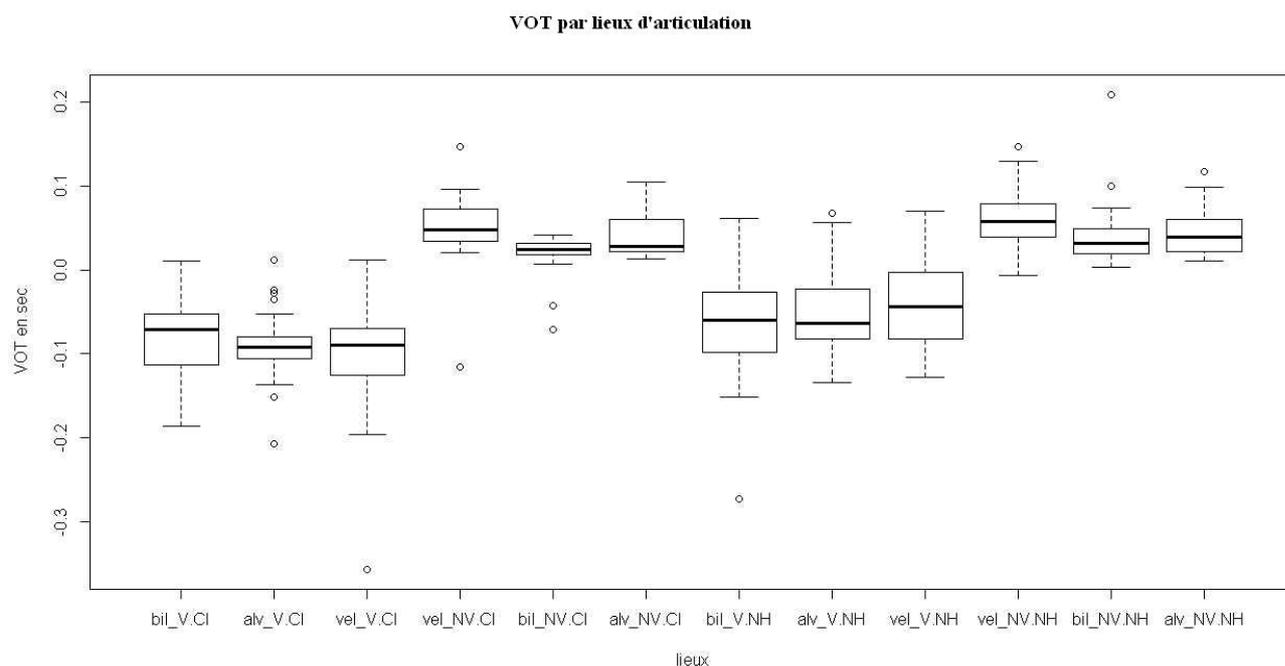
| Error: sujet    |    |         |         |         |        |
|-----------------|----|---------|---------|---------|--------|
|                 | Df | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| groupe          | 1  | 0.06045 | 0.06045 | 3.299   | 0.211  |
| consonne        | 5  | 0.01989 | 0.00398 | 0.217   | 0.927  |
| groupe:consonne | 3  | 0.00761 | 0.00254 | 0.139   | 0.929  |
| Residuals       | 2  | 0.03665 | 0.01832 |         |        |

| Error: sujet:consonne   |    |        |         |         |            |
|---|----|--------|---------|---------|------------|
|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)     |
| consonne  | 5  | 1.4580 | 0.29159 | 158.325 | <2e-16 *** |
| groupe:consonne   | 5  | 0.0409 | 0.00818 | 4.443   | 0.002 **   |
| Residuals   | 50 | 0.0921 | 0.00184 |         |            |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |            |

**Tableau 17: ANOVA des valeurs de VOT en fonction du lieu d'articulation et du groupe de sujet**

Nous avons ensuite effectué des tests t. pour déterminer quel lieu d'articulation influençait plus les productions des enfants.

Ils montrent un effet significatif du groupe d'enfants sur les valeurs de VOT des consonnes occlusives voisées alvéolaires ( $t(70.25)=4.13, p < 0.001$ ) et vélaires ( $t(28.75)=3.78, p < 0.001$ ), et sur les valeurs de VOT des consonnes occlusives non-voisées labiales ( $t(72.85)=4.13, p=0.001$ ). En effet, sur la figure ci-après, le VOT des consonnes occlusives voisées alvéolaires et vélaires (c'est-à-dire /d/ /g/) et celui des consonnes occlusives sourdes bilabiales (c'est-à-dire /p/) semble être plus bas chez les enfants implantés par rapport aux enfants entendants. (Cf. Figure 42)



**Figure 42: Valeurs de VOT par lieux d'articulation pour chaque groupe d'enfants**

Par la suite, nous avons voulu vérifier que les valeurs de VOT des deux groupes d'enfants étaient bien influencées par le mode d'articulation des consonnes (c'est-à-dire voisées ou non-voisées). Pour cela, nous avons effectué une ANOVA avec pour facteurs principaux le groupe de sujets et le mode d'articulation.

L'effet principal du mode ( $F(1,10) = 620.83, p < 0.001$ ), du groupe de sujets ( $F(1,10) = 8.91, p = 0.01$ ) et l'interaction entre le type de mode d'articulation et le groupe de sujet ( $F(1,10) = 8.205, p = 0.016$ ) sont significatifs.

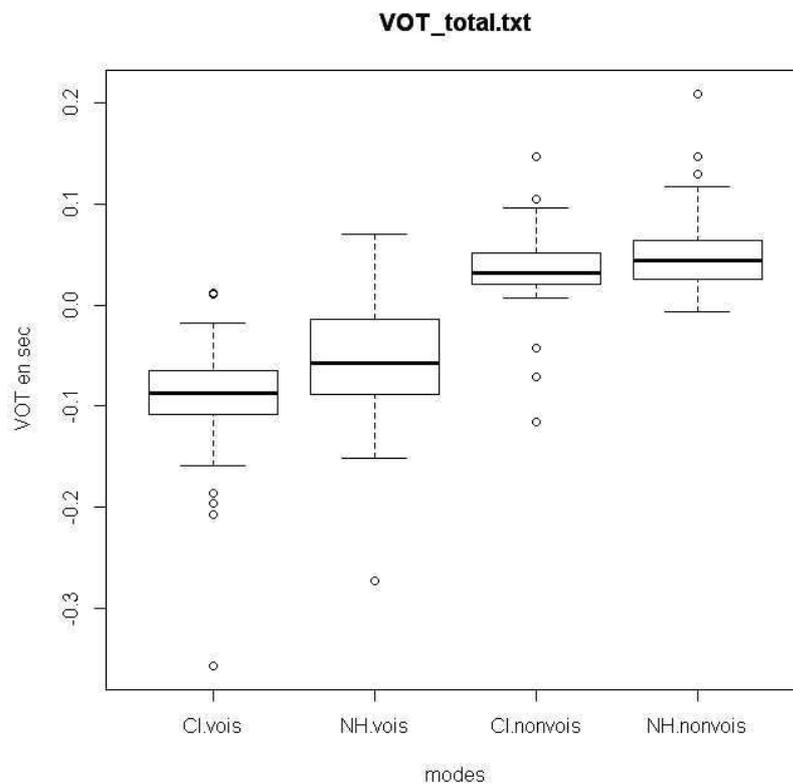
| Error: sujet |    |         |         |         |          |
|--------------|----|---------|---------|---------|----------|
|              | Df | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
| groupe       | 1  | 0.06045 | 0.06045 | 8.918   | 0.0174 * |
| mode         | 1  | 0.00012 | 0.00012 | 0.018   | 0.8959   |
| groupe:mode  | 1  | 0.00980 | 0.00980 | 1.446   | 0.2635   |
| Residuals    | 8  | 0.05422 | 0.00678 |         |          |

| Error: sujet:mode   |    |        |         |         |              |
|---|----|--------|---------|---------|--------------|
|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
| mode  | 1  | 1.4307 | 1.4307  | 620.834 | 2.48e-10 *** |
| groupe:mode   | 1  | 0.0189 | 0.0189  | 8.205   | 0.0168 *     |
| Residuals   | 10 | 0.0230 | 0.0023  |         |              |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |              |

**Tableau 18: ANOVA des valeurs du VOT en fonction du mode d'articulation et du groupe de sujets.**

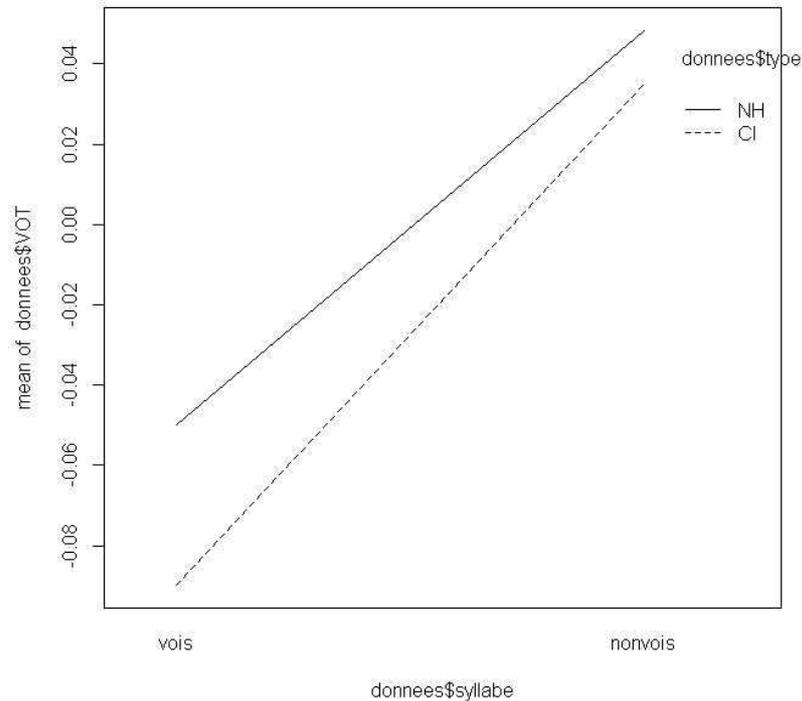
Les tests t. réalisés pour déterminer quel mode d'articulation influençait le plus les résultats des enfants, montrent un effet significatif des consonnes voisées sur les productions ( $t(161.67)=5.601$ ,  $p<0.001$ ), et un d'effet significatif des consonnes non-voisées sur les productions ( $t(167.92)=3.162$ ,  $p=0.001$ ).

Ces analyses nous ont permis de confirmer que les consonnes occlusives voisées étaient produites avec un VOT ayant des valeurs négatives significativement plus élevées chez les enfants implantés que chez les enfants entendants, c'est-à-dire que les enfants implantés commencent le voisement plus longtemps avant l'explosion consonantique que les enfants entendants. Cette tendance peut être observée dans la Figure 43.



**Figure 43: Valeurs des VOT chez les deux groupes d'enfants selon le mode d'articulation des consonnes occlusives**

Cette différence de valeurs de VOT chez les enfants implantés et chez les enfants entendants en fonction du mode d'articulation peut également être observée dans la Figure 38 qui représente les valeurs moyennes de VOT par les deux groupes d'enfants en fonction du mode d'articulation.



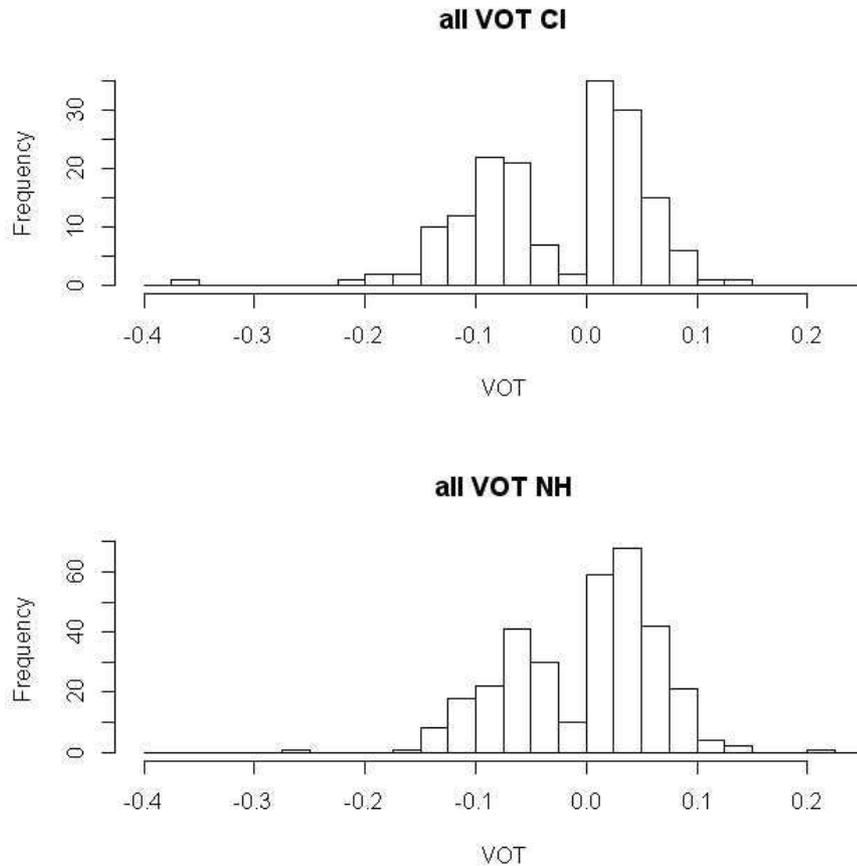
**Figure 44 : Moyenne des valeurs du VOT chez les deux groupes d'enfants en fonction du mode d'articulation**

Ainsi, il semble que les enfants implantés maîtrisent bien la différence entre les consonnes voisées et non-voisées et même qu'ils la marquent plus que les enfants entendants : pour les consonnes voisées, le prévoisement démarre plus tôt chez les implantés que chez les normo-entendants.

Enfin, nous avons créé un histogramme répertoriant la répartition des VOT pour les enfants implantés et les enfants entendants, ce qui nous permet d'avoir une vision globale des VOT produits.

Chez les deux groupes d'enfants, nous observons donc une répartition bimodale des valeurs de VOT, c'est-à-dire un type de VOT organisé autour des valeurs -0,2 à 0 (consonnes voisées) et un second type organisé autour des valeurs 0 à 0,2 (consonnes sourdes). La frontière entre les deux types de consonnes semble donc être à 0 pour les deux groupes d'enfants.

Par contre, d'après l'historgramme ci-après, on constate que les VOT négatifs sont en valeur absolue un peu plus longs chez les enfants implantés que chez les enfants entendants, alors que les VOT positifs sont un peu plus courts chez les enfants implantés



**Figure 45: Représentation de répartition des VOT (en sec) selon leur valeur pour les deux groupes d'enfants.**

L'ensemble de ces résultats semble indiquer que les enfants implantés ont une maîtrise des VOT légèrement différente de celle des enfants entendants puisque les valeurs de VOT des enfants implantés sont légèrement plus basses que celles des enfants entendants, et que les enfants implantés, lors de la production des consonnes voisées, débutent le pré-voisement plus longtemps avant l'explosion consonantique que les enfants entendants. Notons toutefois que les valeurs de VOT reportées ici sont celles calculées sur les consonnes qui ont été produites correctement. Les enfants ont parfois produit des erreurs sur ces consonnes (telles que : /bisiklɛt/ produit [gisiklɛt], /gυvɛrnaj/ produit [lυvɛrnaj] ou encore /turnøɔl/ produit [urnøɔl]), mais ces productions erronées n'ont pas été prises en compte dans les mesures.

### I.3.4. Résultats pour les voyelles

Pour analyser les voyelles, nous avons calculé la taille de l'espace vocalique de chaque enfant, puis regroupé ces données par groupe d'enfants (CI vs NH).

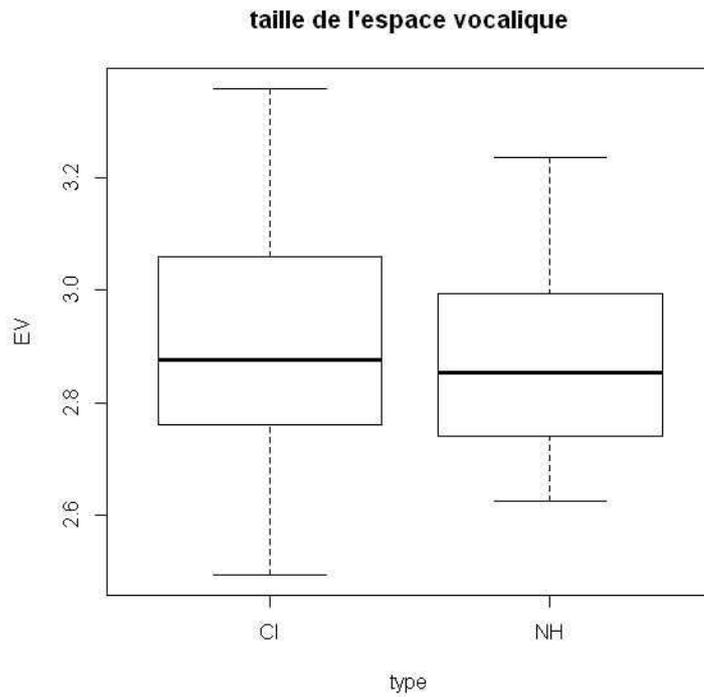
Nous avons ensuite calculé une ANOVA des valeurs de la taille de l'espace vocalique avec pour facteur inter-sujets le groupe de sujet (deux niveaux CI et NH) et pour facteur intra-sujets l'âge des sujets.

L'effet du groupe de sujet n'est pas significatif ( $F(1,18)=0.052$ ,  $p>0.1$ ), l'effet de l'âge des sujets n'est pas significatif ( $F(1,18)=1.132$ ,  $p>0.1$ ), et l'interaction entre le groupe de sujet et l'âge des sujets n'est pas significative ( $F(1,18)=0.283$ ,  $p>0.1$ ).

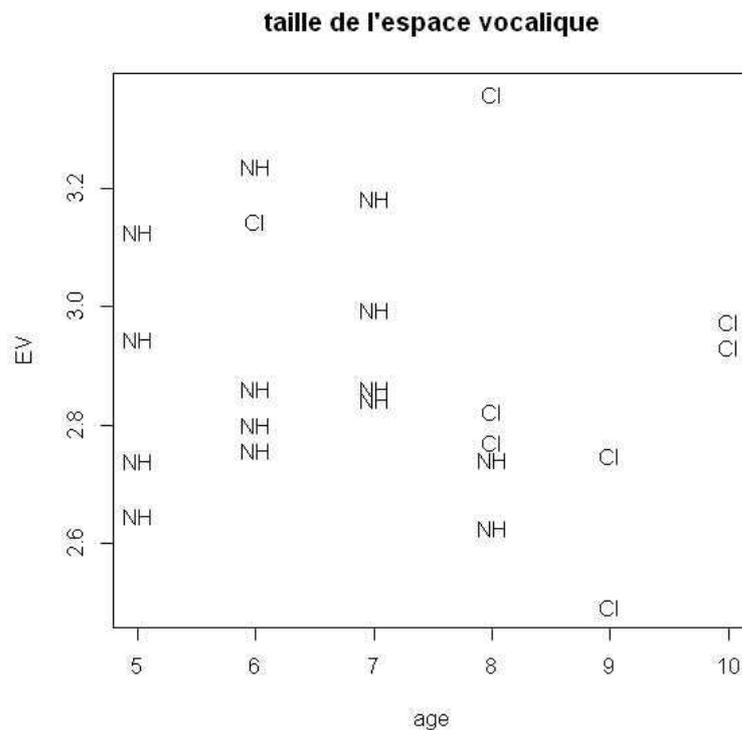
|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|---|----|--------|---------|---------|--------|
| groupe  | 1  | 0.0026 | 0.00259 | 0.052   | 0.821  |
| âge   | 1  | 0.0560 | 0.05603 | 1.132   | 0.301  |
| groupe:âge  | 1  | 0.0140 | 0.01400 | 0.283   | 0.601  |
| Residuals   | 18 | 0.8906 | 0.04948 |         |        |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |        |

**Tableau 19: ANOVA des valeurs d'espace vocalique par groupe de sujets et par âge (si  $Pr(>F) > 0.05$ , les résultats ne sont pas significatifs)**

Nous avons également représenté les valeurs de l'espace vocalique sous forme de graphiques qui permettent de visualiser l'absence de différences entre la taille des espaces vocaliques des enfants implantés et des enfants entendants (Figure 46), ainsi que la taille des espaces vocaliques chez tous les enfants selon leur âge (Figure 47).



**Figure 46: Taille de l'espace vocalique (en bark) des deux groupes de sujets**



**Figure 47: Taille de l'espace vocalique (en bark) chez tous les sujets, en fonction de leur âge**

Enfin, nous avons représenté les valeurs des voyelles produites par les enfants, sur des axes F1/F2, afin de représenter le triangle vocalique de chaque groupe de sujets. Représenter toutes les données sur un même graphique n'était pas la même solution, puisque les sujets

sont d'âges différents et présentent donc des espaces vocaliques de taille différente. Nous nous sommes permis de créer ces graphiques car nous avons transformé les valeurs des formants en bark ce qui permet une normalisation des données. Les espaces vocaliques par individus seront donnés en annexe.

Nous pouvons cependant constater qu'il n'y a pas grande différence entre les deux groupes d'enfants.

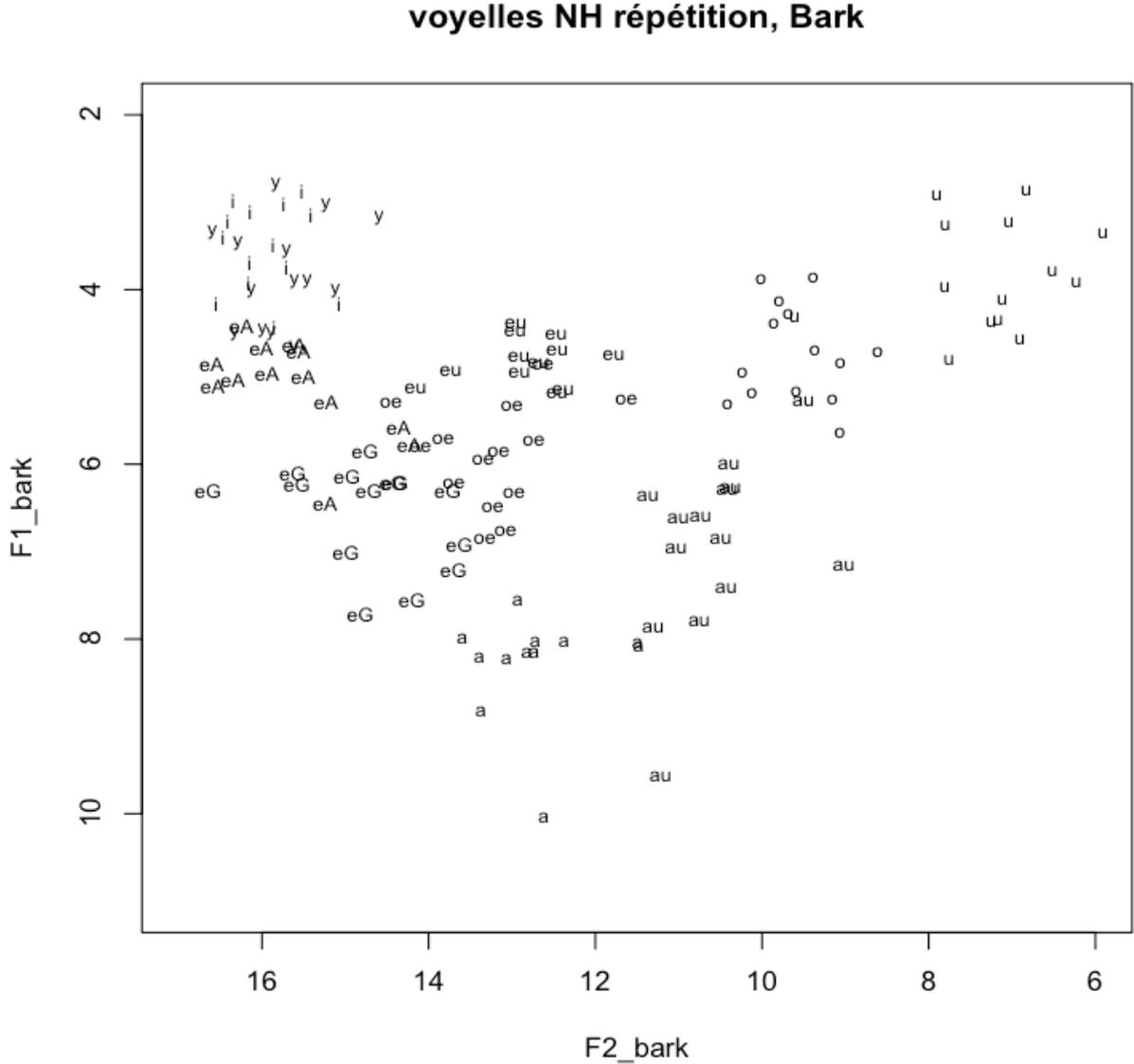
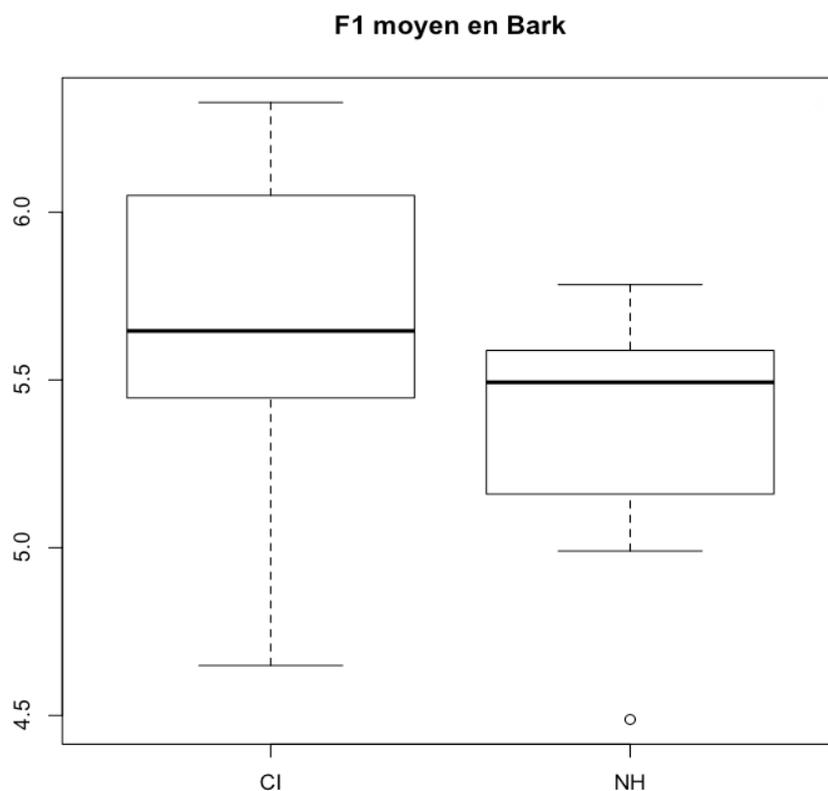


Figure 48: Triangle vocalique de toutes les voyelles produites par le groupe d'enfants entendants

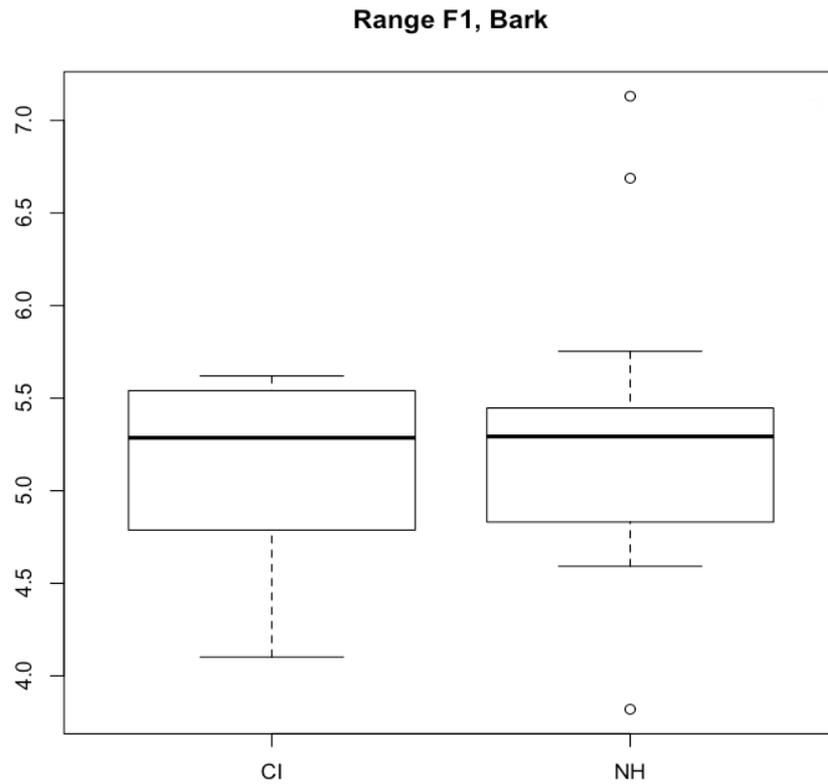


Pour vérifier cette hypothèse, nous avons calculé la moyenne et la gamme des F1 et des F2 chez chaque groupe d'enfants.

Les valeurs de moyenne et de gamme de F1 ne sont pas significativement différentes entre les deux groupes d'enfants, comme on peut le voir

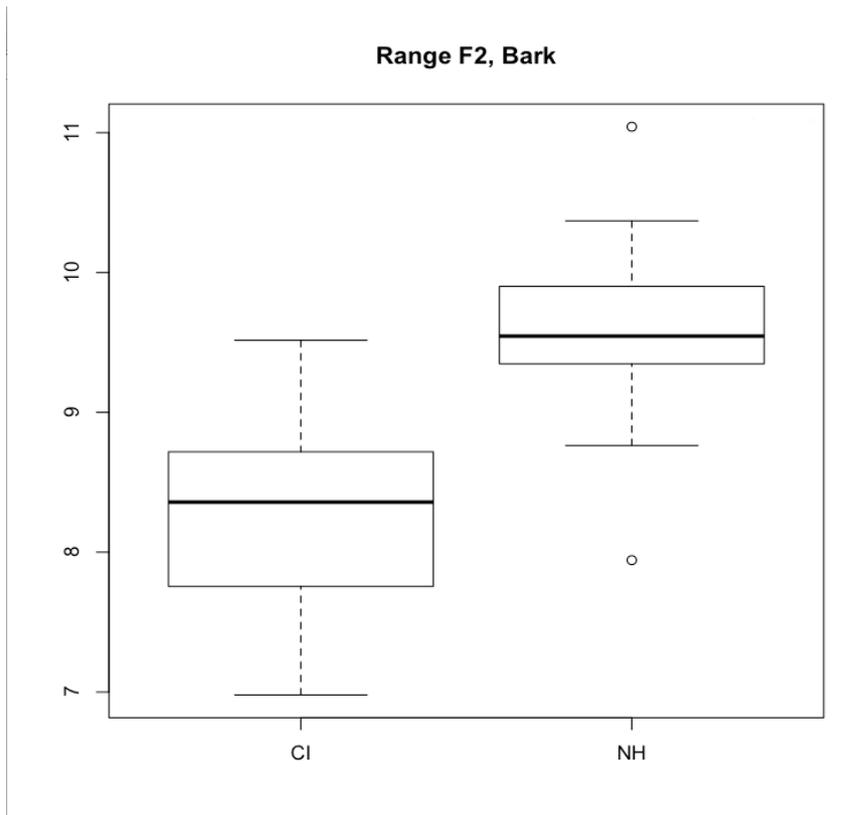


**Figure 50: Moyenne des valeurs de F1 par les deux groupes d'enfants (CI= enfants implantés, NH= enfants entendants)**

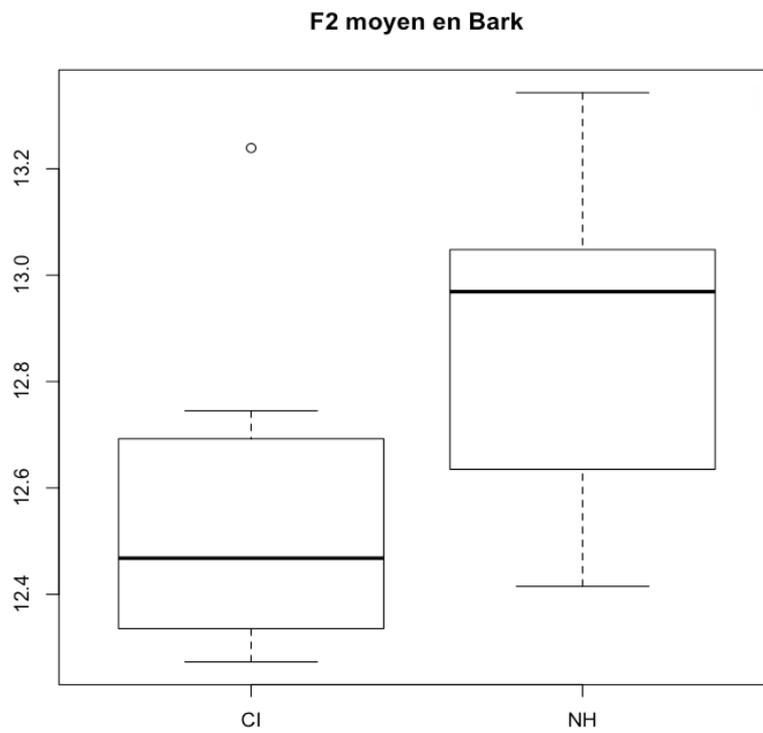


**Figure 51: Gamme de F1 chez les deux groupes d'enfants**

Par contre, la moyenne des valeurs des F2 produits par les enfants implantés est inférieure à celle des enfants entendants (Cf. Figure 52). De même, les enfants implantés présentent une gamme de F2 plus réduite que celle des enfants entendants (Cf. Figure 53), ce qui implique qu'ils ont moins d'exploration de la dimension antéro-postérieure par rapport aux enfants entendants.



**Figure 52: Moyenne des valeurs de F2 par les deux groupes d'enfants.**



**Figure 53: Gamme des F2 chez les deux groupes d'enfants.**

# DISCUSSION ET CONCLUSION

## I.4. Consonnes fricatives

Les analyses statistiques effectuées sur les valeurs des différents moments des consonnes fricatives /s/ /ʃ/ et /f/ ont permis d'établir que les enfants implantés ont plus de difficultés que les enfants entendants à produire des consonnes fricatives typiques.

En effet, les productions des enfants implantés ont des valeurs plus basses de centre de gravité et d'écart-type par rapport à celles des productions des enfants entendants, pour les consonnes fricatives alvéolaires, c'est-à-dire la consonne /s/, et labiodentales, c'est-à-dire la consonne /f/. Les valeurs de coefficient de dissimilarité et de kurtosis sont également plus basses chez les enfants implantés par rapport aux enfants entendants, même si elles suivent les mêmes tendances que les enfants entendants.

Ces résultats sont à mettre en parallèle avec ceux de trois autres études.

Unchanski & Geers en 2003, qui ont étudié la production de consonnes par des enfants implantés et des enfants entendants, ont observé que les valeurs du centre de gravité sont plus basses pour la consonne /s/ chez les enfants implantés que chez les enfants entendants, les enfants implantés ont plus de difficulté à produire la consonne /s/ que la consonne /ʃ/ puisqu'ils obtiennent des résultats de centre de gravité à 78% des valeurs des normes pédiatriques pour /s/ et à 90% pour /ʃ/.

Todd et al. en 2011, se sont intéressés à la production de consonnes fricatives chez des enfants implantés. Ils observent également que les valeurs du pic spectral chez les enfants implantés pour la consonne /s/ sont plus basses que celles des enfants entendants.

Cependant, si ces deux études nous permettent de constater que les résultats que nous avons obtenus sont similaires à ceux obtenus dans d'autres travaux de recherche, elles ne contiennent pas d'informations sur la production de la consonne /f/ par les enfants implantés. Nissen & Fox (2005) ont étudié la production des consonnes fricatives de l'anglais par trois groupes d'enfants (âgés de 3, 5 ou 5 ans selon le groupe) et par des adultes. Ils ont établi que les valeurs du centre de gravité évoluent au cours de l'acquisition du langage.

Effectivement, si l'on fait un continuum croissant de valeurs de centre de gravité, les enfants de 3 et 4 ans ont des valeurs de centre de gravité plus faibles pour la consonne /f/, puis pour la consonne /s/ et enfin la consonne /ʃ/ est produite avec les valeurs les plus élevées.

Chez les enfants âgés de 5 ans, c'est la consonne /f/ qui a les valeurs les plus faibles, puis la consonne /ʃ/ et enfin la consonne /s/ alors que chez les adultes, la consonne /ʃ/ est produite avec des valeurs de centre de gravité les plus faibles, puis c'est la consonne /f/ et enfin la consonne /s/. (Figure 54)

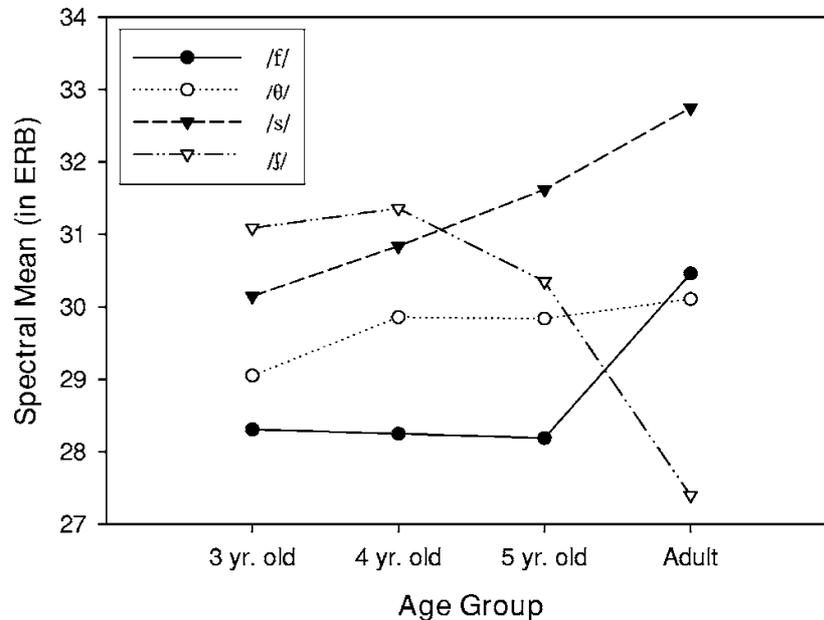


Figure 54: Valeurs du centre de gravité chez les enfants de l'étude de Nissen et Fox (2005)

Il est intéressant de comparer les valeurs de centre de gravité de notre groupe d'enfants implantés, qui présentent un ordre de valeurs des consonnes fricatives similaire à celui des enfants âgés de 5 ans dans l'étude de Nissen & Fox. (labiodentale < postalvéolaire < alvéolaire)

En revanche notre groupe d'enfants entendants présentent un ordre de valeurs des consonnes fricatives identique à celui des adultes de l'étude de Nissen & Fox. (postalvéolaire /ʃ/ < labiodentale /f/ < alvéolaire /s/)

Pourtant, si l'on fait la moyenne d'âge de nos deux groupes d'enfants, on constate que celle des enfants implantés (Moyenne d'âge : 8,2 ans) est plus élevée que celle des enfants entendants (6,3 ans). Cependant il est important de noter que l'âge auditif (calculé à partir de la date d'implantation plutôt qu'à partir de la date de naissance) des enfants implantés est d'en moyenne 5 ans, on peut donc hypothétiser que l'âge d'implantation détermine le niveau de production de langage chez les enfants implantés.

## **I.5. Consonnes occlusives**

Les mesures de VOT effectuées dans les productions des consonnes occlusives /p t k b d g/ par nos deux groupes d'enfants sont en opposition avec les comparaisons de groupes de sujets (enfants implantés vs enfants entendants) des études de Uchanski & Geers (2003) et Horga & Liker (2006)

En effet nous avons pu observer que les consonnes occlusives des enfants implantés ont des valeurs de VOT plus basses que celles des enfants entendants, cette différence étant significative pour les consonnes voisées.

Uchanski & Geers n'observent, eux, pas de différence entre leurs groupes d'enfants implantés et d'enfants entendants, alors que Horga & Liker observent que les enfants implantés ne produisent pas de VOT de valeurs significativement différentes entre les consonnes voisées et non-voisées, alors que les enfants entendants ont des valeurs de VOT plus élevées pour les consonnes non-voisées que pour les consonnes voisées.

## **I.6. Voyelles**

Nos résultats d'analyse des mesures de tailles de l'espace vocalique de nos deux groupes d'enfants n'ont montré aucune différence significative entre les groupes.

Nous avons voulu comparer nos valeurs avec celles de Lofqvist et al. (2010) qui ont constaté que les enfants implantés avaient des espaces vocaliques plus réduits que ceux des enfants entendants.

Nous avons donc utilisé une ANOVA pour observer la significativité des résultats entre le groupe d'enfants entendants de Löfqvist, notre groupe d'enfants entendants, le groupe d'enfants implantés de Löfqvist et al. et notre groupe d'enfants implantés.

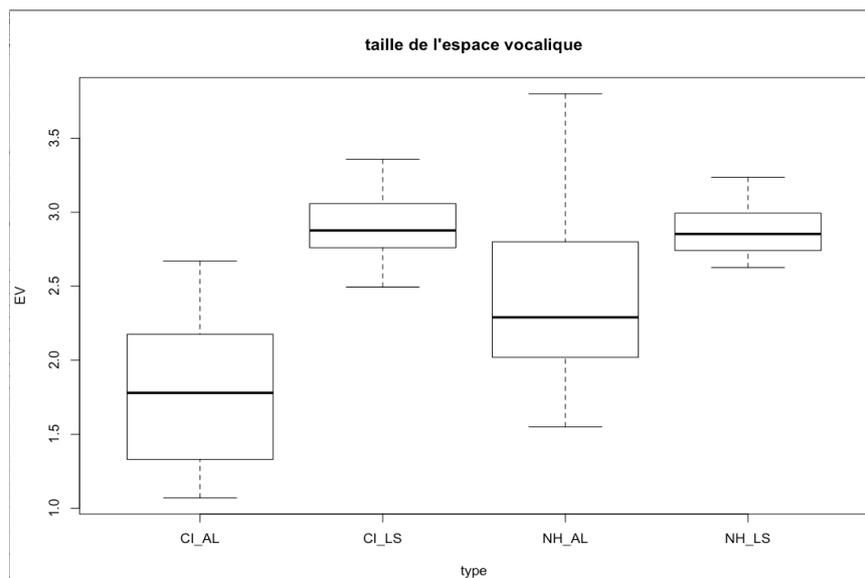
Les enfants implantés de l'étude de Löfqvist et al. ont des résultats significativement différents par rapport à nos groupes d'enfants implantés et entendants, ainsi que par rapport au groupe d'enfants entendants de Löfqvist et al.

Notre groupe d'enfants implantés n'a pas de résultats significativement différents par rapport aux groupes d'enfants entendants de notre étude et de celle de Löfqvist et al. Enfin, notre groupe d'enfants entendants n'a pas de résultats significativement différents du groupe d'enfants entendants de l'étude de Löfqvist et al. (Tableau 20)

|             | NH_Lofqvist | NH_Scarbel | CI_Lofqvist | CI_Scarbel |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|
| NH_Lofqvist |             |            |             |            |
| NH_Scarbel  | n.s.        |            |             |            |
| CI_Lofqvist | *           | ***        |             |            |
| CI_Scarbel  | n.s.        | n.s.       | ***         |            |

**Tableau 20: Résultats du test de significativité entre les groupes d'enfants de notre étude et de celle de Löfqvist et al. (2010)**

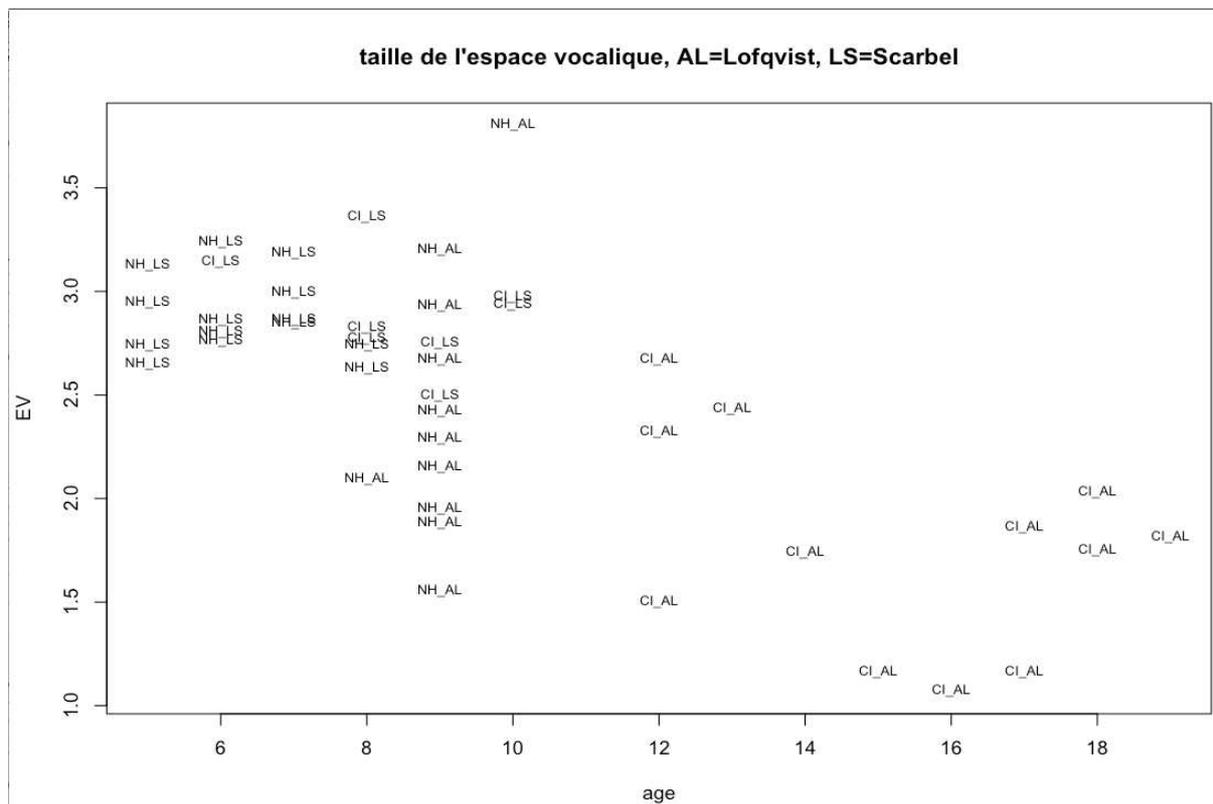
Dans la figure on peut observer que les résultats de Löfqvist et al. présentent plus de variabilité que les résultats de notre étude. (Figure 55)



**Figure 55: Valeur de l'espace vocalique des groupes d'enfants de l'étude de Löfqvist et al. (2010) et de notre étude.**

Cependant, il est normal que les résultats des enfants de l'étude de Löfqvist et al. soient différents de ceux des autres groupes d'enfants. En effet, dans la Figure 56 on peut observer que les enfants implantés de l'étude de Löfqvist sont nettement plus âgés que les enfants de notre étude et les enfants entendants de l'étude de Löfqvist.

Or, plus les enfants sont jeunes, plus leur espace vocalique est large. On peut donc légitimement penser que les résultats de l'étude de Löfqvist sont biaisés par la différence d'âge entre les groupes d'enfants.



**Figure 56: Valeurs de l'espace vocaliques (en bark) chez les enfants de notre étude et de celle de Lofqvist et al. (2010), selon l'âge des enfants**

## Conclusion

Notre travail s'inscrit dans le projet de recherche Plasmody, qui regroupe plusieurs études portant sur les personnes sourdes utilisant un implant cochléaire et qui a pour objet la recherche de l'influence de l'implant cochléaire sur la perception et la production de parole par les personnes sourdes. Notre étude est la seule dans ce projet de recherche à concerner des enfants et non des adultes, mais nous avons voulu étudier la production de parole chez les enfants sourds implantés étant donné que les études menées sur le sujet ne sont pas forcément claires et présentent des résultats discordants entre les études. De plus, peu d'études ont été menées sur les voyelles du français.

Nos résultats concernant les voyelles nous ont particulièrement surpris, puisque nous nous attendions à obtenir des résultats significativement différents entre le groupe d'enfants entendants et le groupe d'enfants implantés, comme c'est le cas dans la plupart des études portant sur la production de voyelles par les enfants implantés, mais pourtant les résultats de notre étude ne font pas état d'une production significativement différente entre les enfants

implantés et les enfants entendants, cette similarité entre les deux groupes ayant cependant été observée dans l'étude de Uchanski et Geers (2003).

Cependant, la comparaison entre les groupes de la taille de l'espace vocalique ne nous semble pas la plus pertinente pour comparer les productions des enfants implantés et des enfants entendants. Nous avons pu observer des différences entre les moyennes et les gammes des valeurs de F2 par les deux groupes d'enfants puisque les enfants implantés semblent produire des valeurs de F2 plus basses que celles des enfants entendants, ce qui implique que leur gamme de F2 est également réduite par rapport à celles des enfants entendants. Nous pensons qu'une étude complémentaire composée d'un plus grand nombre d'enfants serait nécessaire pour établir une comparaison par tranche d'âge et ainsi observer avec précisions les différences de répartition des voyelles au sein des triangles vocaliques chez les deux groupes d'enfants.

Concernant les consonnes occlusives, nos résultats s'opposent également avec ceux des autres études, puisque nous n'observons une différence significative entre nos deux groupes d'enfants que pour les consonnes occlusives voisées /b d g/, alors que les études précédentes montraient soit que les enfants implantés ne présentaient pas de différence entre les consonnes occlusives voisées et non-voisées, soit que les enfants implantés obtenaient des valeurs similaires à celles des entendants.

Enfin, à propos des consonnes fricatives, aucune étude n'avait été menée sur la production de la consonne labiodentale /f/ chez les enfants implantés, alors que selon nos résultats, cette consonne est significativement moins bien produite par les enfants implantés que par les enfants entendants. Ces valeurs impliquent que la production des consonnes fricatives par les enfants implantés semble correspondre à celle d'enfants entendants âgés de 5 ans (selon l'étude de Nissen & Fox 2010) alors que leur moyenne d'âge chronologique (basé sur la date de naissance de l'enfant) est de 8,2 ans ; par contre, leur âge auditif paraît correspondre au niveau de leur production puisque la moyenne d'âge auditif (basé sur la date d'implantation) de notre groupe d'enfants implantés est de 5 ans.

En revanche, même si nous n'avons pas eu le temps d'exploiter suffisamment les analyses perceptives effectuées sur les productions des enfants, nous savons qu'il existe des anomalies de production des voyelles et des consonnes du français chez les enfants implantés, même s'ils sont implantés depuis 7 ans. En effet, certains enfants implantés participant à notre étude n'ont pas produit correctement les mots demandés, ils ont parfois substitué les

phonèmes par d'autres phonèmes (par exemple [luvɛrnaj] à la place de [guvɛrnaj] ) ou les mots par d'autres mots (comme par exemple « un cactus » à la place d'eucalyptus)

Par contre, notre étude comprenait seulement cinq enfants implantés et huit enfants entendants, il serait donc intéressant de continuer cette étude avec un nombre d'enfants plus important, afin d'ensuite comparer les productions des enfants selon leur âge chronologique et leur âge auditif.

De plus, les données que nous avons récoltées pourraient être exploitées plus en profondeur. Nous aurions aimé avoir le temps de mesurer la prosodie chez les enfants implantés, ainsi que d'exploiter les données récoltées sur la durée des phonèmes dans les productions des deux groupes d'enfants. Enfin, nous aurions voulu pouvoir mettre en relation nos données acoustiques et nos données perceptives afin de déterminer si l'intelligibilité de parole des enfants implantés correspond aux résultats d'analyse acoustique de leurs productions.

Enfin, nous sommes conscients que nous avons étudiés sur un type de production extrêmement spécifique, c'est-à-dire la production de mots isolés mais nous souhaiterions comparer nos résultats avec une production de parole spontanée et donc plus continue, comme lors de la tâche de narration que nous avons proposée aux enfants.

Nous tenons à préciser que même chez les enfants entendants, les données que nous avons récoltées, sur les moments spectraux par exemple, sont rares, en particulier en français. Notre corpus peut donc être réutilisé pour d'autres études, par exemple celle de Grace Neveu, qui étudie la coarticulation CV à travers l'équation de locus.

Pour conclure, nous pensons qu'il est important d'avoir établi un partenariat avec le CHU de Grenoble, afin que nous puissions, par la suite mener d'autres études avec les professionnels de santé du CHU.

Nous proposons donc plusieurs perspectives d'études qui nous semblent pertinentes.

Une étude comparative entre un plus grand nombre d'enfants implantés et entendants, regroupés par tranches d'âge chronologie et auditif, permettrait d'obtenir un meilleur aperçu des différences de production entre ces groupes d'enfants. Nous proposons d'étudier la production des consonnes fricatives, latérales et occlusives, ainsi que la production de l'intonation chez les enfants implantés. De plus, une analyse de la nasalisation dans les

productions des enfants serait intéressante pour compléter les résultats des analyses acoustiques de la production de consonnes, de voyelles et de prosodie par les enfants implantés. Enfin, nous suggérons de mettre en relation l'analyse acoustique des productions avec une analyse perceptive, ainsi qu'une tâche de narration avec des tâches de répétition ou de production de mots.

## **Bibliographie**

Baudonck, N.; Dhooge, I.; D'haeseleer, E. & Van Lierde, K. (2010), 'A comparison of the consonant production between Dutch children using cochlear implants and children using hearing aids', *International journal of pediatric otorhinolaryngology* **74**(4), 416--421.

Baudonck, N.; Van Lierde, K.; Dhooge, I. & Corthals, P. (2011), 'A Comparison of Vowel Productions in Prelingually Deaf Children Using Cochlear Implants, Severe Hearing-Impaired Children Using Conventional Hearing Aids and Normal-Hearing Children', *Folia phoniatrica et logopaedica: official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)* **63**(3), 154.

Bergeson, T.; Kuhns, M. & Chin, S. (2009), 'Spoken prosody and music production in children with cochlear implants. ; Denver, Colorado.', .

Bharadwaj, S.; Tobey, E.; Assmann, P. & Katz, W. (2006), 'Effects of auditory feedback on fricatives produced by cochlear-implanted adults and children: Acoustic and perceptual evidence', *The Journal of the Acoustical Society of America* **119**, 1626.

Delvaux, V.; Metens, T. & Soquet, A. (2002), French nasal vowels: acoustic and articulatory properties, in 'Seventh International Conference on Spoken Language Processing'.

Dillon, C.; Pisoni, D.; Cleary, M. & Carter, A. (2004), 'Nonword imitation by children with cochlear implants: Consonant analyses', *Archives of Otolaryngology- Head and Neck Surgery* **130**(5), 587.

Fagan, M. & Pisoni, D. (2009), 'Perspectives on multisensory experience and cognitive development in infants with cochlear implants', *Scandinavian journal of psychology* **50**(5), 457--462.

Fougeron, C. & Keating, P. (1997), 'Articulatory strengthening at edges of prosodic domains', *The journal of the acoustical society of America* **101**, 3728.

Giezen, M.; Escudero, P. & Baker, A. (2010), 'Use of acoustic cues by children with cochlear implants', *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **53**(6), 1440.

Gilley, P.; Sharma, A. & Dorman, M. (2008), 'Cortical reorganization in children with cochlear implants', *Brain research* **1239**, 56--65.

Goffman, L.; Ertmer, D. & Erdle, C. (2002), 'Changes in speech production in a child with a cochlear implant: Acoustic and kinematic evidence', *Journal of speech, language, and hearing research* **45**(5), 891.

Hocevar-Boltezar, I.; Boltezar, M. & Zargi, M. (2008), 'The influence of cochlear implantation on vowel articulation', *Wiener Klinische Wochenschrift* **120**(7), 228--233.

Holler, T.; Campisi, P.; Allegro, J.; Chadha, N.; Harrison, R.; Papsin, B. & Gordon, K. (2010), 'Abnormal Voicing in Children Using Cochlear Implants', *Archives of Otolaryngology- Head and Neck Surgery* **136**(1), 17.

- Horga, D. & Liker, M. (2006), 'Voice and pronunciation of cochlear implant speakers', *Clinical linguistics & phonetics* **20**(2-3), 211--217.
- Kishon-Rabin, L.; Taitelbaum, R.; Tobin, Y. & Hildesheimer, M. (1999), 'The effect of partially restored hearing on speech production of postlingually deafened adults with multichannel cochlear implants', *The Journal of the Acoustical Society of America* **106**, 2843.
- Lane, H.; Denny, M.; Guenther, F.; Hanson, H.; Marrone, N.; Matthies, M.; Perkell, J.; Stockmann, E.; Tiede, M.; Vick, J. & others (2007), 'On the structure of phoneme categories in listeners with cochlear implants', *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **50**(1), 2.
- Le Normand, M. & Lacheret, A. (), *Prosodie chez des enfants implantés cochléaires*, pp. 63-88.
- Lenden, J. & Flipsen, P. (2007), 'Prosody and voice characteristics of children with cochlear implants', *Journal of Communication Disorders* **40**(1), 66--81.
- Lenormand, M.; Lacheret, A. & others (2010), 'Prosodie chez des enfants implantés cochléaires', .
- Li, F.; Edwards, J. & Beckman, M. (2009), 'Contrast and covert contrast: The phonetic development of voiceless sibilant fricatives in English and Japanese toddlers', *Journal of Phonetics* **37**(1), 111--124.
- Liker, M.; Mildner, V. & Sindija, B. (2007), 'Acoustic analysis of the speech of children with cochlear implants: A longitudinal study', *Clinical linguistics & phonetics* **21**(1), 1--11.
- Lyxell, B.; Wass, M.; Sahlén, B.; Samuelsson, C.; ASKER-ÁRNASON, L.; Ibertsson, T.; MÄKI-TORKKO, E.; Larsby, B. & Hällgren, M. (2009), 'Cognitive development, reading and prosodic skills in children with cochlear implants', *Scandinavian journal of psychology* **50**(5), 463--474.
- Lufqvist, A.; Sahlén, B. & Ibertsson, T. (2010), 'Vowel spaces in Swedish adolescents with cochlear implants', *The Journal of the Acoustical Society of America* **128**, 3064.
- Mildner, V.; Sindija, B. & Vrban Zrinski, K. (2006), 'Speech perception of children with cochlear implants and children with traditional hearing aids', *Clinical linguistics & phonetics* **20**(2-3), 219--229.
- Most, T. & Peled, M. (2007), 'Perception of suprasegmental features of speech by children with cochlear implants and children with hearing aids', *Journal of deaf studies and deaf education* **12**(3), 350.
- Ménard, L.; Polak, M.; Denny, M.; Burton, E.; Lane, H.; Matthies, M.; Marrone, N.; Perkell, J.; Tiede, M. & Vick, J. (2007), 'Interactions of speaking condition and auditory feedback on vowel production in postlingually deaf adults with cochlear implants', *The Journal of the Acoustical Society of America* **121**, 3790.

- Nakata, T.; Trehub, S. & Kanda, Y. (2012), 'Effect of cochlear implants on children's perception and production of speech prosody', *The Journal of the Acoustical Society of America* **131**(2), 1307--1314.
- Neumeier, V.; Harrington, J. & Draxler, C. (2010), 'An acoustic analysis of the vowel space in young and old cochlear-implant speakers', *Clinical linguistics & phonetics*(00), 1--8.
- Nguyen, L.; Allegro, J.; Low, A.; Papsin, B. & Campisi, P. (2008), 'Effect of cochlear implantation on nasality in children', *Ear, nose & throat journal* **87**(3).
- Nicolaidis, K. & Sfakiannaki, A. (2007), An acoustic analysis of vowels produced by greek speakers with hearing impairment, in 'ICPhS', pp. 1969--72.
- Oster, A. (1989), 'Changes in speech with use of an implant', *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report* **4**(1988), 13--22.
- Peng, S.; Tomblin, J.; Cheung, H.; Lin, Y. & Wang, L. (2004), 'Perception and production of Mandarin tones in prelingually deaf children with cochlear implants', *Ear and hearing* **25**(3), 251.
- Peng, S.; Tomblin, J.; Spencer, L. & Hurtig, R. (2007), 'Imitative production of rising speech intonation in pediatric cochlear implant recipients', *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* **50**(5), 1210.
- Peng, S.; Tomblin, J. & Turner, C. (2008), 'Production and perception of speech intonation in pediatric cochlear implant recipients and individuals with normal hearing', *Ear and hearing* **29**(3), 336.
- Peng, S.; Weiss, A.; Cheung, H. & Lin, Y. (2004), 'Consonant production and language skills in Mandarin-speaking children with cochlear implants', *Archives of Otolaryngology- Head and Neck Surgery* **130**(5), 592.
- Perkell, J.; Lane, H.; Svirsky, M. & Webster, J. (1992), 'Speech of cochlear implant patients: A longitudinal study of vowel production', .
- Plant, G. & Oster, A. (1986), 'The effects of cochlear implantation on speech production. A case study', *Speech Trans. Lab. QPSR (Stockholm)* **1**, 65--86.
- Roman, S.; Canévet, G.; Lorenzi, C.; Triglia, J. & Liégeois-Chauvel, C. (2004), 'Voice onset time encoding in patients with left and right cochlear implants', *Neuroreport* **15**(4), 601.
- Ryalls, J.; Larouche, A. & Giroux, F. (2003), 'Acoustic comparison of CV syllables in French-speaking children with normal hearing, moderate-to-severe and profound hearing impairment', *Journal of Multilingual Communication Disorders* **1**(2), 99--114.
- Scarbel, L. (2011), 'Production de parole et perception de sons et de parole par les enfants sourds porteurs d'un implant cochléaire'.
- Schwartz, J.; Basirat, A.; Ménard, L. & Sato, M. (2010), 'The Perception-for-Action-Control Theory (PACT): A perceptuo-motor theory of speech perception', *Journal of Neurolinguistics*.

Spencer, L.; Tye-Murray, N. & Tomblin, J. (1998), 'The production of English inflectional morphology, speech production and listening performance in children with cochlear implants', *Ear and Hearing* **19**(4), 310.

Todd, A.; Edwards, J. & Litovsky, R. (2011), 'Production of contrast between sibilant fricatives by children with cochlear implants', *The Journal of the Acoustical Society of America* **130**(6), 3969--3979.

Trautmüller, H. (1990), 'A note on hidden factors in vowel perception experiments', *The Journal of the Acoustical Society of America* **88**, 2015.

Uchanski, R. & Geers, A. (2003), 'Acoustic characteristics of the speech of young cochlear implant users: a comparison with normal-hearing age-mates', *Ear and hearing* **24**(1), 90S.

Van Lierde, K.; Vinck, B.; Baudonck, N.; De Vel, E. & Dhooge, I. (2005), 'Comparison of the overall intelligibility, articulation, resonance, and voice characteristics between children using cochlear implants and those using bilateral hearing aids: a pilot study', *International Journal of Audiology* **44**(8), 452--465.

## **Table des figures**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Schéma de l'oreille .....  | 10 |
| Figure 2: Distribution des fréquences dans la cochlée humaine.<br>( <a href="http://users.skynet.be/illusionsauditives/images/1%27ouie4.jpg">http://users.skynet.be/illusionsauditives/images/1%27ouie4.jpg</a> ) .....  | 11 |
| Figure 3: Courbe audiométrique de l'oreille humaine .....  | 11 |
| Figure 4 : Les degrés de surdité .....   | 13 |
| Figure 5: Partie externe d'un implant sans boîtier ; Marque Cochlear   .....   | 15 |
| Figure 6: Partie interne d'un implant cochléaire – Marque Advanced Bionic  .....   | 16 |
| Figure 7: Le fonctionnement d'un implant cochléaire .....  | 17 |
| Figure 8: Résultats des tests de perception des trois groupes d'enfants. (Most & Peled, 2007)<br>.....   | 19 |
| Figure 9: Résultats d'identification des phonèmes pour chaque groupe (CI= enfants implantés,<br>NH= enfants entendants, A= adultes) (Giezen et al. 2010) .....   | 22 |
| Figure 10: Résultats des tests de catégorisation pour les consonnes (occlusives à droite,<br>fricatives à gauche) pour chaque groupe de sujets (enfants implantés en haut, enfants<br>entendants au centre, adultes entendants en bas) (Giezen et al. 2010).....   | 23 |
| Figure 11: Triangle vocalique des deux groupes d'enfants.(Liker et al. 2007) .....   | 25 |
| Figure 12: Triangle vocalique des enfants entendants, des enfants implantés et des<br>enfants appareillés (Baudonck et al. 2011) .....   | 26 |
| Figure 13: Espaces vocaliques des trois groupes d'enfants (Horga et Liker 2006).....   | 27 |
| Figure 14: Intelligibilité des voyelles produites par les trois groupes d'enfants (Horga et Liker<br>2006).....  | 27 |
| Figure 15: Moyenne des valeurs du F2 pour chaque groupe de sujets .....  | 28 |
| Figure 16: Résultat des deux mesures de l'espace vocalique dans les deux groupes (Valeurs en<br>Bark) (Löfqvist et al. 2010).....  | 30 |
| Figure 17 : Moyenne des valeurs du F1 et du F2 dans les deux groupes (Valeurs en bark)....   | 30 |
| Figure 18 : Gamme des F1 et F2 dans les deux groupes (Löfqvist et al. 2010).....   | 31 |
| Figure 19: Moyennes des valeurs de VOT pour /t/ (figure du haut), pour /d/ (figure du milieu)<br>et pour /t/ et /d/ (figure du bas) par sujets, pour chaque groupe de sujet (TC (Total<br>Communication)=enfants implantés en communication totale, Oral= enfants implantés en<br>communication orale, NH (Normal Hearing)= enfants entendants WNL (With Normal<br>Limits)= valeurs limites normales)(Uchanski & Geers 2003) ..... | 33 |
| Figure 20: Durée du VOT pour les consonnes voisées et non-voisées dans les trois groupes<br>d'enfants.....   | 34 |
| Figure 21: durée de fermeture (en ms) des consonnes voisées et non-voisées chez les trois<br>groupes d'enfants. (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants<br>appareillés)(Horga & Liker 2006).....   | 34 |
| Figure 22: Mesures des moyennes spectrales pour les consonnes /s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers<br>2003).....  | 36 |
| Figure 23: Mesures des "spectral skewness" pour les consonnes/s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers<br>2003).....   | 36 |
| Figure 24: Mesures des "spectral kurtosis" pour les consonnes /s/ et /ʃ/(Uchanski & Geers<br>2003).....  | 37 |
| Figure 25: Production des consonnes fricatives par les deux groupes d'enfants (enfants<br>entendants en bas de figure, enfants implantés lors des trois enregistrements) (Liker et al.<br>2007).....   | 37 |
| Figure 26: Production des consonnes affriquées par les deux groupes d'enfants.(Liker et al.<br>2007).....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 27: Valeurs du pic spectral pour les consonnes /s/ et /S/ dans les deux groupes d'enfants.(Todd et al. 2011).....   | 40 |
| Figure 28: Simulation de sortie des canaux d'un implant cochléaire .....   | 41 |
| Figure 29 : Pourcentage de production correcte pour chaque type de consonnes.(Peng et al. 2004).....   | 42 |
| Figure 30: Tracés des contours prosodiques chez un enfant implanté et chez le locuteur-modèle.(Bergeson et al. 2009).....  | 45 |
| Figure 31: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne occlusive sourde ("kiwi").....  | 60 |
| Figure 32: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne occlusive voisée ("biche") .....  | 60 |
| Figure 33: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une consonne fricative ("filet")   | 61 |
| Figure 34: Exemple d'annotation d'un mot commençant par une voyelle ("enfant").....  | 61 |
| Figure 35: Exemple d'annotation du burst et du voisement pour une consonne occlusive voisée.....   | 62 |
| Figure 36: annotation de la justesse de production pour le mot dinosaure chez un enfant implanté. Dans cet exemple, l'enfant n'a fait aucune erreur de production, ni sur la syllabe initiale ni sur le mot, les étiquettes sont donc toutes à 1. .... | 63 |
| Figure 37: annotation des erreurs de production du mot « eucalyptus » chez un enfant implanté.....   | 64 |
| Figure 38: Valeurs du centre de gravité pour les deux groupes d'enfants selon le lieu d'articulation. ....   | 71 |
| Figure 39: Valeurs de l'écart-type pour les deux groupes d'enfants selon le lieu d'articulation .....  | 73 |
| Figure 40: Valeurs du troisième moment selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets....   | 74 |
| Figure 41: Valeurs du kurtosis selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets .....   | 75 |
| Figure 42: Valeurs de VOT par lieux d'articulation pour chaque groupe d'enfants.....   | 79 |
| Figure 43: Valeurs des VOT chez les deux groupes d'enfants.....  | 80 |
| Figure 44 : Moyenne des valeurs du VOT chez les deux groupes d'enfants .....   | 81 |
| Figure 45: Représentation de répartition des VOT (en sec) selon leur valeur pour les deux groupes d'enfants. ....  | 82 |
| Figure 46: Taille de l'espace vocalique (en bark) des deux groupes de sujets.....  | 84 |
| Figure 47: Taille de l'espace vocalique (en bark) chez tous les sujets, en fonction de leur âge .....  | 84 |
| Figure 48: Triangle vocalique de toutes les voyelles produites par le groupe d'enfants entendants.....   | 85 |
| Figure 49: Triangle vocalique de toutes les voyelles produites par le groupe d'enfants implantés .....   | 86 |
| Figure 50: Moyenne des valeurs de F1 par les deux groupes d'enfants .....  | 87 |
| Figure 51: Gamme de F1 chez les deux groupes d'enfants .....   | 88 |
| Figure 52: Moyenne des valeurs de F2 par les deux groupes d'enfants. ....  | 89 |
| Figure 53: Gamme des F2 chez les deux groupes d'enfants.....   | 89 |
| Figure 54: Valeurs du centre de gravité chez les enfants de l'étude de Nissen et Fox (2005) .  | 91 |
| Figure 55: Valeur de l'espace vocalique des groupes d'enfants .....  | 93 |
| Figure 56: Valeurs de l'espace vocaliques (en bark) chez les enfants de notre étude et de celle de Löfqvist et al. (2010), selon l'âge des enfants .....   | 94 |

## **Table des tableaux**

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1: Résultats détaillés des trois groupes d'enfants pour chaque tâche. (Most & Peled, 2007).....   | 19 |
| Tableau 2: Perception de la production des trois groupes d'enfants des consonnes voisées et non voisées (HC= enfants entendants, CI=enfants implantés, PD=enfants appareillés)(Horga & Liker 2006)..... | 35 |
| Tableau 3: Types d'erreurs de production réalisées par chaque groupe d'enfants, par consonne.(Todd et al. 2011).....  | 39 |
| Tableau 4: Résultats des enfants implantés et des adultes pour la première tâche.(Bergeson et al. 2009).....  | 45 |
| Tableau 5: Scores de production des enfants implantés et du locuteur-modèle.(Bergeson et al. 2009).....   | 46 |
| Tableau 6: Liste des mots choisis pour les consonnes .....  | 51 |
| Tableau 7: Liste des mots retenus pour l'analyse des voyelles .....   | 52 |
| Tableau 8: Détails des enfants implantés .....  | 53 |
| Tableau 9: Détails des enfants normo-entendants.....  | 54 |
| Tableau 10: Taux de productions correctes pour chaque groupe d'enfants (CI= enfants implantés, NH=enfants entendants) .....   | 68 |
| Tableau 11: Taux de productions correctes des consonnes fricatives pour chaque groupe d'enfants en fonction du lieu d'articulation de la consonne.....  | 69 |
| Tableau 12: Anova des valeurs du centre de gravité par lieux d'articulation selon le groupe de sujets.....  | 70 |
| Tableau 13: Anova des valeurs de l'écart-type selon le lieu d'articulation et le groupe de sujets.....  | 72 |
| Tableau 14: Anova des valeurs du troisième moment selon le lieu d'articulation et les groupes de sujets.....  | 76 |
| Tableau 15: Anova des valeurs du kurtosis selon les lieux d'articulation et les groupes de sujets.....  | 76 |
| Tableau 16: Valeurs significatives des ANOVA réalisées pour comparer les tâches.....  | 77 |
| Tableau 17: ANOVA des valeurs de VOT en fonction du lieu d'articulation et du groupe de sujet .....   | 78 |
| Tableau 18: ANOVA des valeurs du VOT en fonction du mode d'articulation et du groupe de sujets.....   | 79 |
| Tableau 19: ANOVA des valeurs d'espace vocalique par groupe de sujets et par âge .....  | 83 |
| Tableau 20: Résultats du test de significativité entre les groupes d'enfants de notre étude.....  | 93 |

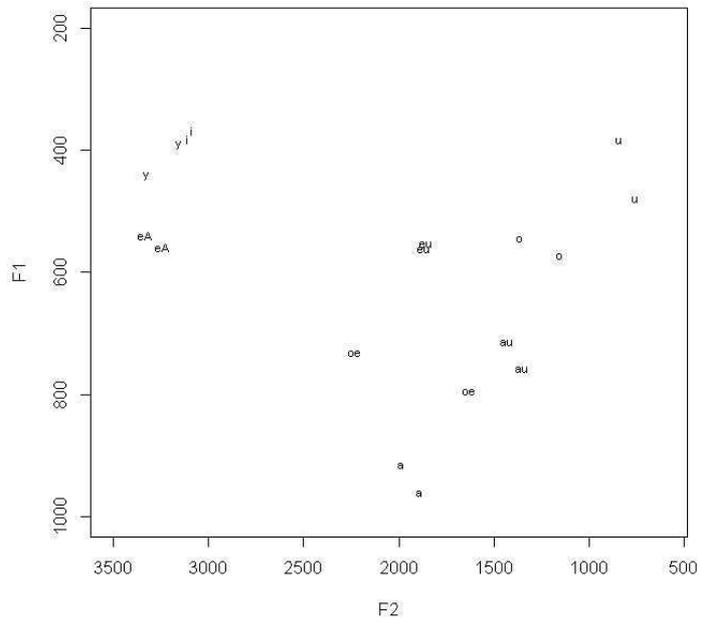
## **Table des annexes**

**I.1. Annexe 1: Triangles vocaliques des enfants entendants (NH)  
et des enfants implantés (CI) par enfants, en bark et en Hz**

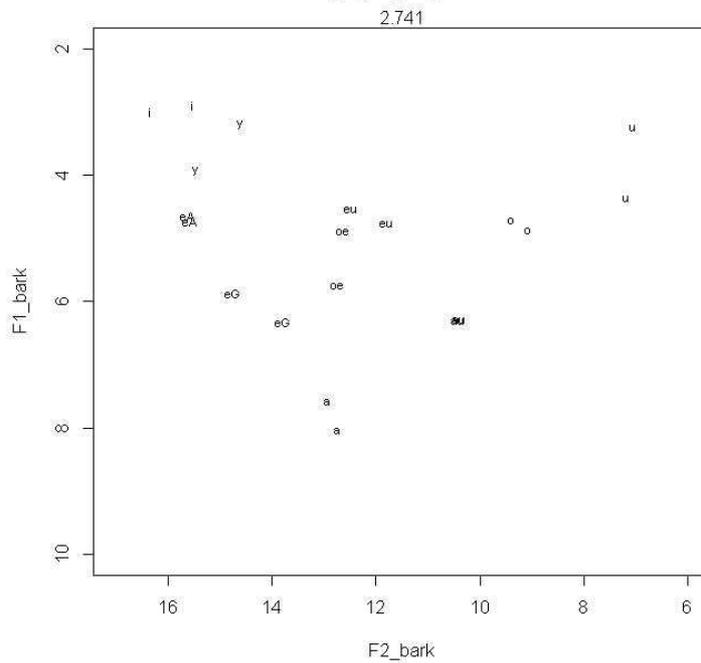
**I.2. Annexe 2 : Audiogrammes par enfants**

# I.1. Annexe1: Triangle vocalique des enfants entendants (NH) et des enfants implantés (CI) par enfants, en bark et en Hz.

NH8\_5\_R\_voyoral.txt

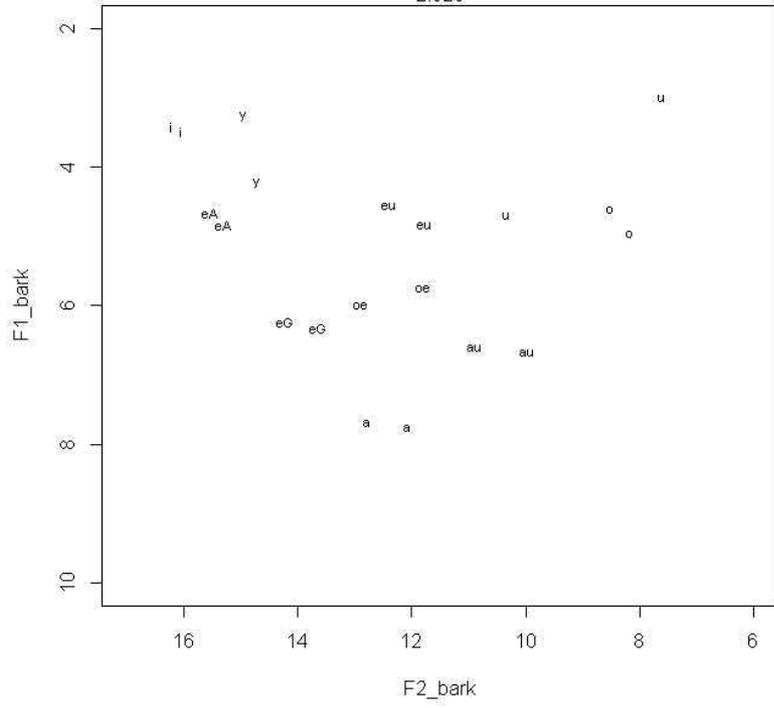


NH1\_8\_R1\_voyoral.txt



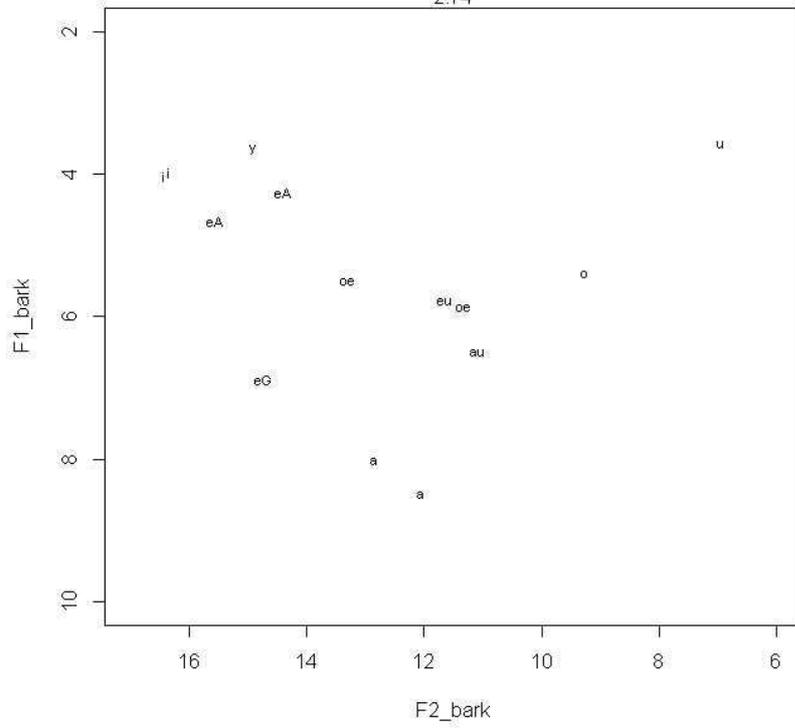
NH1\_8\_R2\_voyoral.txt

2.626



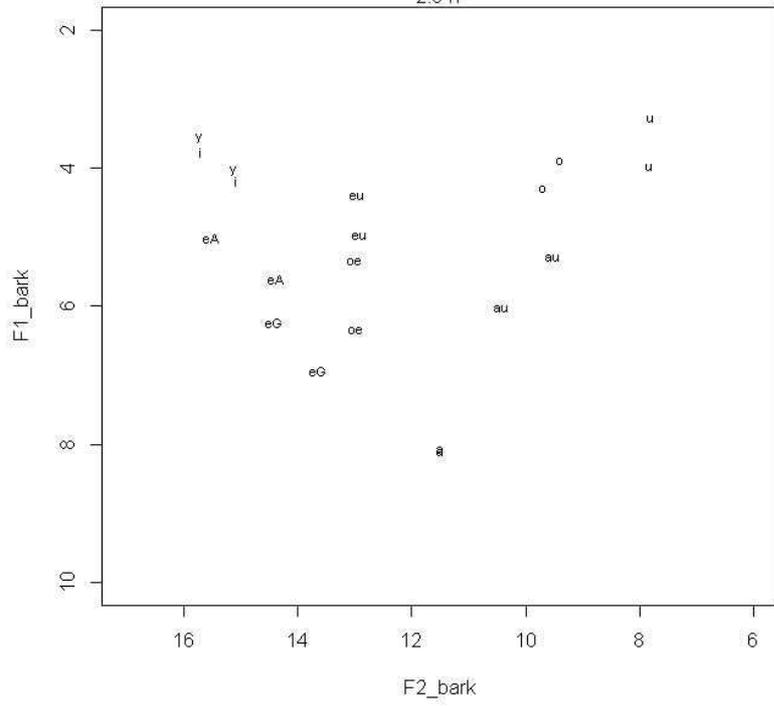
NH3\_5\_P\_voyoral.txt

2.74



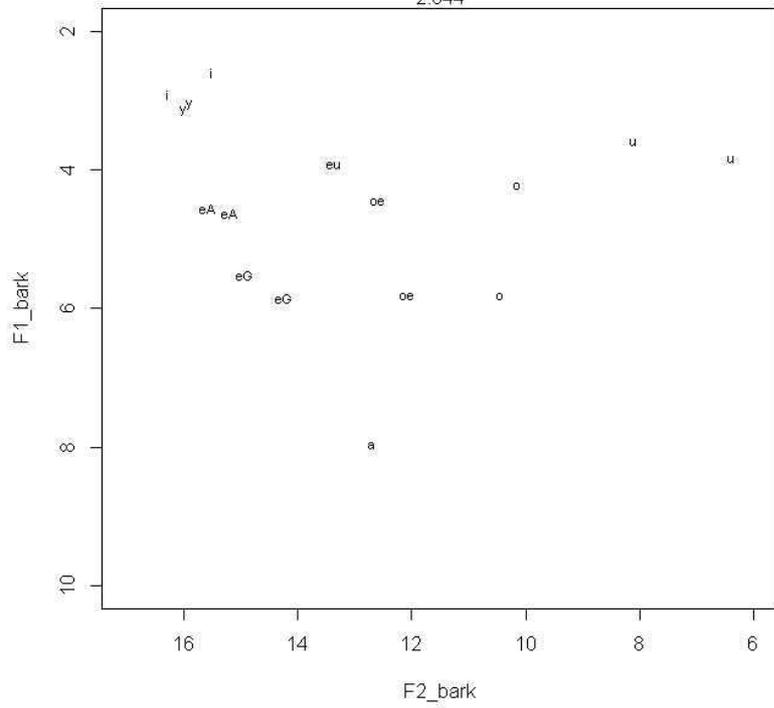
NH3\_5\_R\_voyoral.txt

2.647



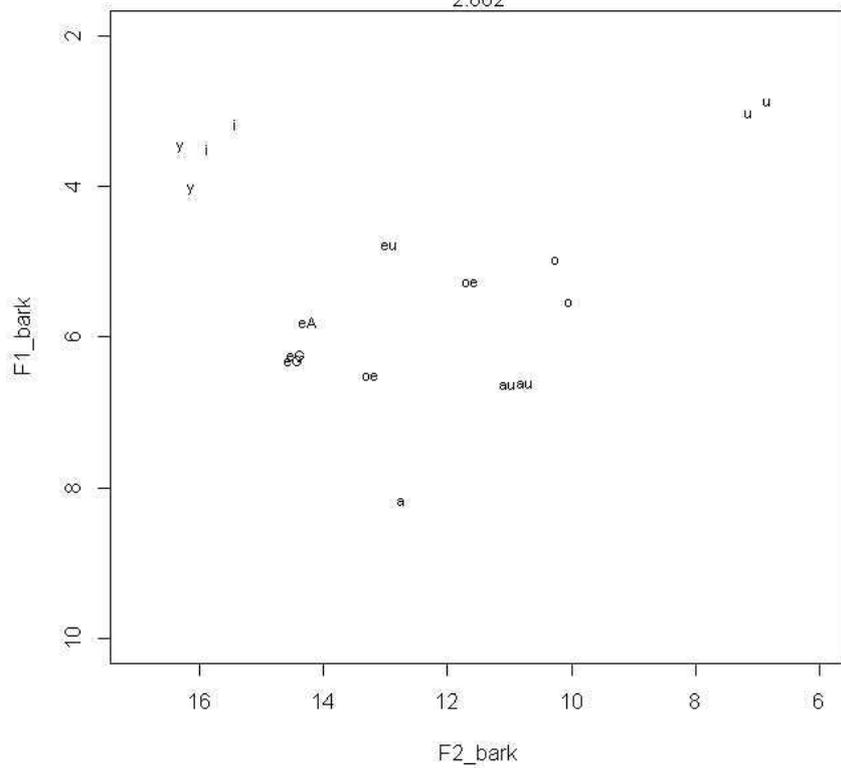
NH4\_7\_P\_voyoral.txt

2.844



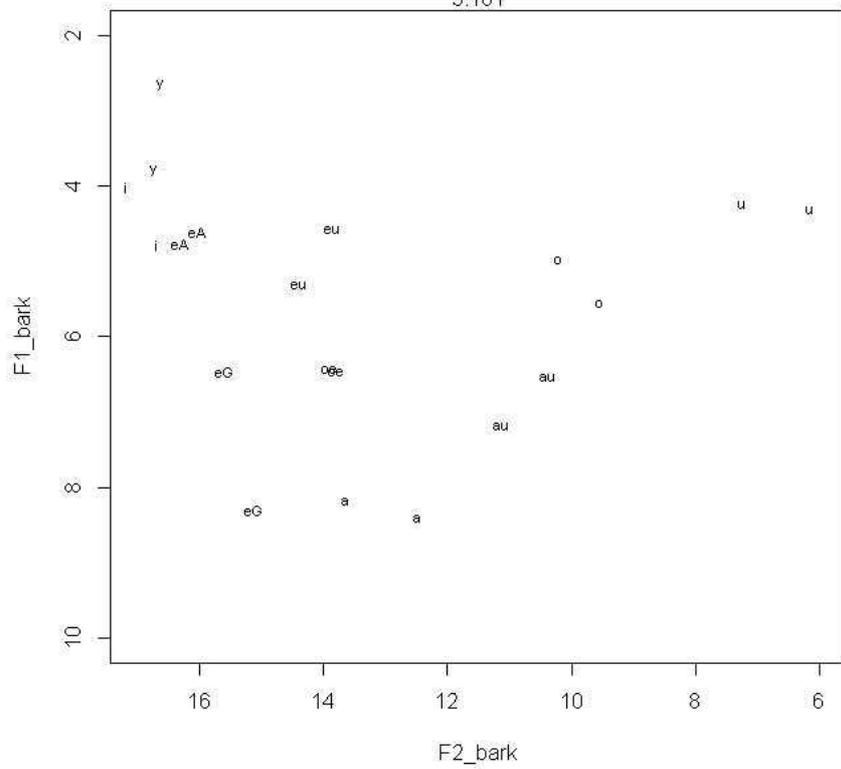
NH4\_7\_R\_voyoral.txt

2.862



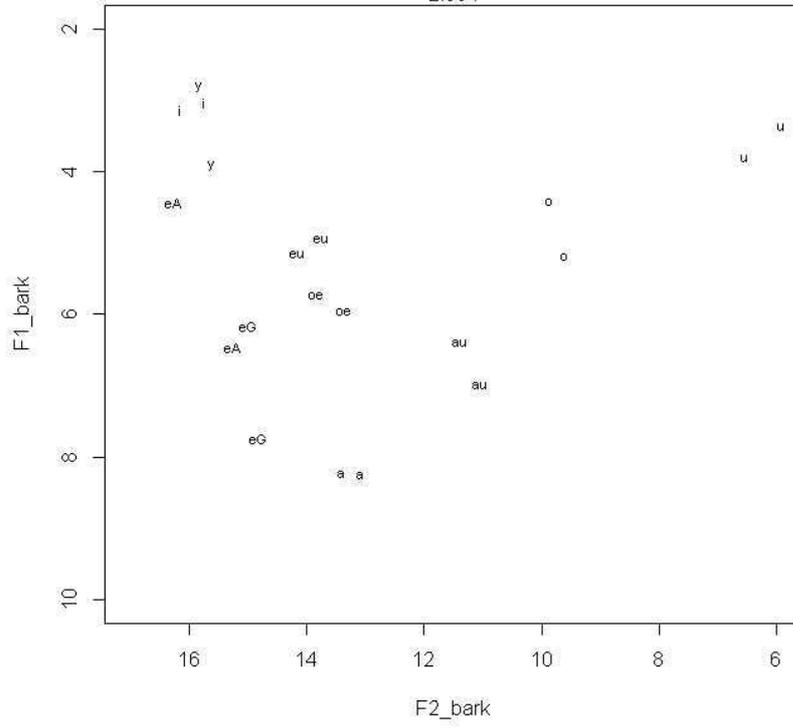
NH5\_7\_P\_voyoral.txt

3.181



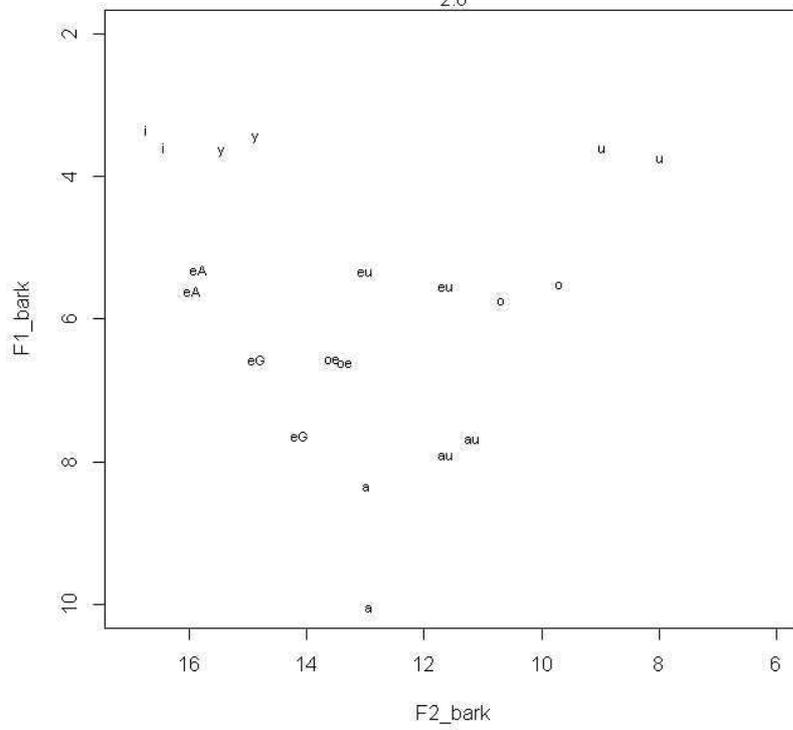
NH5\_7\_R\_voyoral.txt

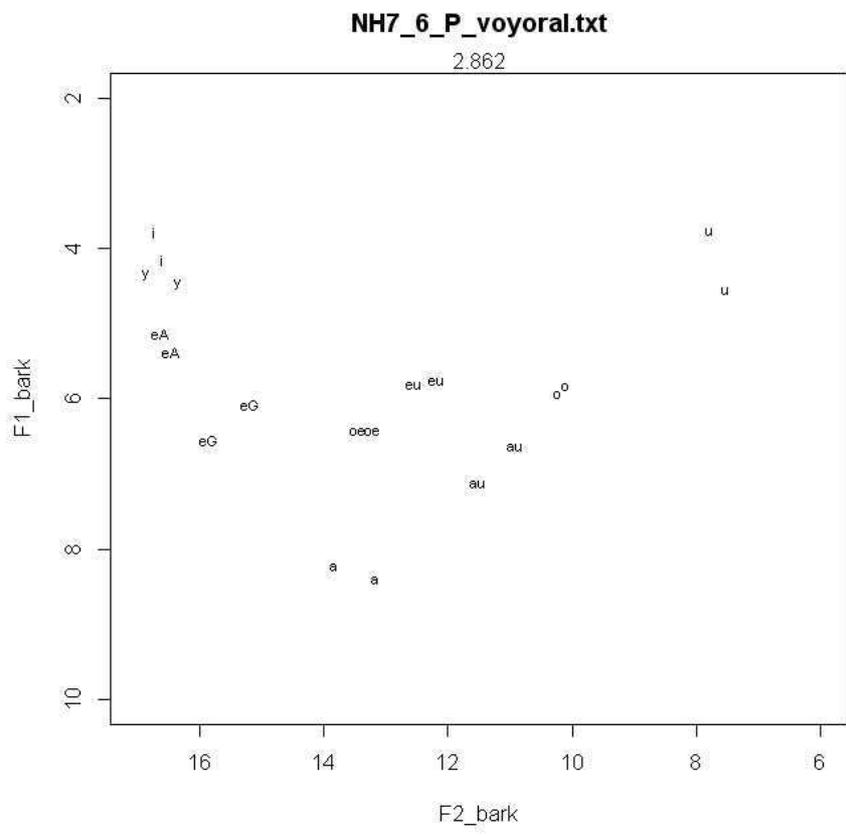
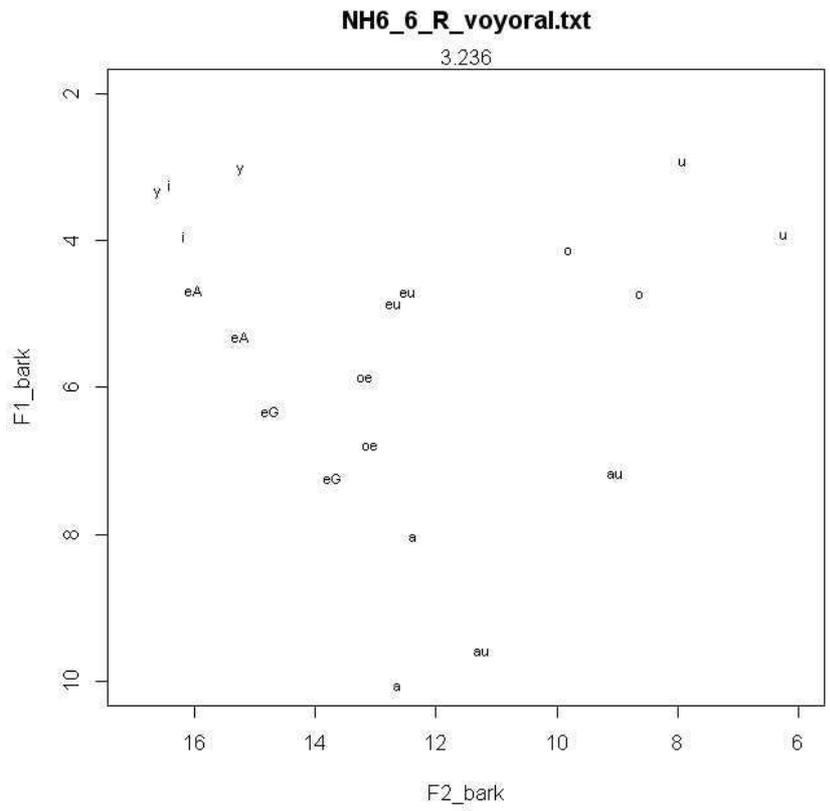
2.994



NH6\_6\_P\_voyoral.txt

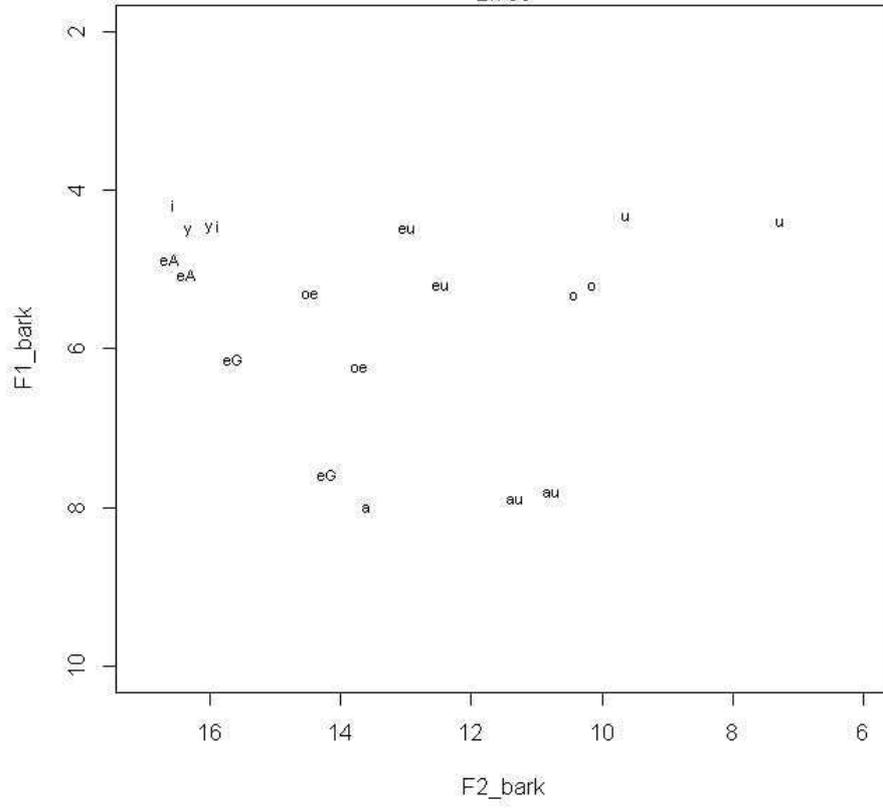
2.8





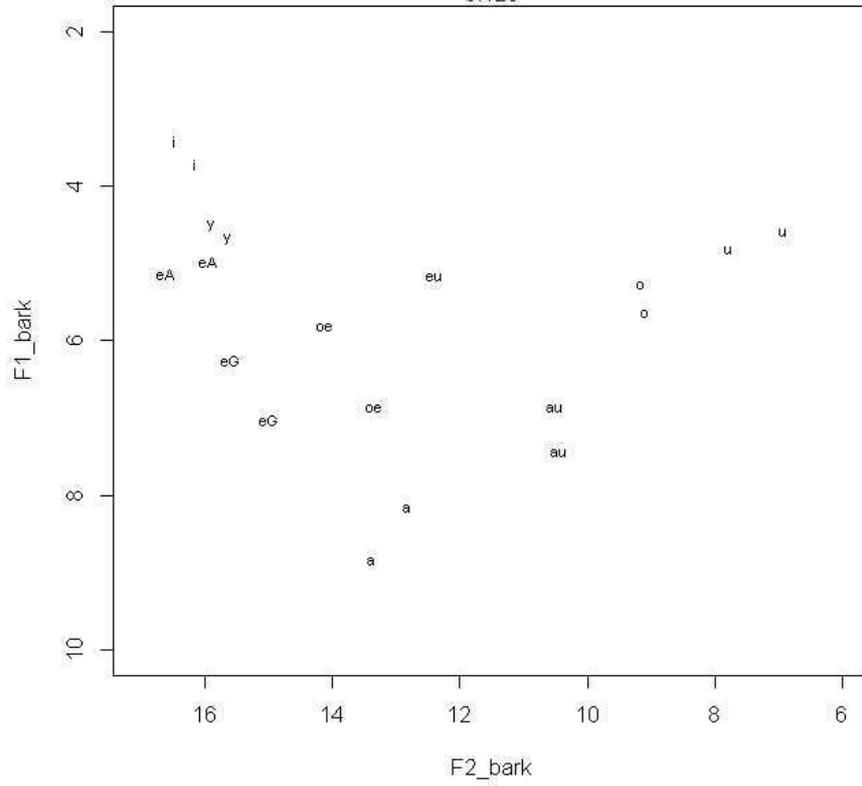
NH7\_6\_R\_voyoral.txt

2.758



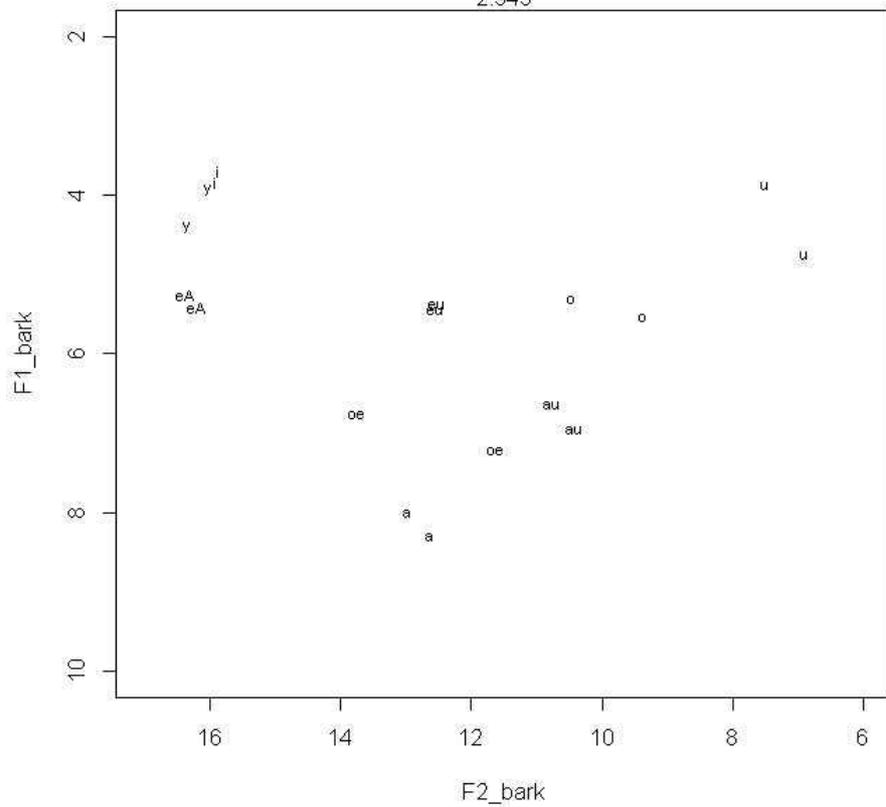
NH8\_5\_P\_voyoral.txt

3.125

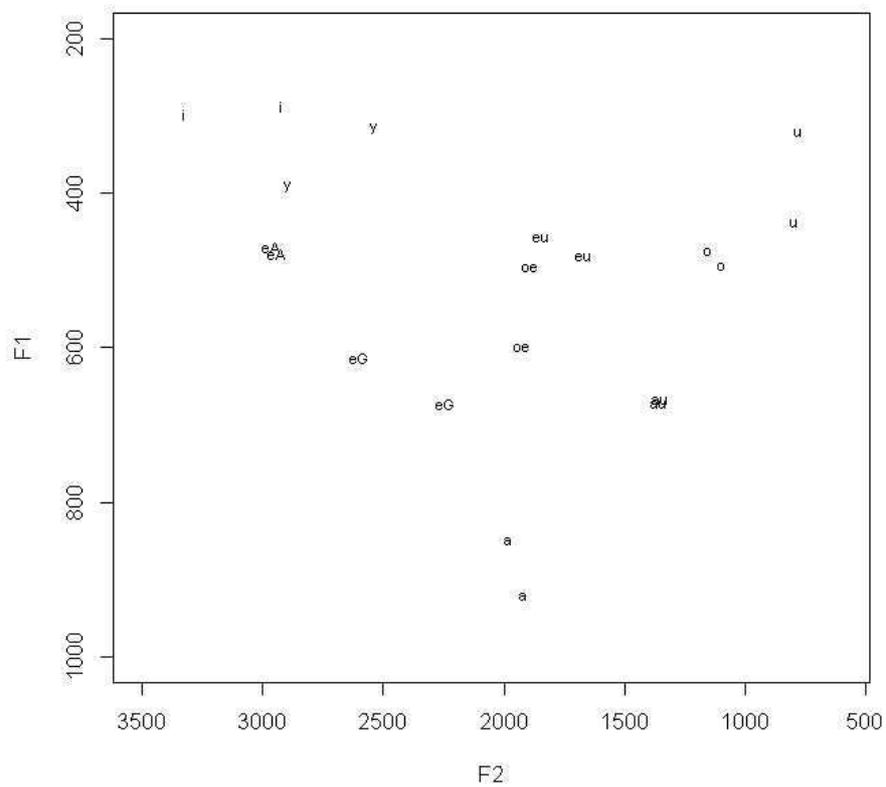


NH8\_5\_R\_voyoral.txt

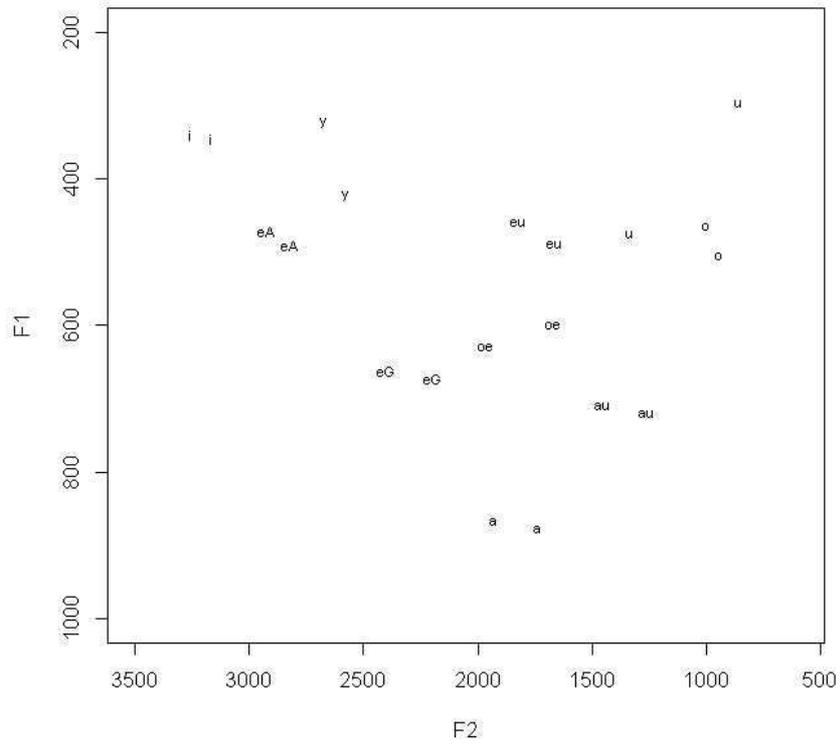
2.945



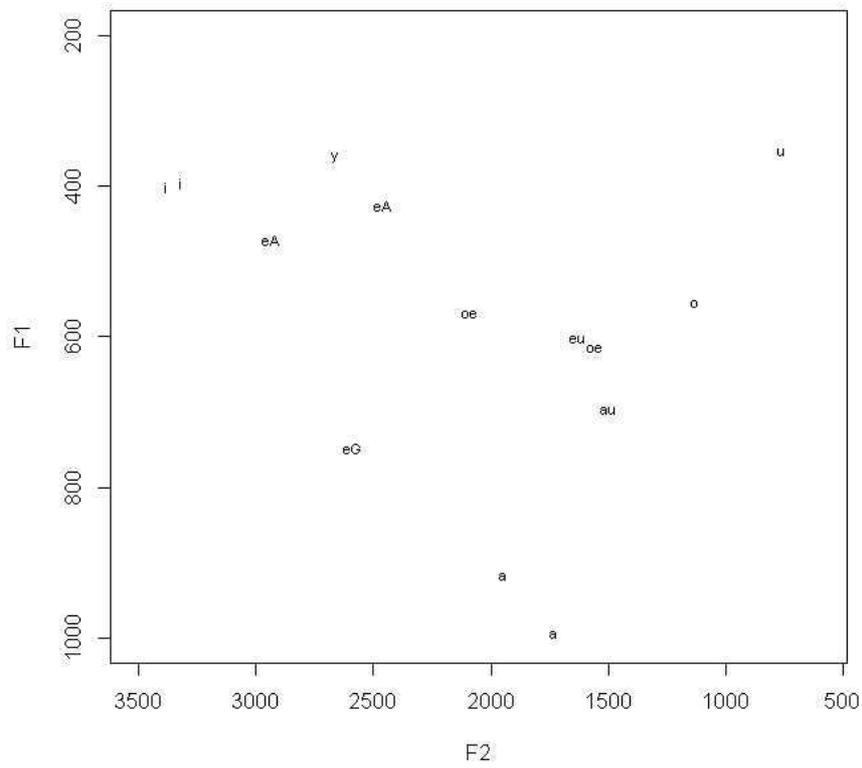
NH1\_8\_R1\_voyoral.txt



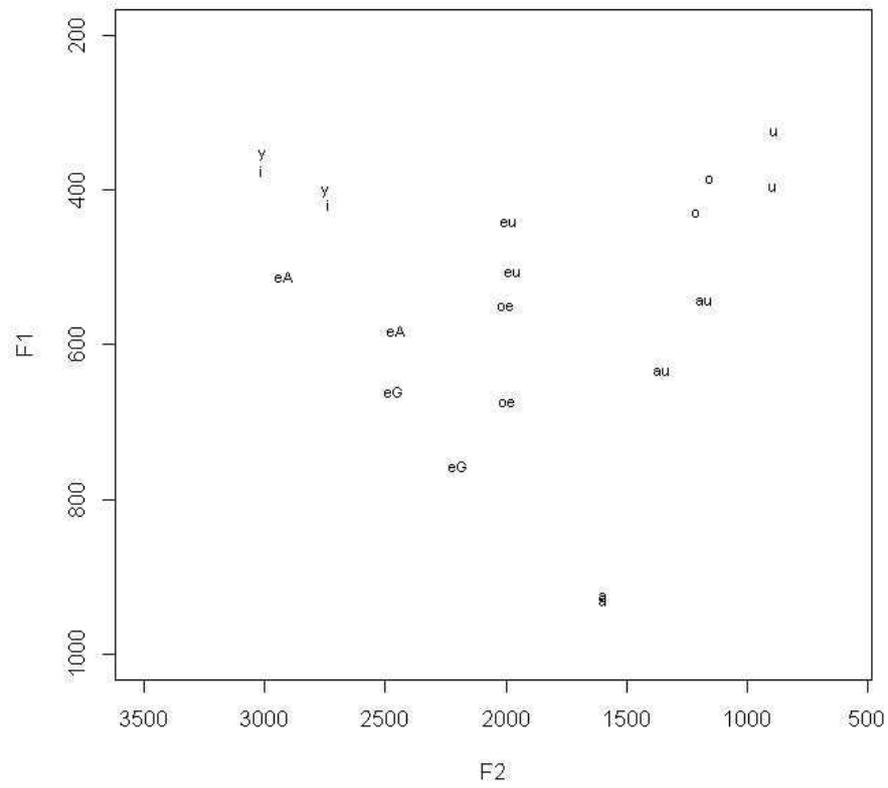
NH1\_8\_R2\_voyoral.txt



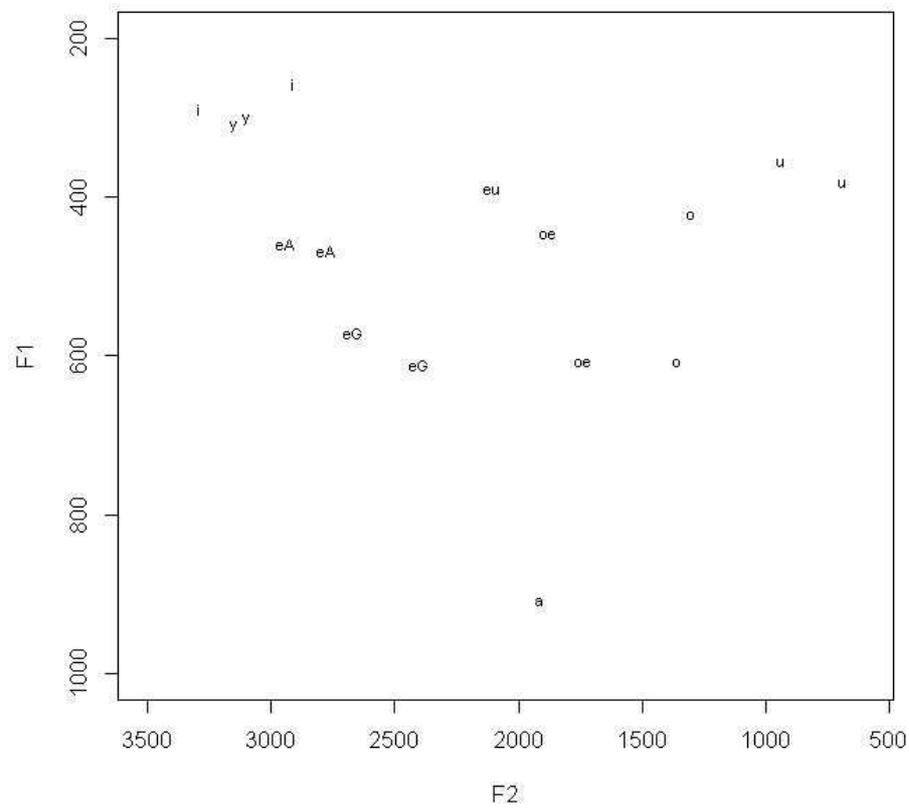
NH3\_5\_P\_voyoral.txt



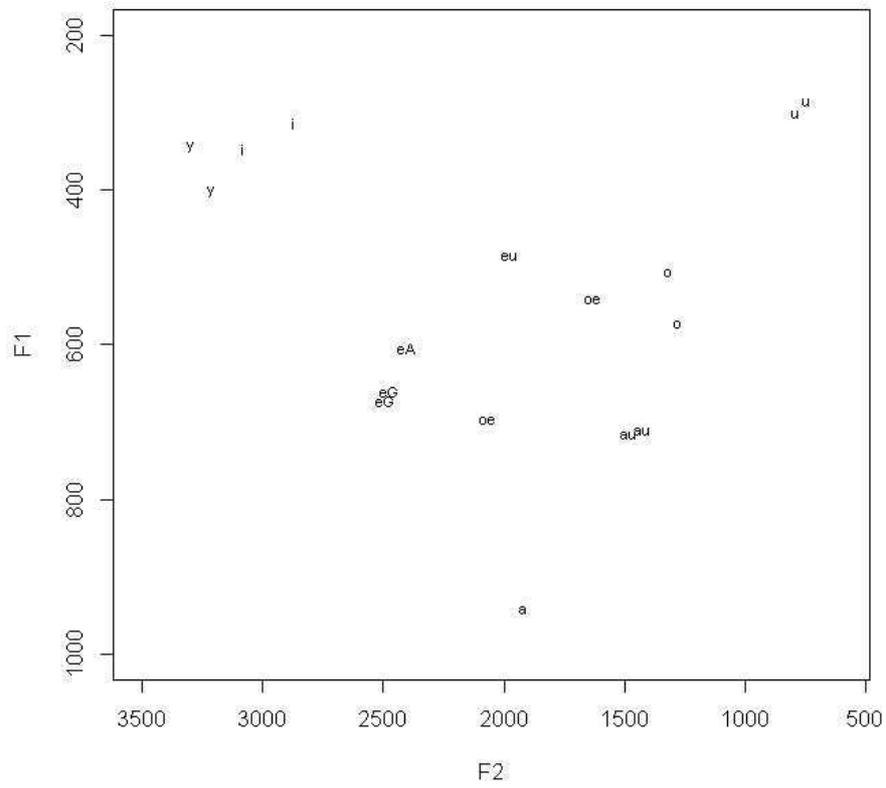
NH3\_5\_R\_voyoral.txt



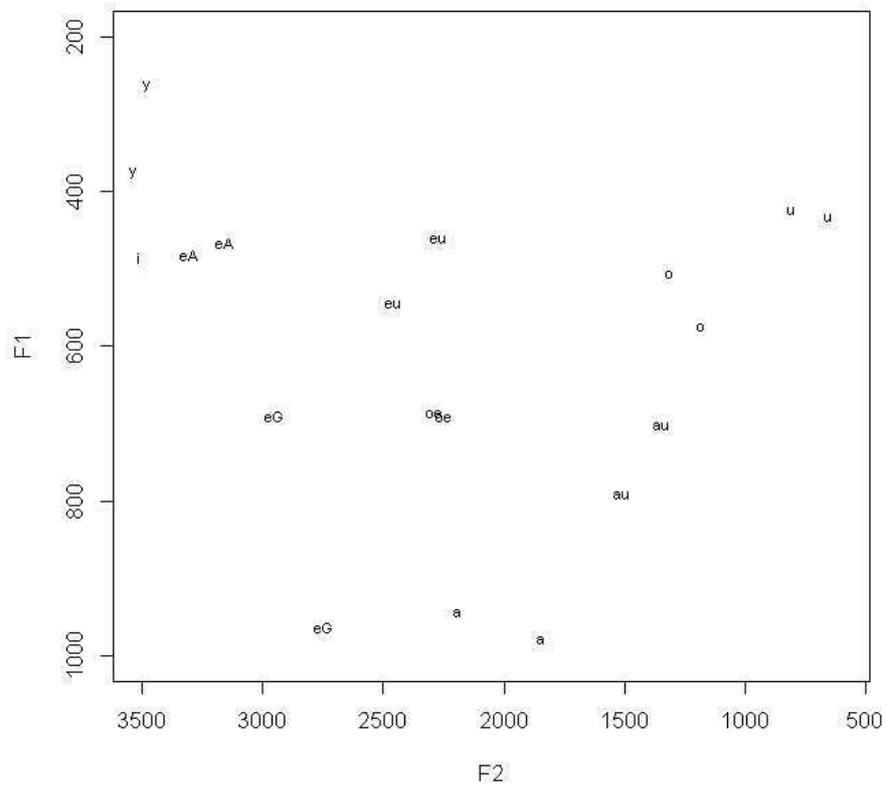
NH4\_7\_P\_voyoral.txt



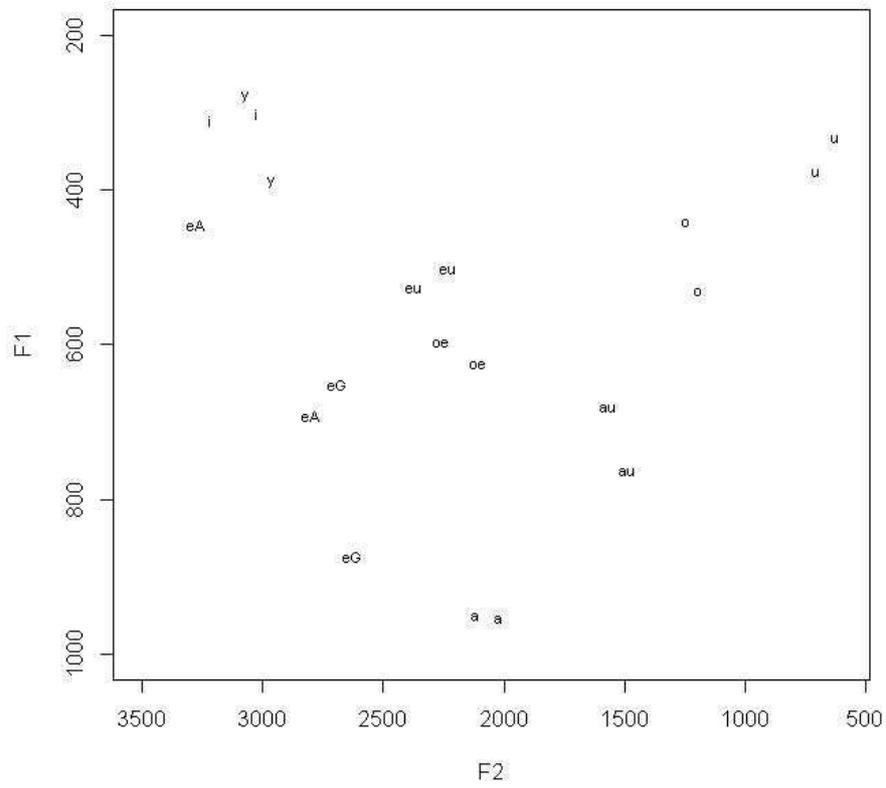
NH4\_7\_R\_voyoral.txt



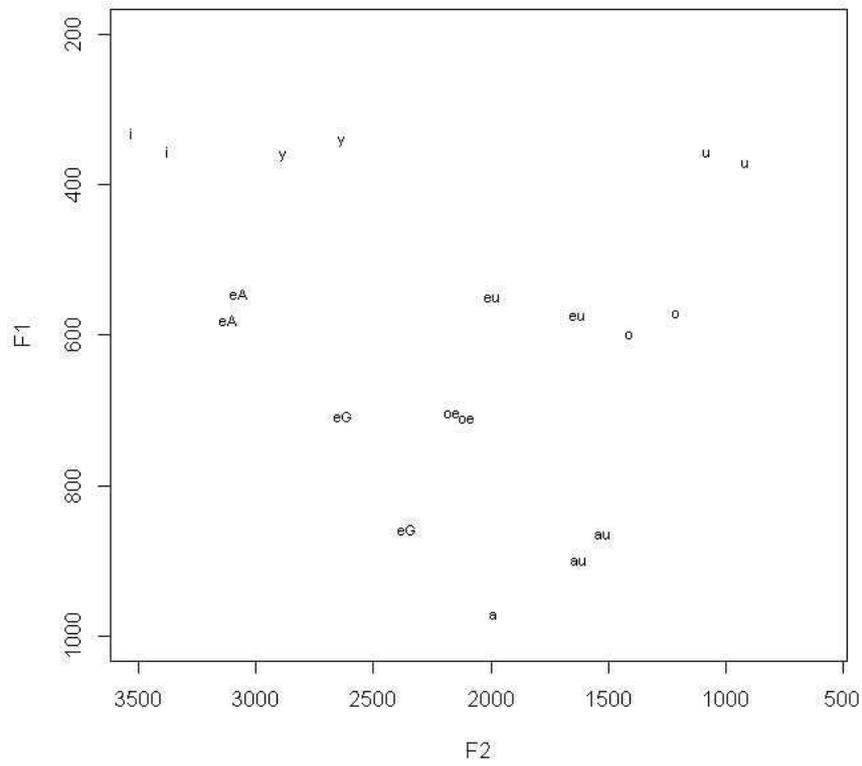
NH5\_7\_P\_voyoral.txt



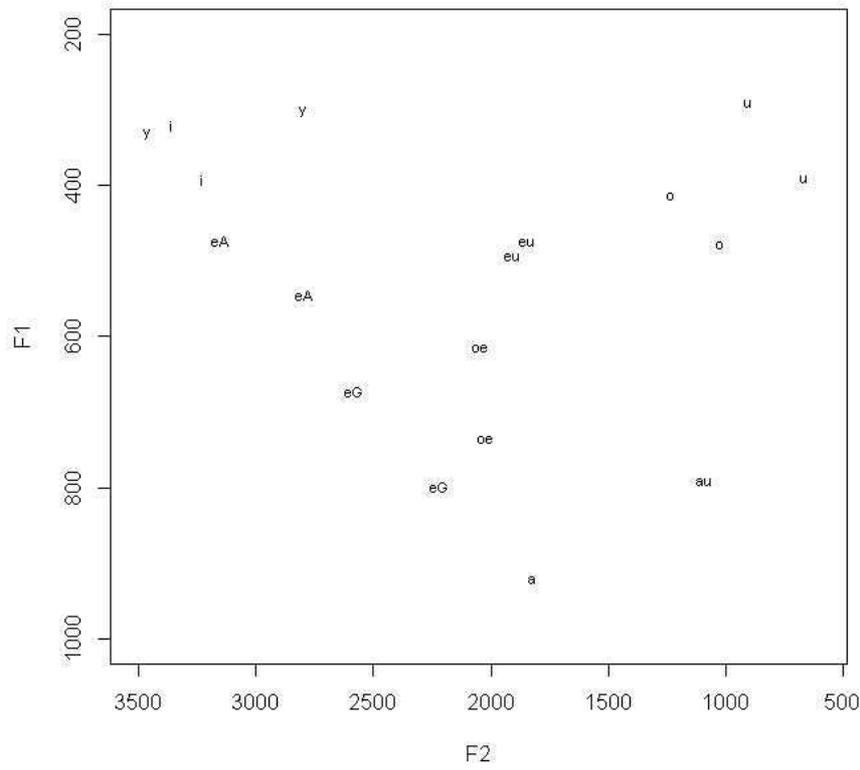
NH5\_7\_R\_voyoral.txt



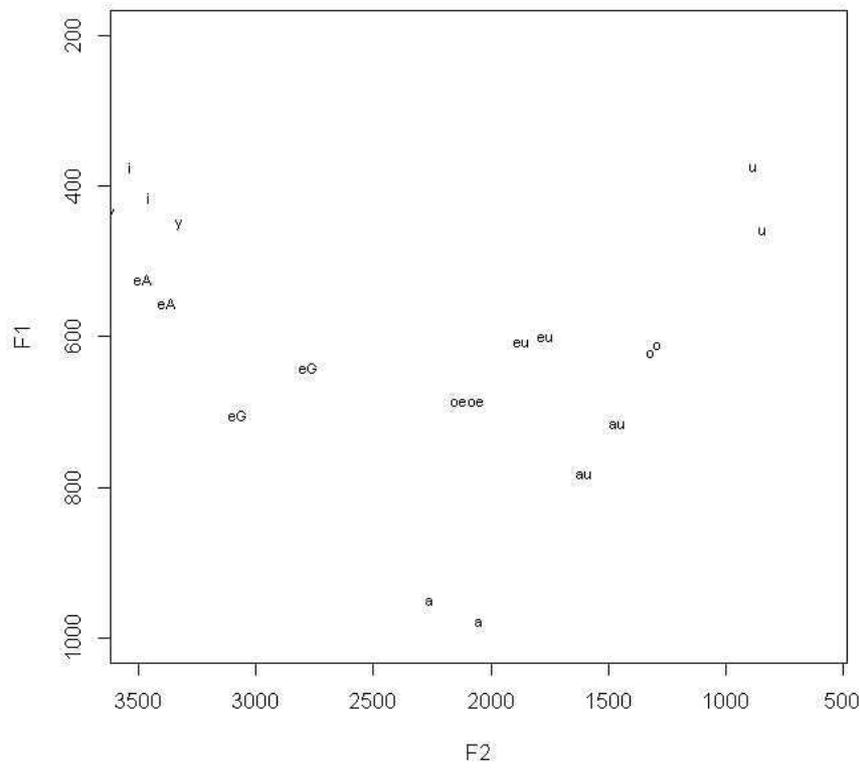
NH6\_6\_P\_voyoral.txt



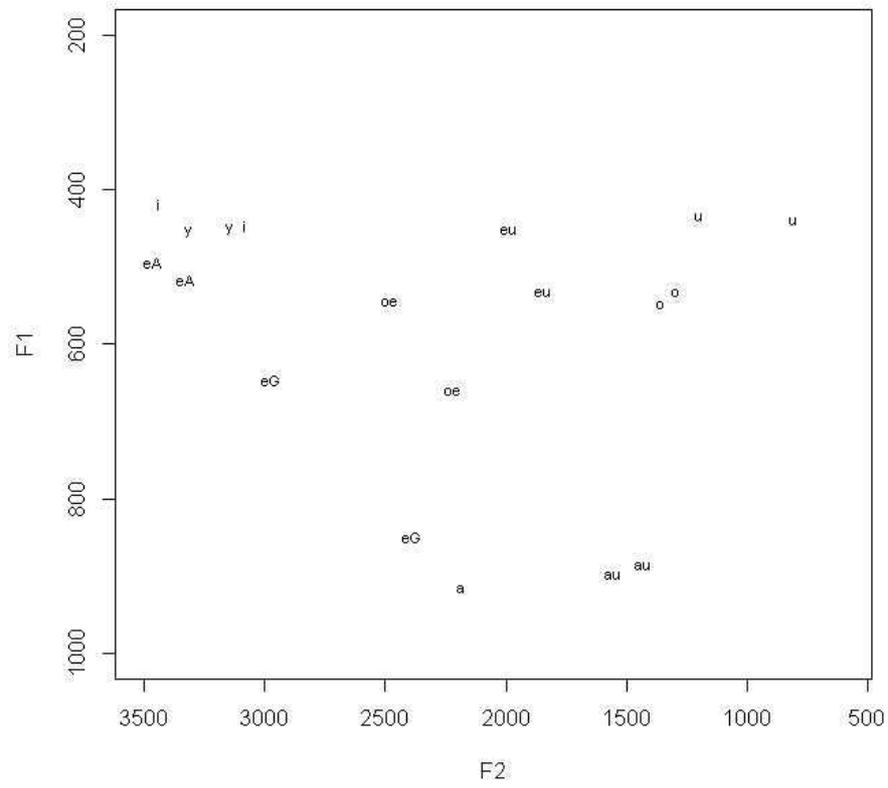
NH6\_6\_R\_voyoral.txt



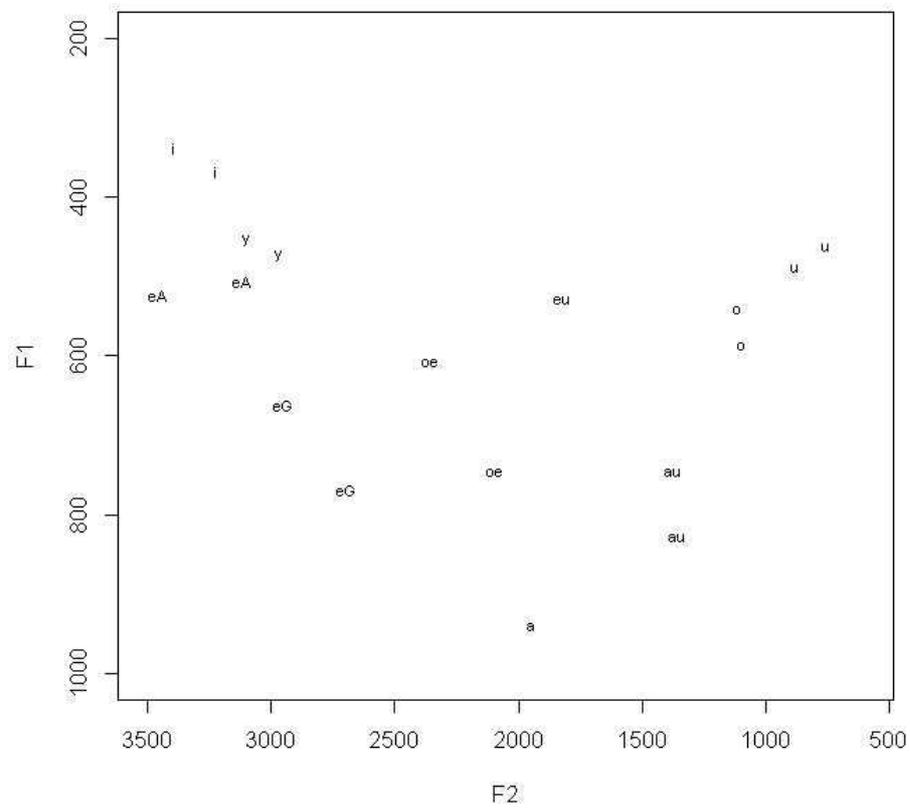
NH7\_6\_P\_voyoral.txt



NH7\_6\_R\_voyoral.txt

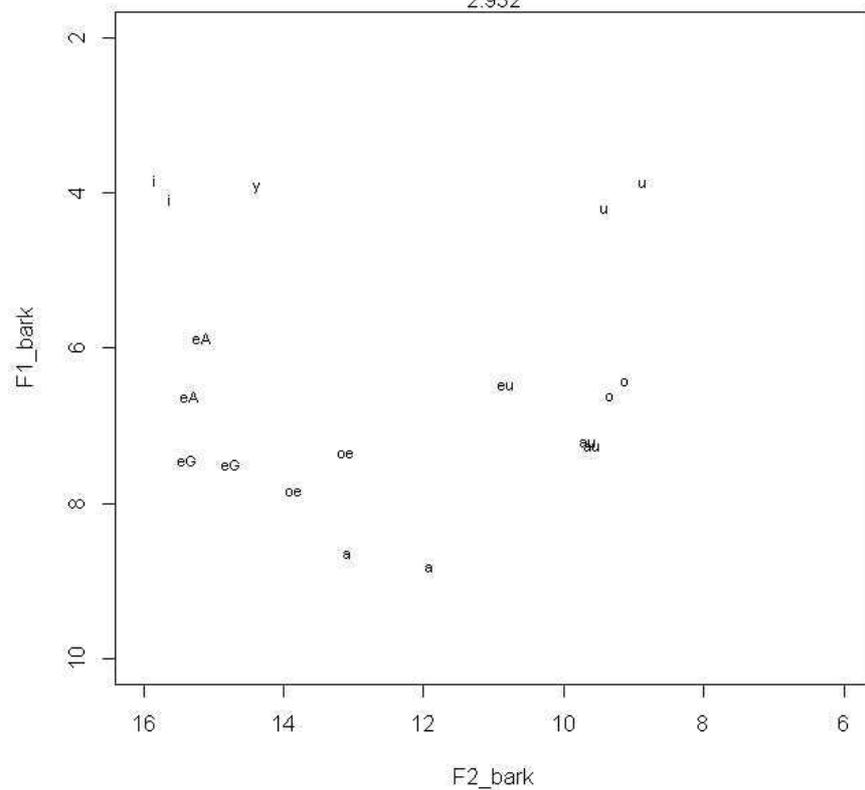


NH8\_5\_P\_voyoral.txt



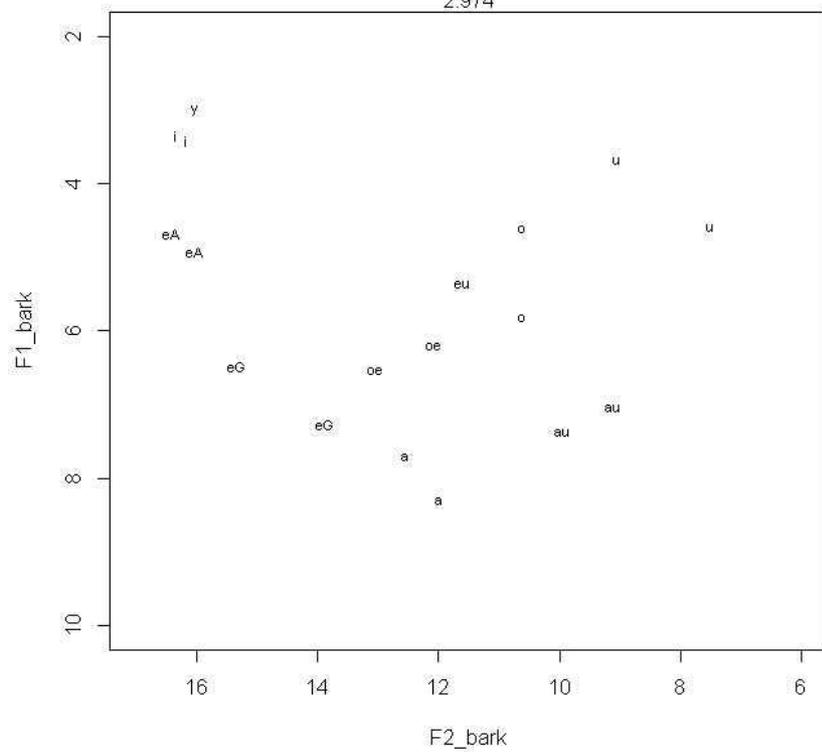
CI1\_10\_P\_voyoral.txt

2.932



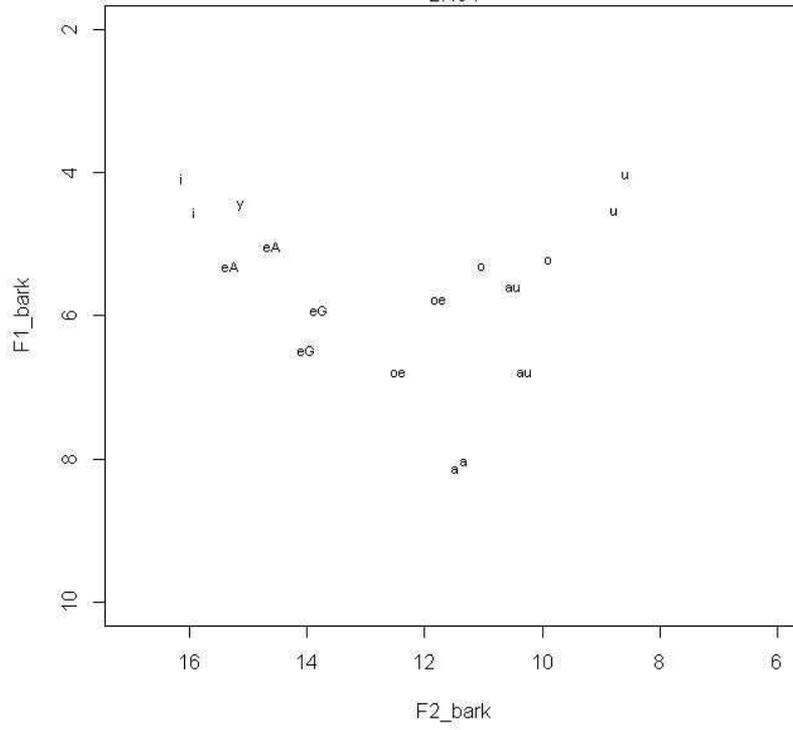
CI1\_10\_R\_voyoral.txt

2.974



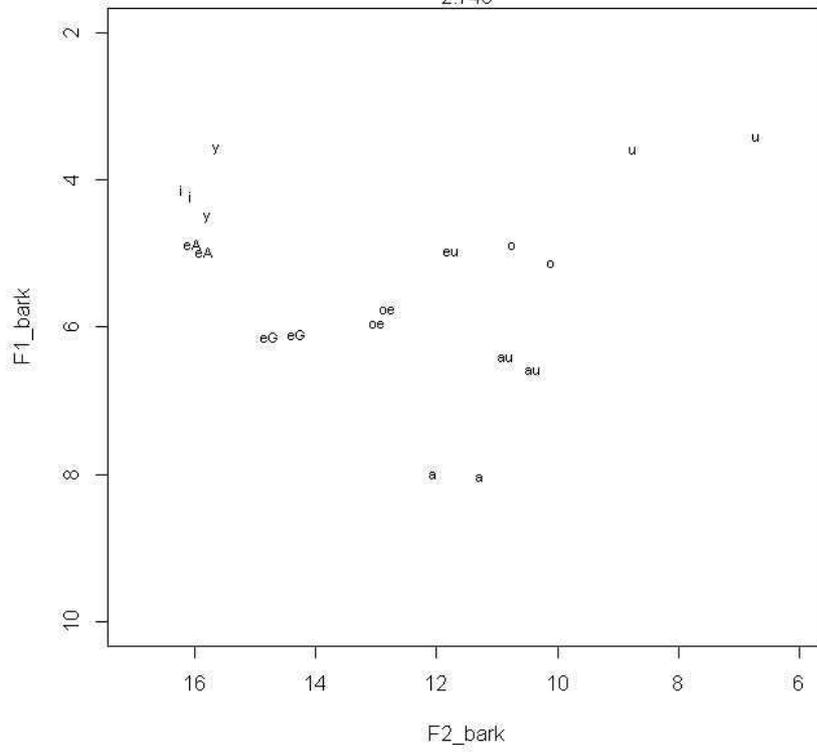
**CI2\_9\_P\_voyoral.txt**

2.494



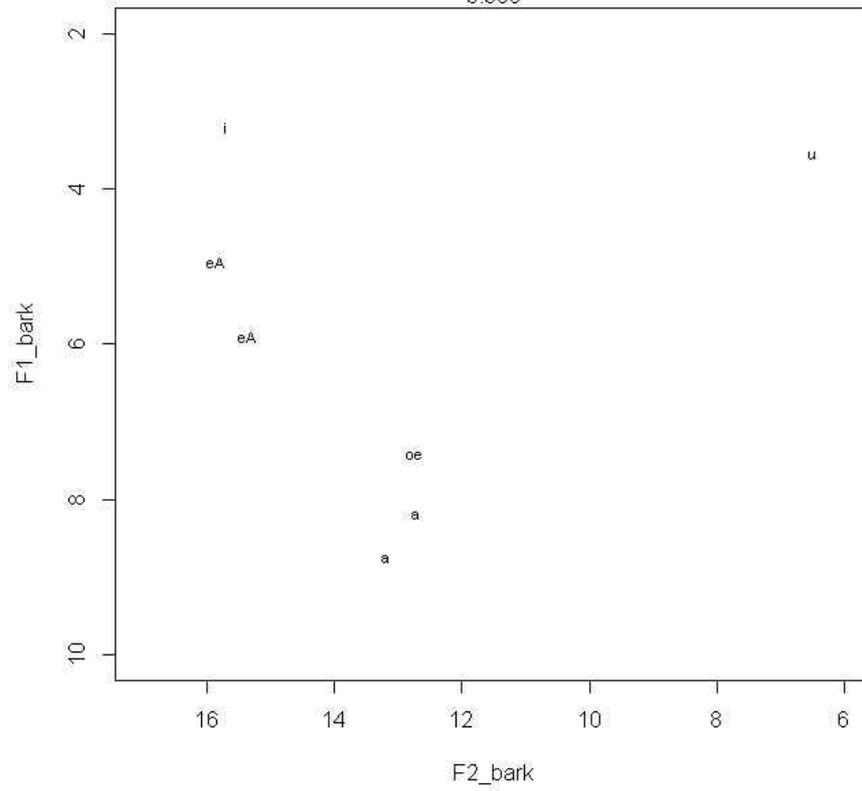
**CI2\_9\_R\_voyoral.txt**

2.749



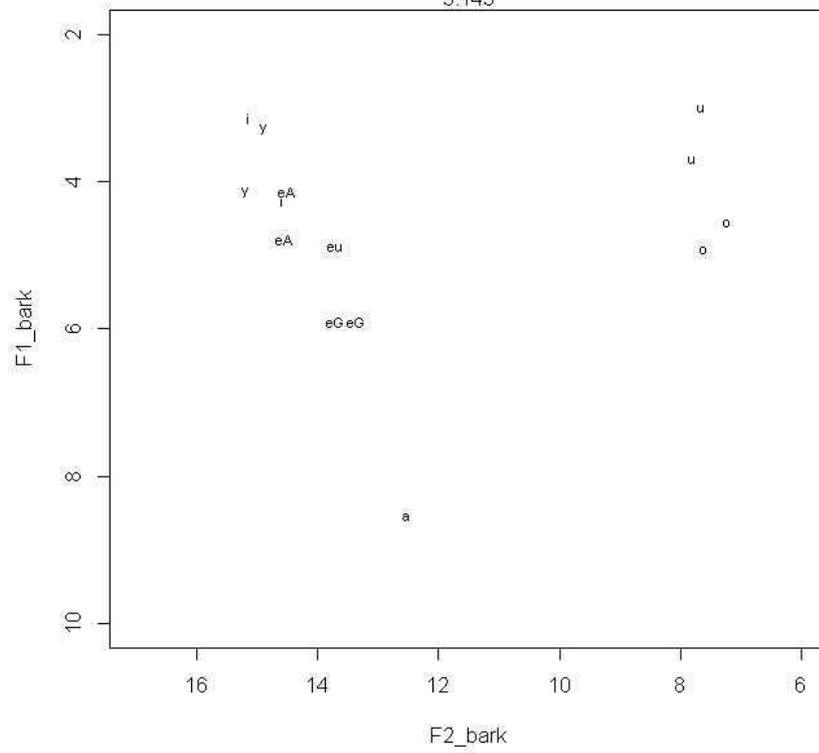
CI3\_8\_R\_voyoral.txt

3.358



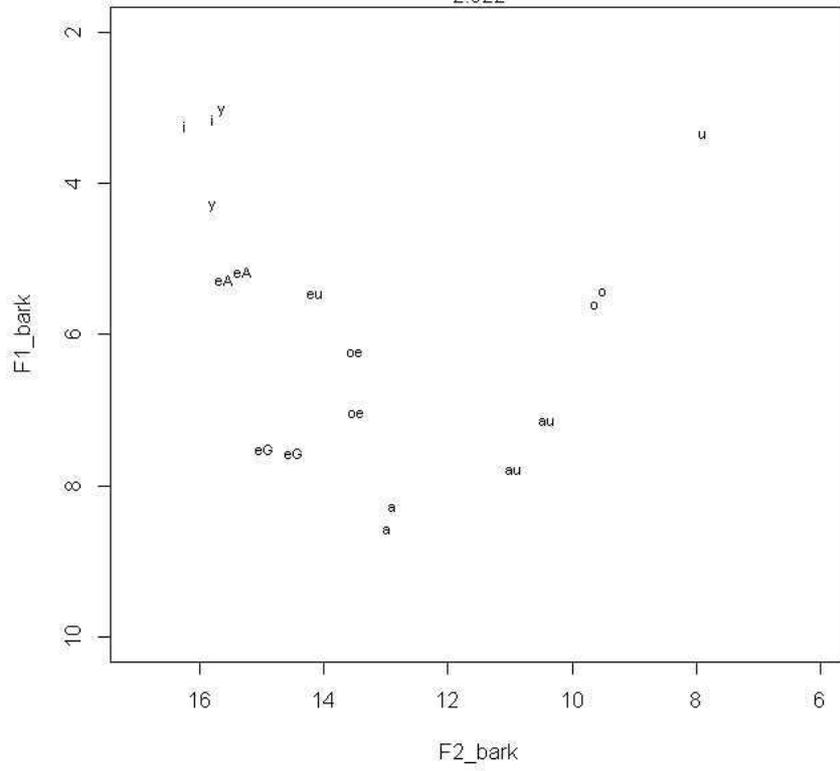
CI4\_6\_R\_voyoral.txt

3.143



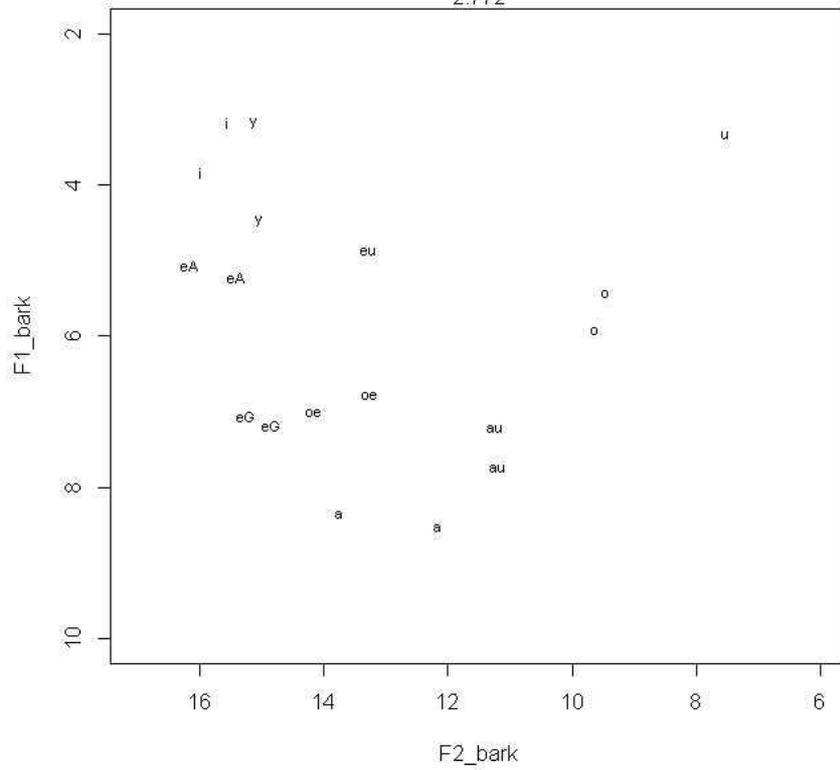
CI5\_8\_R1\_voyoral.txt

2.822

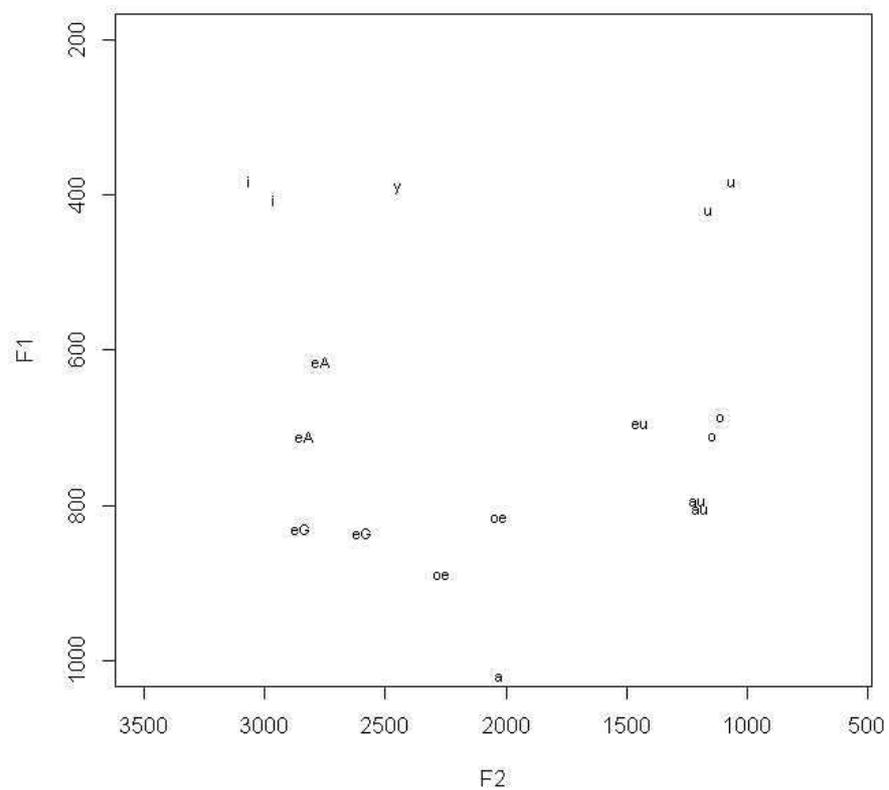


CI5\_8\_R2\_voyoral.txt

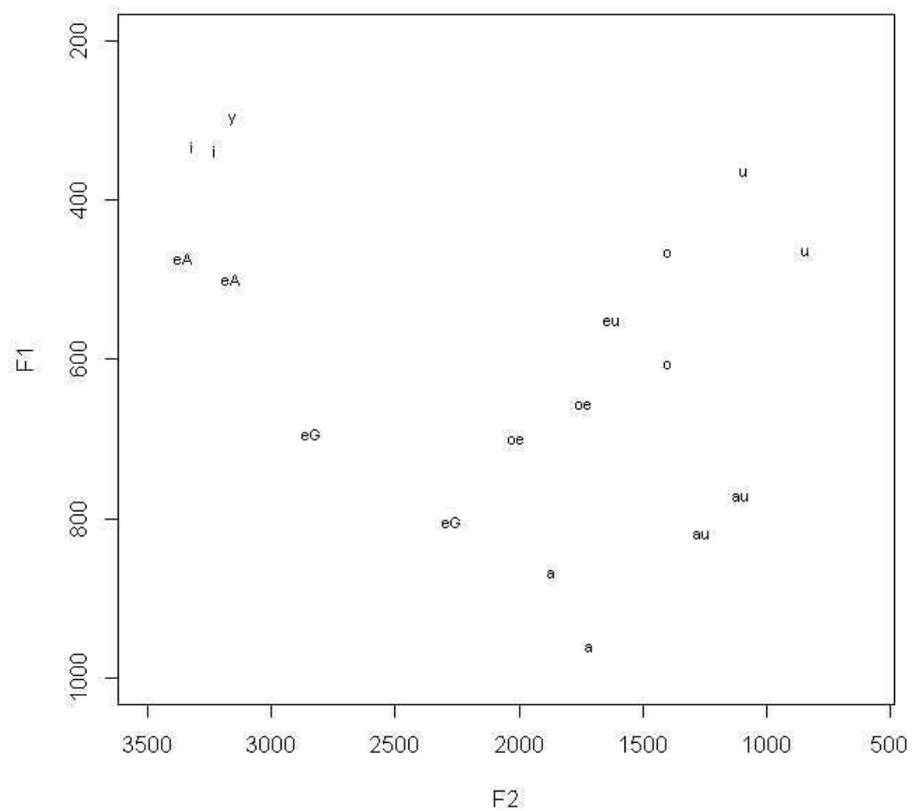
2.772



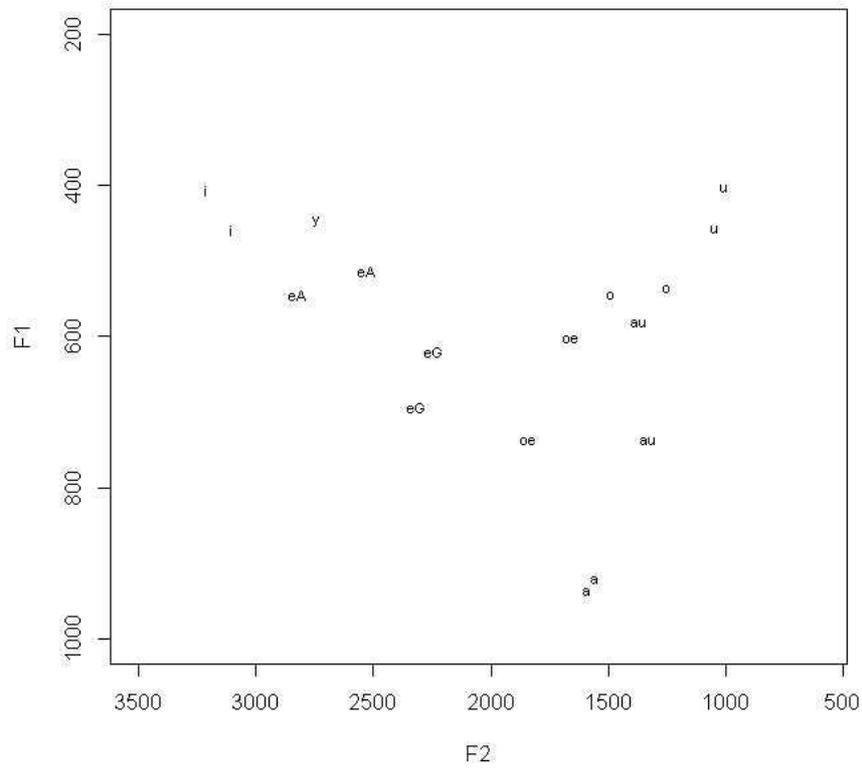
CI1\_10\_P\_voyoral.txt



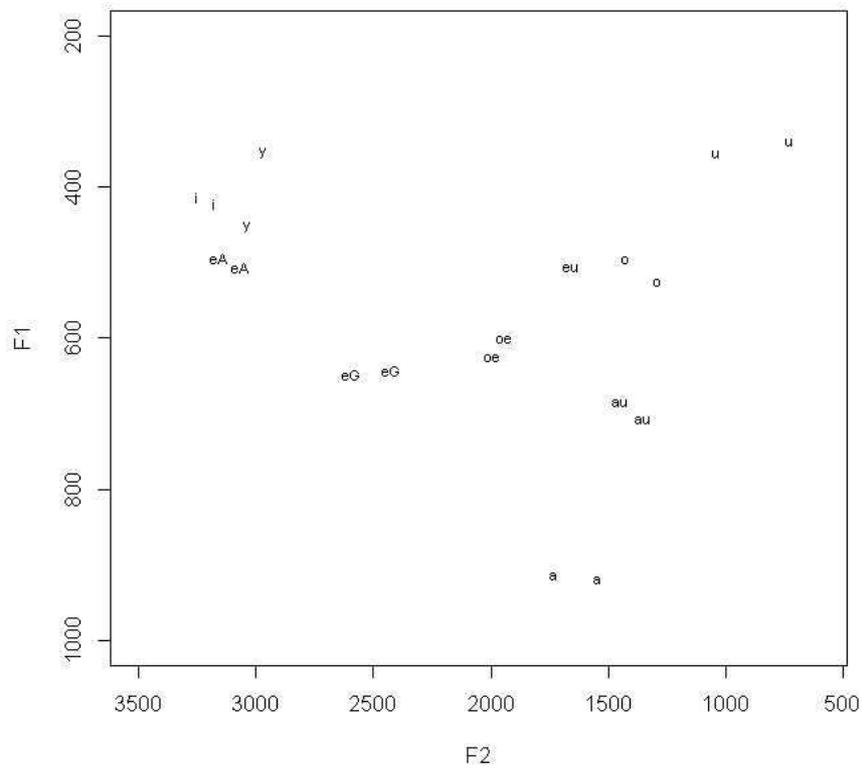
CI1\_10\_R\_voyoral.txt



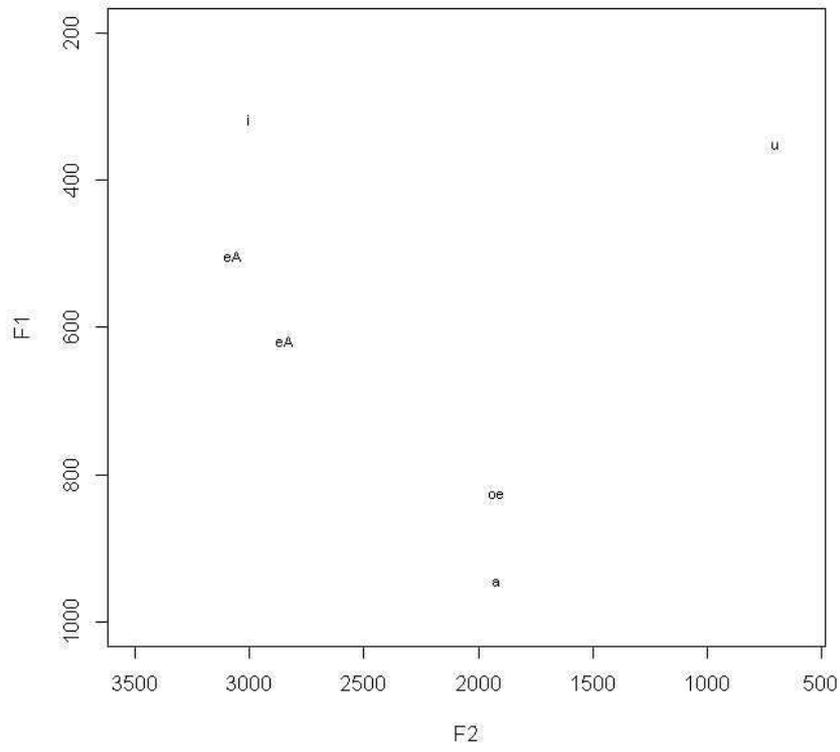
C12\_9\_P\_voyoral.txt



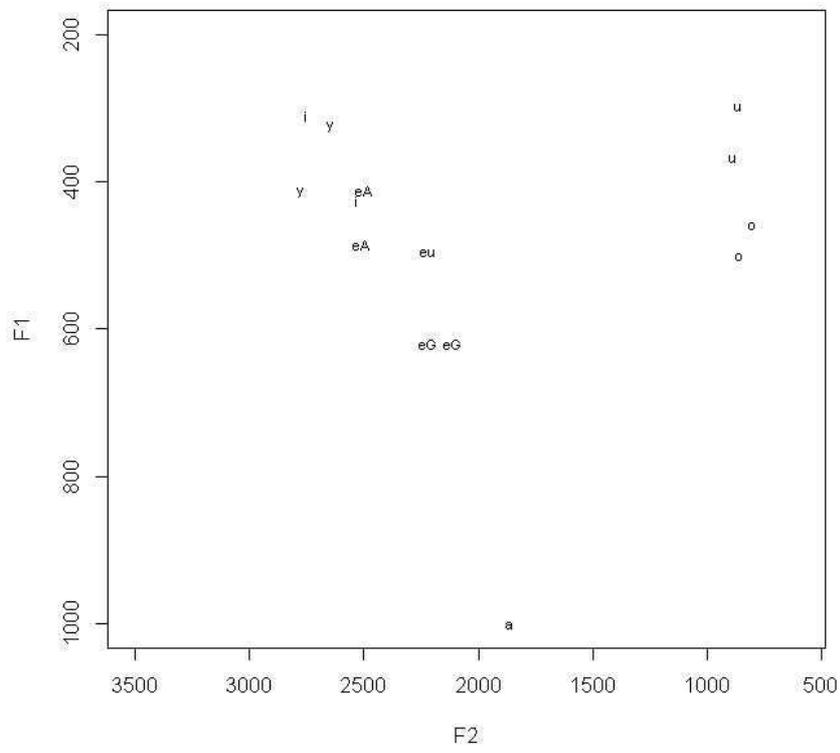
C12\_9\_R\_voyoral.txt



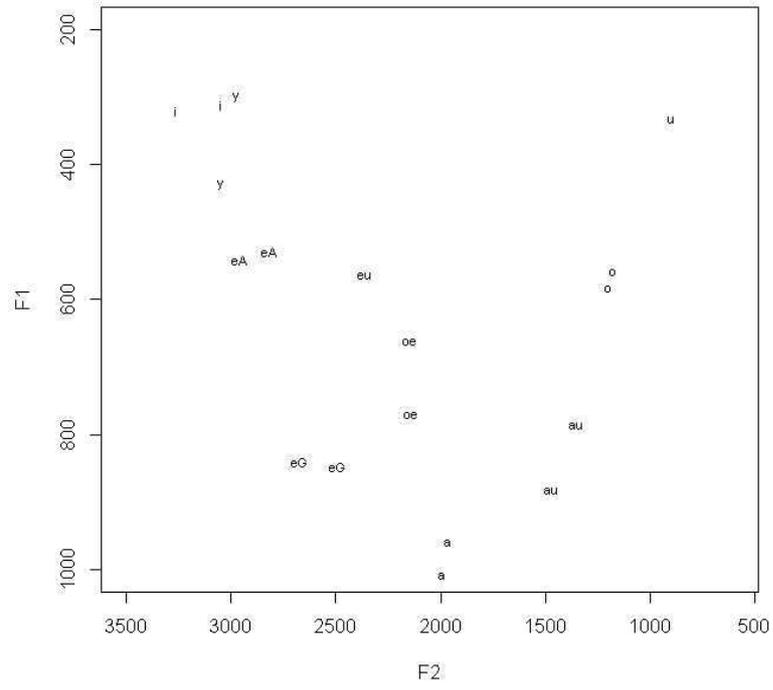
CI3\_8\_R\_voyoral.txt



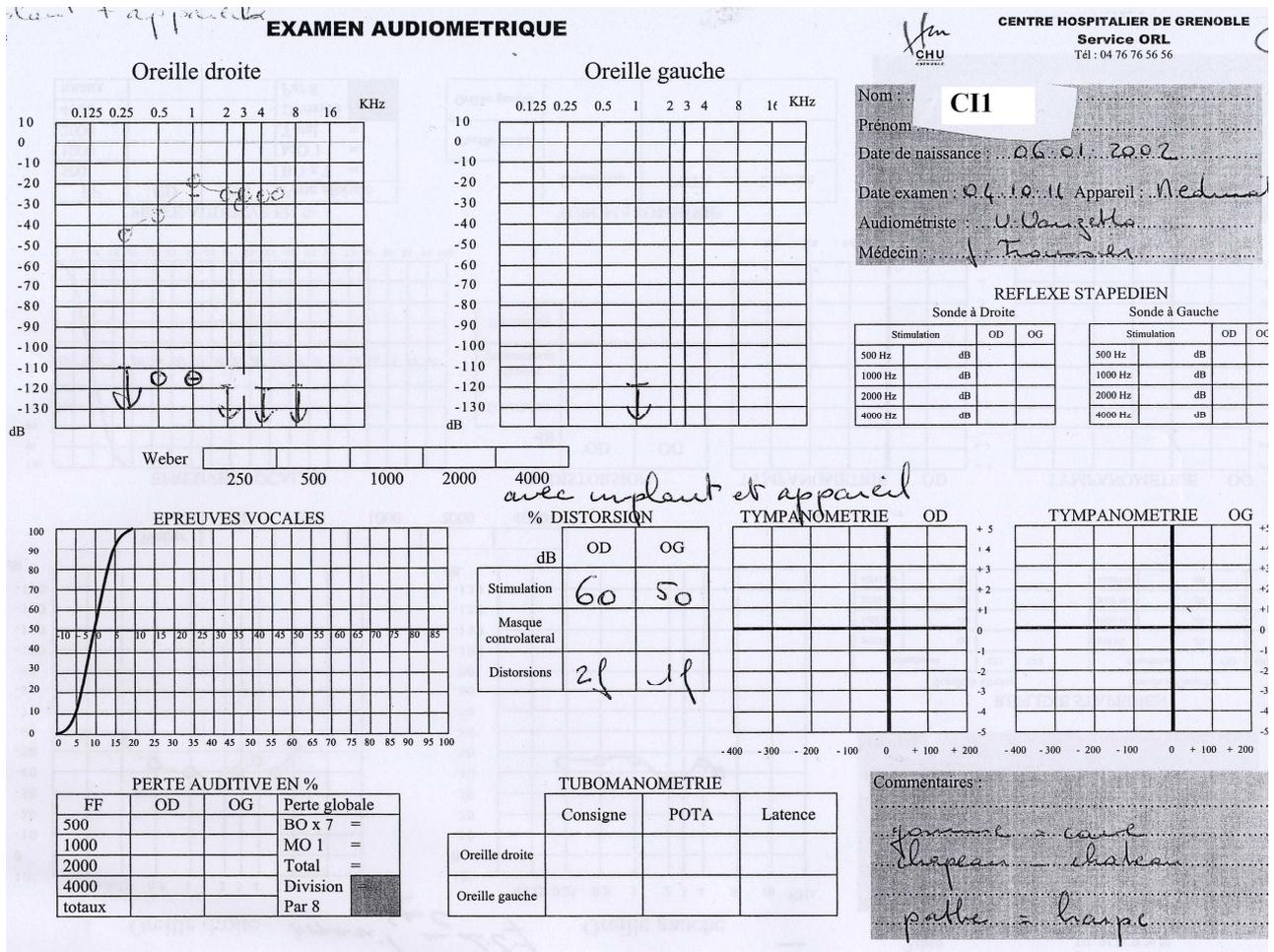
CI4\_6\_R\_voyoral.txt



CI5\_8\_R1\_voyoral.txt



## I.2. Annexes 2: Audiogrammes des enfants entendants et des enfants implantés



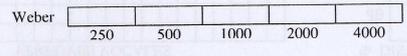
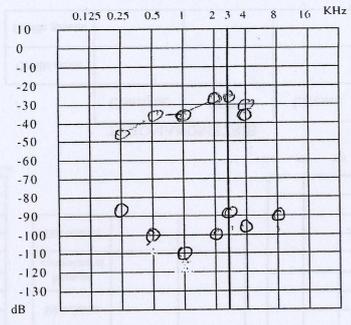
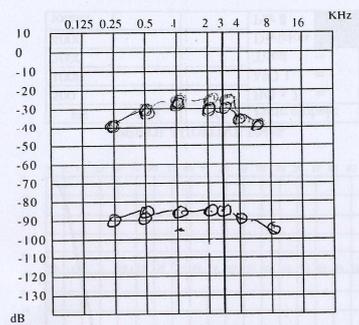
implant + pathèse  
implant seul  
Oreille droite

**EXAMEN AUDIOMETRIQUE**

pathèse seule  
Oreille gauche

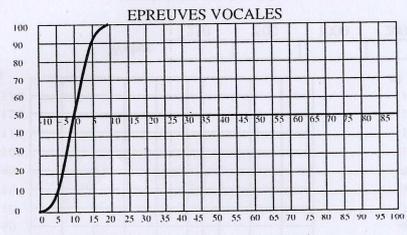
**CENTRE HOSPITALIER DE GRENOBLE**  
Service ORL  
Tel : 04 76 76 56 56

Nom : ...  
Prénom : ...  
Date de naissance : ...  
Date examen : ...  
Audiométriste : ...  
Médecin : ...



**REFLEXE STAPEDIEN**

| Sonde à Droite |    | Sonde à Gauche |  |
|----------------|----|----------------|--|
| Stimulation    | OD | OG             |  |
| 500 Hz         | dB |                |  |
| 1000 Hz        | dB |                |  |
| 2000 Hz        | dB |                |  |
| 4000 Hz        | dB |                |  |



**% DISTORSION**

| dB                   | OD | OG |
|----------------------|----|----|
| Stimulation          |    |    |
| Masque controlateral |    |    |
| Distorsions          |    |    |

**TYMPANOMETRIE OD**

| Stimulation | dB |
|-------------|----|
| 500 Hz      |    |
| 1000 Hz     |    |
| 2000 Hz     |    |
| 4000 Hz     |    |

**TYMPANOMETRIE OG**

| Stimulation | dB |
|-------------|----|
| 500 Hz      |    |
| 1000 Hz     |    |
| 2000 Hz     |    |
| 4000 Hz     |    |

**PERTE AUDITIVE EN %**

| FF     | OD | OG | Perte globale |
|--------|----|----|---------------|
| 500    |    |    | BO x 7 =      |
| 1000   |    |    | MO 1 =        |
| 2000   |    |    | Total =       |
| 4000   |    |    | Division =    |
| totaux |    |    | Par 8 =       |

**TUBOMANOMETRIE**

|                | Consigne | POTA | Latence |
|----------------|----------|------|---------|
| Oreille droite |          |      |         |
| Oreille gauche |          |      |         |

Commentaires :



appareil  $\Delta^r$  seul

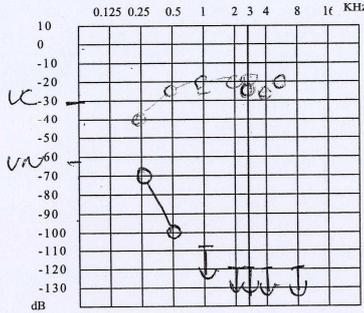
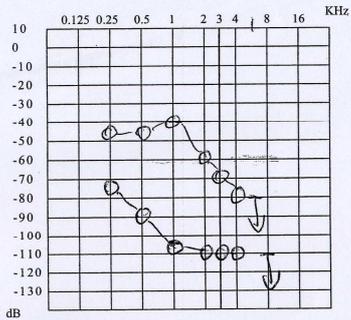
**EXAMEN AUDIOMETRIQUE** implant G seul

Van  
CHU

**CENTRE HOSPITALIER DE GRENOBLE**  
Service ORL  
Tél : 04 76 76 56 56

Oreille droite

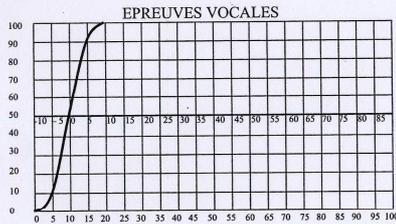
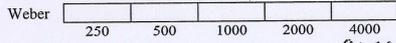
Oreille gauche



Nom : **CI5**  
 Prénom :  
 Date de naissance : **23.08.83**  
 Date examen : **04.10.11** Appareil : **Neduma**  
 Audiométriste : **V. Wangzeka**  
 Médecin : **J. Tournier**

**REFLEXE STAPEDIEN**

| Sonde à Droite |    |    | Sonde à Gauche |    |    |
|----------------|----|----|----------------|----|----|
| Stimulation    | OD | OG | Stimulation    | OD | OG |
| 500 Hz         | dB |    | 500 Hz         | dB |    |
| 1000 Hz        | dB |    | 1000 Hz        | dB |    |
| 2000 Hz        | dB |    | 2000 Hz        | dB |    |
| 4000 Hz        | dB |    | 4000 Hz        | dB |    |



avec implant + appareil

| % DISTORSION         |              |              | TYMPANOMETRIE |    |
|----------------------|--------------|--------------|---------------|----|
| dB                   | OD           | OG           | OD            | OG |
| Stimulation          | 60           | 50           |               |    |
| Masque controlateral |              |              |               |    |
| Distorsions          | très non dit | très non dit |               |    |

| TYMPANOMETRIE |    |    | TYMPANOMETRIE |    |    |
|---------------|----|----|---------------|----|----|
| Stimulation   | OD | OG | Stimulation   | OD | OG |
| 500 Hz        |    |    | 500 Hz        |    |    |
| 1000 Hz       |    |    | 1000 Hz       |    |    |
| 2000 Hz       |    |    | 2000 Hz       |    |    |
| 4000 Hz       |    |    | 4000 Hz       |    |    |

**PERTE AUDITIVE EN %**

| FF     | OD | OG | Perte globale |
|--------|----|----|---------------|
| 500    |    |    | BO x 7 =      |
| 1000   |    |    | MO 1 =        |
| 2000   |    |    | Total =       |
| 4000   |    |    | Division      |
| totaux |    |    | Par 8         |

**TUBOMANOMETRIE**

|                | Consigne | POTA | Latence |
|----------------|----------|------|---------|
| Oreille droite |          |      |         |
| Oreille gauche |          |      |         |

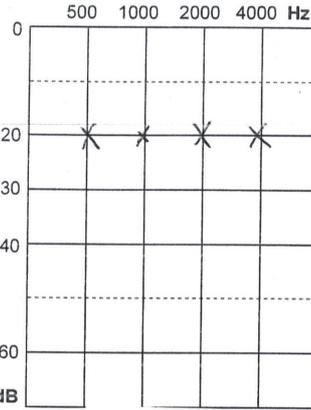
Commentaires :

NH1

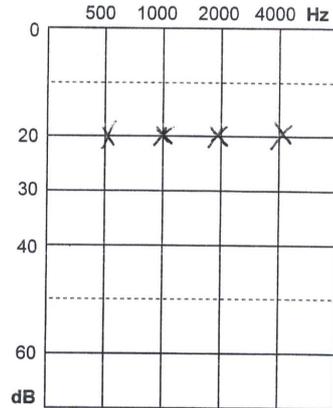
### AUDIOGRAMME CLASSE 5 ('K10')

CONDUCTION AERIENNE

OREILLE GAUCHE



OREILLE DROITE



Nom :

Date 7 mars 2012

DUFRENOY

Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD

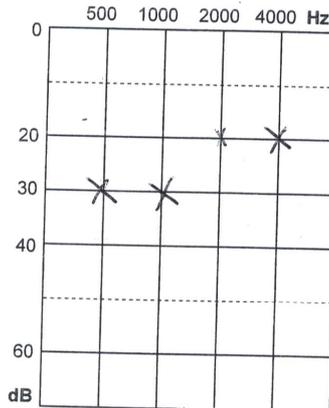
Téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

NH3

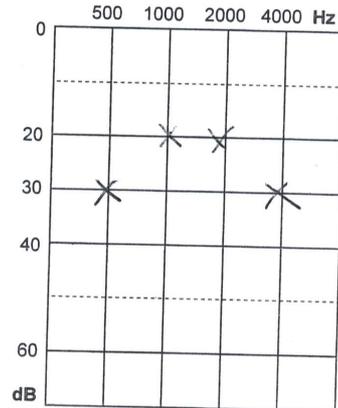
### AUDIOGRAMME CLASSE 5 ('K10')

CONDUCTION AERIENNE

OREILLE GAUCHE



OREILLE DROITE



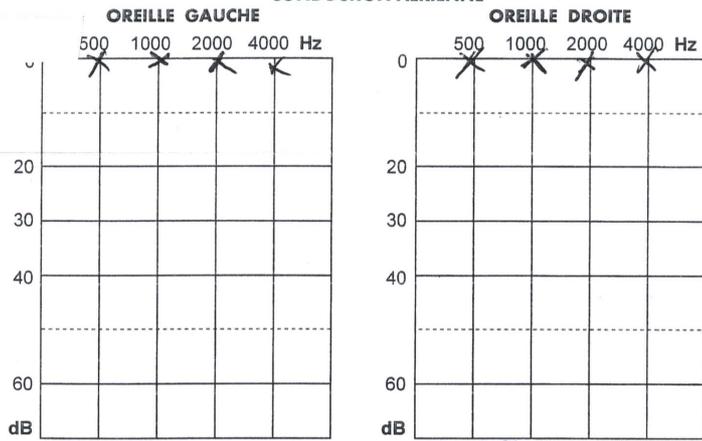
Nom

Date 12-03-2012

DU

Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
Téléphone : 03 83 49 54 96

**AUDIOGRAMME CLASSE 5 ('K10')** NH5  
**CONDUCTION AERIENNE**



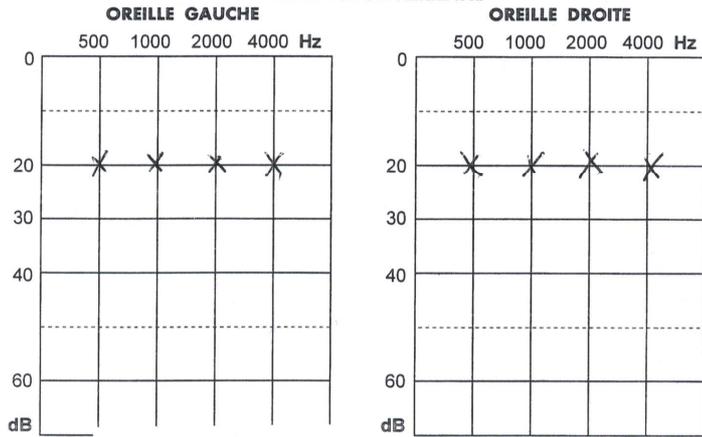
Nom :

Date 28.03.2012

DUPONT MEDICAL - Parc des Activités de Nancy Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
 Téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

NH4

**AUDIOGRAMME CLASSE 5 ('K10')**  
**CONDUCTION AERIENNE**



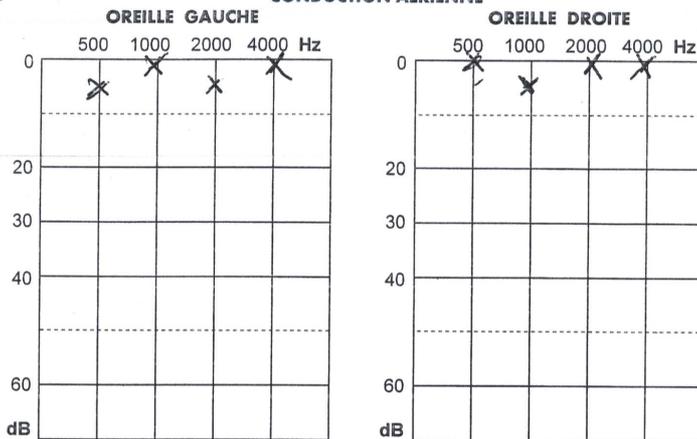
Nom :

Date 14 mars 2012

DUPONT MEDICAL - Parc des Activités de Nancy Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
 Téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

**IOGRAMME CLASSE 5 ('K10')** NH5

CONDUCTION AERIENNE



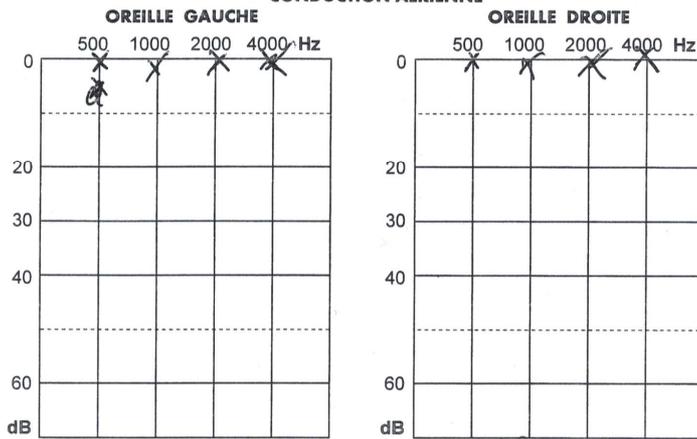
Nom :

Date 28.03.2012

DUPONT MÉDICAL - Parc des Activités de Nancy Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
Téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

**IOGRAMME CLASSE 5 ('K10')** NH7

CONDUCTION AERIENNE



Nom :

Date 28.03.2012

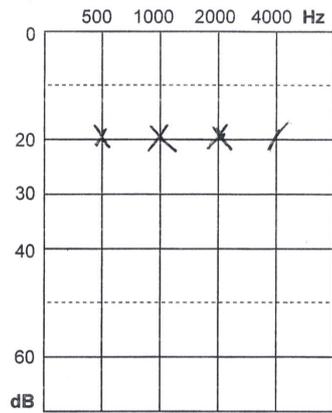
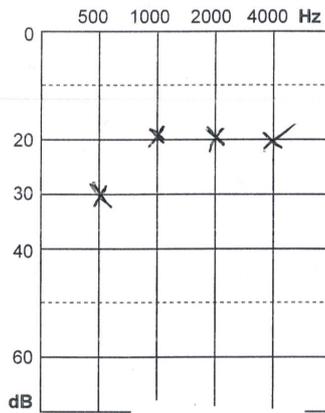
DUPONT MÉDICAL - Parc des Activités de Nancy Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
Téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

**AUDIOGRAMME CLASSE 5 ('K10')** NH8

CONDUCTION AERIENNE

OREILLE GAUCHE

OREILLE DROITE



Nom: S.

Date 4/4/12

DUPONT

Centres de Nancy Pompey - BP 19 - 54390 FROUARD  
téléphone : 03 83 49 54 95 - Télécopie : 03 83 49 54 96

**DECLARATION**

1. Ce travail est le fruit d'un travail personnel et constitue un document original.
2. Je sais que prétendre être l'auteur d'un travail écrit par une autre personne est une pratique sévèrement sanctionnée par la loi.
3. Personne d'autre que moi n'a le droit de faire valoir ce travail, en totalité ou en partie, comme le sien.
4. Les propos repris mot à mot à d'autres auteurs figurent entre guillemets (citations).
5. Les écrits sur lesquels je m'appuie dans ce mémoire sont systématiquement référencés selon un système de renvoi bibliographique clair et précis.

