



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



MEMOIRE présenté pour l'obtention du  
**CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE**

Par

**DARAN Sophie**  
**ROUCOULT Pauline**

**LA VOIX ET LES FORMANTS DES VOYELLES  
CARDINALES DE L'ENFANT SOURD PROFOND  
CONGENITAL IMPLANTE COCHLEAIRE :**  
*Impact de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive*

Maîtres de Mémoire  
**CANAULT Mélanie**  
**TRUY Eric**

Membres du Jury

**COLIN Stéphanie**  
**LINA-GRANADE Geneviève**  
**Ozil Marie**

Date de Soutenance  
**30 JUIN 2011**

---

# ORGANIGRAMMES

---

## 1. Université Claude Bernard Lyon1

Président  
**Pr. BONMARTIN Alain**

Vice-président DEVU  
**Pr. SIMON Daniel**

Vice-président CA  
**Pr. ANNAT Guy**

Vice-président CS  
**Pr. MORNEX Jean-François**

Directeur Général des Services  
**M. GAY Gilles**

### 1.1 Secteur Santé :

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Directeur **Pr. ETIENNE Jérôme**

U.F.R d'Odontologie  
Directeur **Pr. BOURGEOIS Denis**

U.F.R de Médecine Lyon-Sud  
Charles Mérieux  
Directeur **Pr. GILLY François  
Noël**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directeur **Pr. LOCHER François**

Institut des Sciences et Techniques de  
Réadaptation  
Directeur **Pr. MATILLON Yves**

Comité de Coordination des  
Etudes Médicales (C.C.E.M.)  
**Pr. GILLY François Noël**

Département de Formation et Centre  
de Recherche en Biologie Humaine  
Directeur **Pr. FARGE Pierre**

### 1.2 Secteur Sciences et Technologies :

U.F.R. de Sciences et Technologies  
Directeur **Pr GIERES François**

IUFM  
Directeur **M. BERNARD Régis**

U.F.R. de Sciences et Techniques  
des Activités Physiques et  
Sportives (S.T.A.P.S.)  
Directeur **Pr. COLLIGNON Claude**

Ecole Polytechnique Universitaire de  
Lyon (EPUL)  
Directeur **M. FOURNIER Pascal**

Institut des Sciences Financières et  
d'Assurance (I.S.F.A.)  
Directeur **Pr. AUGROS Jean-Claude**

Ecole Supérieure de Chimie Physique  
Electronique de Lyon (CPE)  
Directeur **M. PIGNAULT Gérard**

Observatoire Astronomique de  
Lyon **M. GUIDERDONI Bruno**

IUT LYON 1  
Directeurs **M. COULET Christian et  
Pr. LAMARTINE Roger**

---

---

**2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR  
**Pr. MATILLON Yves**

Directeur de la formation  
**Pr. TRUY Eric**

Directeur des études  
**BO Agnès**

Directeur de la recherche  
**Dr. WITKO Agnès**

Responsables de la formation clinique  
**THEROND Béatrice**  
**GUILLON Fanny**

Chargée du concours d'entrée  
**PEILLON Anne**

Secrétariat de direction et de scolarité  
**BADIOU Stéphanie**  
**CLERGET Corine**

---

---

## REMERCIEMENTS

---

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont permis de réaliser notre projet :

Tous les enfants que nous avons rencontrés lors de leurs réglages, ainsi que leurs familles, pour avoir accepté de donner de leur temps.

Toute l'équipe du Pavillon U de l'Hôpital Edouard Herriot, la secrétaire du Centre des implants cochléaires, le Dr. Porot, Dr. Lina-Granade et le Dr. Hung, ainsi que toutes les orthophonistes, les régleurs et les audioprothésistes, pour nous avoir accueillies.

Nos maîtres de mémoire, le Professeur Truy et le Docteur Canault, pour le temps qu'ils ont consacré à notre travail, pour leurs nombreux conseils et leurs encouragements. Nous remercions le Pr. Truy pour nous avoir permis de réaliser les enregistrements au Pavillon U.

Nous remercions tout particulièrement Kostas Kosta pour avoir accepté d'associer notre travail au sien pour la réalisation des enregistrements, pour avoir partagé avec nous ses connaissances et son expérience dans les domaines de la surdité et de la recherche.

Nous remercions également les orthophonistes du CAMSP de Villeurbanne et notamment Mme Jonas pour nous avoir conseillées.

Anne-Laure Charlois, Rafael Laboissière et Fabrice Hirsch pour nous avoir aidées dans l'analyse statistique de nos résultats.

Mme Bo, le Dr. Lina-Granade et Mme Ozil pour la lecture consciencieuse de notre travail. Leurs remarques constructives nous ont permis d'affiner notre réflexion.

Enfin, nous souhaitons remercier nos familles, et nos amis étudiants en orthophonie de la promotion 2011, pour nous avoir soutenues jusqu'au bout. Une pensée est adressée particulièrement à Elise, Elodie, Elsa, Micka, Jonhy et Robert qui nous ont accompagnées toutes ces années dans la difficulté comme dans les bons moments.

---

---

# SOMMAIRE

---

<b>ORGANIGRAMMES .....</b>	<b>2</b>
1. Université Claude Bernard Lyon1 .....	2
1.1 Secteur Santé : .....	2
1.2 Secteur Sciences et Technologies : .....	2
2. Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE.....	3
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>PARTIE THEORIQUE.....</b>	<b>10</b>
I. LA SURDITE .....	11
1. Les généralités de la surdité .....	11
2. Les conséquences de la surdité profonde congénitale .....	13
II. LA VOIX.....	14
1. La définition de la voix : les 3 étages qui la constituent .....	15
2. Les principaux paramètres de la voix .....	15
3. La voix et les valeurs formantiques de l'enfant entendant .....	16
4. La voix et les valeurs formantiques de l'enfant sourd profond appareillé.....	18
III. LA PROTHESE ACOUSTIQUE AMPLIFICATRICE NUMERIQUE EXTERNE .....	19
1. Le rôle de la prothèse conventionnelle .....	19
2. Les conséquences du port de la prothèse sur l'audition, la compréhension et le développement du langage et de la communication.....	20
IV. L'IMPLANT COCHLEAIRE.....	21
1. Les généralités sur l'implant cochléaire .....	21
2. Le choix d'une implantation précoce .....	22
3. Les conséquences d'une implantation précoce .....	23
<b>PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....</b>	<b>26</b>
I. PROBLEMATIQUE.....	27
II. HYPOTHESE GENERALE.....	27
III. HYPOTHESES OPERATIONNELLES.....	27
1. Concernant l'âge d'implantation.....	27
2. Concernant la durée de l'expérience auditive .....	28
3. Concernant l'âge d'implantation et l'expérience auditive.....	28
<b>PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>29</b>
I. LA POPULATION.....	30
1. Les critères d'inclusion.....	30
2. Les critères d'exclusion .....	30
3. Les critères d'exclusion n'ayant pas pu être respectés.....	31
4. Effectif et taille de l'échantillon.....	31
II. LE PROTOCOLE .....	32
1. Le choix du corpus .....	33
2. Le recueil des données .....	35
3. L'analyse des données .....	36
III. LA DESCRIPTION DE L'ANALYSE STATISTIQUE DE NOS RESULTATS .....	39
1. Le calcul des moyennes et des écarts-types et le tracé des triangles vocaliques .....	39
2. La réalisation des courbes de tendance et le test de corrélation linéaire .....	41
3. L'analyse de régression linéaire multi-variée .....	42
<b>PRESENTATION DES RESULTATS.....</b>	<b>43</b>
I. L'INFLUENCE DE L'AGE D'IMPLANTATION SUR LES PARAMETRES VOCAUX .....	44
1. Influence de l'âge d'implantation sur la fréquence fondamentale (F0).....	44
2. Influence de l'âge d'implantation sur les formants F1 et F2.....	45
3. Influence de l'âge d'implantation sur l'AVS.....	49

4.	<i>En résumé</i> .....	50
II.	L'INFLUENCE DE L'EXPERIENCE AUDITIVE SUR LES PARAMETRES VOCAUX.....	50
1.	<i>Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale (F0)</i> .....	50
2.	<i>Influence de l'expérience auditive sur les formants F1 et F2</i> .....	51
3.	<i>L'AVS</i> .....	54
4.	<i>En résumé</i> .....	55
III.	MISE EN CORRELATION DES DEUX VARIABLES INDEPENDANTES, AGE D'IMPLANTATION ET EXPERIENCE AUDITIVE, SUR LES PARAMETRES VOCAUX.....	55
1.	<i>Impact des deux variables sur la fréquence fondamentale (F0)</i> .....	56
2.	<i>Impact des deux variables sur les formants F1 et F2 de la voyelle [u]</i> .....	56
3.	<i>Impact des deux variables sur l'AVS</i> .....	57
4.	<i>En résumé</i> .....	57
	<b>DISCUSSION DES RESULTATS</b> .....	<b>58</b>
I.	RAPPEL DE NOTRE SUJET ET DE NOS HYPOTHESES .....	59
II.	LA PLASTICITE CEREBRALE, UN ELEMENT PRIMORDIAL DANS LE DEVELOPPEMENT VOCAL ET ARTICULATOIRE POST-IMPLANTATION .....	60
1.	<i>Influence d'une implantation précoce sur la fréquence fondamentale (F0) et sa variabilité</i> ....	60
2.	<i>Influence d'une implantation précoce sur les formants de la voyelle cardinale [u] et leur variabilité</i> .....	62
3.	<i>Influence d'une implantation précoce sur l'étendue vocale (ou l'AVS)</i> .....	64
4.	<i>Validation de nos hypothèses</i> .....	64
III.	L'APPRENTISSAGE AUDITIF POST-IMPLANTATION, UN FACTEUR ESSENTIEL POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA VOIX ET DU CONTROLE ARTICULATOIRE.....	65
1.	<i>Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale</i> .....	65
2.	<i>Influence de l'expérience auditive sur le F2 de la voyelle [u]</i> .....	66
3.	<i>Influence de l'expérience auditive sur l'étendue vocale (ou l'AVS)</i> .....	66
4.	<i>Validation de nos hypothèses</i> .....	67
IV.	L'IMPLANTATION PRECOCE, UNE CONDITION PREALABLE A UN APPRENTISSAGE OPTIMAL .....	67
V.	LIMITES ET OUVERTURES POSSIBLES DE NOTRE ETUDE.....	68
1.	<i>Les limites de notre étude</i> .....	68
2.	<i>Possibles approfondissements du sujet</i> .....	70
VI.	APPORTS PERSONNELS DE NOTRE TRAVAIL POUR NOTRE FUTURE PRATIQUE CLINIQUE.....	71
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>73</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>74</b>
	OUVRAGES : .....	74
	SITES INTERNET : .....	79
	<b>ANNEXES</b> .....	<b>80</b>
	ANNEXE I : LE DESCRIPTIF DE LA CLASSIFICATION AUDIOMETRIQUE DE LA SURDITE (BIAP, 1997).....	81
1.	<i>La surdité légère</i> .....	81
2.	<i>La surdité moyenne</i> .....	81
3.	<i>La surdité sévère</i> .....	81
4.	<i>La surdité profonde</i> .....	81
	ANNEXE II : LE FONCTIONNEMENT DE LA COCHLEE .....	82
	ANNEXE III : LE FONCTIONNEMENT DE LA PROTHESE CONVENTIONNELLE ET DE L'IMPLANT COCHLEAIRE.....	83
1.	<i>La prothèse conventionnelle</i> .....	83
2.	<i>L'implant cochléaire</i> .....	83
	ANNEXE IV : LE CORPUS.....	85
	ANNEXE V : LES IMAGES DU CORPUS .....	86
	ANNEXE VI : LA LETTRE ET LE QUESTIONNAIRE ADRESSES AUX PARENTS .....	87
1.	<i>La lettre</i> .....	87
2.	<i>Le questionnaire</i> .....	88
	ANNEXE VII : LE PARAMETRAGE DE PRAAT®.....	90
	ANNEXE VIII : LES TABLEAUX D'EXEMPLE DES VALEURS DE F0, F1 ET F2 RELEVÉES AVEC LE LOGICIEL PRAAT®.....	91
1.	<i>Tableau 1 : exemple de relevés de F0 pour un enfant</i> .....	91
2.	<i>Tableau 2 : exemples de relevés des formants F1 et F2 de [u] pour un enfant</i> .....	92

---

ANNEXE IX : LES TABLEAUX DES DONNEES BRUTES DES MOYENNES ET DES ECART-TYPES .....	93
1. Tableau 1 : Les moyennes.....	93
2. Tableau 2 : Les écart-types .....	94
ANNEXE X : L'ANALYSE DE CORRELATION DES ECART-TYPES .....	95
1. Graphique 1 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	95
2. Graphiques 2 et 3 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	95
3. Graphiques 4 et 5 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	96
4. Graphiques 6 et 7 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	96
5. Graphique 8 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	97
6. Graphiques 9 et 10 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	97
7. Graphiques 11 et 12 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	98
8. Graphiques 13 et 14 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	98
ANNEXE XI : GRAPHIQUES RAPPORT MOYENNES / ECARTS-TYPES DE F0 ET DE F1 DE [U], ET F0 EN FONCTION DE L'AGE DES ENFANTS AU MOMENT DE L'ENREGISTREMENT .....	99
1. Graphiques rapport moyennes / écarts-types de F0 et de F1 de [u].....	99
2. F0 (Hz) en fonction de l'âge des enfants au moment de l'enregistrement (mois).....	99
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>102</b>
LES FIGURES.....	102
LES TABLEAUX.....	103
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>100</b>

---

---

## INTRODUCTION

---

*« Source d'émotions, instrument de communication, de partage, d'enrichissement intellectuel, l'audition nous accompagne tout au long de notre vie. Le quotidien de l'être humain est un monde d'images, de sons, de mots, de gestes, d'intonations, d'expressions, de voix, de discours, qui émergent, s'entremêlent, s'échangent de mille et une façons. C'est la richesse et la variété de ce monde qui sont partiellement inaccessibles au bébé sourd. »* (Dumont, 2008, p.1)

Selon le rapport ministériel de 1998, la surdité touche quatre millions de personnes en France, dont un enfant sur 1000 naissances. En fonction du degré de la perte auditive et du moment de sa survenue, elle peut avoir des répercussions plus ou moins importantes sur l'acquisition du langage, le développement intellectuel, professionnel et socio-affectif de l'enfant.

Nous avons choisi de nous intéresser plus particulièrement à la surdité profonde congénitale car, de toutes les surdités, c'est celle qui est la plus handicapante. En effet, outre un isolement social évident et de lourdes conséquences sur le développement de la communication et du langage, elle entraîne également l'apparition d'une voix spécifique.

La voix est un *« outil d'expression et d'affirmation de soi »* (Cornut, 2009, p.55) qui joue un rôle essentiel dans la construction de l'identité et de la personnalité de l'enfant. Au cours de nos stages, la singularité de la voix des enfants sourds a attiré notre attention et nous avons pris conscience des conséquences sociales qu'elle pouvait engendrer. C'est pourquoi nous avons décidé de nous centrer sur cet aspect de la surdité qui n'est pas prioritaire dans la rééducation.

Il existe aujourd'hui différents moyens de réhabilitation de l'audition qui permettent de réduire le handicap de la surdité et par conséquent de diminuer ou de gommer les retards occasionnés sur le développement de la communication et du langage. L'appareillage le plus fréquent est la prothèse acoustique amplificatrice numérique externe (ou prothèse conventionnelle) qui est utilisée dans les cas des surdités les moins importantes. Pour les surdités profondes, le moyen de réhabilitation le plus approprié est l'implant cochléaire. Cet appareillage est couramment proposé aux enfants atteints d'une surdité profonde congénitale.

De nombreuses études attestent du bénéfice de l'implant cochléaire sur le développement du langage et de la parole de ces enfants. De plus, elles montrent l'importance de certains facteurs comme la précocité de l'âge d'implantation ou la durée de l'expérience auditive post-implantation sur ce bénéfice. En revanche, en ce qui concerne l'impact de l'implant cochléaire sur la voix, les études sont moins nombreuses et ne font pas consensus. De plus, le rôle des facteurs tels que la précocité de l'implantation ou la durée de l'expérience auditive post-implantation ne sont pas considérés.

Nous avons donc choisi, pour notre mémoire, de nous intéresser aux effets de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive post-implantation sur la voix de l'enfant sourd profond congénital.

---

Pour aborder ce thème nous proposerons dans un premier temps un état des lieux de la littérature disponible sur la surdité et la voix. Nous nous attacherons plus précisément à celle de l'enfant entendant et de l'enfant sourd. Nous nous intéresserons ensuite aux différents moyens de réhabilitation de la surdité et aux conséquences de l'implant cochléaire sur l'audition, le développement de la parole, du langage, de la communication et surtout de la voix.

Nous présenterons ensuite l'étude que nous avons réalisée auprès d'enfants sourds profonds congénitaux, porteurs d'un implant cochléaire. Ceux-ci ont été implantés plus ou moins précocement et présentent une expérience auditive plus ou moins importante. Afin d'apporter de nouvelles connaissances, nous avons analysé les caractéristiques vocales de ces enfants à partir d'enregistrements audio.

Après avoir détaillé les résultats obtenus grâce à notre expérimentation, nous discuterons de la véracité des hypothèses formulées préalablement et nous envisagerons de nouvelles perspectives possibles pour succéder à notre étude.

Nous sommes conscientes que notre mémoire de recherche n'est qu'un petit pas vers la réponse à toutes nos interrogations. Néanmoins, nous espérons cependant apporter quelques éléments de réponse à ces questions.

---

**Chapitre I**  
**PARTIE THEORIQUE**

---

---

Dans cette partie théorique nous développerons quatre points. Dans un premier temps, nous définirons la surdité en approfondissant le cas de la surdité profonde congénitale. Dans un deuxième temps, nous décrirons les paramètres de la voix, puis nous nous intéresserons plus précisément aux données recensées dans la littérature concernant la voix de l'enfant entendant et celle de l'enfant sourd. Dans les deux dernières parties, nous évoquerons les moyens techniques de compensation de la surdité : tout d'abord, la prothèse auditive conventionnelle et ses conséquences sur l'audition, la compréhension et le développement du langage et de la communication ; ensuite l'implant cochléaire et l'impact d'une implantation précoce sur l'audition, la parole, le langage et la voix.

## **I. La surdité**

Dans cette partie, nous nous intéresserons dans un premier temps à la surdité. Nous la définirons, puis nous citerons les différentes surdités qui existent en tenant compte des deux classifications qu'il est possible d'effectuer : d'abord la classification de la surdité en fonction du moment où elle est apparue, ensuite la classification en fonction du degré de la perte auditive. Dans un deuxième temps, nous nous pencherons plus en détails sur la surdité profonde congénitale. Nous évoquerons principalement ses conséquences sur la perception auditive et sur le développement du langage et de la communication.

### **1. Les généralités de la surdité**

#### **1.1. Définition et épidémiologie de la déficience auditive**

En 1997, le Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) définit la déficience auditive comme une perte de la perception des sons, en particulier les sons de la parole dont la puissance acoustique varie, quelle que soit la fréquence.

Selon le rapport ministériel sur la surdité de 1998, en France, 7% de la population est atteinte de surdité (soit quatre millions de personnes), tous stades confondus. En ce qui concerne les enfants, la Haute Autorité de Santé (HAS) rapporte en 2007, que la prévalence est d'un enfant sur 1000 naissances. La surdité est le handicap sensoriel le plus fréquent chez les enfants (Dumont, 2008).

#### **1.2. La classification de la surdité en fonction de son moment d'apparition**

Les surdités peuvent survenir à différents moments du développement de l'enfant. Selon l'aspect développemental pris en compte, il est possible d'effectuer deux classifications.

- Première classification : on définit la surdité en fonction de son moment d'apparition par rapport à la naissance de l'enfant (Mansbach, 2006 ; Truy & Lina-Granade, 2006 ; HAS, 2007).

- 
- les surdités congénitales : elles affectent l'enfant dès la naissance. L'étiologie peut être prénatale ou périnatale.
  - les surdités acquises : elles surviennent après la naissance.
  - Deuxième classification : la surdité est définie en fonction de son moment d'apparition par rapport au développement du langage.

Dans le cas des surdités acquises, le moment d'apparition de la surdité va jouer un rôle très important dans le développement du langage de l'enfant (Mansbach, 2006 ; Truy & Lina-Granade, 2006 ; HAS, 2007).

- la surdité pré-linguale : elle apparaît avant l'âge de 2 ans, autrement dit avant l'acquisition du langage. Elle peut donc être congénitale ou acquise.
- la surdité péri-linguale : elle apparaît entre 2 et 5 ans, c'est-à-dire pendant l'acquisition du langage.

Dans ces deux situations, l'acquisition du langage sera difficile, car l'enfant n'aura pas ou pas assez de représentations phonologiques ni langagières, sur lesquelles s'appuyer pour apprendre à parler.

- la surdité post-linguale : elle survient après l'âge de 6 ans, une fois que le langage est définitivement mis en place.

Dans ce cas, la réhabilitation se fera plus facilement, car l'enfant s'appuiera sur les compétences linguistiques qu'il a développées antérieurement à la surdité.

Ces âges limites ont été déterminés pour permettre une classification, mais il faut garder à l'esprit que le langage commence à se développer bien avant l'âge de 2 ans. En effet, aux alentours de 7 mois, l'enfant babille, puis il produit ses premiers mots à environ 12 mois. Plus tard, à 16 mois, il est capable de produire 50 à 70 mots, ce qui correspond au démarrage de l'explosion lexicale. Enfin, il construit ses premières phrases de deux ou trois mots vers l'âge de 24 mois (Boysson-Bardies, 2010).

### **1.3. La classification audiométrique de la surdité**

Une classification de la surdité a été proposée par le BIAP (1997). Il les répertorie selon le seuil d'audition en audiométrie tonale. La moyenne des seuils est obtenue sur les fréquences 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz. Il existe donc quatre grandes catégories de surdité (cf. annexe I, p.81) :

- La surdité légère : la perte auditive est de 20 dB à 40 dB.
- La surdité moyenne : cette classe se divise en deux sous-classes.
  - 1er degré : la perte auditive est de 41 dB à 55 dB.
  - 2nd degré : la perte auditive est de 56 dB à 70 dB.
- La surdité sévère : cette classe se divise en deux sous-classes.

- 
- 1er degré : la perte auditive est de 71 dB à 80 dB.
  - 2nd degré : la perte auditive est de 81 dB à 90 dB
- La surdité profonde : cette classe se divise en trois sous-classes.
- 1er degré : la perte auditive est de 91 dB à 100 dB.
  - 2nd degré : la perte auditive est de 101 dB à 110 dB.
  - 3ème degré : la perte auditive est de 111 dB à 119 dB.

Maintenant que nous avons décrit les différents types de surdité qui existent et les pertes auditives engendrées, nous allons nous intéresser à la surdité profonde congénitale bilatérale. Il s'agit de la surdité dont la perte auditive est la plus importante. Ses répercussions sur l'audition et le développement du langage et de la communication en sont d'autant plus conséquentes.

## **2. Les conséquences de la surdité profonde congénitale**

Parmi les personnes atteintes de surdité en France, 3% présentent une surdité profonde ou totale, c'est-à-dire 120 000 personnes (HAS, 2007). Chaque année en France, 800 enfants naissent sourds profonds congénitaux (Seban-Lefèbvre & Taffin, 2008).

La surdité profonde congénitale est la surdité la plus invalidante avant la surdité totale, et elle présente plus de risques d'altération majeure de la communication quand une intervention précoce n'est pas entreprise (Dumont, 2008).

### **2.1. Les conséquences de la surdité profonde congénitale sur l'audition**

Selon Dumont (2008), sans prothèses conventionnelles, l'enfant sourd profond congénital perçoit seulement quelques bruits à forte puissance, et la voix si elle est forte et proche de lui. Il ne perçoit pas les sons faibles et est très gêné par les sons forts. Il a des difficultés à identifier la parole dans le bruit, à analyser sa structure temporelle et il est beaucoup plus sensible aux basses fréquences. Celles-ci sont très courantes dans les bruits de notre environnement, il est donc très gêné au quotidien. Les restes auditifs ne lui permettent pas d'entendre la parole articulée, mais seulement de percevoir les quelques unités prosodiques qui constituent la mélodie et le rythme. L'enfant reçoit donc peu d'informations sur lesquelles s'appuyer, en dehors des vibrations transmises par le système osseux du corps, le toucher et les schémas articulatoires visuels de l'adulte.

### **2.2. Les conséquences de la surdité profonde congénitale sur le développement du langage et de la communication**

L'enfant sourd profond, comme l'enfant entendant, souhaite entrer en communication et échanger avec son entourage, mais sa surdité le prive des mécanismes d'apprentissage dont bénéficie l'enfant entendant.

---

Le mécanisme d'imitation joue un rôle très important dans le développement du langage et de la communication. Dès ses premiers jours, le nourrisson entendant utilise l'imitation comme moyen d'interagir avec ses parents. A 3 mois, le turn-taking se met en place. Il s'agit d'un jeu de vocalisations entre la mère et son enfant. Ils vocalisent chacun à leur tour en donnant l'impression d'une réelle conversation (Boysson-Bardies, 2010). L'imitation va aussi permettre la spécification des productions de l'enfant qui vont peu à peu correspondre aux schémas de sa langue maternelle (Kuhl & Meltzoff, 1996). A 5 mois, l'enfant fait le lien entre les vocalisations et les mouvements de la bouche (Boysson-Bardies, 2010). Ainsi l'apprentissage de la parole se fait à travers la création de relations sensori-motrices. Schwartz et al. expliquent en 2000 (cité par Canault, 2007), que le bébé est capable de mettre en relation ses propres vocalisations et les gestes articulatoires qu'il réalise, tout en les comparant avec la cible perçue pour s'en approcher au mieux. C'est ce que Schwartz a appelé la Théorie de la Perception pour le Contrôle de l'Action (TPCA). Grâce aux relations sensori-motrices entre l'audition et ses gestes articulatoires, il peut ainsi développer un feed-back auditif qui lui permet de contrôler ses productions sonores (Mare & Villedieu de Torcy, 2008 ; Azéma et al., 2008). Il s'agit de la boucle audio-phonatoire ou boucle de rétroaction qui est un système qui relie l'audition et l'appareil vocal. Elle permet naturellement de s'entendre parler grâce au feed-back auditif. La cochlée perçoit un son complexe, le transmet au cerveau par l'organe de l'audition, qui juge sa justesse tonale et esthétique. A la suite de cela, les organes et les muscles phonateurs s'ajustent pour produire le son voulu.

Ainsi, toutes les situations d'échange verbal et les stimulations auditives que l'enfant reçoit permettent le développement de ses aires auditives et langagières. De plus, le cortex auditif cérébral s'organise, les connexions neuronales se complexifient, lui permettant de mieux maîtriser sa voix et ses productions sonores (Mare & Villedieu de Torcy, 2008).

Dans le cas de la surdité profonde congénitale, l'absence d'audition limite les expériences d'échange verbal de l'enfant avec son entourage. En effet, il ne reçoit pas de feed-back auditif satisfaisant et ne peut imiter l'adulte, donc son contrôle phonatoire et articulatoire est peu efficace. Il ne reçoit que le retour visuel de l'adulte et les sensations vibratoires de ses productions. Cela s'avère insuffisant pour lui permettre un développement optimal des représentations auditives et motrices constituant le langage. De plus, comme la surdité est congénitale, l'enfant n'a jamais eu de représentations antérieures sur le langage sur lesquelles il pourrait s'appuyer. Par ailleurs, ses parents ont des difficultés à identifier ses vocalisations comme des actes de communication et à leur donner du sens. Les échanges entre l'enfant et ses parents en sont appauvris (Dumont, 2008).

Par conséquent, bien que le babillage reste présent, le développement des vocalisations est plus lent, le répertoire des sons vocaliques et consonantiques est plus limité et stéréotypé (Stoel-Gammon, 1988). Les représentations auditives et motrices imparfaites de l'enfant sourd profond ne lui permettent pas de contrôler sa voix, ni d'accéder correctement à l'articulation, à la parole et au langage (Dantil & Manière, 2002).

## **II. La voix**

Après une définition succincte de la voix, nous nous consacrerons dans cette deuxième partie, aux paramètres qui la constituent : l'intensité, la fréquence fondamentale et les

---

formants (les formants appartiennent conjointement aux domaines de la voix et de l'articulation). Ensuite, nous nous pencherons sur les paramètres en question dans le cas des enfants entendants et dans le cas des enfants sourds profonds appareillés. Nous donnerons les valeurs de ces paramètres, recensés dans la littérature.

## **1. La définition de la voix : les 3 étages qui la constituent**

La voix est une combinaison harmonieuse entre les différentes composantes de l'appareil vocal : l'appareil respiratoire (la soufflerie), le larynx (les vibrations des cordes vocales) et les cavités de résonance (les cavités buccale, pharyngale, labiale, naso-pharyngale et les fosses nasales) (Cornut, 2009).

## **2. Les principaux paramètres de la voix**

La voix se définit le plus souvent selon trois grands paramètres auquel on a rajouté le triangle vocalique :

- L'intensité : c'est la puissance du son, l'amplitude du signal acoustique provenant de la vibration des cordes vocales. Elle dépend de la pression sous-glottique et se mesure en décibels (dB). Celle-ci est très dépendante des situations de communication (voix parlée, voix chantée, voix chuchotée...). L'intensité moyenne usuelle en conversation varie de 55 à 65 dB. (Dupessey, Coulombeau, & Cornut, 2003 ; Heuillet-Martin, Garson-Bavard, & Legré, 2007).
- La hauteur : c'est la fréquence d'oscillation du vibreur, c'est-à-dire le nombre de cycles d'ouverture et de fermeture des cordes vocales en une seconde. Elle se mesure en Hertz (Hz). Pour caractériser une voix, on utilise le fondamental laryngé (ou fréquence fondamentale F0). Il s'agit de la fréquence usuelle de la voix parlée correspondant à la fréquence de vibration des cordes vocales. Elle oscille constamment autour d'une fréquence moyenne qui est pratiquement toujours identique chez un même sujet (Dupessey et al., 2003). Selon Sarfati, Vintenat et Choquart (2002), le fondamental de l'homme est d'environ 110 Hz et celui de la femme est d'environ 230 Hz.
- Le timbre : il est déterminé par l'intensité respective des harmoniques (les fréquences multiples de F0) qui constituent le son laryngé. Les cavités de résonance amplifient ou atténuent préférentiellement certaines fréquences au passage du son laryngé (né entre les cordes vocales) et vont ainsi donner une couleur particulière à la voix. Chaque voyelle est caractérisée par un timbre spécifique. Celui-ci est déterminé par les formants. Ce sont les zones de fréquences amplifiées par les cavités de résonance principales : le pharynx et la cavité buccale. Ces cavités ont chacune une forme et un volume modifiables, et des parois molles qui amortissent la résonance du son laryngé quand il circule dans le tractus vocal. F1 dépend de l'abaissement mandibulaire, qui a un impact sur la longueur de la cavité pharyngale, et F2 dépend de la position de la langue dans la dimension antéropostérieure de la cavité buccale. Chez l'adulte, F1 varie entre 250 et 700 Hz et F2 varie entre 700 et 2500 Hz. Il existe un nombre infini de combinaisons possibles pour la position de chaque cavité de résonance (Dupessey et al., 2003).

- 
- La représentation graphique de la position des voyelles en fonction des valeurs de F1 et F2 s'appelle le triangle vocalique (cf. figure1). Il se définit à l'aide des trois voyelles cardinales [i], [a], et [u]. Le calcul de l'aire du triangle vocalique donne une idée de l'étendue vocale utilisée pour la production des voyelles. Les formants dépendant de la position des articulateurs, on peut également déduire les propriétés articulatoires de chaque voyelle à partir de ce triangle (Cornut, 2009).

Nous allons maintenant étudier le cas de l'enfant dont les caractéristiques anatomo-physiologiques sont différentes de celles de l'adulte. En effet, l'enfant naît avec un conduit vocal, des articulateurs et des cavités de résonance qui n'ont pas encore atteint leurs tailles et leurs formes définitives. Il est donc important de définir les paramètres de la voix de l'enfant en les distinguant de ceux de l'adulte.

### **3. La voix et les valeurs formantiques de l'enfant entendant**

Chez l'enfant entendant, des études ont pu décrire la voix et donner quelques valeurs normatives concernant les paramètres en question :

- L'intensité : il est encore rare de trouver des données précises sur l'intensité, car elle est difficile à étudier. En effet, elle varie beaucoup chez un même sujet et dépend des conditions matérielles de l'enregistrement vocal (matériel d'enregistrement, distance au micro...). Selon Sarfati et al. (2002), à la naissance, le nourrisson a une intensité élevée de 80 à 90 dB, puis elle diminue jusqu'à l'âge adulte. Elle reste supérieure à celle de l'adulte entre 5 ans et la puberté.
- Le fondamental laryngé (F0) :
  - Les valeurs générales de F0: en 1987, Kent, Netsell, Osberger et Hustedde définissent le F0 de l'enfant entendant de 400 à 500 Hz. En 1994, Vinter recentre cette valeur autour de 400 Hz. Plus tard, en 2009, Cornut réduit la valeur de F0 entre 246 et 330 Hz.
  - Les valeurs de F0 selon l'âge de l'enfant: d'autres auteurs caractérisent plus précisément le F0 en fonction de l'âge des enfants. Boysson-Bardies (2010) donne la valeur de 450 Hz pour le bébé. Selon Kent et Murray (1982), le F0 varie peu de 3 à 9 mois. Il est de 445 Hz à 3 mois, 450 Hz à 6 mois, et 415 Hz à 9 mois. Pour Sarfati et al. (2002), les enfants de 4 et 5 ans ont un F0 d'environ 300 Hz, et ceux de 7 ans un F0 d'environ 280 Hz. On constate que vers 12 ans, les développements anatomo-physiologiques différents du conduit vocal et des organes de la phonation entraînent un écart de F0 très marqué entre les filles et les garçons. Cependant, avant la puberté, ces différences sont très fines et n'ont pas de conséquences sur le F0, elles ne concernent que le timbre (Cornut, 2009 ; Fitch & Giedd, 1999 cités par Vorparian & Kent, 2007).
  - L'évolution de F0 avec la croissance de l'enfant: dans une étude de 2007, Vorparian et Kent donnent une évolution de F0. Chez le nourrisson, F0 varie entre 300 à 600 Hz puis il reste relativement stable jusqu'à 9 mois. Ceci est confirmé par Kent et Murray en 1982. Puis, le F0 décline jusqu'à l'âge adulte. Ce déclin est très important entre 12 mois et 3 ans. Entre 3 et 5 ans, le F0 est de 250 Hz. Enfin de 6 à 11 ans, il continue à décliner.

---

F0 tend donc à diminuer avec l'âge. Ceci est corrélé à l'augmentation de la taille des cordes vocales et à la croissance du conduit vocal (Ménard, 2002).

➤ Les formants des voyelles cardinales :

En 1995, Bakkum, Plomp, et Pols ont réalisé une étude avec des enfants allemands entendants de 6 à 12 ans. Ils trouvent ces données :

	<b>F1 moyen</b>	<b>F2 moyen</b>
<b>[i]</b>	303 Hz	2367 Hz
<b>[a]</b>	1050 Hz	1931 Hz
<b>[u]</b>	353 Hz	939 Hz

D'autres auteurs ont étudié les formants vocaliques, mais ils donnent des valeurs plus globales de F1 et F2 :

- Kuhl et Meltzoff (1996) ont réalisé une étude avec des enfants âgés de 12 semaines. Ils constatent que le F1 varie de 675 à 1044 Hz et le F2 varie de 2156 à 3121 Hz.
- Kent et Murray (1982) ont étudié des enfants de 10 mois. Pour eux, le F1 est compris entre 700 et 1000 Hz, et le F2 entre 2250 et 3000 Hz.
- Pour Boysson-Bardies, Halle, Sagart et Durand (1989), chez cinq enfants français de 10 mois, le F1 moyen est de 878 Hz et le F2 moyen est de 2456 Hz.
- Gilbert, Robb, et Chen (1997) notent que vers 3 ans, le F1 moyen est de 645 Hz et le F2 moyen est de 1938 Hz. Ces moyennes ont été calculées à partir des valeurs obtenues chez cinq enfants âgés de 3 ans.

Les formants dépendent des cavités de résonance et donc du tractus vocal dans lequel le son laryngé circule. L'enfant a un conduit vocal différent de celui de l'adulte, qui va changer en grandissant (Boë et al., 2007, 2008). « *Le conduit vocal de l'adulte ne constitue pas une reproduction homothétique du conduit vocal du nouveau-né* » (Ménard, 2002, p. 29). Le conduit vocal du nouveau-né est plus court et plus courbé que celui de l'adulte. Il a une masse linguale plus antérieure, une cavité pharyngale relativement plus courte, un larynx en position élevée et un contact entre le vélo-pharynx et l'épiglotte (Kent & Murray, 1982).

La croissance du conduit vocal est non linéaire. Il commence à ressembler à celui de l'adulte entre 6 et 12 mois (Boysson-Bardies, 2010). Ses dimensions se rapprochent de celles de l'adulte vers l'âge de 10 ans. C'est pendant les cinq premières années que sa croissance est la plus importante (Ménard, 2002). Selon Vorparian et al. (2005, cités par Vorparian & Kent, 2007), les valeurs des formants diminuent pendant que le conduit vocal s'allonge avec l'abaissement du larynx. Ces valeurs sont aussi en lien avec la largeur et le volume des cavités de résonance. Vers 12 ans, à la puberté, les différences anatomo-physiologiques sont telles que les valeurs des formants sont différentes chez les garçons et chez les filles (Ménard, 2002). (Cf. figure 2)

- Le triangle vocalique : voici un exemple de triangle vocalique que Kent a réalisé en 1992 (cité par Woisard, Percodani, Serrano, & Pessay, 1998). Il s'est appuyé sur les données de Peterson et Barney (1952) qui ont étudié les productions vocales de 33 hommes, 28 femmes et 15 enfants entendants.

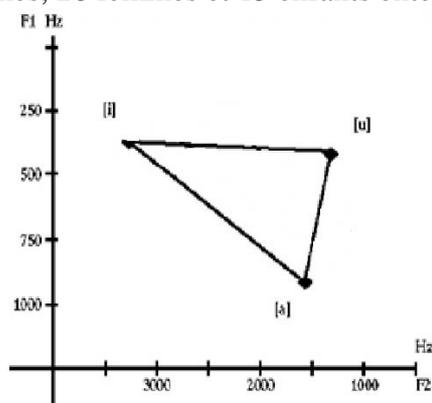


Figure 3 : Le triangle vocalique de l'enfant entendant d'après les données de Peterson et Barney (rapportées par Kent, 1992).

Après avoir évoqué les caractéristiques de la voix de l'enfant entendant, nous nous intéressons au cas de l'enfant sourd profond congénital qui, privé d'audition dès sa naissance, développe sa voix de façon atypique. Nous détaillerons les données actuelles recensées dans la littérature sur les paramètres vocaux et les formants de l'enfant sourd.

#### 4. La voix et les valeurs formantiques de l'enfant sourd profond appareillé

Les études ayant analysé la voix de l'enfant sourd profond appareillé sont beaucoup moins nombreuses, on peut cependant noter quelques précisions :

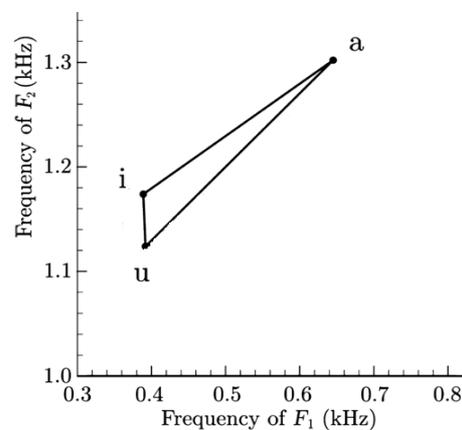
- L'intensité : elle est souvent inadaptée à la situation et difficilement maîtrisée. Dumont (2008) nous dit qu'elle est soit trop forte soit trop faible.
- Le fondamental laryngé (F0) : Dumont (2008) rapporte que la fréquence fondamentale de l'enfant sourd profond congénital bilatéral est plus élevée que la moyenne.
  - Gilbert et Campbell précisent, en 1980, que cette différence est de 55 Hz pour les enfants entre 4 et 6 ans et de 41 Hz pour les enfants de 8 à 10 ans. Ces auteurs ont trouvé un F0 moyen de 337 Hz pour les enfants sourds entre 4 et 6 ans, et de 307 Hz pour les enfants sourds entre 8 et 10 ans.
  - En 1994, Vinter a donné une valeur plus générale du F0 de l'enfant sourd à 380 Hz.
- Les formants des voyelles cardinales :

Bakkum et al. (1995) ont réalisé une étude avec des enfants sourds entre 6 et 12 ans. Ils ont relevé ces valeurs :

	<b>F1 moyen</b>	<b>F2 moyen</b>
<b>[i]</b>	413 Hz	2384 Hz
<b>[a]</b>	892 Hz	1693 Hz
<b>[u]</b>	409 Hz	1176 Hz

- Le triangle vocalique : il est réduit et centralisé. On peut observer une réduction formantique des voyelles qui se rapprochent du [a] (Dumont, 2008).

Voici un exemple de triangle vocalique d'enfants sourds réalisé par Hocevar-Boltezar, Boltezar et Zargi, dans une étude de 2008. Ce triangle a été dessiné à partir des données vocales de 13 enfants âgés de 2 à 13 ans, ayant une surdité profonde pré-linguale.



*Figure 4 : Le triangle vocalique de 13 enfants sourds profonds prélinguaux âgés de 2 à 13 ans (Hocevar-Boltezar et al., 2008)*

Il existe deux moyens de compenser la perte auditive : la prothèse conventionnelle et l'implant cochléaire. Ces appareillages sont adressés aux patients dont la perte auditive est stable et ne peut être traitée par des voies médicamenteuses ou chirurgicales non invasives. Ces appareillages se distinguent par leur fonctionnement et le type de surdité à traiter. Nous les décrirons, en essayant de mettre en évidence leurs avantages et leurs inconvénients, puis nous expliquerons les conséquences de chacun.

### **III. La prothèse acoustique amplificatrice numérique externe**

La prothèse acoustique amplificatrice numérique externe (ou prothèse conventionnelle) est le moyen le plus répandu de compensation de la perte auditive liée à la surdité. Elle est utilisée pour tous les types de surdité, sauf dans le cas des surdités totales ou profondes.

#### **1. Le rôle de la prothèse conventionnelle**

La prothèse conventionnelle a pour rôle de stimuler les voies auditives (cf. annexe III, p. 83-84) en amplifiant les sons. Elle permet à l'enfant de les entendre alors que cela était impossible sans appareil (Hage, Charlier, & Leybaert, 2006 ; Leybaert et al., 2007).

---

Dans certains cas de surdités légères à moyennes, seules l'oreille externe et l'oreille moyenne sont touchées ; l'oreille interne fonctionne efficacement. Le problème se situe au niveau de la transmission et de l'amplification de l'onde sonore (cf. annexe II, p.82). Les perceptions sonores de la personne sourde dépendent alors de l'intensité des sons qui arrivent à l'oreille. La prothèse conventionnelle va permettre d'amplifier les sons trop faibles pour être perçus par la cochlée. Elle joue uniquement un rôle d'amplification du son, en traitant le signal sonore à son arrivée à l'oreille (Dumont, 2008).

## **2. Les conséquences du port de la prothèse sur l'audition, la compréhension et le développement du langage et de la communication**

Le port d'une prothèse conventionnelle va permettre, en fonction du degré de surdité, d'améliorer la perception des sons qui ne sont pas ou mal perçus sans appareil, et ainsi diminuer le seuil tonal d'audition. Cela va entraîner un meilleur développement des fonctions langagières, une meilleure communication et donc une meilleure socialisation.

- En cas de surdité légère, un appareillage n'est pas toujours nécessaire, mais il permet en tout cas une normalisation du seuil tonal. Les apprentissages langagiers, ainsi que la voix ne seront donc pas affectés.
- En cas de surdité moyenne, la prothèse est nécessaire et permet une meilleure acquisition du langage, de l'articulation et de la parole, sous condition d'une prise en charge orthophonique.
- En cas de surdité sévère, la prothèse et la prise en charge orthophonique sont indispensables pour permettre l'acquisition du langage et un certain contrôle de la voix.
- En ce qui concerne les surdités profondes ou totales, l'atteinte est différente car il s'agit la plupart du temps de surdité de perception. Ce sont les voies neurosensorielles de l'audition qui sont endommagées. Les lésions se situent soit au niveau de la cochlée dans l'oreille interne, soit au niveau du nerf auditif, ou bien encore au niveau des voies centrales. Avec une prothèse conventionnelle, le son est amplifié et arrive à la cochlée qui est lésée (destruction ou dysfonctionnement des cellules ciliées internes et externes) (Morucci, Coll & Vales, 1992). Elle ne peut donc pas jouer convenablement son rôle. Le signal n'est pas correctement transmis au nerf auditif. En approfondissant davantage, on peut dire qu'avec une prothèse conventionnelle, la cochlée ne peut pas procéder à la résolution spatiale du signal sonore, ce qui aboutit finalement à des perceptions sonores grossières. La personne sourde profonde appareillée entendra un peu la parole mais ne pourra pas la comprendre. La prothèse conventionnelle ne lui offrira qu'un léger bain sonore très peu informatif. La personne accèdera difficilement au langage oral même avec des aides à la communication comme la lecture labiale et la LPC (Langue Parlée Complétée). De plus, elle ne pourra pas développer un contrôle satisfaisant de sa voix. Leybaert et al. (2007) affirment qu'en cas de surdité profonde, l'amplification est quantitativement et qualitativement insuffisante avec une prothèse conventionnelle et que le recours à une stimulation directe du nerf auditif est indispensable.

---

Dans ce cas, l'insuffisance du port de la prothèse conventionnelle amène à envisager un autre moyen de compenser la perte auditive. L'implant cochléaire semble donc plus adapté en cas de surdité profonde de perception. Plusieurs études semblent attester cette observation.

## **IV. L'implant cochléaire**

Nous ne décrivons pas ici le fonctionnement de l'implant cochléaire (cf. annexe III, p.83-84), mais nous expliquerons dans un premier temps, son historique, ses indications et ses avantages par rapport à la prothèse conventionnelle. Dans un second temps, nous nous consacrerons au constat d'une implantation de plus en plus précoce, puis nous terminerons en donnant les conséquences de l'implantation cochléaire sur l'audition, la parole, le langage et la voix de l'enfant sourd profond congénital.

### **1. Les généralités sur l'implant cochléaire**

L'implant cochléaire est défini par Loundon, Prang et De Lamaze (2009), comme une prothèse électrique implantable, qui transforme les informations sonores en micro-impulsions électriques. Il est inséré dans la rampe tympanique de la cochlée et a pour but de restituer une fonction auditive à ceux qui en ont été privés.

#### **1.1. L'histoire de l'implantation cochléaire**

Inventé en 1957 par Djourno et Eyries, l'implant cochléaire n'a pas cessé d'évoluer (Truy, Bouccara, Sterkers, & Triglia, 2009). D'abord peu nombreuses, les implantations cochléaires se font de plus en plus fréquentes depuis les années 90 avec le perfectionnement des implants. En 2003, 3300 patients ont été implantés en France depuis le début des premières implantations. Si avant 1990, l'implant cochléaire n'était pas destiné aux enfants, cela a évolué et de nos jours, on implante de plus en plus d'enfants, et cela de plus en plus tôt. En 2003, 55% des implants cochléaires étaient destinés aux adultes contre 45% destinés aux enfants (Radafy, 2004).

#### **1.2. Les indications de l'implant cochléaire**

L'implant cochléaire est indiqué chez les patients ayant une surdité acquise sévère ou profonde bilatérale (pour les enfants après 6 ans, adolescents et adultes), pour qui le port de la prothèse conventionnelle s'avère insuffisant. L'implantation des surdités sévères a lieu lorsque les patients ont moins de 50 % d'intelligibilité sans lecture labiale après au moins six mois de port quotidien de la prothèse conventionnelle. L'implant cochléaire concerne également les enfants ayant une surdité congénitale ou acquise. Dans tous les cas, le nerf auditif et les aires auditives centrales ne doivent pas être lésés si une implantation cochléaire doit avoir lieu (Truy et al., 2009).

---

### **1.3. Les avantages de l'implant cochléaire par rapport à la prothèse classique**

Une étude de Meyer, Svirsky, Kirk et Miyamoto, (1998, cités par Leybaert et al. 2007), amène à affirmer que les enfants avec un déficit auditif de 101 à 110 dB reçoivent plus de bénéfices de l'implant cochléaire que d'autres aides auditives. Leybaert et al. (2007) l'expliquent en disant que l'implant apporte « *l'input auditif nécessaire et suffisant pour le développement de la perception et de la production de la parole* » (p. 27).

Une autre étude de Transler, Leybaert et Gombert (2005) montre qu'avec la prothèse conventionnelle l'écart entre le niveau de langage des enfants sourds profonds congénitaux et leur âge chronologique s'accroît avec l'âge, alors qu'avec un implant cochléaire, cet écart reste stable. Par conséquent, les enfants sourds profonds congénitaux implantés présenteront un retard de développement du langage moins important que ceux non implantés.

## **2. Le choix d'une implantation précoce**

### **2.1. Le constat d'une implantation de plus en plus tôt chez les enfants**

On observe que l'implantation est proposée à des enfants de plus en plus jeunes. En 1990 la Food and Drug Administration (l'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments dont le sigle est FDA) a commencé à proposer l'implantation aux enfants après 4 ans. Au fil des années, l'âge d'implantation préconisé a diminué. Il était de 2 ans et demi en 1994, de 2 ans en 1998 jusqu'à atteindre 1 an en 2002 (Mansbach, 2006). Aujourd'hui en France l'implant cochléaire est mis en place entre 18 et 24 mois en majorité mais il peut parfois être proposé avant 18 mois (Colleau, 2004).

### **2.2. Les raisons d'une implantation très précoce sont liées à la notion de période critique**

Le système auditif est fonctionnel à 25 semaines gestationnelles et le niveau d'audition est optimal et proche de celui de l'adulte à 35 semaines de gestation (Boysson-Bardies, 2010). En revanche, le cortex auditif continue à se développer pour devenir complètement mature à la puberté.

Chez le bébé entendant, les réseaux cérébraux impliqués dans la perception, la discrimination et la catégorisation du langage sont spécifiques dès les premiers instants de la vie. L'hémisphère gauche va se spécialiser dans la discrimination des sons linguistiques (Colleau, 2004), tandis que l'hémisphère droit va être associé à la perception des événements acoustiques, à la prosodie et aux variations d'intonation dues à l'affectivité (Boysson-Bardies, 2010). Entre 6 et 24 mois, la densité des connexions des cellules nerveuses du cortex auditif est la plus importante et les aires auditives centrales s'organisent en plages fréquentielles. Les neurones qui n'auront pas été recrutés pour

---

cette fonction mourront ou serviront à d'autres fonctions. Durant cette période, il y a une spécialisation des structures de l'encéphale.

En cas de surdité profonde, aucun stimulus auditif périphérique ne parvient au cortex, par conséquent, celui-ci s'organise sans tenir compte de la fonction auditive. Les aires associatives se réorganisent et deviennent plus sensibles aux autres modalités sensorielles comme la vision et le toucher (Massida, 2010). L'hémisphère gauche ne va plus assurer seul l'analyse perceptive du langage, mais va partager cette tâche avec l'hémisphère droit (Colleau, 2004). L'absence de stimuli auditifs périphériques va entraîner, en lien avec la théorie de l'équipotentialité hémisphérique de Lenneberg, une organisation différente du cortex auditif. Il n'y aura donc pas de spécialisation de l'hémisphère gauche. De plus, le nombre de neurones du nerf auditif va décliner faute de stimulations (Colleau, 2004).

Passé 2 ans, l'organisation du cortex est quasi définitive et les séquelles sur les voies auditives cérébrales irréversibles (Loundon et al., 2009) car le cerveau du jeune enfant n'offre plus une plasticité cérébrale assez importante pour que des changements s'opèrent (Vidal, 2006). Cette période située avant 24 mois est appelée période critique (Loundon et al., 2009). En conséquence, une implantation après cette période sera moins bénéfique, en raison des dommages du nerf auditif et de l'absence des structures auditives que les stimuli auditifs périphériques auraient dû stimuler auparavant. Quand l'enfant sourd est implanté précocement, il reçoit un plus grand nombre de stimuli sensoriels qui vont stimuler les neurones en développant leurs synapses (Colleau, 2004). L'implantation est donc théoriquement plus efficace si elle a lieu avant 2 ans. Pour Hage et al. (2006), cette période se situe avant 4 ans.

### **3. Les conséquences d'une implantation précoce**

De nombreuses études attestent d'une amélioration plus importante et plus rapide de l'audition, de la parole et du langage avec l'implant cochléaire qu'avec une prothèse conventionnelle. Nous allons décrire les bénéfices apportés par l'implant cochléaire

#### **3.1. Les conséquences de l'implant cochléaire sur l'audition**

L'implant cochléaire va permettre à l'enfant sourd profond congénital de recevoir un grand nombre de stimuli auditifs. Cela va réduire considérablement la carence auditive.

Cependant, l'implant cochléaire ne fournit pas une audition tout à fait normale, même si des seuils audiométriques sont situés vers 20-25 dB (Juarèz-Sanchez, 2004). La discrimination de la fréquence, de la durée et de l'intensité des sons reste imparfaite. De plus, après les premiers réglages, l'enfant peut percevoir en moyenne des fréquences allant seulement de 125 Hz à 8000 Hz (Loundon et al., 2009). Il ne faut pas non plus oublier que l'enfant a subi une période d'absence de stimulations auditives périphériques, avant le port de la prothèse conventionnelle ou même pendant le port de la prothèse si elle était insuffisante. Cela va engendrer un retard par rapport au développement normal de l'audition qui commence déjà in utero à 25 semaines de gestation (Boysson-Bardies, 2010 ; Juarèz- Sanchez, 2004).

---

Une étude de Govaerts et al., en 2004, a montré les scores au CAP (Categories of Auditory Performance) de 70 enfants implantés cochléaires avant 6 ans. Il s'agit d'une évaluation globale de la performance auditive. Ceux qui ont été implantés à 4-5 ans ont un décalage par rapport aux entendants ; ceux qui ont reçu l'implant à 2-3 ans présentent une normalisation de la performance auditive après un délai de plusieurs années et enfin ceux qui ont été implantés avant 1 an ont des scores égalant la norme.

Grâce à la récupération d'une certaine audition, l'enfant va pouvoir exercer sa perception de la parole de manière beaucoup plus satisfaisante. Il va peu à peu construire les représentations sonores des différents sons qui lui parviennent et faire le lien avec leur signification et leurs gestes articulatoires. L'imitation va alors lui permettre d'accéder à la production de la parole, puis du langage (Canault, 2007).

### **3.2. Les conséquences de l'implant cochléaire sur la parole et l'articulation**

Le développement phonologique observé chez les enfants porteurs d'un implant cochléaire est le même que chez l'enfant entendant mais il reste plus lent. Les voyelles sont acquises avant les consonnes. Les consonnes visibles, comme les bilabiales ou les labio-dentales, sont plus rapidement apprises par l'enfant que les consonnes invisibles telles que les alvéolaires ou post-alvéolaires. (Leybaert et al., 2007). Ceci se produit grâce car l'enfant va pouvoir utiliser la lecture labiale et s'appuyer sur les visèmes. Un visème est le schème articulatoire visuel commun d'une classe de sosies labiaux. Les visèmes permettent de différencier chaque classe de sosies labiaux.

### **3.3. Les conséquences de l'implant cochléaire sur le langage**

Diverses études se sont intéressées aux conséquences de l'implantation cochléaire sur le développement du langage chez des enfants sourds profonds.

Tous les auteurs constatent que les enfants qui ont reçu un implant ont des meilleures performances langagières que les enfants non-implantés, comme Svirsky, Teoh et Nenburger (2004). Ceci se constate tant pour le versant de l'expression (Robbins, Svirsky, Kirk, Pisoni, & Miyamoto, 2000, cités par Leybaert et al., 2007 ; Truy & Lina-Granade, 2003), que pour celui de la compréhension du langage (Truy et al., 1998).

Les enfants sourds présentent un écart à la norme de leurs habiletés langagières. Après implantation, cet écart ne s'accroît pas ou bien diminue ; le développement du langage est aussi rapide que chez l'enfant entendant (Robbins et al., 2000, cités par Leybaert et al., 2007 ; Truy & Lina-Granade, 2003). Au contraire, sans implantation, cet écart augmente (Svirsky et al., 2004).

De plus, on remarque que ces résultats sont plus probants lorsque l'implantation est réalisée précocement (Nickolopoulos, Dyar, Archbold, & O'Donoghue, 2003, cités par Leybaert et al., 2007 ; Svirsky et al., 2004 ; Truy & Lina-Granade, 2003). Ces mêmes résultats se retrouvent dans le babillage.

---

### 3.4. Les conséquences de l'implant cochléaire sur la voix et les valeurs formantiques

Des études apportent des données sur l'incidence de l'implant cochléaire sur la voix et les formants. Elles restituent les modifications constatées sur les paramètres vocaux après l'implantation.

- Sur la voix en général : selon Manning, Moore, Dunham, Ling Lu et Dominco (1992), les capacités vocales d'un enfant implanté rejoignent la norme au bout de trois ans post-implant environ. Leybaert et al. (2007), observent également que l'effet de l'implant est vraiment remarquable après trois ans d'implantation.
- Sur l'intensité vocale : selon plusieurs études (Hocevar-Boltezar et al., 2006 ; Campisi et al., 2005), les enfants et adultes sourds profonds congénitaux ont vu leur intensité vocale se stabiliser après implantation. En effet, les variations à court et long terme de l'intensité diminuent. Les résultats ont été obtenus à deux et six mois post-implantation.
- Sur la fréquence fondamentale (F0) : selon certains auteurs, le F0 diminue après implantation pour se rapprocher de la norme (Woznica et al., 1996). D'autres auteurs ne trouvent pas d'amélioration du F0 (Hocevar-Boltezar, Vatovec, Gros, & Zargi, 2005). Ces études ont cependant été réalisées auprès d'adolescents et d'adultes. Enfin, Campisi et al. (2005) trouvent que chez les enfants sourds profonds implantés cochléaires, le F0 augmente après implantation.
- Sur les variations de F0 : après implantation, dans le cadre de surdités profondes congénitales, la fréquence fondamentale se stabilise : on observe une réduction des variations à court et long terme (Hocevar-Boltezar et al., 2006). Mais d'autres études n'ont pas trouvé d'amélioration significative de la stabilité de F0 (Campisi et al., 2005). Ces résultats ne font pas consensus.
- Sur les formants : pour la plupart des auteurs, F1 et F2 se normalisent après implantation chez les enfants comme chez les adultes. Ils tendent à augmenter ou à diminuer en fonction des caractéristiques des phonèmes vocaliques.
  - La voyelle [i] : F1 diminue et F2 augmente.
  - La voyelle [a] : F1 et F2 augmentent.
  - La voyelle [u] : F1 et F2 diminuent.

Les voyelles cardinales se différencient donc en rejoignant les valeurs normatives (Hocevar-Boltezar et al., 2008).

- Sur les variations des formants : selon l'étude de Hocevar-Boltezar et al. (2008), toutes les variations des formants tendent à diminuer après implantation sauf pour les variations de F2 de [i], qui s'amplifient.
- Sur le triangle vocalique : toutes les études rapportent son extension (Hocevar-Boltezar et al., 2008 ; Woznica et al., 1996 ; Langereis, Bosman, Van Olphen, & Smoorenburg, 1997) (cf. figure 5). En revanche, pour Campisi et al. (2005), il n'y aurait pas de différence significative des valeurs de F1 et F2 avant et après implantation.

---

**Chapitre II**  
**PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES**

---

## **I. Problématique**

Actuellement, il est possible de diagnostiquer une surdité congénitale ou précoce avant l'âge de 1 an, grâce à des moyens de dépistage de plus en plus performants. Ceci permet d'intervenir le plus tôt possible afin de permettre un développement optimal des capacités langagières de l'enfant. Dans le cas de la surdité profonde congénitale, sans prothèses conventionnelles, seuls les bruits très puissants sont entendus. La parole n'est pas perçue, et aucune audition n'est utilisable. Dans la plupart des cas, la prothèse conventionnelle s'avère insuffisante pour que l'enfant développe une parole et un langage correct. La meilleure solution à ce jour est l'implant cochléaire qui est le seul moyen pour l'enfant sourd profond d'accéder correctement au langage oral.

Les données théoriques vues précédemment ont montré que la mise en place d'un implant cochléaire permet une amélioration considérable des capacités auditives de l'enfant et de son développement phonologique et langagier. Certes, persiste encore un décalage entre les résultats obtenus chez l'enfant sourd implanté et les résultats de l'enfant entendant, mais après implantation, cet écart tend à diminuer ou du moins à se stabiliser. Concernant le développement des capacités vocales après implantation, peu d'études ont été entreprises et les résultats obtenus par les différents auteurs sont très souvent contradictoires. De plus, nous n'avons aucune information quant à l'importance d'une implantation précoce et le rôle que joue le port prolongé de l'implant cochléaire sur la voix.

Nous nous sommes donc posé la question de savoir quel est l'impact de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive post-implantation sur la voix de l'enfant sourd profond congénital. La durée de l'expérience auditive correspond à la période depuis la mise en place de l'implant.

## **II. Hypothèse générale**

Etant donné que l'implantation cochléaire de plus en plus précoce permet une optimisation des capacités auditives, phonologiques et langagières de l'enfant sourd profond congénital, nous faisons l'hypothèse que la précocité de l'implantation et l'augmentation de la durée de l'expérience auditive post-implantation ont un effet bénéfique sur les paramètres de la voix en question.

## **III. Hypothèses opérationnelles**

### **1. Concernant l'âge d'implantation**

- Plus l'implantation est précoce, meilleurs seraient les résultats observés sur les paramètres de la voix.
- Plus l'implantation est précoce, plus le fondamental laryngé serait bas et proche de la norme des enfants entendants, et moins il présenterait de variations chez un même enfant.

- 
- Plus l'implantation est précoce, plus les valeurs de F1 et F2 se rapprocheraient des valeurs normatives des enfants entendants, et cela pour chaque voyelle. Pour [i], F1 serait plus bas et F2 serait plus élevé. Pour [a], F1 et F2 seraient plus élevés. Pour [u], F1 et F2 seraient plus bas. On observerait moins de variations intra-individuelles.
  - Plus l'implantation est précoce, plus le triangle vocalique (ou AVS : Average Vowel Spacing) serait étendu.

## **2. Concernant la durée de l'expérience auditive**

- Plus l'expérience auditive avec l'implant est longue, meilleurs seraient les résultats observés sur les paramètres de la voix.
- Les enfants ayant une expérience auditive plus longue auraient un fondamental laryngé plus bas, qui se rapprocherait de la norme des enfants entendants, et il présenterait moins de variations chez un même enfant.
- Les enfants ayant une expérience auditive plus longue verraient les valeurs de F1 et F2 se rapprocher des valeurs normatives des enfants entendants pour chaque voyelle et ces formants présenteraient moins de variations intra-individuelles. Pour [i], F1 serait plus bas et F2 serait plus élevé. Pour [a], F1 et F2 seraient plus élevés. Pour [u], F1 et F2 seraient plus bas.
- Les enfants ayant une expérience auditive plus longue auraient un triangle vocalique (ou AVS : Average Vowel Spacing) plus étendu.

## **3. Concernant l'âge d'implantation et l'expérience auditive**

- La précocité de l'implantation aurait une plus grande influence sur les paramètres de la voix que la durée de l'expérience auditive.

---

**Chapitre III**  
**PARTIE EXPERIMENTALE**

---

---

## **I. La population**

Nous avons choisi notre population parmi les enfants qui ont été implantés au Pavillon U de l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon. Ils viennent régulièrement pour le suivi post-implantation. Ils ont bénéficié d'une implantation unilatérale et portent une prothèse acoustique conventionnelle à l'oreille controlatérale. De même ils étaient tous appareillés avant l'implantation. Le choix des enfants que nous voulions enregistrer s'est fait en fonction de divers critères afin de respecter au mieux les objectifs de notre étude.

### **1. Les critères d'inclusion**

Tout d'abord, tous les enfants de notre étude sont sourds profonds congénitaux bilatéraux ou sourds sévères congénitaux devenus sourds profonds par la suite.

Le deuxième critère à respecter concerne l'âge auquel les enfants ont été implantés. Les enfants choisis pour notre population ont été implantés entre 10 mois et 3 ans 8 mois (soit 44 mois). Nous avons sélectionné à la fois des enfants ayant été implantés pendant la période critique (cf. partie théorique IV.2.2), c'est-à-dire avant 2 ans, et des enfants ayant été implantés après cette période, afin d'établir une chronologie de l'âge d'implantation.

Le dernier critère d'inclusion concerne l'expérience auditive post-implantation. Les enfants de notre population ont une expérience auditive avec l'implant cochléaire comprise entre 20 mois et 3 ans 6 mois (soit 42 mois). Dans la littérature, il est décrit que l'implant cochléaire présente un effet plus bénéfique sur la voix après trois ans d'utilisation (cf. partie théorique IV.3.4). C'est pour cette raison que nous avons choisi à la fois des enfants avec une expérience auditive inférieure à trois ans, et d'autres enfants avec une expérience auditive supérieure à trois ans. Ainsi, nous allons une nouvelle fois pouvoir répartir ces enfants selon un axe chronologique de l'expérience auditive.

### **2. Les critères d'exclusion**

Nous avons exclu de notre échantillon les enfants présentant des troubles associés qui affecteraient leur développement, et notamment le développement de leurs capacités orales.

Les enfants dont la surdité est acquise ont été écartés de notre population. En effet, ils ont eu le temps de faire des acquisitions orales avant de perdre l'audition. Ceci aurait faussé nos résultats car leurs acquisitions ne sont pas toutes consécutives à l'utilisation de l'implant cochléaire.

La différence des sexes n'est pas prise en compte dans notre mémoire car avant la puberté les différences vocales sont minimales et ne concernent que le timbre (cf. partie théorique II.3).

---

### **3. Les critères d'exclusion n'ayant pas pu être respectés**

Nous avons prévu de contrôler l'environnement linguistique des enfants choisis et de maintenir une homogénéité dans les modes de communication et les modalités de prise en charge orthophonique. Cependant, il était particulièrement difficile de contrôler tous les paramètres si l'on voulait obtenir un nombre suffisant d'occurrences analysables et donc un nombre d'enfants important. Par conséquent, les deux critères suivants n'ont pas pu être maintenus :

- Il nous a été impossible de ne choisir que des enfants dont l'environnement était strictement monolingue. Notre échantillon aurait été alors trop réduit. Notre population comporte donc des enfants chez qui le français n'est pas la langue la plus parlée dans la famille. Cela entraîne également un biais car ces enfants ont moins été au contact de la langue française. En revanche, tous les enfants sont scolarisés et bénéficient d'une prise en charge orthophonique en français, ce qui nous assure qu'ils ont tous été confrontés à la langue française.
- Nous n'avons pas réussi à obtenir d'homogénéité dans les modes de communication et les modalités de prise en charge orthophonique. Nous sommes conscientes que nous introduisons un biais dans notre étude. En effet, un enfant pour qui un projet de communication mixte oral-LSF (Langue des Signes Française) est envisagé n'est pas comparable à un enfant pour qui le projet est strictement oraliste avec l'aide du LPC (Langue Parlée Complétée). Il en est de même pour les différentes modalités de prise en charge. Malheureusement, il était impossible d'uniformiser notre échantillon à ce niveau-là. Malgré ces différences, tous les enfants bénéficient au moins d'un projet de communication oraliste et d'une prise en charge orthophonique en CAMSP (Centre d'Action Médico-Sociale Précoce), dans un SSEFIS (Service de Soutien à l'Éducation Familiale et à l'Intégration Scolaire) ou bien en cabinet libéral.

Nous avons défini la durée de l'expérience auditive comme le temps entre la mise en place de l'implant et l'enregistrement. Cependant, l'expérience auditive est différente pour chaque enfant en fonction du temps nécessaire à l'acceptation de l'implant et de la régularité du port. En dépit de cela, nous n'avons pas pris en compte ces différences dans l'élaboration de notre population car nous ne disposions pas d'un nombre suffisant de sujets.

### **4. Effectif et taille de l'échantillon**

Au final, sur la base des critères choisis et dans la limite des enfants implantés au Pavillon U, nous avons sélectionné 29 enfants que nous avons choisi d'enregistrer pour notre mémoire. Ils ont entre 3 ans 8 mois (soit 44 mois) et 5 ans 10 mois (soit 70 mois), le jour de leur enregistrement.

Nos sessions d'enregistrement ont eu lieu le jour du réglage de l'implant au Pavillon U, à la suite des rendez-vous médicaux. Les enfants rencontrent ce jour-là, le médecin spécialisé, l'orthophoniste et l'audioprothésiste. Les enfants étant très jeunes, nous nous sommes retrouvées confrontées à des refus de la part de certains enfants ou parents.

De plus, le travail sur la parole avec de jeunes enfants dans le domaine de la pathologie entraîne des difficultés supplémentaires pour obtenir un maximum de corpus.

Nous n'avons enregistré que les enfants qui oralisaient suffisamment pour nous permettre l'obtention d'un corpus analysable. Les enfants non oralisants ont été retirés de notre étude. Nous sommes conscientes que, procédant ainsi, les enfants dont le développement langagier est moindre ont été ôtés de notre étude. En d'autres termes, les enfants pour qui l'implantation a été moins bénéfique ne sont pas pris en compte. Cela apporte un biais dans nos observations.

Au final, sur les 29 enfants choisis au départ, nous avons obtenu 14 enregistrements contenant des occurrences analysables.

*Tableau 1: Liste des enfants ayant été retenus.*

Enfants	Dates de naissance	Âges le jour de l'enregistrement (en mois)	Date d'implantation	Âge d'implantation (en mois)	Expérience auditive post-implantation (en mois)
R.F	18 07 2006	44	19 03 2008	20	24
B.G	16 02 2006	48	08 01 2007	10	38
A.C	14 02 2006	50	24 01 2008	24	26
J.A	20 10 2005	54	02 05 2007	18	36
J.M	20 10 2005	54	26 03 2008	29	25
L.A	03 11 2005	55	14 03 2007	16	39
L.L	13 01 2006	58	03 05 2007	16	42
C.T	23 07 2005	61	23 08 2007	25	36
S.O	01 01 2005	62	15 01 2007	25	38
M.R	14 02 2005	63	24 04 2008	39	24
Z.N	08 12 2004	64	17 07 2008	44	20
T.Q	16 07 2004	69	13 12 2006	28	41
P.B	04 06 2004	70	26 02 2007	33	37
M.O	14 02 2005	70	24 04 2008	39	31

## II. Le protocole

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons rencontré, au sein du Pavillon U, un étudiant en Sciences Cognitives qui menait sa thèse sur les productions orales des enfants sourds profonds implantés cochléaires. Il enregistrait lui aussi les enfants qui venaient au Pavillon U de l'Hôpital Edouard Herriot. Il s'est avéré que nous enregistrions en grande partie les mêmes enfants et que nous procédions à des enregistrements assez similaires dans la forme et le protocole. Ainsi, étant donné que ces enfants ne viennent au Pavillon U que tous les six mois, nous avons décidé avec son accord, d'intégrer notre corpus au

---

sien pour n'effectuer qu'une seule passation. Nous avons chacun notre propre corpus ainsi que des mots communs aux deux corpus. A la fin de l'enregistrement, chacun ne prenait en compte que la partie qui l'intéressait pour son étude.

## **1. Le choix du corpus**

### **1.1. Les objectifs**

Le but de notre expérimentation était d'obtenir un matériel acoustique nous permettant d'étudier la fréquence fondamentale F0 moyenne des enfants, et les différents paramètres acoustiques (F1 et F2) des trois voyelles cardinales de la langue française [i], [a] et [u] en position initiale, médiane et finale du mot.

Dans notre étude, nous devions comparer entre eux les résultats des enfants. Il a donc fallu uniformiser au maximum le corpus afin d'obtenir un matériel acoustique le plus homogène possible pour que ces comparaisons soient réalisables.

De ce fait, l'utilisation du discours spontané de l'enfant ou d'une interaction enfant/adulte, bien que plus écologique, était impossible car nous n'aurions pas du tout obtenu les mêmes productions vocales d'un enfant à l'autre et il n'aurait pas été pertinent d'effectuer des comparaisons inter-sujets. De plus, au vu de l'âge des enfants, il était tout à fait possible d'utiliser un corpus contrôlé dans une tâche de parole. En linguistique, les situations de production spontanée ne sont utilisées qu'avec des bébés.

En outre, recourir à des jeux vocaux habituellement utilisés en orthophonie, aurait permis l'obtention de chaque voyelle maintenue pendant plusieurs secondes et sans coarticulation. Mais, cela n'aurait pas été suffisamment représentatif d'une parole écologique. De plus, cela aurait été extrêmement difficile à mettre en œuvre avec des enfants aussi jeunes et de plus porteurs d'une pathologie.

### **1.2. Le contrôle du matériel acoustique**

#### **1.2.1. La place des voyelles dans le mot**

Nous avons donc choisi d'établir notre corpus à partir de mots cibles contenant les trois voyelles cardinales [i], [a] et [u]. Dans la langue française, ces voyelles peuvent être en position initiale, médiane ou finale du mot. En position initiale et finale, le phénomène de coarticulation est moins important qu'en position médiane où la voyelle subit l'influence des phonèmes voisins. De plus la position médiane est la plus représentée et la finale la plus accentuée. Pour représenter au mieux la langue française, nous avons donc choisi des mots contenant les voyelles cardinales dans ces trois positions.

---

### **1.2.2. L'environnement consonantique**

Toujours dans un souci d'homogénéisation du corpus, nous avons contrôlé l'environnement des voyelles afin de réduire au maximum le biais induit par la coarticulation. Les voyelles étudiées sont donc placées dans un environnement strictement occlusif. Les consonnes occlusives sont les plus faciles à produire et celles qui sont acquises le plus tôt par l'enfant.

### **1.2.3. L'âge d'acquisition des mots**

Nous avons également tenu compte de l'âge d'acquisition des mots pour s'assurer un maximum de réussite de la part des enfants et pour ne pas les mettre en difficulté. Tous les mots cibles sont généralement acquis avant l'âge de 3 ans. Nous avons rajouté « outil » et « panda », acquis plus tardivement, car nous ne disposions pas d'assez de mots commençant par « [u]+occlusive » et terminant par « occlusive+[a] ».

### **1.3. Le choix des mots**

La sélection des mots a été réalisée à l'aide de Lexique.org. Il s'agit d'une base de données lexicales, libre, hébergée par le RISC (Relais d'Information sur les Sciences de la Cognition, unité mixte de service du CNRS destinée aux chercheurs et aux étudiants). Cette base de données a été créée par New, Pallier, Ferrand et Matos en 2001. Nous avons également utilisé les Inventaires Français du Développement Communicatif (IFDC) de Kern et Gayraud qui permet d'évaluer les capacités langagières des enfants de 8 à 30 mois.

Nous avons choisi d'obtenir les mots voulus à partir d'une dénomination d'images, épreuve plus accessible à des enfants très jeunes. Cela a réduit le choix des mots à des noms communs qui soient facilement représentables par un dessin. Nous avons fait en sorte que les dessins soient représentatifs pour des enfants de cet âge.

Au final, nous avons donc sélectionné 23 noms communs bisyllabiques ou trisyllabiques respectant toutes ces conditions (cf. annexe IV, p.85). Nous avons choisi d'obtenir au moins 10 occurrences pour chaque voyelle dont trois initiales, quatre médianes et trois finales. Ceci nous a semblé plus approprié car c'est le choix qu'ont fait de nombreux auteurs dans des études portant sur la production de la parole ou plus précisément des voyelles (Turner, Tjaden, & Weismer, 1995 ; Robert-Ribes, Schwartz, Lallouach, & Escudier, 1998). Pour obtenir ces 10 occurrences, nous avons représenté certains mots plusieurs fois ; ceci nous donne 31 images à dénommer (cf. annexe V, p.86).

---

## **2. Le recueil des données**

### **2.1. Le matériel d'enregistrement**

Les enregistrements audio ont été réalisés à l'aide d'un ordinateur portable, d'une carte son Audiogram 3 de Yamaha, du logiciel Cubase AI DAW (Digital Audio Workstation) et d'un micro C5 d'AKG.

La carte son est reliée à l'ordinateur par un câble USB par lequel les données auditives stéréo circulent dans les deux sens (de la carte à l'ordinateur et inversement). La fréquence d'échantillonnage est de 44,1 KHz à 48 KHz. Il s'agit de l'intervalle de temps entre deux informations numériques dans un fichier audio. Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, meilleure est la qualité. Un commutateur PHANTOM fournit une alimentation de + 48V à l'entrée microphone. Sur l'ordinateur qui utilise le logiciel d'exploitation Windows Vista, a été installé le logiciel Cubase AI DAW. Celui-ci offre une fonction d'enregistrement sur disque dur à hautes fréquences. Il nous permet de visualiser l'oscillogramme de la voix. Enfin, le micro est relié directement à la carte son. Il s'agit d'un microphone électrostatique conçu pour l'utilisation professionnelle sur scène. Il permet l'optimisation de l'intelligibilité de la parole grâce à un renforcement d'environ 5dB entre 5 KHz et 9 KHz.

### **2.2. Le contexte expérimental**

Tous les enregistrements ont été réalisés entre le 01/03/10 et le 15/12/10.

Ils se sont déroulés au Pavillon U de l'Hôpital Edouard Herriot lors des visites de contrôle et de réglage de l'implant cochléaire des enfants. Elles ont lieu tous les six mois environ.

Nous étions installées dans la pièce à jouets attenante à la salle d'attente des salles de réglage des implants cochléaires.

Le jour de leur visite, les enfants ont un rendez-vous médical, un rendez-vous orthophonique et le réglage de l'implant. Nous leur proposons l'enregistrement à la fin, juste avant qu'ils rentrent chez eux. Ce qui explique que nous ayons été confrontées à une majorité de pertes et de refus.

Pendant ce temps, nous proposons également aux parents de remplir un questionnaire portant sur l'histoire de la surdité, de la prise en charge et de la communication de leur enfant afin de mieux le connaître et de pouvoir mettre en lien certains résultats observés avec l'histoire de l'enfant (cf. annexe VI, p.87 à 89).

### **2.3. La passation**

Lorsque l'enfant a terminé ses rendez-vous, nous lui proposons l'enregistrement en lui expliquant le principe, en lui faisant essayer le micro s'il le souhaite. Ensuite, nous nous installons dans la pièce à jouets, assis par terre ou sur des chaises suivant le désir de

---

l'enfant. De même, il peut venir seul s'il est à l'aise ou accompagné d'un parent, d'un frère ou d'une sœur. Tout est mis en œuvre pour que l'enfant soit dans les meilleures conditions possibles et qu'il n'ait pas d'inquiétude ou de stress.

Nous présentons les images une à une à l'enfant qui les dénomme. S'il ne reconnaît pas le dessin, nous lui donnons le mot et il le répète. Cette épreuve est construite sur le modèle des épreuves de tests orthophoniques où il faut dénommer des images comme le ELO (Evaluation du Langage Oral) de Khomsi (2001), l'EVIP (Echelle de Vocabulaire en Images Peabody) de Dunn, Thériault-Whalen et Dunn (1993), répéter des mots comme dans la batterie du L2MA (Langage Oral, Langage Ecrit, Mémoire et Attention) de Chevrier-Muller, Simon et Fournier (1997), ou encore répéter des non-mots comme dans l'épreuve de répétition de logatomes de Borel-Maisonny (1967). Donc, même si l'enfant ne connaît pas le mot, il doit être capable de répéter. De plus, notre objectif est d'obtenir la voyelle cible avec un environnement occlusif. Si l'enfant ne répète pas exactement le mot, cela n'est donc pas gênant. Par exemple, si au lieu de dire /ibu/ l'enfant répète /idu/, cela ne change ni la voyelle ni son environnement, donc cela convient à notre étude. Nous sommes conscientes que la répétition et la dénomination n'ont pas les mêmes objectifs. On utilise en orthophonie la dénomination pour évaluer la parole et l'accès au stock lexicale, et la répétition pour évaluer la parole uniquement. De plus, contrairement à la dénomination, la répétition fournit un modèle à l'enfant. Cependant, c'était la seule manière pour nous d'obtenir des productions avec des enfants si jeunes.

L'enregistrement en lui-même dure entre cinq et 10 minutes.

### **3. L'analyse des données**

#### **3.1. Le paramétrage de Praat®**

Une fois les enregistrements réalisés, nous les avons analysés à l'aide du logiciel Praat®. Praat® est un logiciel libre scientifique, conçu pour la manipulation, le traitement et la synthèse de sons vocaux. Il a été créé à l'Institut de Sciences Phonétiques de l'Université d'Amsterdam par Paul Boersma et David Weenink. Dans le cadre de notre mémoire, nous avons utilisé la version 5.1.20 de Praat® (octobre 2009).

Ce logiciel nous permet de visualiser l'onde acoustique de la voix et le spectrogramme qui est recalculé à partir du paramétrage choisi.

Nous avons paramétré Praat® en fonction des enregistrements à analyser afin que cette analyse soit la plus pertinente possible. Pour notre étude, nous avons utilisé le paramétrage de Canault (2007) qui s'est inspirée de Wood (cf. annexe VII, p.90). Celui-ci est conçu pour l'analyse d'enregistrements de voix de bébés, ce qui nous convient car la fréquence et le timbre de ces voix sont assez similaires à ceux des jeunes enfants que nous avons enregistrés. (cf. partie théorique II.4).

---

### **3.2. L'intensité**

L'intensité est un paramètre vocal que nous voulions prendre en compte mais que nous n'avons pas pu analyser. Les enfants parlaient volontairement trop doucement ou trop fort, d'autres jouaient avec le micro ou s'en éloignaient. Les conditions d'enregistrement audio n'ont pas permis de refléter l'intensité vocale des enfants que nous avons rencontrés. Ceci aurait biaisé les résultats de nos analyses.

### **3.3. La fréquence fondamentale (F0)**

Nous avons calculé la fréquence fondamentale moyenne de chaque enfant.

Pour cela, nous avons découpé les enregistrements en isolant chaque mot un par un à l'aide du logiciel Praat®. Afin d'obtenir un résultat le plus juste possible, nous avons pris en compte toutes les productions des enfants, les mots cibles mais aussi les mots erronés ainsi que les productions spontanées. La F0 est en effet le seul paramètre pour lequel l'homogénéisation du corpus n'était pas nécessaire.

Nous avons relevé la F0 moyenne de chaque production, en retirant l'attaque et la fin afin d'éviter le phénomène de coarticulation entre la voyelle et la consonne qui la suit ou la précède. Nous avons ainsi obtenu une valeur de F0 pour chaque mot.

Nous avons ensuite fait la moyenne de toutes les F0 pour obtenir la fréquence fondamentale moyenne de chaque enfant (cf. annexe VIII, p. 91-92).

En fonction des enfants, nous ne disposions pas du même nombre de productions (entre cinq et 69 occurrences). Nos moyennes ne bénéficient donc pas de la même significativité. Nous n'avons pas homogénéisé le nombre de segments pris en compte pour chaque enfant car il aurait été dommage de diminuer la pertinence des résultats pour les enfants dont nous avons beaucoup de données. Le nombre d'occurrences apparaît dans les tableaux des données en annexe IX (p. 93-94).

### **3.4. Les formants**

Nous avons calculé le F1 et le F2 moyens des voyelles [i], [a] et [u] pour chaque enfant.

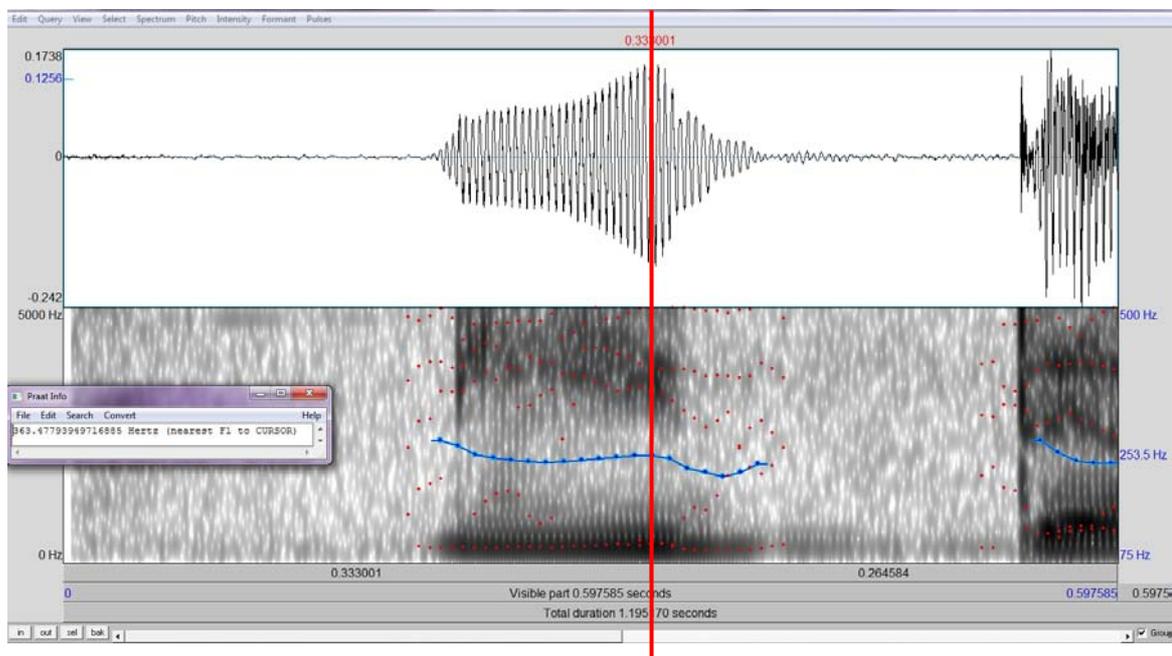
Pour cela, nous avons repris les productions que nous avons isolées pour le F0 et nous avons sélectionné uniquement les mots qui contenaient les phonèmes [i], [a] et [u]. Ensuite, à l'intérieur de chaque mot, nous avons isolé les voyelles qui nous intéressaient à l'aide du logiciel Praat®.

Pour relever la valeur de F1 et de F2, nous avons choisi un point au milieu de la voyelle. Ce point est l'endroit le plus stable de la voyelle où les phénomènes de coarticulation n'entrent pas en jeu. Il correspond à un l'instant T auquel les valeurs de F1 et F2 sont les plus justes. Nous avons volontairement choisi de ne pas faire la moyenne des valeurs du formant de toute la partie stable, car d'un enfant à l'autre et d'une voyelle à l'autre, la

durée de la portion sélectionnée n'est jamais la même. Il n'est donc pas pertinent de comparer les valeurs recueillies.

Nous avons ensuite calculé la moyenne pour chaque formant de chaque voyelle, et cela pour chaque enfant.

Nous ne disposons pas du même nombre de productions (entre trois et 22 occurrences) en fonction des enfants et des voyelles. Les moyennes calculées ne bénéficient donc pas de la même significativité. Nous n'avons pas homogénéisé le nombre de segments retenus pour chaque enfant, en effet il aurait été dommage de diminuer la pertinence des résultats des enfants pour qui nous bénéficions d'un grand nombre de données. Le nombre d'occurrences apparaît dans les tableaux des données en annexe IX (p.93-94).



Milieu de la voyelle [i]

Figure 6 : Capture d'écran du logiciel Praat® : relevé de formant de la voyelle [i] du segment « guitare ».

### 3.5. La fiabilité de nos résultats

Nous avons analysé tous les enregistrements chacune de notre côté, en double aveugle, afin d'être certaines de la fiabilité de nos mesures. Nous avons donc obtenu chacune des moyennes pour F0, F1 et F2 de [i], [a] et [u] et cela pour chaque enfant.

Pour vérifier si nos mesures étaient fiables, nous avons calculé le pourcentage de différence qu'il y avait entre chaque moyenne correspondante.

Pour cela, nous avons utilisé la formule ci-dessous :

Sachant que **m1** est la moyenne la plus petite des deux, et **m2** la plus grande.

$$\% \text{ de différence} = ((m2 - m1) \times 100) / (m1 + (m2 - m1) / 2)$$

Tableau 2 : Fiabilité de l'analyse des données.

Enfants	F0 (%)	F1 (%)			F2 (%)		
		[a]	[i]	[u]	[a]	[i]	[u]
J.M.	1.5	2.7	2.5	3.5	1.8	2.6	0.02
B.G.	0.35	>5	>5	>5	>5	>5	>5
S.O.	3.5	1.6	0.6	4.4	1.6	1.4	4.2
A.C.	0.7	////	1.5	0.9	////	0.9	0.7
L.A.	1.2	>5	>5	>5	>5	>5	>5
P.B.	1.4	4,9	>5	1.6	1.6	>5	2.1
R.F.	3.8	1.6	1.3	////	3.9	0.7	////
T.Q.	1.35	////	////	////	////	////	////
Z.N.	2.0	////	////	////	////	////	////
C.T.	0.7	1.7	0.3	>5	1.7	2	>5
M.R.	0.0	0.6	3	1.5	0.0	2.1	2.3
J.A.	1.5	0.9	2.3	0.8	0.1	2.4	2.6
L.L.	1.0	0.7	4.1	2.4	1.4	2.6	1.4
M.O.	0.3	4.8	2.3	1.5	4.5	2.4	0.8
<b>Moyennes</b>	<b>1.38</b>						

//// absence de production

Nous avons considéré nos mesures fiables quand le pourcentage de différence était inférieur ou égal à 5%. Quand ce n'était pas le cas, nous avons revue l'analyse ensemble afin de comprendre cette différence et de rectifier les résultats. Nous ne pouvons donc pas calculer de différence pour ces données là.

### III. La description de l'analyse statistique de nos résultats

#### 1. Le calcul des moyennes et des écarts-types et le tracé des triangles vocaliques

- Pour la fréquence fondamentale (F0), nous avons calculé la moyenne et l'écart-type de toutes les occurrences obtenues, pour chacun des 14 enfants. Ces calculs ont été réalisés à partir de Microsoft Office Excel 2007.
- Pour les formants, nous avons calculé la moyenne et l'écart-type de F1 et de F2 pour [i], [a] et [u], pour chaque enfant. Cependant, comme nous n'avons pas toujours pu obtenir suffisamment d'occurrences analysables pour chaque voyelle

---

et ce pour tous les enfants, ces calculs n'ont donc pas été réalisés sur la totalité des 14 enfants. Ils ont été obtenus à partir de Microsoft Office Excel 2007.

- L'écart-type mesure la dispersion d'une série de valeurs autour de leur moyenne. Par ce calcul, nous regardons si l'enfant possède une certaine stabilité dans ses productions ou si celles-ci varient sans cesse. Cependant, la valeur de l'écart-type est corrélée à celle de la moyenne, si la moyenne augmente, l'écart-type augmente aussi. De ce fait, lorsqu'on étudie l'évolution de l'écart-type en fonction du temps, cette évolution dépend également de celle de la moyenne. Afin de réellement étudier la variabilité, il est nécessaire d'effectuer le rapport moyennes/écarts-types. Si ce rapport est constant, cela signifie que l'évolution de l'écart-type n'est due qu'à l'évolution de la moyenne. Dans notre mémoire, nous avons calculé ce rapport afin de ne pas commettre d'erreur dans nos interprétations.
- Pour l'aire du triangle vocalique, il était nécessaire d'avoir des occurrences analysables pour les trois voyelles, ce qui était le cas pour 10 enfants. Pour chacun de ces enfants, nous avons tracé le triangle vocalique et calculé l'aire de ce triangle en Hz<sup>2</sup> à l'aide de Microsoft Office Excel 2007. Mais, ensuite, nous avons décidé d'utiliser l'AVS (Average Vowel Spacing) plutôt que l'aire afin d'interpréter au mieux les résultats. En effet, l'AVS se révèle plus précis et plus à même de mettre en évidence les possibles évolutions de l'espace vocalique après implantation. Nous l'avons donc calculé avec le logiciel R (The R Foundation for Statistical Computing). L'AVS correspond à la moyenne des trois distances intervocaliques (Perkell & Denny, 2007). Il se mesure en Hertz et se calcule de la manière suivante :

Les distances intervocaliques sont données par la distance euclidienne dans l'espace des formants F1 et F2.

$$d [a] [i] = \sqrt{(F1[a] - F1[i])^2 + (F2[a] - F2[i])^2}$$

$$d [a] [u] = \sqrt{(F1[a] - F1[u])^2 + (F2[a] - F2[u])^2}$$

$$d [i] [u] = \sqrt{(F1[i] - F1[u])^2 + (F2[i] - F2[u])^2}$$

- L'AVS est la moyenne des trois distances définies ci-dessus :

$$AVS = (d [a] [i] + d [a] [u] + d [i] [u]) / 3$$

Les tableaux des données brutes des moyennes et des écarts-types sont disponibles en annexe IX (p.93-94).

---

## **2. La réalisation des courbes de tendance et le test de corrélation linéaire**

### **2.1. La méthodologie**

- Nous avons réalisé des courbes de tendance de corrélation linéaire à l'aide de Microsoft Office Excel 2007 :
  - Sur ces courbes, chaque point bleu correspond à un enfant. Comme les enfants n'ont pas le même nombre de productions, les moyennes et les écarts-types n'ont pas été calculés à partir du même nombre de données. Les nombres d'occurrences apparaissent dans les tableaux des données en annexe IX (p.93-94).
  - Sur l'axe des abscisses est indiquée la variable indépendante étudiée en mois : l'âge d'implantation ou l'expérience auditive.
  - Sur l'axe des ordonnées est indiqué le paramètre vocal pris en compte : la fréquence fondamentale (F0) en Hertz, les formants (F1, F2) en Hertz et l'AVS en Hertz.
  - Pour chaque courbe, nous indiquons l'équation de la droite, de type :  $y = ax+b$  et également le  $R^2$  (le coefficient de détermination).
- A l'aide du logiciel R, nous avons calculé le  $r$  (coefficient de corrélation linéaire) provenant du test du  $r$  de Bravais-Pearson que nous avons inséré au graphique. Il permet de quantifier la force de l'association entre une des deux variables (l'expérience auditive ou l'âge d'implantation) et un des paramètres vocaux (le F0, l'AVS et les formants). Si  $r$  est positif, cela signifie que la courbe est croissante et que nos résultats augmentent. Si  $r$  est négatif, cela signifie que la courbe est décroissante et que nos résultats diminuent. De plus,  $r$  étant compris entre -1 et 1, plus il s'éloigne de 0, plus on peut observer une tendance.
- De plus, avec ce même logiciel, nous avons calculé la valeur p-value que nous avons inséré au graphique. Il nous indique si nos résultats sont significatifs ou non significatifs. Ceux-ci s'avèrent significatifs si  $p < .05$ .

### **2.2. Les courbes réalisées en fonction de l'âge d'implantation**

Nous avons réparti les enfants selon leur âge d'implantation qui s'étend de 10 à 44 mois.

- La fréquence fondamentale (F0) : nous avons représenté sur une courbe de tendance les valeurs moyennes de F0 en fonction de l'âge d'implantation des 14 enfants.
- Le F1 : nous avons représenté sur des courbes de tendance les valeurs de [i] pour 12 enfants, de [a] pour 11 enfants et de [u] pour 11 enfants, en fonction de l'âge d'implantation.

- 
- Le F2 : nous avons représenté sur des courbes de tendance les valeurs de [i] pour 12 enfants, de [a] pour 11 enfants et de [u] pour 11 enfants, en fonction de l'âge d'implantation.
  - L'AVS (Average Vowel Spacing) : nous avons représenté sur une courbe de tendance, les AVS pour 10 enfants en fonction de l'âge d'implantation.

Le même travail a été réalisé pour les écart-types, hormis pour les AVS.

### **2.3. Les courbes réalisées en fonction de l'expérience auditive**

Nous avons réparti les enfants selon leur expérience auditive avec l'implant cochléaire qui s'étend de 20 à 42 mois.

- La fréquence fondamentale (F0) : nous avons représenté sur une courbe de tendance les valeurs moyennes de F0 en fonction de l'expérience auditive des 14 enfants.
- Le F1 : nous avons représenté sur des courbes de tendance les valeurs de [i] pour 12 enfants, de [a] pour 11 enfants et de [u] pour 11 enfants, en fonction de l'expérience auditive.
- Le F2 : nous avons représenté sur des courbes de tendance les valeurs de [i] pour 12 enfants, de [a] pour 11 enfants et de [u] pour 11 enfants, en fonction de l'expérience auditive.
- L'AVS: nous avons représenté sur une courbe de tendance, les AVS pour 10 enfants en fonction de l'expérience auditive.

Le même travail a été réalisé pour les écart-types, hormis pour les AVS.

### **3. L'analyse de régression linéaire multi-variée**

Nous avons réalisé une ANOVA (Analyse de régression à variables indépendantes multiples) qui permet de mettre en évidence le poids respectif des variables indépendantes qui sont l'âge d'implantation et l'expérience auditive sur les variables dépendantes (les moyennes et les écarts-types de F0, F1, F2 et de l'AVS). Nous avons réalisé cette ANOVA avec le logiciel R. Nous obtenons ainsi, deux coefficients correspondant à chaque variable indépendante. Le coefficient le plus élevé nous indique que c'est cette variable qui a le plus d'influence sur les paramètres vocaux. De plus, le calcul des p-value pour chaque variable nous indique si nos résultats sont significatifs ou non.

---

**Chapitre IV**  
**PRESENTATION DES RESULTATS**

---

---

Notre protocole expérimental nous a permis de recueillir des données vocales que nous allons maintenant analyser. Ces données sont répertoriées dans des tableaux récapitulatifs situés en annexe IX (p.93-94).

Par le biais du test de corrélation linéaire de Pearson, nous étudierons l'influence de deux variables qui sont l'âge d'implantation et l'expérience auditive depuis la pose de l'implant cochléaire, sur les moyennes et les écarts-types des paramètres vocaux suivants : F0, F1, F2 de [i], [a] et [u], et AVS (Average Vowel Space). Par la suite, nous analyserons l'importance respective de ces deux variables sur les résultats observés grâce à l'analyse de régression linéaire multi-variée.

## I. L'influence de l'âge d'implantation sur les paramètres vocaux

Dans cette partie, nous présenterons les résultats concernant le F0, les formants F1 et F2 de [i], [a] et [u], et l'AVS en fonction de l'âge d'implantation.

Les graphiques correspondant aux écarts-types sont disponibles en annexe X (p.95 à 98).

### 1. Influence de l'âge d'implantation sur la fréquence fondamentale (F0)

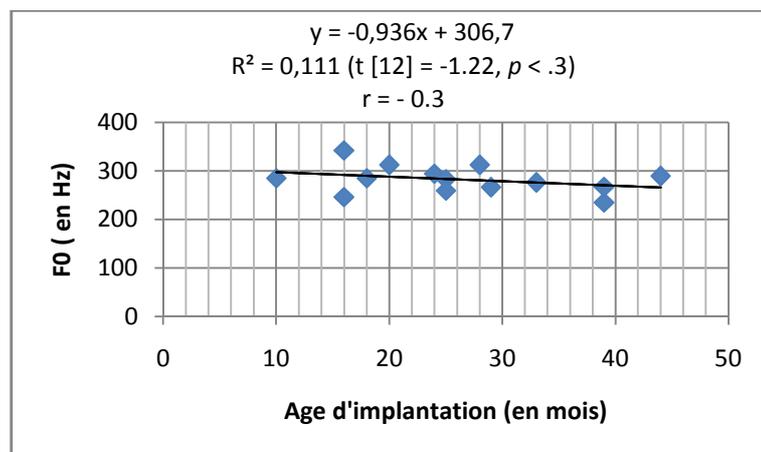


Figure 7 : Représentation du F0 moyen (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

Nous avons l'impression que les enfants implantés plus tardivement ont les fréquences fondamentales les plus basses, mais la tendance observée n'étant pas significative ( $p = .24$ ), cela nécessiterait un approfondissement. L'âge d'implantation n'a donc pas vraiment d'impact sur la hauteur de F0 d'autant plus que, de manière générale, nos sujets présentent une fréquence fondamentale définie comme normale par la littérature (cf. partie théorique II.3). Pour nos sujets, le F0 moyen est de 282 Hz, le F0 minimum est de 235 Hz et le F0 maximum est de 342 Hz.

---

Par ailleurs, il faut noter que les enfants implantés le plus tardivement sont les enfants les plus âgés de notre population, il se pourrait que la tendance observée soit tout simplement une conséquence la croissance du conduit vocal.

En ce qui concerne l'évolution de la variabilité de ce paramètre acoustique, il semblerait que plus l'âge d'implantation est élevé plus l'écart-type de F0 est faible ( $R^2 = 0.059$  ( $t[12] = -0.87$ ,  $p < .50$ ) et  $r = -0.24$ ). Cela signifierait que plus les enfants ont été implantés tôt, plus ils présentent de variabilité et donc que leur fréquence fondamentale est moins stable. De plus, le rapport moyennes de F0/écarts-types de F0 paraît s'accroître avec l'augmentation de l'âge d'implantation (cf. annexe XI, p.99) ce qui confirmerait que les enfants implantés plus tardivement présentent moins de variabilité. Mais,  $p = .40$ , ces résultats ne sont donc pas significatifs et représentent juste des tendances à confirmer.

## 2. Influence de l'âge d'implantation sur les formants F1 et F2

Nous présenterons successivement les résultats concernant les formants F1 et F2 des voyelles cardinales [i], [a] et [u] en fonction de l'âge d'implantation.

### 2.1. F1 et F2 de [i]

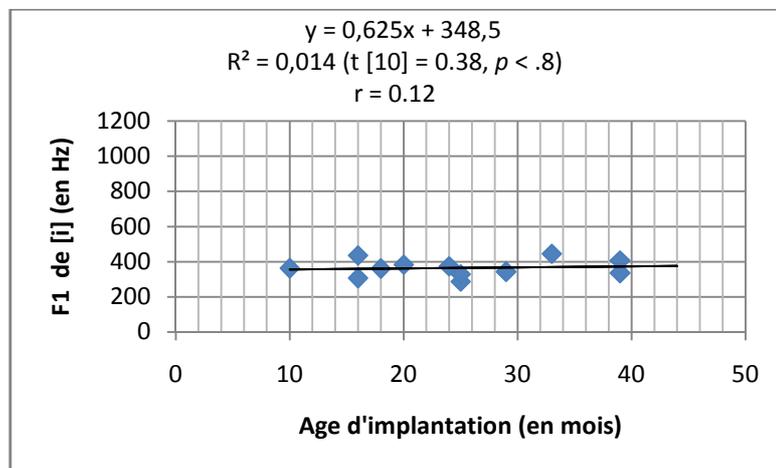


Figure 8: Représentation du F1 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

L'âge d'implantation n'a pas d'incidence sur les valeurs de F1 de la voyelle [i] ( $r = 0.12$  et  $p = .71$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.28$  et  $p = .37$ ).

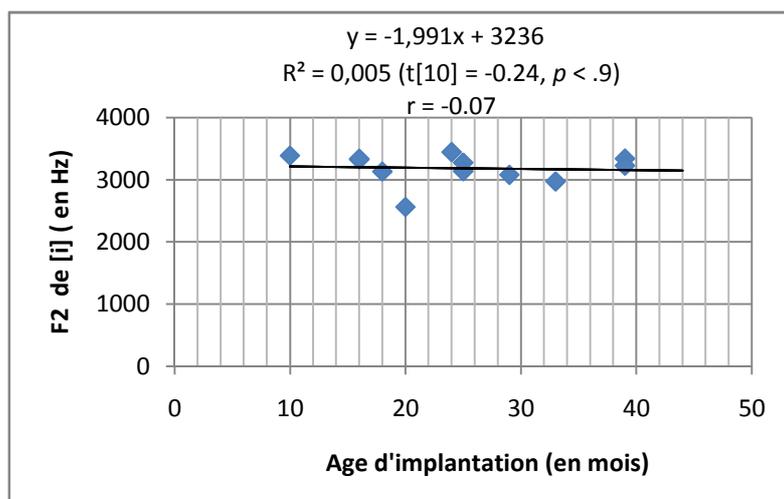


Figure 9 : Représentation du F2 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

L'âge d'implantation n'a pas d'incidence sur les valeurs de F2 de la voyelle [i] ( $r = -0.07$  et  $p = .81$ ) ni sur leur stabilité ( $r = 0.20$  et  $p = .54$ ).

## 2.2. F1 et F2 de [a]

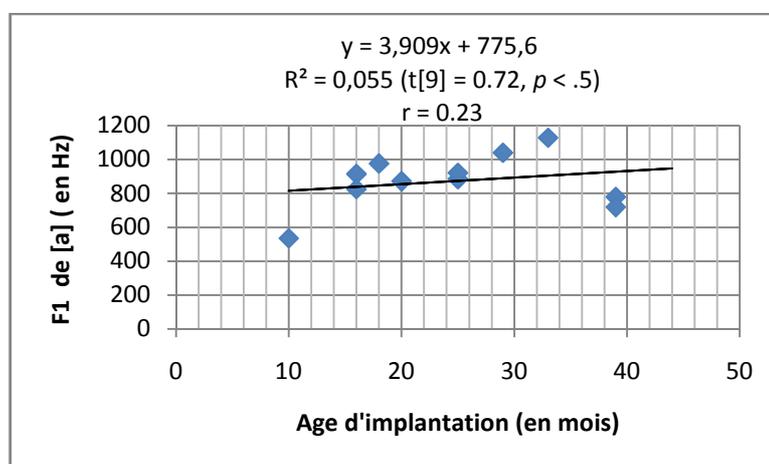


Figure 10: Représentation du F1 moyen de [a](Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

Nous avons l'impression que les enfants implantés plus tardivement ont les valeurs de F1 de [a] les plus élevées. Néanmoins, cette tendance reste à confirmer car nos résultats ne sont pas statistiquement significatifs ( $p = .49$ ). Si cette tendance était vérifiée, on pourrait penser que les enfants sourds implantés tardivement réalisent la voyelle [a] avec des mouvements extrêmes d'ouverture mandibulaire pour compenser un mauvais contrôle articulaire. Après la pose de l'implant, le contrôle articulaire s'affinerait. Cela serait

plus compliqué pour les enfants implantés plus tardivement chez qui les mauvais schèmes articulatoires seraient plus ancrés.

L'âge d'implantation n'a pas d'incidence sur la stabilité du F1 de la voyelle [a] ( $r = -0.16$  et  $p = .63$ ).

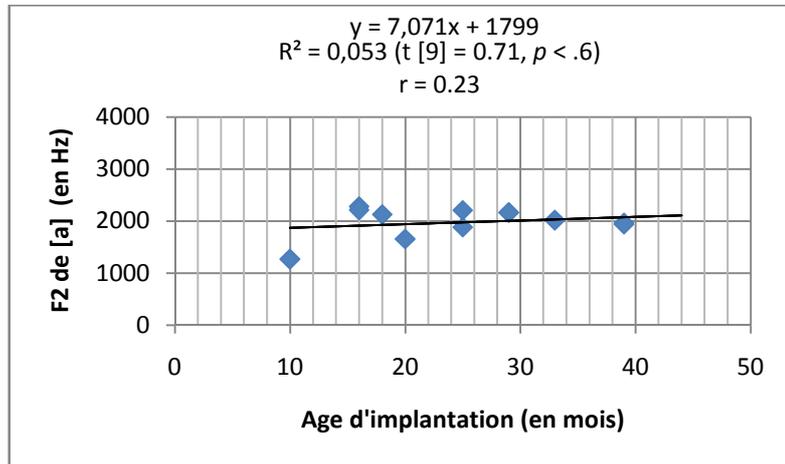


Figure 11 : Représentation du F2 moyen de [a](Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

L'âge d'implantation n'a pas d'incidence sur les valeurs de F2 de la voyelle [a] ( $r = 0.23$  et  $p = .50$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.57$  et  $p < .08$ ).

### 2.3. F1 et F2 de [u]

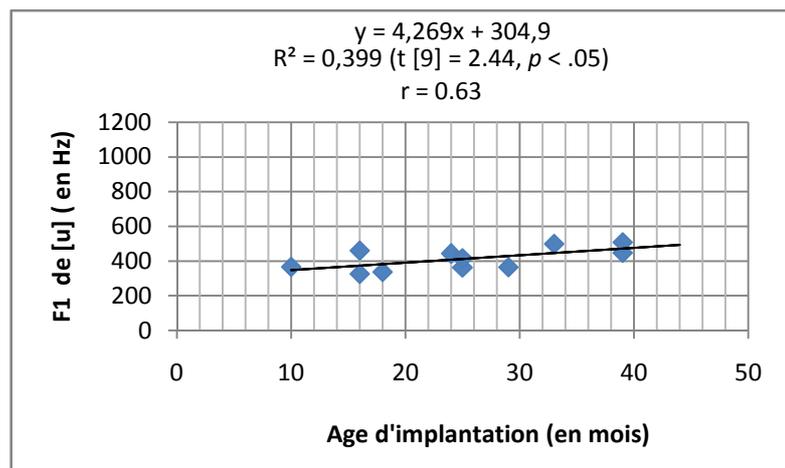


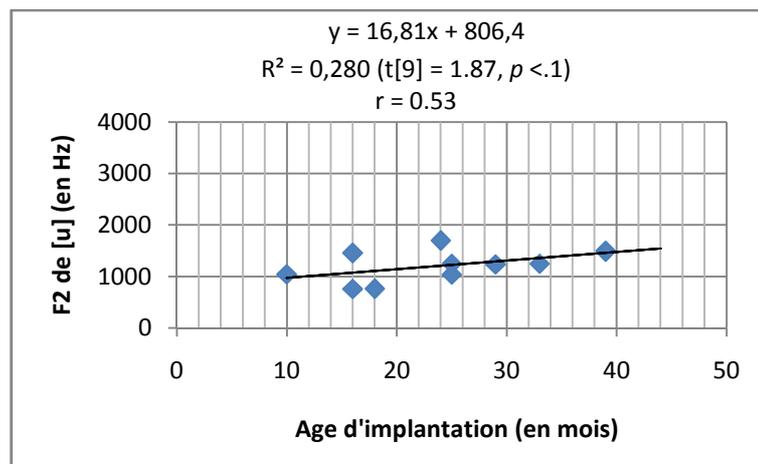
Figure 12 : Représentation du F1 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

---

La corrélation linéaire est significative ( $p = .04$ ), cela indique que plus les enfants sont implantés tardivement, plus la valeur de F1 de [u] est élevée. Les enfants sourds réaliseraient la voyelle [u] avec des mouvements extrêmes d'ouverture mandibulaire pour compenser un mauvais contrôle articulatoire. Après la pose de l'implant, le contrôle articulatoire s'affinerait. Cela serait plus compliqué pour les enfants implantés plus tardivement chez qui les mauvais schèmes articulatoires seraient plus ancrés..

Par ailleurs, il est intéressant de relever que les enfants implantés plus précocement ont des valeurs de F1 de la voyelle [u] plus proches de la norme (cf. partie théorique II. 3) que les autres. Pour notre population, le F1 de [u] moyen est de 411Hz. Un des enfants implantés le plus précocement (16 mois) a un F1 moyen de [u] de 325 Hz et un des enfants implantés le plus tardivement (39 mois) a un F1 moyen de [u] de 508 Hz.

En ce qui concerne l'évolution de la variabilité de ce paramètre acoustique, il ressort significativement du test statistique ( $p = .02$ ) que plus l'âge d'implantation est tardif, plus l'écart-type de F1 de [u] est important ( $R^2 = 0.45$  ( $t[9] = 2.71$ ,  $p < .03$ ) et  $r = 0.6$ ). Cela signifierait que plus les enfants ont été implantés tôt, moins ils présentent de variabilité et donc que le F1 de [u] est plus stable. Le rapport moyennes de F1 de [u]/écarts-types de F1 de [u] décroît avec l'augmentation de l'âge d'implantation (cf. annexe XI, p.99) ce qui confirme que les enfants implantés plus précocement présentent moins de variabilité.



*Figure 13 : Représentation du F2 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).*

Il semblerait que les enfants implantés plus tardivement ont les valeurs de F2 de [u] les plus élevés. Néanmoins, la tendance observée n'est pas significative ( $p = .09$ ). Si cette tendance était confirmée, cela signifierait que les enfants implantés plus précocement ont un contrôle de leurs articulateurs plus précis, de ce fait leur langue vient se placer plus postérieurement que pour les enfants implantés tardivement. Leurs schèmes articulatoires se rapprochent donc de ceux de l'enfant entendant.

Les enfants implantés plus précocement ont des valeurs de F2 de la voyelle [u] plus proches de la norme (cf. partie théorique II. 3) que les autres. Pour notre population, le F2

---

de [u] moyen est de 1225 Hz. Un des enfants implantés le plus précocement (16 mois) a un F2 moyen de [u] de 761 Hz et un des enfants implantés le plus tardivement (39 mois) a un F2 moyen de [u] de 1502 Hz.

En ce qui concerne l'évolution de la variabilité de ce paramètre acoustique, il paraîtrait que plus l'âge d'implantation est important, plus l'écart-type de F2 de [u] est faible ( $R^2 = 0.002$  ( $t[9] = -0.78$ ,  $p < .50$ ) et  $r = -0.25$ ). Cependant ces résultats ne sont pas significatifs ( $p = .45$ ). Si cette tendance était avérée, cela signifierait que, plus les enfants ont été implantés tôt, plus ils présentent de variabilité et donc qu'à première vue, leur F2 de [u] est moins stable.

Nous constatons que les enfants implantés le plus précocement et présentant plus de variabilité sont les enfants les plus jeunes de notre population, il se pourrait que la tendance observée soit en lien avec le contrôle articulaire.

### 3. Influence de l'âge d'implantation sur l'AVS

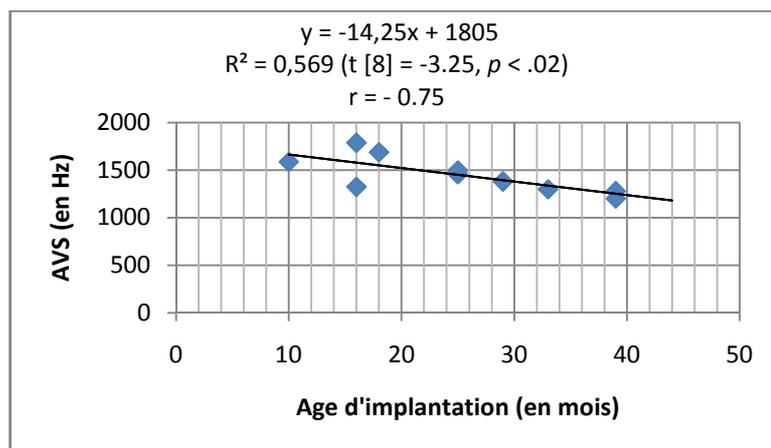


Figure 14 : Représentation de l'AVS (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).

La corrélation linéaire est significative ( $p = .01$ ). Nous observons que les enfants implantés plus tardivement ont les AVS les plus réduits. Cela signifie que les enfants implantés précocement ont un espace vocalique plus étendu que les autres. La tendance observée pourrait être en lien avec un meilleur contrôle des productions vocales chez ces enfants implantés plus précocement. Les valeurs formantiques, qui déterminent l'étendue vocale pendant la parole, se différencient et entraînent une extension de l'espace vocalique.

---

#### 4. En résumé

Les résultats obtenus pour les F1 et F2 des voyelles [i] et [a] ne nous permettent pas de dégager des tendances interprétables.

En revanche, même si la plupart de nos résultats ne sont pas statistiquement significatifs, plusieurs tendances émergent. Il faudrait néanmoins les confirmer par une autre étude.

- Plus l'implantation est précoce, plus le F0 semble élevé et plus ses variations semblent importantes. Cependant, les valeurs de F0 sont dans la norme, ce qui pourrait laisser penser que la pose d'un implant cochléaire entraîne la normalisation quasi-immédiate de la fréquence fondamentale des enfants sourds. Ces résultats ne sont pas significatifs.
- Plus l'implantation a lieu précocement, plus le F1 de la voyelle [u] est bas et proche de la norme et moins il y a de variations. Ces résultats sont significatifs.
- Plus l'implantation a lieu précocement, plus le F2 de la voyelle [u] semble bas et proche de la norme et plus il y aurait de variations. Ces résultats ne sont pas significatifs.
- Plus l'implantation est précoce, plus l'AVS est élevé. Ce résultat est significatif.

## II. L'influence de l'expérience auditive sur les paramètres vocaux

Nous présenterons dans cette seconde partie, les résultats concernant F0, les formants F1 et F2 des voyelles [i], [a] et [u] et l'AVS en fonction de l'expérience auditive des enfants de notre étude.

### 1. Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale (F0)

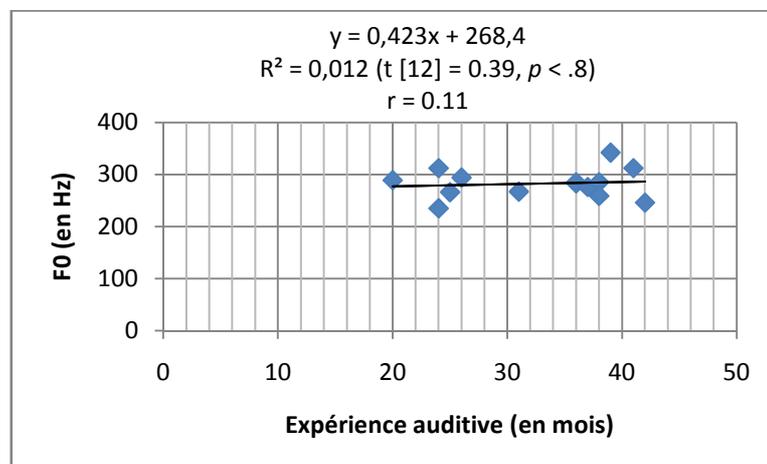


Figure 15 : Représentation du F0 moyen (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).

---

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur les valeurs de F0 ( $r = 0.11$  et  $p = .70$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.03$  et  $p = .91$ ). On peut cependant observer que, pour nos sujets, le F0 moyen est de 282 Hz, le F0 minimum est de 235 Hz et le F0 maximum est de 342 Hz. Ce qui les situe tous dans les normes de la littérature.

## 2. Influence de l'expérience auditive sur les formants F1 et F2

Nous exposons successivement les résultats concernant les formants F1 et F2 des voyelles cardinales [i], [a] et [u].

### 2.1. F1 et F2 de [i]

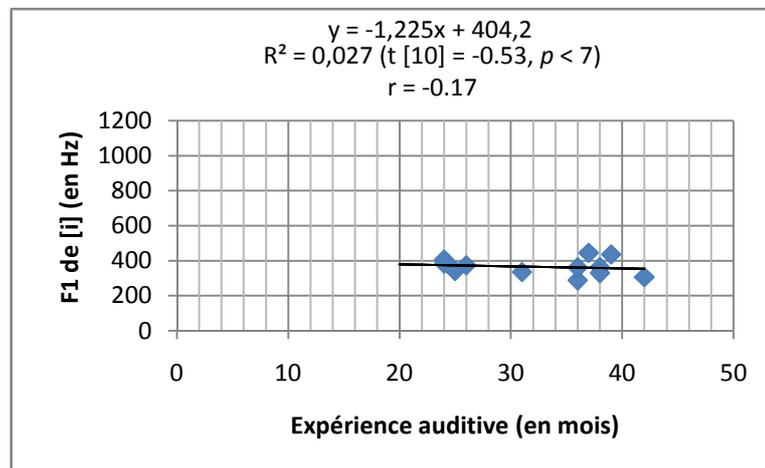


Figure 16 : Représentation du F1 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur les valeurs de F1 de la voyelle [i] ( $r = -0.17$  et  $p = .60$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.10$  et  $p = .75$ ).

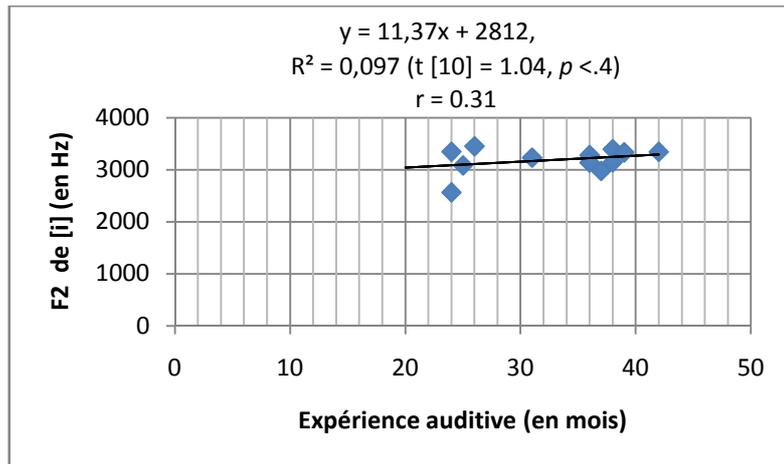


Figure 17 : Représentation du F2 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).

L'expérience auditive ne semble pas avoir de réelle incidence sur les valeurs de F2 de la voyelle [i] ( $r = 0.31$  et  $p = .32$ ) ni sur leur stabilité ( $r = - 0.38$  et  $p = .22$ ).

## 2.2. F1 et F2 de [a]

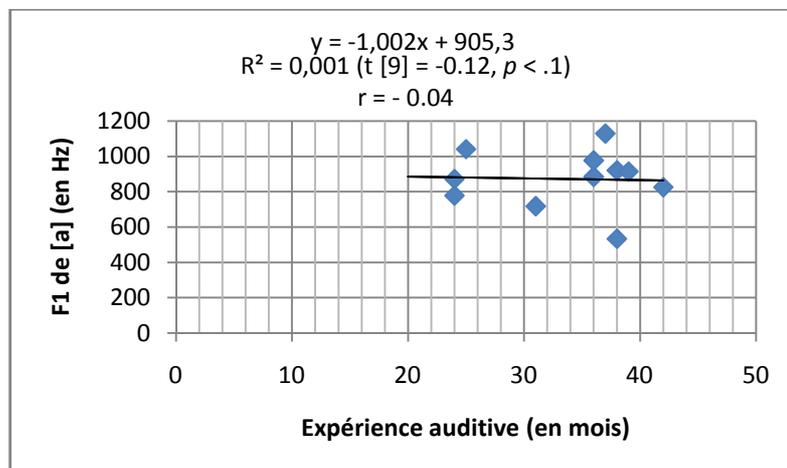


Figure 18 : Représentation du F1 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur les valeurs de F1 de la voyelle [a] ( $r = -0.04$  et  $p = .90$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.08$  et  $p = .81$ ).

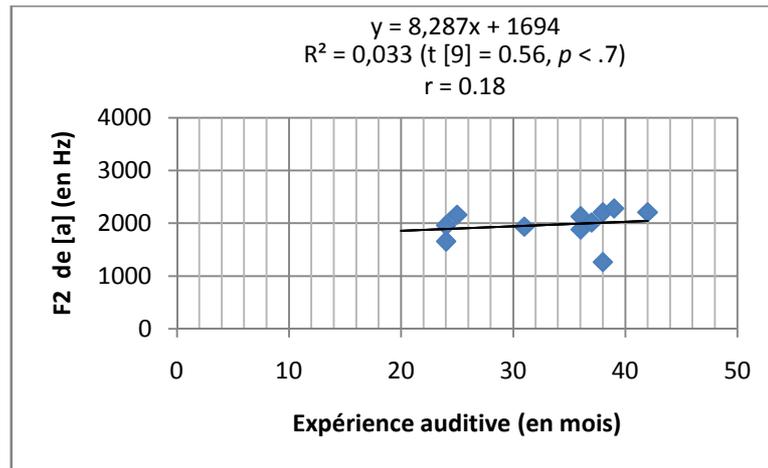


Figure 19 : Représentation du F2 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur les valeurs de F2 de la voyelle [a] ( $r = 0.18$  et  $p = .60$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.002$  et  $p = .99$ ).

### 2.3. F1 et F2 de [u]

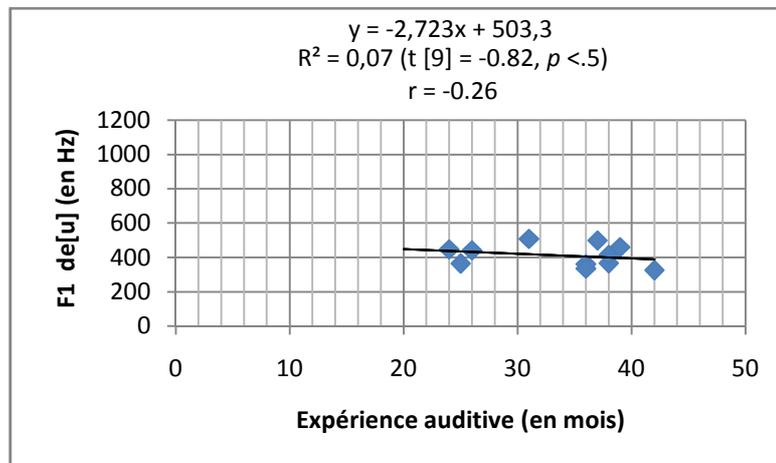


Figure 20 : Représentation du F1 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur les valeurs de F1 de la voyelle [u] ( $r = -0.26$  et  $p = .43$ ) ni sur leur stabilité ( $r = -0.46$  et  $p = .15$ ).

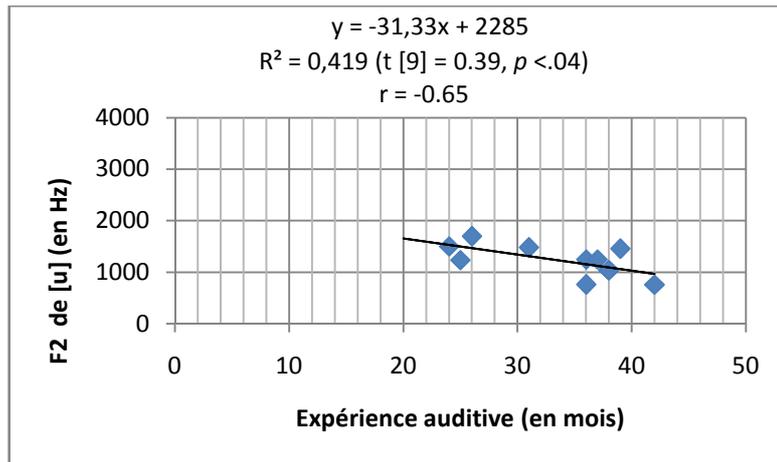


Figure 21 : Représentation du F2 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive

Nous constatons que les enfants ayant une expérience auditive avec implant plus longue ont les valeurs de F2 de la voyelle [u] les plus bas : c'est-à-dire les plus proches de la norme (cf. partie théorique II. 3). Pour notre population, le F2 de [u] moyen est de 1225 Hz. Un des enfants ayant une expérience auditive réduite (24 mois) a un F2 moyen de [u] de 1502 Hz et un des enfants ayant une expérience auditive plus longue (42 mois) a un F2 moyen de [u] de 761 Hz. De plus, la tendance observée est significative ( $p = .03$ ).

Cette tendance semblerait être en lien avec un meilleur contrôle articulatoire consécutif à un apprentissage auditif avec implant plus long. C'est un point intéressant qui sera débattu plus longuement dans la partie discussion.

L'expérience auditive ne semble pas avoir d'incidence sur la stabilité des valeurs du F2 de la voyelle [u] ( $r = 0.15$  et  $p = .66$ ).

### 3. L'AVS

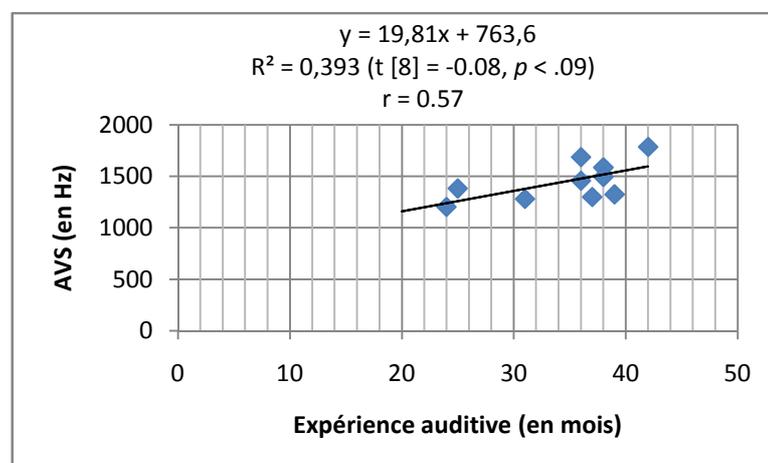


Figure 22 : Représentation de l'AVS (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).

---

Nous avons l'impression que les enfants qui ont une expérience auditive avec implant plus longue ont les AVS les plus élevés. Ces enfants ont bénéficié d'un apprentissage auditif plus long après la pose de l'implant cochléaire et semblent avoir acquis un meilleur contrôle articulatoire. Cependant, la tendance observée n'est pas significative ( $p = .08$ ).

#### **4. En résumé**

Les résultats obtenus pour le F0, les F1 et F2 des voyelles [i] et [a], le F1 de la voyelle [u] et les variations de F2 de [u] ne nous permettent pas de dégager des tendances interprétables.

En revanche, nous observons un impact de l'expérience auditive sur le F2 de la voyelle [u] et une tendance non significative pour l'AVS.

- Plus l'expérience auditive avec implant est importante, plus les valeurs de F2 de la voyelle [u] sont basses et proches de la norme. Ces résultats sont significatifs.
- Plus l'expérience auditive avec implant est importante, plus l'AVS semble élevé. Ce résultat n'est pas significatif.

### **III. Mise en corrélation des deux variables indépendantes, âge d'implantation et expérience auditive, sur les paramètres vocaux**

Dans notre étude, les deux variables indépendantes sont l'âge d'implantation et la durée de l'expérience auditive. Au sein de notre population, nous avons choisi des enfants implantés plus ou moins précocement, ces enfants ont tous une expérience auditive différente. De même, nous avons choisi des enfants dont l'expérience auditive est plus ou moins importante, ces enfants n'ont pas été implantés au même âge. Pour étudier l'impact de l'expérience auditive, il aurait fallu que tous les enfants aient le même âge d'implantation ; et inversement, tous les enfants auraient dû avoir la même expérience auditive pour étudier l'impact de l'âge d'implantation. Au vu de notre population, il ne nous a pas été possible de contrôler les relations qu'entretiennent ensemble ces deux variables. Cela pourrait probablement entraîner des conséquences sur les tendances observées et leur significativité. Il a donc fallu croiser les données concernant ces deux variables pour faire ressortir la variable dont l'impact est le plus fort sur les caractéristiques. Pour ce faire, nous avons donc réalisé une analyse de régression multivariée, test statistique tenant compte de ce phénomène. Ce test n'est réalisable que lorsque les résultats de l'analyse de corrélation sont significatifs. Il concerne donc le F0, le F1 et le F2 de [u] et l'AVS.

---

## 1. Impact des deux variables sur la fréquence fondamentale (F0)

En ce qui concerne les moyennes de F0, l'analyse de régression donne  $F[1,11] = 0.699$ ,  $p < .70$  pour l'expérience auditive et  $F[1,11] = 0.269$ ,  $p < .30$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (-1.129) est supérieur à celui de l'expérience auditive (-0.450) en valeur absolue, ce qui signifie que l'âge d'implantation semble avoir un impact plus important sur le F0 des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais ces résultats ne sont pas significatifs ( $p < .70$  et  $p < .30$ ) et nécessiteraient d'être approfondis.

En ce qui concerne les écarts-types de F0, l'analyse de régression donne  $F[1,11] = 0.013$ ,  $p < .10$  pour l'expérience auditive et  $F[1,11] = 1.258$ ,  $p < .30$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (-0.56) est légèrement supérieur à celui de l'expérience auditive (-0.49) en valeur absolue. Il semblerait que l'âge d'implantation a plus d'impact sur la variabilité du F0 des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais, ces résultats n'étant pas significatifs ( $p < .10$  et  $p < .30$ ), on ne peut pas l'affirmer.

## 2. Impact des deux variables sur les formants F1 et F2 de la voyelle [u]

En ce qui concerne les moyennes de F1 de la voyelle [u], l'analyse de régression donne  $F[1,8] = 0.9820$ ,  $p < .40$  pour l'expérience auditive et  $F[1,8] = 5.0447$ ,  $p < .06$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (5.22) est supérieur à celui de l'expérience auditive (2.31), ce qui signifie que l'âge d'implantation semble avoir un impact plus important sur le F1 de la voyelle [u] des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais ces résultats ne sont pas significatifs ( $p < .40$  et  $p < .06$ ), on ne peut donc pas conclure avec certitude.

En ce qui concerne les écarts-types de F1 de [u], l'analyse de régression donne  $F[1,8] = 3.151$ ,  $p < .20$  pour l'expérience auditive et  $F[1,8] = 3.477$ ,  $p < .20$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (2.38) est supérieur à celui de l'expérience auditive (-0.38), ce qui laisse penser que l'âge d'implantation semble avoir un impact plus important sur la variabilité du F1 de la voyelle [u] des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais ces résultats ne sont pas significatifs ( $p < .20$  et  $p < .20$ ) et sont à interpréter avec prudence.

---

En ce qui concerne les moyennes de F2 de la voyelle [u], l'analyse de régression donne  $F[1,8] = 6.0314$ ,  $p < .04$  pour l'âge d'implantation et  $F[1,8] = 0.3446$ ,  $p < .60$  pour l'expérience auditive.

Le coefficient de régression de l'expérience auditive (-25.22) est supérieur à celui de l'âge d'implantation (6.34) en valeur absolue, ce qui nous amènerait à penser que l'expérience auditive a avoir un impact plus important sur le F2 de la voyelle [u] des enfants implantés que l'âge d'implantation. Mais seul le résultat concernant l'expérience auditive est significatif ( $p < .04$  et  $p < .60$ ), l'impact observé reste donc à confirmer.

En ce qui concerne les écarts-types de F2 de la voyelle [u], l'analyse de régression donne  $F[1,8] = 0.195$ ,  $p < .70$  pour l'expérience auditive et  $F[1,8] = 0.353$ ,  $p < .60$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (-15.57) est supérieur à celui de l'expérience auditive (-1.32), ce qui signifie que l'âge d'implantation semble avoir un impact plus élevé sur la variabilité du F2 de la voyelle [u] des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais ces résultats n'étant pas significatifs ( $p < .70$  et  $p < .60$ ), on ne peut pas conclure avec certitude.

### **3. Impact des deux variables sur l'AVS**

En ce qui concerne l'AVS, l'analyse de régression donne  $F[1,7] = 5.4104$ ,  $p < .06$  pour l'expérience auditive et  $F[1,7] = 3.9605$ ,  $p < .09$  pour l'âge d'implantation.

Le coefficient de régression de l'âge d'implantation (-13.160) est supérieur à celui de l'expérience auditive (2.519) en valeur absolue, ce qui laisse penser que l'âge d'implantation semble avoir un impact plus important sur l'AVS des enfants implantés que l'expérience auditive. Mais ces résultats ne sont pas significatifs ( $p < .06$  et  $p < .09$ ) et sont à interpréter avec prudence.

### **4. En résumé**

Au travers de notre étude et malgré des résultats peu significatifs, nous constatons qu'en règle générale, l'âge auquel l'enfant a été implanté semble avoir un effet beaucoup plus important que l'expérience auditive post-implantation, sur les paramètres de la voix et la variabilité des enfants sourds profonds implantés cochléaires.

---

**Chapitre V**  
**DISCUSSION DES RESULTATS**

---

---

## I. Rappel de notre sujet et de nos hypothèses

Notre étude porte sur la voix des enfants sourds profonds congénitaux bilatéraux, implantés cochléaires.

L'objectif de notre travail est de savoir si l'âge d'implantation et l'expérience auditive post-implantation ont un impact sur les paramètres acoustiques tels que la fréquence fondamentale (F0), les formants (F1 et F2) des voyelles cardinales [i], [a] et [u], et l'étendue du triangle vocalique (nous utilisons ici l'AVS).

Notre hypothèse générale est que l'âge auquel l'enfant a été implanté et la durée de l'expérience auditive post-implantation ont un effet bénéfique sur les paramètres de la voix.

Plus précisément, nous avons postulé que la précocité de l'implantation influencerait de façon bénéfique la qualité des paramètres analysés. Ainsi, chez les sujets implantés avant l'âge de 2 ans, la hauteur de la voix se rapprocherait de la norme et serait moins variable, les valeurs de F1 et F2 des voyelles cardinales se rapprocheraient des valeurs normatives des enfants entendants et présenteraient moins de variations intra-individuelles ; et l'étendue vocale en situation de parole (triangle vocalique) serait plus étendue.

Nous avons également formulé l'hypothèse que la durée de l'expérience auditive post-implantation jouerait également un rôle bénéfique sur ces mêmes paramètres. Ainsi, un apprentissage auditif post-implant plus long favoriserait la diminution du F0 et sa stabilisation, la normalisation des valeurs formantiques des voyelles cardinales ainsi que l'accroissement de l'étendue du triangle vocalique.

Malgré l'hypothèse que l'âge d'implantation et la durée de l'expérience auditive puissent avoir tous deux un impact sur la qualité de la voix de l'enfant sourd, nous avons avancé que la précocité de l'implantation primerait sur l'expérience auditive.

Pour cela, nous avons effectué des enregistrements audio afin d'analyser les paramètres vocaux de la population que nous avons constituée (cf. partie expérimentale I). Nous avons ensuite analysés les résultats (cf. partie présentation des résultats). Nous discuterons ces résultats dans cette partie en essayant de les mettre en lien avec les données théoriques. Nous allons ainsi étudier l'influence de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive sur les paramètres de la voix pour lesquels nous avons observé les tendances les plus pertinentes : la fréquence fondamentale, les formants F1 et F2 de la voyelle cardinale [u] et l'étendue vocale (AVS).

Nous n'avons pas pu dégager de tendances nettes pour les voyelles [i] et [a]. Nous ne nous attarderons donc pas sur ces résultats. Néanmoins, l'absence de tendance pourrait être expliquée par les caractéristiques articulatoires intrinsèques de ces voyelles. La voyelle [i] est une voyelle fermée, c'est-à-dire articulée avec une position haute de la mandibule (Azéma et al., 2008 ; Kent & Miolo, 1996). Cette configuration articulatoire offrirait peu de possibilités de positionnement à la mandibule. La voyelle [a], quant à elle, est la voyelle que l'on caractérise de neutre et qui peut être produite mécaniquement en superposant la vocalisation à l'abaissement mandibulaire : la mandibule peut donc être

---

le seul articulateur actif lors de sa production. C'est notamment cette voyelle qui est acquise en premier dans le babillage (MacNeilage, 1998). Tous les enfants de notre étude, même les plus en retard dans leur développement, auraient déjà acquis cette voyelle au moment de l'enregistrement.

Notre travail de recherche porte sur la voix, cependant les formants sont des éléments appartenant conjointement aux domaines de la voix et de l'articulation. Dans cette partie, pour plus de simplicité, nous avons convenu que le terme « voix » comprendra aussi les formants.

## **II. La plasticité cérébrale, un élément primordial dans le développement vocal et articuloire post-implantation**

Dans cette partie, nous nous consacrerons à l'impact de l'âge d'implantation sur les paramètres vocaux. Nous discuterons uniquement des paramètres vocaux qui ont présenté des tendances significatives.

La plasticité cérébrale se définit par la capacité du cerveau à se réorganiser afin de développer des fonctions qui n'avaient pas été utilisées jusque-là par manque de stimulations (Vidal, 2006). Comme nous l'avons rapporté dans la partie théorique (cf. partie théorique IV.2.2), avant 2 ans, cette plasticité cérébrale est maximale (Loundon et al., 2009). Passé cet âge, l'organisation des réseaux cérébraux est presque terminée et la plasticité cérébrale n'est plus assez importante pour que des modifications puissent s'opérer ; une implantation après 2 ans sera donc moins bénéfique. Chez l'enfant sourd, l'âge d'implantation est donc directement en lien avec le degré de plasticité cérébrale. Un enfant implanté précocement bénéficiera d'une plasticité cérébrale maximale. Dans notre étude, nous avons choisi des enfants qui ont été implantés pendant et après cette période critique et nous pouvons donc mesurer le bénéfice qu'engendre une plasticité cérébrale maximale après la mise en place de l'implant.

### **1. Influence d'une implantation précoce sur la fréquence fondamentale (F0) et sa variabilité**

Au vu de notre analyse, il semblerait que la fréquence fondamentale est plus élevée lorsque l'implantation a lieu plus précocement. En d'autres termes, bien que ces résultats ne soient pas significatifs, la voix d'un enfant implanté tôt serait plus aiguë que celle d'un enfant implanté plus tardivement. Ceci va à l'encontre de l'hypothèse que nous avons posée. Nous pensons que ces enfants auraient une voix plus grave s'ils étaient implantés plus tôt.

Dans notre étude, nous observons une différence d'environ 2 ans entre les enfants les plus jeunes et les enfants les plus âgés. Or, il se trouve que les plus âgés sont aussi ceux implantés le plus tardivement. Selon Ménard (2002), le conduit vocal a une croissance plus importante pendant les cinq premières années de vie (cf. partie théorique II.3), ce qui laisse penser que les enfants les plus âgés ont un conduit vocal plus grand que les plus

jeunes (cf. figure 23). Leur conduit vocal étant plus long, cela pourrait expliquer une fréquence fondamentale plus basse et justifierait la tendance observée (cf. figure 24).

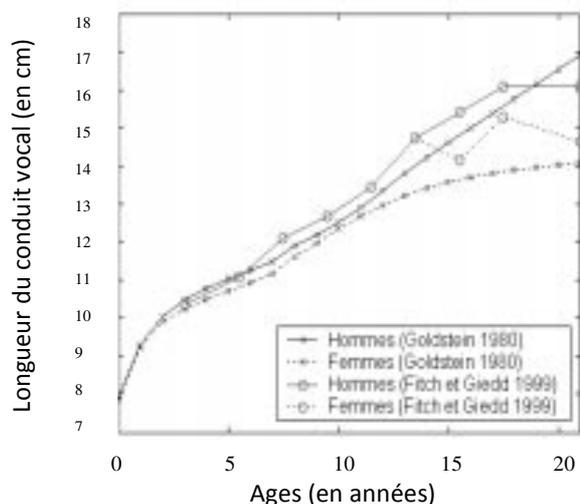


Figure 23 : Longueur du conduit vocal en fonction de l'âge et du sexe, selon GOLDSTEIN (1980) et FITCH ET GIEDD (1999), cité par Ménard, 2002.

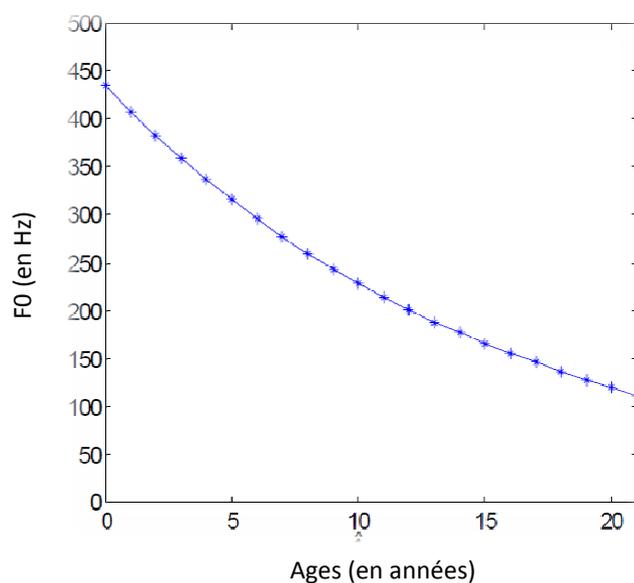


Figure 24 : Evolution de F0 en fonction de la croissance (Beck, 1996, cité par Ménard, 2002)

Toutefois la poursuite de cette analyse nous amène à trouver d'autres pistes de réflexion. Les enfants de notre étude, qui ont entre 3 et 6 ans le jour de l'enregistrement, ont un F0 moyen entre 235 Hz et 342 Hz, soit une différence interindividuelle de 113 Hz. Dans la littérature, Sarfati et al. (2002), ont trouvé que les enfants entendants de 4-5 ans ont un F0 de 300 Hz, et ceux de 7 ans un F0 de 280 Hz (cf. partie théorique II.3). Pour Sarfati et al.,

---

le F0 n'évoluerait que de 20 Hz en 2-3 ans de croissance. La différence de 113 Hz trouvée dans notre étude ne serait donc pas complètement imputable à la croissance du conduit vocal. Bien que cette différence paraisse conséquente, les moyennes de F0 de tous les enfants de notre population sont malgré tout comprises dans la norme des enfants entendants. Il ne faut pas oublier que notre population est constituée d'enfants sourds qui n'ont pas bénéficié et ne bénéficient toujours pas, malgré leur implant, des mêmes conditions d'audition que les enfants entendants. Une proprioception moins développée et un feed-back auditif moins fiable les empêcheraient d'acquiescer un contrôle précis de leurs productions. Cela expliquerait que l'on observe une grande variabilité interindividuelle chez les enfants sourds que l'on ne retrouve pas chez les enfants entendants.

Concernant les variations de F0, il nous semble que plus l'implantation est précoce, plus la variabilité de F0 est importante. Le calcul des rapports moyennes / écarts-types qui augmentent avec l'âge d'implantation nous ont permis de vérifier que cette tendance n'était pas la conséquence de l'augmentation des valeurs de F0. Ceci est en désaccord avec notre hypothèse. Nous avons formulé que les enfants implantés plus tôt auraient un F0 plus stable. Une autre étude serait nécessaire pour confirmer cette tendance et trouver une interprétation à ces résultats.

Dans cette sous-partie, nous n'avons pas interprété nos résultats en tenant compte de la plasticité cérébrale. En effet, les enfants implantés précocement, qui ont donc bénéficié d'une plasticité cérébrale maximale, sont également les enfants les plus jeunes de notre population. De ce fait, il a été impossible de faire la part des choses entre ce qui relève de la plasticité cérébrale et ce qui relève de l'âge des enfants.

## **2. Influence d'une implantation précoce sur les formants de la voyelle cardinale [u] et leur variabilité**

Comme énoncé précédemment, les formants appartiennent conjointement aux domaines de la voix et de l'articulation. Nous nous sommes intéressées aux formants du point de vue de la résonance, néanmoins leurs valeurs sont déterminées par la configuration des articulateurs. Il paraît donc naturel de faire appel à nos connaissances articulatoires pour interpréter les résultats de cette partie. Nous rappelons que le F1 correspond à l'ouverture mandibulaire ou à la longueur du pharynx et le F2 à la position de la langue dans la cavité buccale.

### **2.1. Le F1 de [u] et ses variations**

Au vu de notre travail, nous constatons que plus l'implantation est précoce, plus le F1 de la voyelle [u] est bas. Ceci est en accord avec notre hypothèse et rejoint les données vues en littérature : Hocevar-Boltezar et al. (2008) expliquent que la valeur de F1 de [u] est plus faible après l'implantation (cf. partie théorique IV.3.4). De plus, nos résultats sont significatifs et donc généralisables. Pour expliquer nos résultats, deux axes de réflexion sont envisageables : la plasticité cérébrale et l'âge des enfants au moment de l'enregistrement.

---

Le F1 peut être mis en relation avec l'ouverture de la mandibule. Un F1 élevé correspond à une ouverture mandibulaire plus importante. Nous observons que les enfants de notre étude, implantés précocement, ont un F1 moyen de [u] plus bas. L'intervention chirurgicale a eu lieu lorsque la plasticité cérébrale était maximale. Ces enfants ont donc bénéficié des conditions les plus favorables pour affiner leurs perceptions et renforcer leur contrôle articulatoire. Ils réussissent à mieux placer leurs articulateurs et ne réalisent plus de mouvements extrêmes pour produire la voyelle [u], contrairement aux enfants implantés tardivement.

Il est aussi possible d'expliquer ces résultats grâce à l'âge des enfants le jour de leur enregistrement. En effet, comme nous l'avions mentionné précédemment, les enfants implantés précocement sont les enfants les plus jeunes. Physiologiquement, ils ont un pharynx plus court car leur larynx est moins descendu. Leur F1 est donc plus bas.

Bakkum, Plomp et Pols (1995) donnent un F1 moyen de [u] de 353 Hz chez des enfants allemands entendants de 6 à 12 ans (cf. partie théorique II.3). Les enfants de notre expérience, âgés d'environ 3 à 6 ans, c'est-à-dire un peu plus jeunes, ont un F1 de [u] allant de 325 à 508 Hz avec une valeur moyenne de 411 Hz. Donc, les enfants implantés plus précocement, ont des valeurs de F1 de la voyelle [u] plus proches de la norme que ceux implantés plus tardivement. Une fois de plus, ces résultats peuvent être mis en lien avec la plasticité cérébrale dont les enfants implantés précocement ont pu bénéficier après leur implantation.

Concernant les variations de F1 de la voyelle [u], nous observons que plus l'implantation est précoce, moins il y aurait de variabilité de ce formant. Ceci est en accord avec l'hypothèse formulée selon laquelle une implantation précoce entraînerait moins de variations de F1 de [u]. Nos résultats sont significatifs et donc généralisables. Ces résultats peuvent susciter plusieurs interprétations.

D'une part, on peut noter que les enfants de notre étude présentant un F1 de [u] plus stable sont également ceux dont le F1 de [u] moyen est bas. Les fréquences graves étant généralement les plus stables, cela pourrait expliquer que l'on observe moins de variabilité chez les enfants implantés plus précocement.

D'autre part, les enfants implantés précocement ont profité d'une plasticité cérébrale maximale après la pose de l'implant cochléaire. Ils ont donc bénéficié de conditions plus favorables au développement de leurs capacités vocales. De ce fait, le F1 de la voyelle [u] s'est stabilisé avec le temps plus rapidement que pour les autres enfants.

## **2.2. Le F2 de [u] et ses variations**

Au travers de nos résultats, il semblerait que plus l'implantation est précoce, plus le F2 de la voyelle [u] est bas. Sur le plan articulatoire, cela signifierait que les enfants implantés plus précocement articulent le [u] en plaçant la langue plus postérieurement. Ceci serait en accord avec notre hypothèse et rejoindrait les données de la littérature : Hocevar-Boltezar et al. (2008) expliquent que le F2 de [u] a tendance à être plus bas après l'implantation (cf. partie théorique IV.3.4). Nos résultats ne sont pas significatifs.

---

Le [u] est une voyelle articulée dans la partie postérieure de la cavité buccale, où les sensations proprioceptives sont moins perceptibles. Il serait donc plus difficile de s'appuyer sur celles-ci pour la produire. C'est de ce fait la dernière voyelle acquise par les enfants (Buhr, 1980). Les enfants ayant reçu un implant cochléaire tardivement n'ont donc pas bénéficié d'une plasticité cérébrale maximale pour affiner leur sensibilité proprioceptive après la pose de l'implant cochléaire. Après l'implantation, ils n'auraient pas réorganisé leur système vocalique de façon aussi optimale que les enfants implantés plus précocement. Ceci expliquerait que plus l'implantation est tardive, plus les enfants utilisent la partie antérieure de leur cavité buccale pour articuler la voyelle [u].

Bakkum, Plomp et Pols (1995) donnent un F2 moyen de [u] de 939 Hz chez des enfants allemands entendants de 6 à 12 ans (cf. partie théorique II.3). Les enfants de notre expérience, âgés d'environ 3 à 6 ans, c'est-à-dire un peu plus jeunes, ont un F2 de [u] allant de 761 à 1698 Hz avec une valeur moyenne de 1225 Hz. Les enfants de notre étude implantés plus précocement ont donc des valeurs de F2 de la voyelle [u] plus proches de la norme que ceux implantés plus tardivement. Ces résultats témoignent à nouveau du bénéfice de la plasticité cérébrale lors d'une implantation précoce.

Concernant les variations de F2 de la voyelle [u], nous constatons que plus l'implantation est précoce, plus ce formant présenterait de variabilité. Ceci est en désaccord avec l'hypothèse que nous avons formulée selon laquelle une implantation précoce entraînerait une stabilité de F2 de [u]. Nos résultats ne sont pas significatifs. La tendance nécessiterait d'être confirmée pour être interprétée.

### **3. Influence d'une implantation précoce sur l'étendue vocale (ou l'AVS)**

Grâce à nos résultats, nous constatons qu'une implantation précoce engendre une extension de l'espace vocalique. Ceci est en accord avec notre hypothèse et les données recensées dans la littérature. Hocevar-Boltezar et al. (2008) notamment rapportent une extension du triangle vocalique après implantation (cf. partie théorique IV.3.4). De plus, nos résultats sont significatifs. Même si les résultats concernant les formants ne nous montrent pas toujours de tendance particulière, la précocité de la pose d'un implant cochléaire aurait une réelle influence sur l'étendue de l'espace vocalique de l'enfant sourd profond congénital.

Les enfants implantés précocement ont bénéficié d'une plasticité cérébrale plus optimale après l'implantation. Les conditions de développement de leurs capacités vocales ont donc été plus favorables à l'extension de leur espace vocalique.

### **4. Validation de nos hypothèses**

Pour le F0 et ses variations et les variations de F2 de la voyelle [u], nos résultats sont en désaccord avec les hypothèses que nous avons formulées. A chaque fois, ces résultats peuvent s'expliquer par l'âge des enfants au moment de leur enregistrement. En effet, les enfants les plus âgés sont les enfants implantés le plus tardivement. Ceux-ci ont donc un conduit vocal plus grand et un meilleur contrôle phonatoire et articulatoire qui leur assure des productions vocales plus stables.

---

Pour F1 de la voyelle [u] et ses variations, le F2 de [u] et l'AVS, les résultats sont en accord avec nos hypothèses concernant l'importance de la précocité de l'implantation cochléaire. Celle-ci semble avoir un effet bénéfique sur ces paramètres vocaux. Les enfants implantés précocement ont profité d'une plasticité cérébrale maximale après l'implantation, ce qui leur a permis d'exploiter au mieux leurs possibilités de développement vocal.

### **III. L'apprentissage auditif post-implantation, un facteur essentiel pour le développement de la voix et du contrôle articulaire**

Dans cette partie, nous nous intéresserons à l'impact de l'expérience auditive post-implantation sur les paramètres vocaux. L'expérience auditive correspond à la période entre l'implantation et l'enregistrement. Nous présenterons seulement ceux pour lesquels des résultats pertinents sont apparus : le F2 de la voyelle [u] et l'AVS. Nous discuterons cependant des raisons pour lesquelles nous n'avons pas observé de tendance à propos la fréquence fondamentale.

Dans la partie théorique (cf. partie théorique I.2.2), nous avons expliqué qu'un enfant entendant développe et affine ses productions vocales grâce à des mécanismes d'apprentissage comme l'imitation (Boysson-Bardies, 2010) et le feed-back auditif (Azéma et al., 2008). Chez l'enfant sourd profond congénital implanté cochléaire, cet apprentissage est possible grâce à la réhabilitation de l'audition. Dans notre étude, nous avons choisi des enfants dont l'expérience auditive est plus ou moins longue afin de mesurer l'impact de l'augmentation de la durée d'apprentissage post-implant.

#### **1. Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale**

Nos résultats ne nous ont pas permis de dégager de tendance concernant l'impact de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale et ses variations. Dans la littérature, certains auteurs ne trouvent aucune tendance, d'autres observent une augmentation ou une diminution de F0 après implantation et dans les mois qui suivent (cf. partie théorique IV.3.4, Hocevar-Boltezar et al., 2005 ; Campisi et al., 2005). Cette absence de consensus pourrait expliquer que nous ne trouvions pas de tendance.

Néanmoins, tous les enfants de notre population ont un F0 moyen compris dans la norme des enfants entendants (cf. partie discussion des résultats II.1). En faisant le lien avec l'absence de tendance, nous pouvons imaginer que l'implant cochléaire aurait un effet immédiat sur la fréquence fondamentale qui se normaliserait très rapidement après l'implantation et qui ne serait donc pas influencée par l'apprentissage.

Il faut noter qu'il n'y a pas de corrélation entre l'expérience auditive des enfants et leur âge. En effet, ceux dont l'expérience auditive est plus courte ont des âges différents et il en est de même pour ceux dont l'expérience auditive est plus longue.

---

En résumé, nous observons une tendance uniquement lorsque la variable indépendante étudiée se révèle corrélée à l'âge des enfants au moment de l'enregistrement. On peut donc penser que c'est l'âge des enfants au moment de l'enregistrement qui influence F0. Pour appuyer nos observations, nous avons représenté en annexe XI (p.99) l'influence de l'âge des enfants sur le F0 moyen. Le graphique suggère effectivement une diminution du F0 avec l'âge des enfants, et donc avec la croissance du conduit vocal.

## **2. Influence de l'expérience auditive sur le F2 de la voyelle [u]**

A travers nos résultats, nous avons pu observer que le F2 de la voyelle [u] diminue avec l'expérience auditive. Ceci valide notre hypothèse et rejoint les données littéraires : Hocevar-Boltezar et al. (2008) expliquent que le F2 de [u] a tendance à être plus bas après l'implantation (cf. partie théorique IV.3.4). De plus, nos résultats sont significatifs et donc généralisables. D'un point de vue articulatoire, cela signifie que les enfants dont l'expérience auditive post-implantation est importante utilisent plus la partie postérieure de leur cavité buccale.

Nous rappelons que la voyelle [u] s'articule avec la langue en position postérieure dans la cavité buccale, comme le font les enfants de notre étude dont l'expérience auditive est importante. Après la mise en place de l'implant cochléaire, le recouvrement de l'audition permet aux enfants sourds de développer les mécanismes normaux d'apprentissage comme le feed-back auditif ou l'imitation. Plus l'expérience auditive sera longue, plus ils auront le temps de réaliser ces apprentissages et donc de mettre en place les bonnes stratégies articulatoires.

Bakkum, Plomp et Pols (1995) donnent une valeur moyenne de 939 Hz chez des enfants allemands entendants de 6 à 12 ans (cf. partie théorique II.3). Les enfants de notre expérience, âgés d'environ 3 à 6 ans, c'est-à-dire un peu plus jeunes, ont un F2 de [u] allant de 761 à 1698 Hz avec une valeur moyenne de 1225 Hz. Ceux dont l'expérience auditive est plus longue ont des valeurs de F2 de la voyelle [u] proches de la norme des enfants entendants. Cela souligne l'importance de la durée d'apprentissage post-implant.

## **3. Influence de l'expérience auditive sur l'étendue vocale (ou l'AVS)**

Nous constatons que plus l'expérience auditive est longue, plus l'espace vocalique est étendu. Ceci est en accord avec notre hypothèse et les données de la littérature : Hocevar-Boltezar et al. (2008) rapportent une extension du triangle vocalique après implantation (cf. partie théorique IV.3.4). Nos résultats ne sont pas significatifs. Même si les résultats concernant les formants ne nous montrent pas toujours de tendance particulière, le port prolongé de l'implant cochléaire aurait une réelle influence sur l'étendue du triangle vocalique de l'enfant sourd profond congénital.

Les enfants ayant bénéficié d'une expérience auditive post-implantation plus longue ont eu plus de temps pour développer les mécanismes ordinaires d'apprentissage et donc pour étendre leur espace vocalique.

---

#### **4. Validation de nos hypothèses**

Les résultats que nous avons trouvés pour le F2 de la voyelle [u] et l'AVS sont en accord avec nos hypothèses. L'augmentation de la durée de l'expérience auditive aurait un effet favorable sur les paramètres vocaux. Les enfants qui ont une expérience auditive plus importante ont bénéficié d'une période d'apprentissage plus longue leur permettant de développer leurs capacités vocales.

#### **IV. L'implantation précoce, une condition préalable à un apprentissage optimal**

Par le biais de l'analyse de régression, il semble que, pour F0 et sa variabilité, F1 de la voyelle [u] et sa variabilité et l'AVS, l'âge d'implantation aurait plus d'influence que l'expérience auditive. Ces résultats vont dans le sens de nos hypothèses mais ne sont pas significatifs. Seul le F2 de la voyelle [u] semble plus influencé par l'expérience auditive que par l'âge d'implantation. Ces résultats ne sont que partiellement significatifs et sont en désaccord avec notre hypothèse.

Nous pouvons dire que, globalement, les résultats trouvés sont en accord avec notre hypothèse selon laquelle la précocité de l'implantation aurait une plus grande influence sur les paramètres de la voix qu'une expérience auditive post-implantation prolongée.

Après avoir présenté ces résultats, nous allons essayer de comprendre le lien existant entre l'âge d'implantation et la durée de l'expérience auditive.

L'expérience auditive est un facteur ayant une influence sur les capacités vocales de l'enfant sourd profond congénital implanté cochléaire. La réhabilitation de l'audition par l'implant lui permet d'accéder au monde sonore environnant et donc d'acquérir les mécanismes d'apprentissage des enfants entendants (imitation, feed-back auditif ...). Comme pour les enfants tout venants, les apprentissages se mettent alors progressivement en place. On pourrait donc en déduire que plus l'apprentissage est long meilleures sont les capacités vocales de l'enfant.

D'après les données de la littérature (Svirsky et al., 2004 ; Truy & Lina-Granade, 2003), la précocité de l'implantation joue un rôle très important sur le développement du langage et de la communication de l'enfant sourd. D'après les résultats de notre étude, elle semble également avoir une importance primordiale sur le développement des capacités vocales de l'enfant sourd profond congénital. En effet, si l'implantation a lieu avant 2 ans, la plasticité cérébrale est maximale. L'enfant bénéficie donc de conditions plus propices à ses apprentissages.

Malgré tout, ces deux facteurs n'ont pas le même poids. En effet, si l'expérience auditive est importante mais que l'implantation a eu lieu tardivement, l'enfant ne bénéficiera pas de la plasticité cérébrale maximale pour réaliser ses apprentissages. Malgré une expérience auditive très longue, les acquisitions s'effectueront bien plus lentement et il lui

---

sera difficile de rattraper le niveau des enfants entendants de son âge. Afin d'observer ce qu'il advient dans le cas extrême d'une implantation tardive, nous pouvons nous référer aux sujets sourds profonds congénitaux implantés à l'âge adulte. Ceux-ci, ayant été implantés bien au-delà de la période critique, ne parviendraient jamais à rattraper leur retard. En s'éloignant du domaine de la surdité, nous pouvons faire le parallèle avec les enfants devenus déficients mentaux suite à des carences socio-éducatives graves. Ces enfants n'ont pas bénéficié de stimulations suffisantes et appropriées pendant la petite enfance. Nos stages nous ont permis de nous rendre compte que malgré la mise en place d'une stimulation éducative et rééducative importante, par la suite, certains apprentissages peuvent avoir lieu mais de façon beaucoup plus lente que la moyenne des enfants du même âge.

L'âge d'implantation apparaît comme le facteur ayant le plus d'influence sur le développement des capacités vocales de l'enfant sourd profond congénital implanté cochléaire. En profitant de la plasticité maximale, il pourra mettre en place de meilleures stratégies d'apprentissage. Ce constat reflète bien les tendances actuelles concernant l'implant cochléaire. Comme nous l'avons remarqué au travers de nos recherches théoriques, aujourd'hui l'accent est mis sur la nécessité d'implanter les enfants sourds profonds congénitaux le plus tôt possible après l'annonce du diagnostic. Ceci permet de limiter au maximum les séquelles que pourrait apporter un tel handicap sur le développement de l'enfant, son langage et sa communication. A travers notre étude, nous avons cherché à étendre ce constat au domaine de la voix, dans laquelle nous incluons les formants. Les résultats trouvés témoignent en quelques sortes que la précocité de l'implantation reste un facteur primordial pour le développement de la voix.

## **V. Limites et ouvertures possibles de notre étude**

Notre étude montre que la précocité de l'implantation et la durée de l'expérience auditive post-implantation ont un effet bénéfique sur la voix des enfants sourds profonds congénitaux. Elle souligne également que la durée de l'apprentissage n'est réellement influente que lorsque l'implantation a lieu précocement. Ceci n'a pas été démontré pour tous les paramètres vocaux étudiés en contexte de parole. L'élaboration de notre protocole et le choix de notre population nécessiteraient certaines modifications afin de compléter ces résultats. Il serait également pertinent d'approfondir notre travail en y incluant d'autres caractéristiques vocales.

### **1. Les limites de notre étude**

Au cours de notre étude, nous nous sommes aperçues que notre travail comportait un certain nombre de faiblesses dans le choix de la population et dans l'élaboration de notre protocole.

#### **1.1. Une population discutable à différents points de vue**

Notre étude portait sur des très jeunes enfants porteurs d'un handicap. La population à laquelle nous avons eu accès était donc au départ très réduite. De plus, ses caractéristiques nous ont demandé de revoir nos exigences à la baisse. De ce fait, nous n'avons obtenu au

---

final que 14 sujets. Il serait intéressant d'élargir considérablement le nombre d'enfants, afin de confirmer ou non les tendances dégagées dans notre étude, ou bien même de pouvoir les généraliser à l'ensemble des enfants sourds profonds bilatéraux congénitaux des âges choisis. En effet, dans notre étude, trop peu de résultats sont significatifs.

Il serait pertinent d'élargir les variables prises en compte en choisissant des enfants implantés plus tardivement et des enfants ayant une expérience auditive plus longue, afin de valider nos conclusions sur des tranches d'âges plus étendues. Nous pourrions également contrôler l'âge des sujets au moment de l'enregistrement. Ceci pour éviter que, comme dans notre étude, les enfants implantés précocement soient les enfants les plus jeunes, ce qui nous empêche d'analyser pleinement l'influence de la variable étudiée.

Afin d'analyser l'impact de l'âge d'implantation ou de l'expérience auditive, il faudrait réaliser deux études distinctes dans lesquelles la variable non considérée serait homogène. Au sein de l'étude portant sur l'âge d'implantation, tous les enfants devraient avoir la même durée d'expérience auditive. Et inversement pour l'étude portant sur l'expérience auditive.

Pour les enfants choisis, nous n'avons pas réussi à éliminer le biais du bilinguisme. Un certain nombre d'enfants sont confrontés à une deuxième langue, parfois plus, dans la famille. Cette deuxième langue peut avoir une influence sur leurs productions (Chalumeau & Efthymiou, 2010). De plus, ces enfants sont quotidiennement moins confrontés à la langue française. Il serait donc pertinent de ne choisir que des enfants monolingues pour éviter ce biais.

De même, il nous a été impossible de contrôler le mode de communication des enfants car nous ne disposons pas d'un nombre assez conséquent de sujets. En effet, bien que tous aient un projet oraliste, certains bénéficient d'un apport en langue de signes ou en LPC. Le mode de communication pouvant avoir une influence sur les capacités de production de l'enfant (Alegria, Hage, Charlier & Leybaert, 2007), il serait préférable de ne choisir que des enfants communicant de la même manière (oral uniquement, LPC associé à la langue orale ou bien LSF). Nous pourrions aussi réaliser des groupes pour comparer entre eux ceux qui bénéficient du même mode de communication.

Concernant les enfants sélectionnés, nous n'avons pas pu contrôler le mode de prise en charge orthophonique. Certains sont pris en charge en CAMSP, d'autres en SSEFIS ou en cabinet libéral. De plus, certains d'entre eux ont une prise en charge mixte (CAMSP et libéral) ou ont d'abord été suivis en CAMSP et en cabinet libéral par la suite. De plus, la durée de la prise en charge et la fréquence des séances varient pour chaque enfant. Cela apporte des variations dans les résultats qui ne sont pas dues à l'âge d'implantation ou à l'expérience auditive. Il faudrait essayer au maximum de contrôler ce critère.

Enfin, par manque de sujets, nous n'avons pas pris en compte les différences inter-individuelles concernant le temps d'acceptation et la régularité du port de l'implant. Nous nous sommes contentées de définir l'expérience auditive comme la période comprise entre l'implantation et l'enregistrement.

---

## 1.2. Un protocole contraint

Nous avons choisi d'uniformiser au maximum notre corpus, ce que l'âge des enfants nous permettait, afin de pouvoir effectuer ensuite des comparaisons des productions et non de travailler sur un corpus spontané. De ce fait, nous n'avons pu enregistrer que les enfants qui oralisaient suffisamment pour nous permettre l'obtention d'un corpus analysable. Les autres ont donc été retirés de notre étude. Nous sommes conscientes que, procédant ainsi, les enfants dont le développement langagier était moindre ont été exclus de notre étude. De ce fait, celle-ci ne comporte que des enfants pour qui l'implantation a été très bénéfique et cela entraîne inévitablement un biais dans nos observations.

L'uniformisation de ce corpus exigeait que tous les enfants produisent les mêmes mots. Pour cela, il était nécessaire de réaliser une dénomination à partir d'images. Cependant, bien que l'âge d'acquisition des mots ait été contrôlé (acquis avant 3 ans), ces enfants, très jeunes et porteurs d'un handicap, n'ont pas tous pu se plier aux exigences de ce mode de passation. Le maintien de cette procédure aurait entraîné une exclusion de certains enfants et, de ce fait, une nouvelle diminution de notre population. Ayant au départ un nombre restreint de sujets, nous avons choisi de diminuer nos exigences et d'accepter toute production du mot cible, que ce soit en dénomination, en production spontanée ou en répétition. Nous sommes conscientes que la répétition et la dénomination ne nécessitent pas la même charge cognitive et se différencient par la connaissance lexicale du mot et la présentation orale ou non de sa forme phonologique. La répétition met en jeu le processus d'imitation qui est un mécanisme d'apprentissage influençant très tôt la production du jeune enfant (Kuhl & Meltzoff, 1996). Il serait donc nécessaire de reprendre notre travail en essayant au mieux de ne choisir qu'un seul mode de passation du corpus.

Les enregistrements ont été réalisés dans la pièce à jouer attenante à la salle d'attente des salles de réglage. Nous avons fait ce choix pour des raisons pratiques et pour privilégier le bien-être des enfants, mais nous n'étions pas complètement isolées et certains morceaux d'enregistrement ont été supprimés à cause de bruits parasites. Il serait peut-être justifié d'effectuer les enregistrements dans une cabine insonorisée qui, malgré tout, n'aurait sûrement pas été acceptée par tous les enfants.

De plus, les enregistrements qui avaient lieu le jour du réglage de l'implant cochléaire, intervenaient après la série de rendez-vous médicaux des enfants. Ceux-ci, très jeunes, étaient très fatigués par les nombreuses sollicitations. Aussi nous avons été confrontées à des refus de leur part ou de leurs parents. Il aurait été plus judicieux d'effectuer ces enregistrements à un autre moment de la journée ou de planifier les rendez-vous de manière différente avec les familles.

## 2. Possibles approfondissements du sujet

Certains approfondissements auraient pu être apportés pour améliorer notre travail et étendre ainsi la portée de notre étude.

Pour compléter les observations que nous avons faites sur la voix, on pourrait envisager de faire passer aux enfants un bilan de langage oral, afin de comparer les résultats obtenus

---

sur la production vocale avec le niveau de langage de l'enfant. Ceci afin de voir si les résultats obtenus sur la voix seraient corrélés au niveau de langage de l'enfant. Cela nous aurait par ailleurs permis de tester la validité de notre corpus.

En plus des principaux paramètres vocaux étudiés, nous voulions également nous intéresser à l'intensité car nous n'avons trouvé que très peu de données la concernant. Cependant, notre protocole ne nous a pas permis de réaliser une analyse objective de ce paramètre. Il faudrait donc le reprendre et contrôler les conditions d'enregistrements de la voix afin d'obtenir des corpus les plus représentatifs possible de l'intensité de la voix des enfants enregistrés. Il faudrait par exemple tenir compte de la distance au micro que l'enfant choisit spontanément ou garder celle-ci identique pour chaque sujet, bien que cela nous paraisse difficilement réalisable.

Il aurait été intéressant de retenir deux autres paramètres vocaux permettant une analyse plus approfondie de la voix: la prosodie et le timbre. L'étude de la prosodie aurait nécessité un corpus plus spontané comportant des productions plus longues. Nous aurions pu ainsi procéder à une analyse plus clinique de la voix des enfants. L'analyse du timbre nous aurait peut-être permis de mettre en évidence des caractéristiques vocales telles que le souffle ou la nasalité. En effet, à l'écoute des enregistrements, nous avons perçu une nasalité ou un souffle dans la voix de certains enfants.

## **VI. Apports personnels de notre travail pour notre future pratique clinique**

Nous avons choisi de travailler sur la surdité car les confrontations avec des personnes sourdes lors de nos stages cliniques nous ont interpellées. Notre travail de recherche, et notamment celui de l'approfondissement théorique, nous a permis d'acquérir des connaissances plus élargies sur la surdité, d'un point de vue anatomo-physiologique et d'un point de vue clinique. Nous nous sentons aujourd'hui plus à même de prendre en charge des enfants atteints de ce handicap et d'éclairer les parents sur les difficultés de leur enfant et les solutions qu'il est possible d'y apporter (avantages et inconvénients des différents modes de réhabilitation de l'audition).

Grâce au temps passé au côté des enfants implantés cochléaires, nous nous sommes rendu compte des différences interindividuelles importantes concernant les capacités de langage et de communication de ces enfants. Leurs niveaux de production et de compréhension de la parole et du langage sont très hétérogènes. Ceci nous a amenées à réfléchir sur notre future pratique professionnelle. Il est important et primordial que nous adaptions les prises en charge à chaque enfant, en tenant compte de son vécu, de sa personnalité, de ses capacités et de ses déficits, dans le but de l'emmener le plus loin possible dans son développement.

D'un point de vue plus professionnel, nous nous sommes familiarisées aux aides à la communication telles que le LPC (Langage Parlé Complété) et la LSF (Langue des Signes Française). Nous avons pris conscience de leurs intérêts dans la communication ainsi que dans la prise en charge orthophonique ; par exemple, certains enfants ne voulant pas répéter le mot y arrivaient très bien après un modèle agrémenté de LPC. De plus, nous avons mieux compris la nécessité de la mimo-gestualité et de la lecture labiale dans toute

---

communication avec la personne sourde. Ainsi nous pourrions mieux nous positionner lors de nos futures prises en charge.

Nous avons pris conscience de la place qu'occupe l'enfant sourd au sein de sa famille et des moyens mis en œuvre pour lui permettre de grandir le plus sereinement possible dans son environnement familial.

Nous avons réalisé nos enregistrements lors du réglage de l'implant de l'enfant qui a lieu tous les six mois au Centre d'Implantation. Cette situation nous a éclairées sur le travail effectué dans un centre d'implantation, sur le rôle de chaque intervenant (médecin ORL, audioprothésiste, régleur) et notamment celui de l'orthophoniste, sur la collaboration pluridisciplinaire, sur l'accueil de l'enfant et de sa famille et pour finir sur l'accompagnement familial indispensable sur le long terme.

Notre travail a porté sur la surdité de l'enfant mais également sur la voix. Les séances d'enregistrement nous ont permis d'affiner notre analyse subjective de la production vocale grâce à l'écoute des voix des enfants que nous avons rencontrés. De plus, l'apprentissage de l'utilisation d'un outil de mesures objectives, Praat®, nous permettra d'en avoir une utilisation plus aisée et plus objective pour des rééducations vocales de l'enfant et de l'adulte. Le calcul de l'aire du triangle vocalique nous aidera à réaliser un suivi de la production des voyelles des enfants sourds que nous prendrons en charge. Nous pourrions effectuer le suivi l'amélioration et de la précision de la production des voyelles cardinales au fil de la rééducation.

Pour analyser nos résultats, il a été nécessaire d'approfondir notre compréhension des mécanismes articulatoires. Ceci nous permettra une perception plus fine des difficultés des enfants dans ce domaine.

De plus, un tel travail nous a fait découvrir le domaine de la recherche. Il nous a ouvert les yeux sur l'intérêt et la nécessité des travaux de recherche en orthophonie qui permettent d'approfondir nos connaissances en physio-pathologie et de valider des techniques de rééducation.

Enfin, à travers ces deux années consacrées à ce mémoire de recherche, nous avons pris conscience des bénéfices du travail de collaboration. Nous avons appris à connaître nos points forts et nos points faibles, à nous entraider, à nous répartir le travail pour optimiser notre efficacité et à confronter nos points de vue pour faire émerger nos idées. Ceci est un aperçu très utile du travail pluridisciplinaire qu'il sera indispensable de savoir mettre en place lorsque nous travaillerons en institution ou bien en collaboration dans un cabinet libéral.

---

## CONCLUSION

---

Notre mémoire portait sur les paramètres vocaux des enfants sourds profonds congénitaux implantés cochléaires. L'objectif de notre étude était de savoir si l'âge d'implantation et la durée de l'expérience auditive post-implantation avaient un impact sur les paramètres de la voix. Nous avons postulé que la précocité de l'implantation et une expérience auditive post-implantation prolongée ont un effet bénéfique sur les paramètres de la voix. De plus, nous pensions observer que l'âge auquel l'enfant a été implanté joue un rôle primordial et plus important dans le développement de la voix de l'enfant sourd profond.

Nous nous sommes intéressées à la fréquence fondamentale (F0) et à ses variations, aux formants F1 et F2 des voyelles cardinales [i], [a] et [u] et à leurs variations, et à l'étendue du triangle vocalique (à travers l'AVS).

L'analyse de nos données ne nous ont pas permis d'observer des tendances sur tous les paramètres vocaux étudiés. Nous avons pu cependant étudier l'influence de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive sur le F0, la voyelle [u] et l'AVS. Parmi ces résultats, peu sont statistiquement significatifs. Néanmoins notre travail de recherche met en évidence que l'âge d'implantation et l'expérience auditive ont un réel impact sur le F0, la voyelle [u] et l'étendue du triangle vocalique qui se rapprochent de la norme des enfants entendants. Les bénéfices d'une implantation cochléaire sont d'autant plus importants que celle-ci est précoce. En effet, en cas d'implantation précoce, l'enfant profite d'une plasticité cérébrale maximale pour réaliser ses apprentissages vocaux. De même, ses compétences vocales sont d'autant plus développées que la durée d'expérience auditive, lui permettant de réaliser ces apprentissages, est longue. Enfin, bien que ces deux variables aient un impact sur les paramètres vocaux de l'enfant sourd profond congénital implanté cochléaire, l'âge d'implantation semble avoir un poids plus important que l'expérience auditive. En effet, l'augmentation de la durée de l'apprentissage post-implant permet un développement des capacités vocales de l'enfant sourd lorsque l'implantation a lieu précocement.

Bien que cette conclusion n'ait pas été vérifiée sur tous les paramètres vocaux étudiés, elle est en accord avec notre hypothèse générale.

Nous sommes conscientes que notre travail a permis de mettre en évidence certaines tendances donnant seulement des éléments de réponses à notre problématique. Il serait intéressant de poursuivre notre étude en modifiant certains éléments du protocole comme la taille de l'échantillon, l'homogénéité de la population ou encore les conditions de passation. Ceci permettrait de renforcer les résultats obtenus et de préciser nos conclusions.

Dans le but d'approfondir notre étude, il serait pertinent d'élargir l'analyse de la voix des enfants sourds profonds congénitaux implantés cochléaires en incluant d'autres paramètres tels que la prosodie, le timbre et l'intensité vocale.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

### Ouvrages :

Alegria, J., Hage, C., Charlier, B. & Leybaert, J. (2007). Phonologie audio-visuelle : lecture, lecture labiale et lecture labiale complétée. In J. Alegria, P. Deltenre, J. Leybaert, & W. Serniclaes. *Surdité et langage : Prothèses, LPC et implants cochléaires* (pp.13-67). Saint-Denis : Presses Universitaires de Vincennes.

Azéma, B., Bescond, G., Bischoff, H., Bizaguet, E., Coez, A., Guillarm, G., Hugon, B., Jillicot, J., Laurent, S., Lefèvre, F., Le Her, F., Renard, C., Renard, X., Ruaux, C. & Vinet, A. (2008). *Précis d'audioprothèse. Production phonétique acoustique et perception de la parole*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.

Bakkum, M. J., Plomp, R., & Pols, L. C. W. (1995). Objective analysis versus subjective assessment of vowels pronounced by deaf and normal-hearing children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(2), 745-762.

Bo , L., Granat, J., Badin, P., Autesserre, D., Pochic, D., Zga, N., Henrich, N., & Ménard, L. (2007). Skull and vocal tract growth from newborn to adult. *7th International Seminar on Speech Production*, 75-82.

Bo , L. J., Captier, G., Granat, J., Deshayes, M. J. Heim, J. L., Birkholz, P., Badin, P., Kielwaser, N., & Sawallis, T. (2008). Skull and vocal tract growth from fetus to 2 years. *8th International Seminar on Speech Production*, 157-160.

Boysson-Bardies, B., Halle, P., Sagart, L., & Durand, C. (1989). A crosslinguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of child language*, 16, 1-17.

Boysson-Bardies, B. (2010). *Comment la parole vient aux enfants : De la naissance jusqu'à 2 ans*. Paris : O. Jacob. (1 re  d. 1996).

Buhr, R. D. (1980). The emergence of vowels in an infant. *Journal of speech and hearing research*, 23, 73-94.

Campisi, P., Low, A., Papsin, B., Mount, R., Cohen-Kerem., R., & Harrison, R. (2005). Acoustic Analysis of the Voice in Pediatric Cochlear Implant Recipients : A Longitudinal Study. *The Laryngoscope*, 115(6), 1046-1050.

Canault, M. (2007) : *L'émergence du contrôle articulatoire au stade du babillage : une étude acoustique et cinématique*. Thèse de doctorat (non publi e), Institut de Phonétique, Strasbourg, France.

Chalumeau, S. & Efthymiou, H. (2010). *Le bilinguisme précoce consécutif chez les enfants lusophones et turcophones : influence de la langue maternelle sur l'acquisition du français langue seconde*. Lyon : mémoire d'orthophonie n 1534.

---

Chevrie-Muller, C., Simon, A.M., & Fournier, S. (1997). *Batterie Langage oral et écrit. Mémoire. Attention. (L2MA)*. Paris : Editions du Centre de Psychologie Appliquée.

Colleau, A. (2004). L'implant cochléaire précoce en France : état des lieux. *Rééducation orthophonique*, 217, 57-68.

Cornut, G. (2009). *La voix*. Paris : Presse universitaire de France. (1ère éd. 1983).

Dantil, E., & Manière, P. (2002). *Modalités de scolarisation des enfants sourds profonds prélinguaux implantés cochléaires à l'hôpital Edouard Herriot entre 1991 et 1998 inclus*. Lyon : mémoire d'orthophonie n°1192.

Dhillon, R. S., East, C. A. (2008). *Oto-rhino-laryngologie et chirurgie cervico-faciale*. Issy-les-moulineaux : Elsevier Masson.

Dumont, A. (2008). *Orthophonie et surdité : communiquer, comprendre, parler*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.

Dunn, L.M., Theriault-Whalen, C.M., & Dunn, L.M. (1993). *Echelle de vocabulaire en images peabody (EVIP)*. Adaptation française du Peabody Picture Vocabulary test-revised. Belgique : ATM.

Dupessey, M., Coulombeau, B., & Cornut, G. (2003). *A l'écoute des voix pathologiques*. Lyon : Symétrie.

Gilbert, H. R., & Campbell, M. I. (1980). Speaking fundamental frequency in three groups of hearing-impaired individuals. *Journal of Communication Disorders*, 13(3), 195-20.

Gilbert, H. R., Robb, M. P., & Chen, Y. (1997). Formant frequency development : 15 to 36 months. *Journal of Voice*, 11(3), 260-266.

Govaerts, P. J, Daeners, K., Schauwers, K., De Beuckeler, C., Ypermans, M., De Ceulaer, G., & Gillis, S. (2004). Implant cochléaire précoce et/ou bilatéral. *Rééducation orthophonique*, 217, 31-46.

Gribenski, A. (1994). *L'audition*. Paris : Presse universitaire de France. (1ère éd. 1951).

Grosbois, J., & Le Pellec, M. (2006). *Surdités et troubles de l'audition : Prothèses et aides auditives*. Paray-Vieille-Poste : La Feuillée.

Hage, C., Charlier, B., & Leybaert, J. (2006). *Compétences cognitives linguistiques et sociales de l'enfant sourd : pistes d'évaluation*. Sprimont : Mardaga.

Heuillet-Martin, G., Garson-Bavard, H., & Legré, A. (2007). *Une voix pour tous. Tome 1. La voix normale et comment l'optimiser*. Marseille : Solal (1ère éd. 1995).

Hocevar-Boltezar, I., Vatovec, J., Gros, A., & Zargi, M. (2005). The influence of cochlear implantation on some voice parameters. *International journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 69, 1635-1640.

---

Hocevar-Boltezar, I., Radsel, Z., Vatovec, J., Geczy, B., Cernelc, S., Gros, A., Zupancic, J., Battelino, S., Lavrencak, B., & Zargi, M. (2006). Change of Phonation Control After Cochlear Implantation. *Otology and Neurotology*, 27(4), 499-503.

Hocevar-Boltezar, I., Boltezar, M., & Zargi, M. (2008). The influence of cochlear implantation of vowel articulation. *The Middle European Journal of Medicine*, 120(7-8), 228-233.

Juarèz-Sanchez, A. (2004). L'implant cochléaire précoce chez l'enfant. *Rééducation orthophonique*, 217, 47-56.

Kent, R. D., & Miolo, G. (1996). Phonétic Abilities in the first year of life. In P. Fletcher & B. MacWhinney (Ed.), *The handbook of child language* (pp. 304-334). Oxford, Blackxell Publishing.

Kent, R. D., & Murray, A. D. (1982). Acoustic features of infant vocalic utterances at 3, 6, and 9 months. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 353–365.

Kent, R. D., Netsell, R., Osberger, M. J., & Hustedde, C. G. (1987). Phonetic development in identical twins who differing in auditory function. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 52, 64–75.

Kern, S. & Gayraud, F. (2010). *IFDC (Inventaires Français du Développement Communicatif) : Un nouvel outil de dépistage des troubles de la communication chez le nourrisson*. Grenoble : Les éditions de la Cigale.

Khomsi, A. (2001). *Evaluation du Langage Oral (ELO)*. Paris : ECPS.

Kuhl, P. K., & Meltzoff, A. N. (1996). Infant vocalizations in response to speech: vocal imitation and developmental change. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 2425–2438.

Langereis, M. C., Bosman, A. J., Van Olphen, A. F., & Smoorenburg, G. F. (1997). Changes in Vowel Quality in Post-lingually Deafened Cochlear Implant Users. *Audiology*, 36, 279-297.

Lee, S., Potamianos, A., & Narayanan, S. (1999). Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105(3), 1455-1468.

Leybaert, J., Colin, C., Willems, P., Colin, S., Nouvelle, M., Schepers, F., Renglet, T., Mansbach, A. L., Simon, P., & Ligny, C. (2007). Implant cochléaire, plasticité cérébrale et développement du langage. In J. Alegria, P. Deltenre, J. Leybaert, & W. Serniclaes. *Surdité et langage : Prothèses, LPC et implants cochléaires* (pp.13-67). Saint-Denis : Presses Universitaires de Vincennes.

Loundon, N., Prang, I., & De Lamaze, A. (2009). Développement perceptif et linguistique chez l'entendant. In N. Loundon, & D. Busquet. *Implant cochléaire pédiatrique et rééducation orthophonique. Comment adapter les pratiques* (pp.3-9). Paris : Médecine-Sciences Flammarion.

- 
- MacNeilage, P. F. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and brain sciences*, 21(4), 449-511.
- Manning, W. H., Moore, J. N., Dunham, M. J., Ling Lu, F., & Dominco, E. (1992). Vowel production in a prelinguistic child following cochlear implantation. *Journal of the American Academy of Audiology*, 3(1), 16-21.
- Mansbach, A. L. (2006). *La surdité de l'enfant. L'ORL pédiatrique, Rev Med Brux* 27, S 250-7.
- Mare, C., & Villedieu de Torcy, E. (2008). *Les activités musicales et le chant : des outils pour l'éducation vocale de l'enfant sourd profond congénital implanté cochléaire*. Lyon : mémoire d'orthophonie n°1435.
- Massida, Z. (2010). *Etude de la perception de la voix chez le patient sourd post lingual implanté cochléaire unilatéral et le sujet normo-entendant en condition de simulation d'implant. Psychophysique et imagerie*. Thèse de doctorat (non publiée), Université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- Ménard, L. (2002). *Production et perception des voyelles au cours de la croissance du conduit vocal : variabilité, invariance et normalisation*. Thèse de doctorat non publiée, Institut de la communication parlée, Grenoble, France.
- Menche, N. (2009). *Anatomie, physiologie, biologie*. Paris : Maloine. (1ère éd. 1998).
- Morucci, J. P., Coll, J., & Vales, J. (1992). *L'appareillage auditif*. Paris : Masson.
- Perkell, J.S., & Denny, M. (2007). Effect of masking noise on vowel and sibilant contrasts in normal-hearing speakers and postlingually deafened cochlear implant users. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1), 505-518.
- Peterson, G. E., & Barney, H. L. (1952). Control Methods Used in Study of the Vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 24(2), 175-184.
- Radafy, E. (2004). Etats des lieux de l'implant cochléaire aujourd'hui. *Rééducation orthophonique*, 217, 13-30.
- Robert-Ribes, J., Schwartz, J.L., Lallouach, T. & Escudier, P. (1998). Complementary and synergy in bimodal speech : auditory, visual, and audio-visual identification of French oral vowels in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(6), 3677-3689.
- Romand, R. (1992). *Traité d'ORL*. Paris : INSERM/SFA.
- Sarfati, J., Vintenat, A. M., & Choquart, C. (2002). *La voix de l'enfant*. Marseille : Solal.
- Seban-Lefèbre, D., & Taffin, B. (2008). *L'enfant qui n'entend pas : la surdité, un handicap invisible*. Paris : Belin.

---

Stoel-Gammon, C. (1988). Prelinguistic vocalizations of hearing-impaired and normally hearing subjects: a comparison of consonantal inventories. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53, 302-315.

Svirsky, M. A., Teoh, S. W., Neuburger, H. (2004). Development of language and speech perception in congenitally, profoundly deaf children as a function of age at cochlear implantation. *Audiology and Neuro-otology*, 9, 224-233.

Transler, C., Leybaert, J., & Gombert, J. E. (2005). *L'acquisition du langage par l'enfant sourd: les signes, l'oral et l'écrit*. Marseille : Solal.

Truy, E., Lina-Granade, G., Jonas, A. M., Martinon, G., Maison, St., Girard, J., Porot, M., & Morgon, A. (1998). Compréhension du langage par les enfants sourds profonds congénitaux au moyen de l'implant cochléaire. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, 119, 271-275.

Truy, E., & Lina-Granade, G. (2003). Implantation cochléaire de l'enfant. Technologie, bilan médical et sélection des candidats, réhabilitation. *Archives de Pédiatrie*, 10, 554-564.

Truy, E., & Lina-Granade, G. (2006). Conduite à tenir devant une surdité de l'enfant. *EMC Otorhino-laryngologie*, 2, 290-300.

Truy, E., Bouccara, D., Sterkers, O., & Triglia, J. M. (2009). Techniques chirurgicales d'implantations d'aides auditives en otoneurologie. *EMC Otorhino-laryngologie*, 46, 038.

Turner, G.S., Tjaden, K., & Weismer, G. (1995). The influence of speaking rate on vowel space and speech intelligibility for individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 1001-1013.

Vidal, C. (2006). De la plasticité du cerveau. In : *Société Française de Santé Publique, Prévention, dépistage des troubles du comportement chez l'enfant*. Paris : Collection Santé et Société, SFSP.

Vinter, S. (1994). *L'émergence du langage de l'enfant déficient auditif : des premiers sons aux premiers mots*. Paris : Masson.

Vorparian, H. K., & Kent, R. D. (2007). Vowel Acoustic Space Development in Children: A Synthesis of Acoustic and Anatomic. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(6), 1510-1545.

Woisard, V., Percodani, J., Serrano, E., & Pessay, J. J. (1998). L'évolution de l'appareil phonatoire et de la voix de l'enfant. *Rééducation orthophonique*, 194, 19-30.

Woznica, B., Pruszeicz, A., Szyfhu, W., Karlik, M., Szymiec, E., & Swidzinski, P. (1996). The acoustic analysis of voice in patients with multi-channel cochlear implant. *Revue de laryngologie, otologie et rhinologie*, 117(3), 225-7.

---

## Sites internet :

Association coquelicot (2004). « Communiquer : aides techniques, les prothèses conventionnelles ». In *coquelicot.asso.fr*, [en ligne]. Page consultée le 25 mars 2011. <http://www.coquelicot.asso.fr>

Boersma, P., & Weenink, D. (2009). «Praat: doing phonetics by computer» [Computer program]. Version 5.1.20, retrieved 31 October 2009 from <http://www.praat.org>

Bureau International d'Audiophonologie (1er Mai 1997). « Recommandation BIAP 02/1 bis. Classification audiométrique des déficiences auditives ». In *Biap.org*, [En ligne]. Page consultée le 10 octobre 2010. <http://www.biap.org>

Centre d'Information sur la Surdité et L'Implant Cochléaire (2011). « L'implant cochléaire ». In *cisic.fr*, [En ligne]. Page consult e le 13 mars 2011. <http://www.cisic.fr>

Haute Autorité de Santé (11 Avril 2007). « Dépistage néonatal systématique de la surdité permanente bilatérale : avis favorable de la HAS ». In *HAS-sante.fr*, [En ligne]. Page consult e le 18 octobre 2010. <http://www.has-sante.fr>

Haute Autorité de Santé (23 Mai 2007). « Traitement de la surdité par pose d'implants cochléaires ou d'implants du tronc cérébral ». In *HAS-sante.fr*, [En ligne]. Page consult e le 18 octobre 2010. <http://www.has-sante.fr>

Institute for Statistics and Mathematics of the WU Wien (2010). "The R Foundation for Statistical Computing". Version 2.12.1, retrieved 16 December 2010 from <http://www.r-project.org>

New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). « Lexique 2 : A New French Lexical Database ». In *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* [En ligne] 36 (3), 516-524. Page consult e le 15 janvier 2010. <http://www.lexique.org>

Wood, S. (26 Février 2005). « Praat for beginners ». In *sol.lu.se*, [En ligne]. Page consult e le 13 avril 2010. <http://person2.sol.lu.se/SidneyWood/praaate/frames.html>

---

# **ANNEXES**

---

---

## **Annexe I : Le descriptif de la classification audiométrique de la surdité (BIAP, 1997)**

### **1. La surdité légère**

La perte auditive est de 20 dB à 40 dB. La plupart des bruits familiers sont perçus ainsi que la parole, hormis certains contrastes phonétiques et la voix lorsqu'elle est faible. La gêne sociale reste légère et cette surdité est souvent ignorée par les personnes concernées.

### **2. La surdité moyenne**

- 1er degré : la perte auditive est de 41 dB à 55 dB.
- 2nd degré : la perte auditive est de 56 dB à 70 dB.

Quelques bruits familiers et la parole sont perçus, hormis quelques phonèmes. La gêne sociale est plus importante et une grande fatigue peut se faire ressentir. Le langage, l'articulation et la parole sont acquis de manière imparfaite. Cette surdité nécessite un appareillage, des aides à la communication (LPC, LSF...), et une prise en charge orthophonique.

### **3. La surdité sévère**

- 1er degré : la perte auditive est de 71 dB à 80 dB.
- 2nd degré : la perte auditive est de 81 dB à 90 dB.

Dans cette surdité, seuls les bruits forts sont perçus et la voix lorsqu'elle est forte et près de l'oreille. La gêne sociale est extrême et influe sur le comportement de la personne sourde. Le contrôle de la voix est encore possible, alors que l'acquisition spontanée du langage ne peut pas avoir lieu. Un appareillage bilatéral s'impose, ainsi que l'utilisation des aides à la communication, comme dans le cas de la surdité moyenne. Une prise en charge orthophonique est indispensable.

### **4. La surdité profonde**

- 1er degré : la perte auditive est de 91 dB à 100 dB.
- 2nd degré : la perte auditive est de 101 dB à 110 dB.
- 3ème degré : la perte auditive est de 111 dB à 119 dB.

Sans prothèses acoustiques amplificatrices numériques externes (prothèses conventionnelles), seuls les bruits très puissants sont perçus. La personne atteinte de cette surdité ne ressent que les vibrations osseuses. La parole n'est pas perçue, et aucune audition n'est utilisable.

---

## Annexe II : Le fonctionnement de la cochlée

L'oreille est composée de trois parties : externe, moyenne et interne. L'oreille externe, composée du pavillon et du conduit auditif externe, reçoit l'information auditive et la conduit jusqu'au tympan. L'oreille moyenne, constituée du tympan et des osselets, à un rôle de transmission et d'amplification du signal sonore, qui est conduit jusqu'à l'oreille interne. L'oreille interne contient la cochlée qui est l'organe périphérique de l'audition.

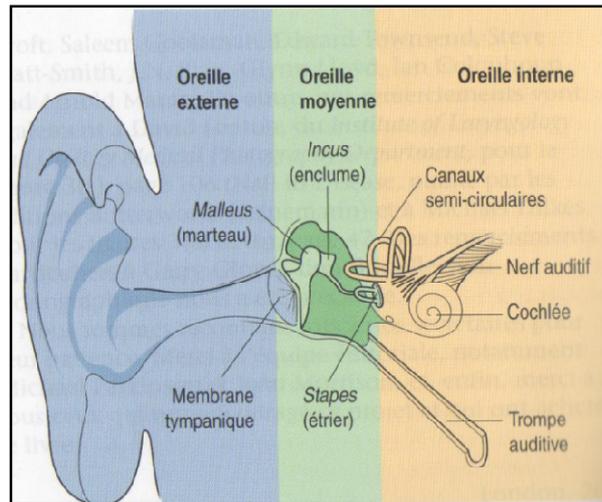


Figure 1 : Schéma de l'oreille (Dhillon & East, 2008)

La cochlée possède deux types de cellules sensorielles : les cellules ciliées externes et les cellules ciliées internes qui, avec leurs cellules de soutien forment l'organe de Corti. Celui-ci repose sur la membrane basilaire. C'est la déformation de la membrane basilaire par l'onde sonore qui entraîne la stimulation des cellules ciliées qui, à leur tour, vont transmettre l'information au nerf auditif. Celui-ci conduit l'information auditive via quatre neurones jusqu'au cortex auditif qui traite les différentes données pour interpréter le signal sonore.

Le traitement de l'onde sonore comprend le codage des différents paramètres dont la fréquence et l'intensité :

La tonotopie fréquentielle : la membrane basilaire est déformée à des endroits différents en fonction de la fréquence du son stimulant. Cette représentation tonotopique des sons est conservée à tous les étages du traitement sous-cortical et cortical du son. Cette résolution spatiale permet à l'homme de différencier deux sons qui diffèrent juste de quelques hertz et s'avère indispensable pour comprendre la parole dans le bruit (Govaerts, Daemers, Schauwers, De Benkelaer, Yperman, De Ceulaer, & Gillis, 2004).

Le codage de l'intensité : il commence au niveau de la cochlée, grâce aux cellules ciliées et continue à différents niveaux de traitement sous-corticaux et corticaux. Au niveau du cortex, il y a la présence d'une organisation spatiale en fonction de l'intensité sonore, avec des neurones répondant sélectivement à une intensité donnée.

(Gribebski, 1994 ; Romand, 1992 ; Menche, 2009)

---

## Annexe III : Le fonctionnement de la prothèse conventionnelle et de l'implant cochléaire

### 1. La prothèse conventionnelle

La prothèse conventionnelle est composée de trois parties (Grosbois & Le Pellec, 2006) : le capteur ou microphone, le système d'amplification et le transducteur.

Le capteur transforme les ondes sonores en tension électrique. Sa bande de fréquence est limitée à la zone de fréquences nécessaires à la compréhension de la parole, soit de 100 à 8000 Hz. Ensuite, le système d'amplification a pour rôle d'augmenter l'amplification pour des signaux faibles et de la diminuer pour les signaux plus forts. Enfin, le transducteur, appelé aussi écouteur ou vibreur, transforme le signal électrique en un signal acoustique.

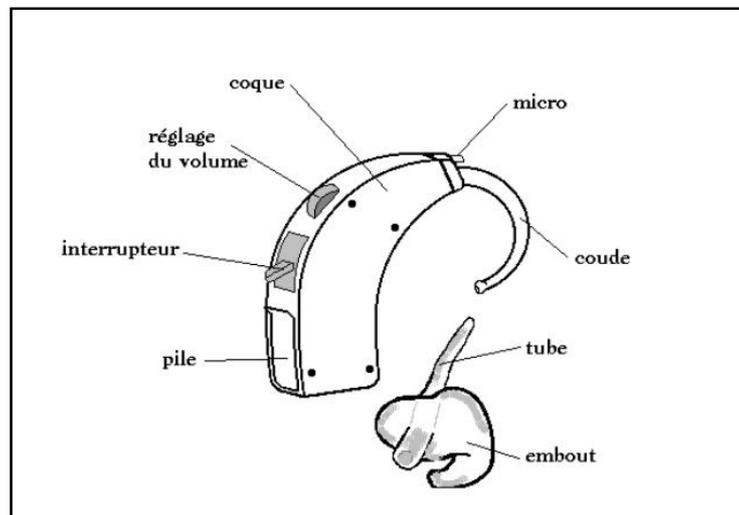


Figure 2 : Schéma de la prothèse conventionnelle (Association Coquelicot, 2004)

### 2. L'implant cochléaire

Comme le décrivent Truy et Lina-Granade (2003) et Loundon et al. (2009), l'implant cochléaire est composé de deux parties distinctes : la partie externe et la partie interne implantée.

- La partie externe est composée d'un microphone, d'un processeur vocal, d'une antenne de transmission émettrice externe, de connexions et d'un système d'alimentation énergétique.
- La partie interne est composée d'une antenne réceptrice placée sous la peau en arrière du pavillon, d'un récepteur stimulateur et d'un porte-électrodes contenant 16 à 24 électrodes en fonction du modèle de l'implant choisi.



*Figure 3: Schéma de l'implant cochléaire (CISIC, 2011)*

Le microphone capte les informations acoustiques environnantes (parole et bruits) et les transmet au processeur vocal. Le processeur vocal analyse ces informations et les transforme en un signal électrique qui va remplacer celui qui à l'origine est apporté par les cellules ciliées. Il effectue un codage électronique des fréquences, de l'intensité et du temps. Il contient également des unités de contrôle pour le volume et la sensibilité. Le processeur divise le signal d'entrée en bandes de fréquences qui correspondent au nombre d'électrodes de stimulation allant de 200 à 7500 Hz. Elles sont suffisantes pour balayer toutes les fréquences et respectent ainsi la tonotopie fréquentielle de la cochlée.

Par la suite, le processeur transmet à l'antenne émettrice externe porteuse d'un aimant, les impulsions analogiques ou digitales représentatives des différentes composantes du message vocal. Celle-ci est reliée à l'antenne réceptrice interne (placée sur la partie latérale de la tête en arrière et au-dessus du pavillon de l'oreille) par une force magnétique créée par l'aimant. Le signal électrique passe d'une antenne à l'autre à travers la peau.

Ensuite, c'est le récepteur stimulateur qui va traiter les informations avant de les envoyer à la cochlée par l'intermédiaire des électrodes contenues dans le porte-électrodes. Le premier relai ganglionnaire est ainsi stimulé par les électrodes au travers de la cochlée. Le signal est ensuite transmis au nerf auditif comme il l'est normalement et conduit via les voies auditives centrales jusqu'au cortex auditif où les informations sont traitées. Il y a donc réactivation des voies auditives centrales.

Dans les cas de la surdité profonde, l'oreille interne est atteinte et en particulier les cellules ciliées internes et externes de l'organe de Corti insérées sur la membrane basilaire (cf. annexe III). Un grand nombre de ces cellules ont disparu, mais les neurones du ganglion spinal de la cochlée sont toujours présents. Ils restent capables de répondre à des stimulations électriques et d'envoyer des courants électriques à travers le nerf auditif et les voies auditives centrales jusqu'au cortex auditif (Leybaert et al. 2007). L'implant cochléaire va stimuler directement les neurones du nerf auditif et combler ainsi le déficit en cellules ciliées.

## Annexe IV : Le corpus

Représentation des mots utilisés selon la position de la voyelle dans le mot et l'âge d'acquisition.

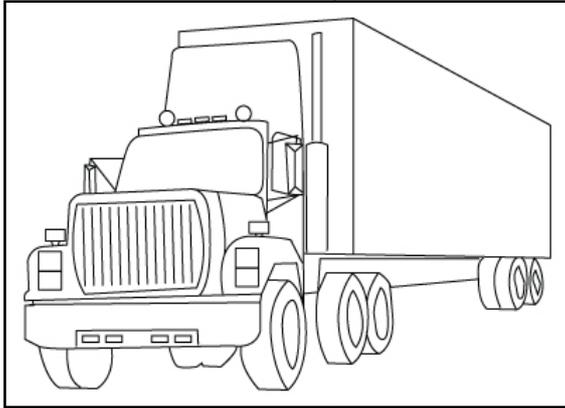
Ces mots ont été recherchés dans les bases de données Lexique 2 de New, Pallier, Brysbaert, et Ferrand (2004) et IFDC (Inventaires Français du Développement Communicatif) de Kern et Gayraud (2010).

	Initiales		Médianes		Finales	
	Mots	Âges d'acquisition (années)	Mots	Âges d'acquisition (années)	Mots	Âges d'acquisition (années)
<b>[i]</b>	hibou hibou hibou	2.48	biberon biberon guitare titi titi	<2  2.50	toupie fourmi titi titi outil outil outil	1.87 1.92
<b>[a]</b>	abeille ananas ananas	1.88 2.46	gâteau bateau maman banane canard camion ananas ananas papa papa	1.27 < 1 < 1 1.58 1.85 1.62	papa papa panda	< 1  2.96
<b>[u]</b>	outil outil outil		mouton bouton bouteille poupée nounours toupie couteau	1.65 1.85 1.92 1.23 < 1 1.65	hibou hibou hibou	

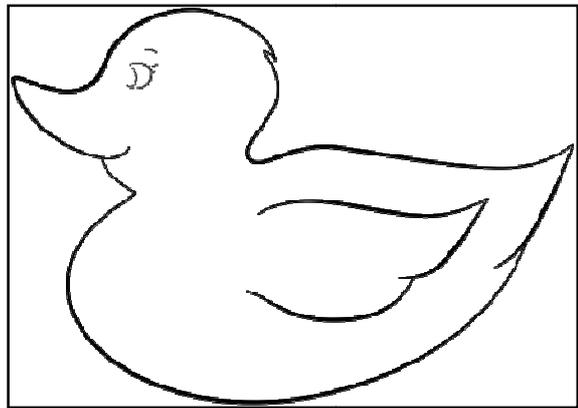
---

## Annexe V : Les images du corpus

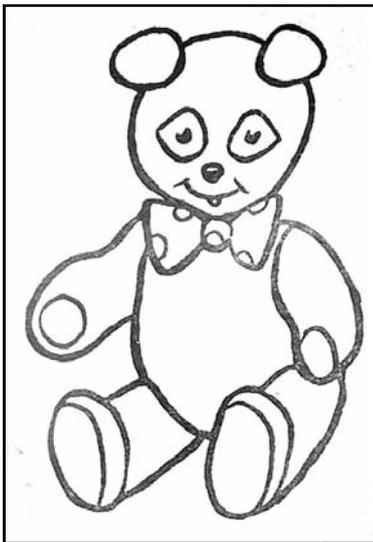
Exemples d'images utilisées pour le protocole. Ces images ont été recherchées sur Google Images.



Camion



Canard



Nounours



Panda

---

## **Annexe VI : La lettre et le questionnaire adressés aux parents**

### **1. La lettre**

Bonjour,

Nous sommes étudiantes en 3ème année à l'école d'orthophonie de Lyon et nous commençons cette année notre mémoire de recherche. Nous voulons étudier la qualité de la voix des enfants sourds profonds porteurs d'un implant cochléaire. Nous voulons évaluer l'impact de l'âge d'implantation et de la durée de l'expérience auditive avec l'implant sur la qualité de la voix chez ces enfants.

Pour cela, nous souhaitons réaliser un enregistrement audio et vidéo des productions de votre enfant, afin de les analyser plus précisément. L'enregistrement aura lieu au Pavillon U de l'Hôpital Edouard Herriot. Il dure 10 minutes maximum et se présente sous la forme d'images à dénommer par l'enfant.

Les résultats seront évalués statistiquement sur un échantillon d'une quinzaine d'enfants et ils seront publiés dans notre mémoire de recherche.

Nous vous remercions pour votre participation à l'élaboration de notre mémoire et nous restons à votre disposition si vous souhaitez plus d'informations.

Pauline ROUCOULT et Sophie DARAN

---

## 2. Le questionnaire

### Nom et prénom de votre enfant :

### Situation familiale :

- Votre enfant vit-il avec ses deux parents ? Avec son père ? Avec sa mère ?
- Votre enfant a-t-il des frères et sœurs ?

Si oui : combien ? Quels âges ?

- Quelle(s) langue(s) est (sont) parlée(s) à la maison ? Par qui ?

### Scolarisation :

- Où est-il scolarisé ? Dans quelle classe ?

### Communication :

- Quel mode de communication votre enfant utilise- t- il ? (ex : LPC, LSF, Oral...)
  - Avec son père ?
  - Avec sa mère ?
  - Ses frères et sœurs ?
  - Dans ses activités de loisir ?
  - A l'école ?
- Utilise - t- il le LPC ? La LSF ? Le français oral ?

Si oui avec qui ? Depuis combien de temps ?

- Au sein de la famille, il y a-t-il d'autres personnes sourdes avec qui il communique?

Si oui : qui ?

---

**La prise en charge AVANT l'implantation :**

- A quel âge votre enfant a-t-il été diagnostiqué sourd ?

- A-t-il porté un appareil avant l'implantation ?                    oui            non

Si oui : à quel âge ?

- A-t-il suivi une prise en charge orthophonique ?            oui            non

Si oui : quand a-t-elle démarré ? A quelle fréquence ? (ex : 2 fois par semaine)

- Dans quel cadre votre enfant a-t-il bénéficié de cette prise en charge ?

Chez une orthophoniste en cabinet libéral :                    oui            non

Avec une orthophoniste au sein du CAMSP :                    oui            non

Avec une orthophoniste dans un service hospitalier :            oui            non

Avec un enseignant dans un institut de jeunes sourds :            oui            non

Autres.....

**La prise en charge APRES l'implantation :**

- Suit-il une prise en charge orthophonique ?            oui            non

Si oui : quand a-t-elle démarré ? A quelle fréquence ? (ex : 2 fois par semaine)

- Dans quel cadre votre enfant bénéficie-t-il de cette prise en charge ?

Chez une orthophoniste en libéral :                    oui            non

Avec une orthophoniste au sein du CAMSP :                    oui            non

Avec une orthophoniste dans un service hospitalier :            oui            non

Avec un enseignant dans un institut de jeunes sourds            oui            non

Autres.....

Merci pour votre participation.

---

## **Annexe VII : Le paramétrage de PRAAT®**

Pour élaborer ce paramétrage, Canault s'est appuyée sur le guide d'utilisation proposé par Sidney Wood.

Voici les paramètres modifiés dans le menu « formant » sous Formant setting et leurs nouvelles valeurs :

- Nombre de formants (number of formants) : 5
- La fréquence formantique maximale (maximum formant) : 8000 Hz
- La taille de la fenêtre (window length) : 0.04s.
- Le paramètre Dynamic range : 20 dB
- La taille des points (dot size) : 1 mm

---

**Annexe VIII : Les tableaux d'exemple des valeurs de F0, F1 et F2 relevées avec le logiciel Praat®**

**1. Tableau 1 : exemple de relevés de F0 pour un enfant**

<b>Mots obtenus (mots cibles)</b>	<b>Fréquences (Hz)</b>
bibiron (biberon)	283
bibiron (biberon)	258
bibi (biberon)	238
biréon (biberon)	250
bouti (outil)	262
bouti (outils)	250
formi (fourmi)	246
guitare	228
hibou	230
hibou	278
titi	252
abeille	229
ananas	253
ananas	237
banane	249
bateau	250
camion	239
canard	229
maman	233
panda	233
papa	214
papa	235
bouteille	241
bouton	263
bouton	248
couteau	262
mouton	260
nounours	252
poupée	244
toupie	266
guiateau (gâteau)	255
toupie	245
<b>Moyenne totale des F0 (Hz):</b>	<b>247,25</b>
<b>Ecart-type:</b>	<b>15,03973232</b>
<b>Nombre total de mots:</b>	<b>32</b>

2. **Tableau 2 : exemples de relevés des formants F1 et F2 de [u] pour un enfant**

Position de la voyelle dans le mot	Mots obtenus (mots cibles)	F1 (Hz)	F2 (Hz)
initiale (0 mot)		/	/
médiante (11 mots)	bouteille	383	948
	bouti (outil)	341	680
	bouti (outils)	317	729
	bouti (outils)	327	722
	bouton	369	736
	bouton	285	694
	couteau	341	722
	mouton	285	694
	poupée	341	877
	toupie	313	680
	toupie	341	717
	Moyennes (Hz)	331,18182	745,36364
finale (3 mots)	hibou	341	1018
	hibou	271	782
	hibou	299	651
	Moyennes (Hz)	285	716,5
Nombre total de mots: 14			
Moyennes totales de F1 et F2 (Hz)		325,28571	760,71429
Ecart-types de F1 et F2		32,32391	109,45349

## Annexe IX : Les tableaux des données brutes des moyennes et des écart-types

### 1. Tableau 1 : Les moyennes

Enfan ts	F0		F1						F2 (Hz)						AVS (Hz)
	occurren ces	Moyennes (Hz)	[i]		[a]		[u]		[i]		[a]		[u]		
			occurren ces	Moyennes (Hz)											
B.G	45	285	2	362	13	534	8	366	2	3391	13	1266	8	1044	1585
L.A	40	342	10	436	15	914	9	460	10	3331	15	2282	9	1455	1324
L.L	33	246	18	306	16	825	14	325	18	3341	16	2210	14	761	1785
J.A	69	285	22	360	24	976	9	336	22	3134	24	2127	9	763	1686
R.F	26	312	3	383	10	871	0	////	3	2563	10	1655	0	////	////
A.C	25	294	5	374	0	////	8	442	5	3448	0	////	8	1698	////
C.T	36	283	13	287	16	884	11	362	13	3279	16	1881	11	1250	1456
S.O	38	259	4	329	13	920	8	415	4	3141	13	2208	8	1037	1495
T.Q	24	312	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	////
J.M	31	266	10	342	17	1040	11	364	10	3081	17	2161	11	1238	1380
P.B	29	276	6	445	12	1128	5	499	6	2975	12	2014	5	1250	1298
M.R	30	235	7	407	16	778	12	447	7	3343	16	1959	12	1502	1279
M.O	43	267	14	335	18	718	14	508	14	3229	18	1937	14	1480	1202
Z.N	14	289	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	////

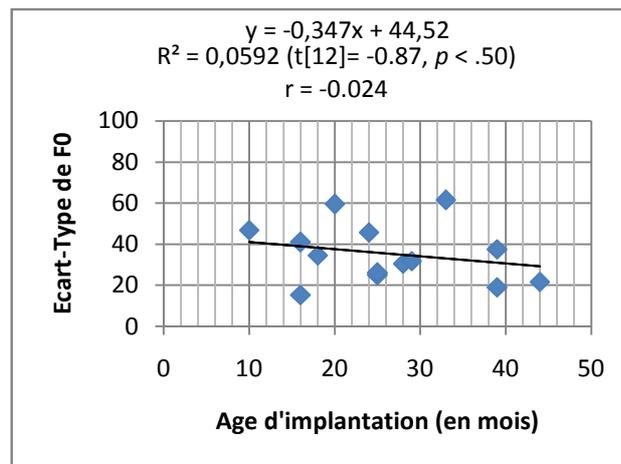
## 2. Tableau 2 : Les écart-types

Enfants	F0		F1						F2					
	occurrences	Ecart-types (Hz)	[i]		[a]		[u]		[i]		[a]		[u]	
			occurrences	Ecart-types (Hz)										
B.G	45	46,8	2	116,7	13	435,5	8	34,7	2	251,7	13	545,4	8	419,5
L.A	40	41	10	69,4	15	175	9	91,4	10	210,2	15	390,9	9	282,4
L.L	33	15,3	18	37,8	16	158	14	32,3	18	229	16	398,3	14	109,4
J.A	69	34,6	22	70,7	24	146,8	9	33,3	22	104,5	24		9	212,7
R.F	26	59,5	3	91,4	10	128,9	0	////	3	342,1	10	396,5	0	////
A.C	25	45,8	5	52,5	0	////	8	102,9	5	241	0	////	8	233,5
C.T	36	25	13	16,9	16	289,4	11	44,6	13	222,5	16	314,1	11	316,6
S.O	38	26,1	4	12,5	13	140,8	8	122,3	4	123,5	13	343,6	8	381,3
T.Q	24	30,5	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////
J.M	31	31,8	10	59,7	17	241,4	11	103,8	10	360,7	17	377,7	11	162,8
P.B	29	61,5	6	93,1	12	149,8	5	111,4	6	391,7	12	270,8	5	284,7
M.R	30	19	7	54,4	16	335,2	12	94,8	7	234,2	16	408,1	12	247,9
M.O	43	37,5	14	52,3	18	118,3	14	111,4	14	201,9	18	229,7	14	317,6
Z.N	14	21,7	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////	0	////

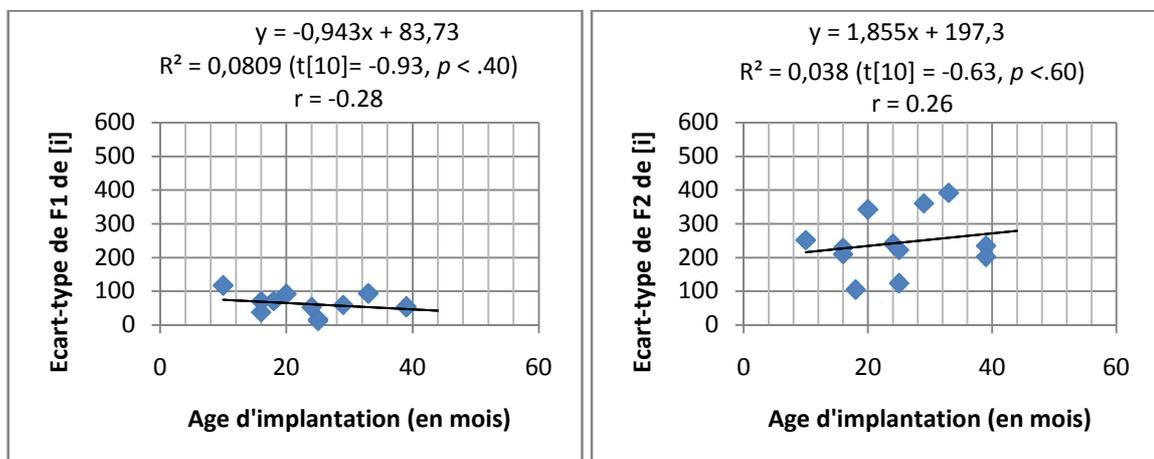
---

## Annexe X : L'analyse de corrélation des écart-types

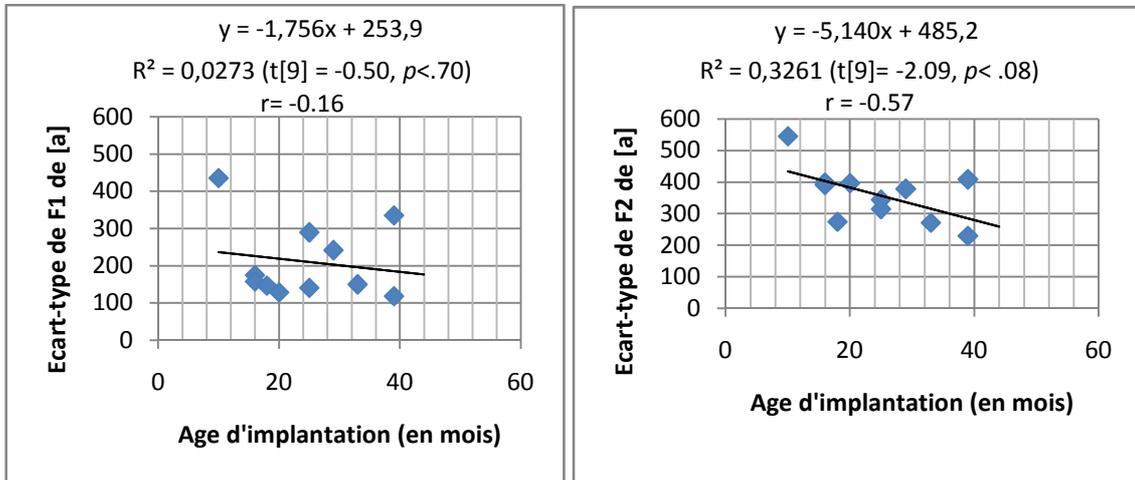
1. **Graphique 1 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).**



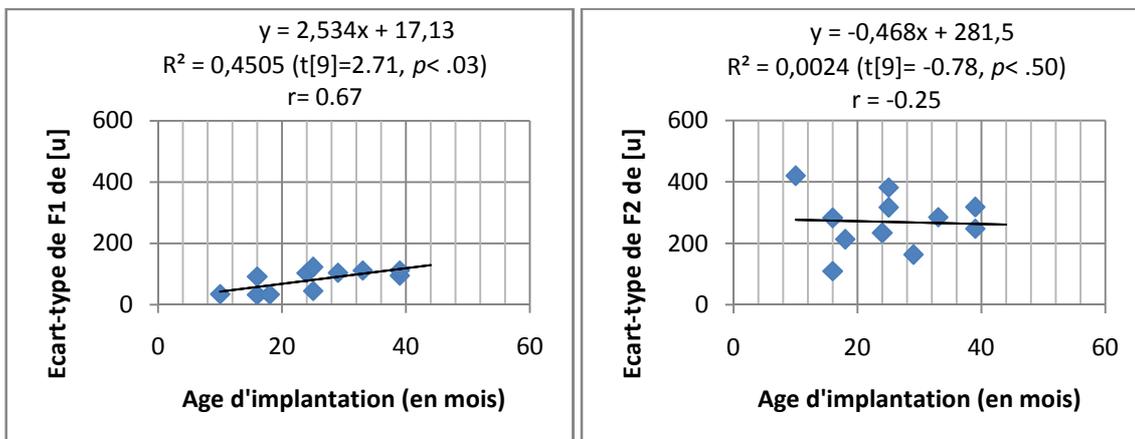
2. **Graphiques 2 et 3 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).**



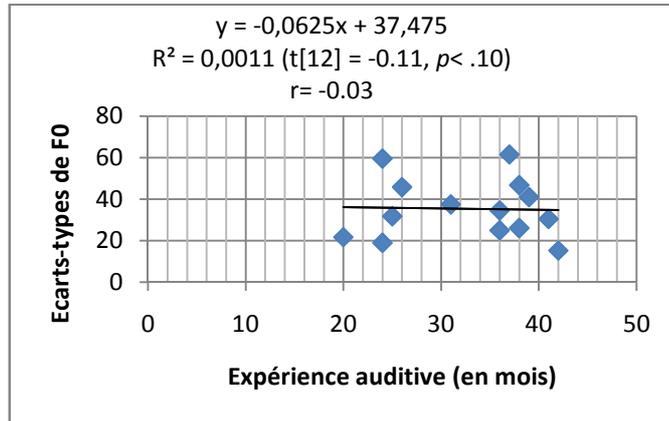
3. Graphiques 4 et 5 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).



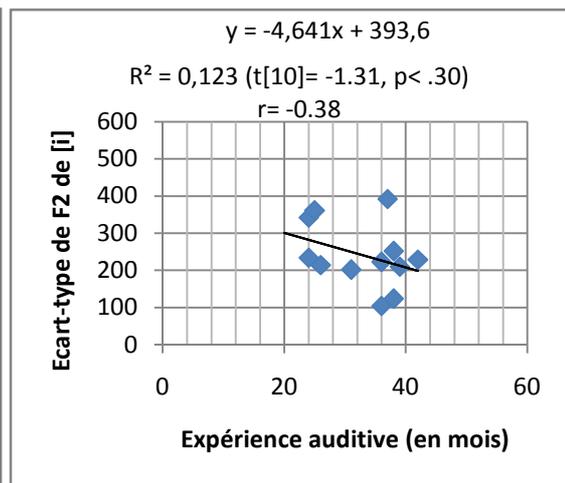
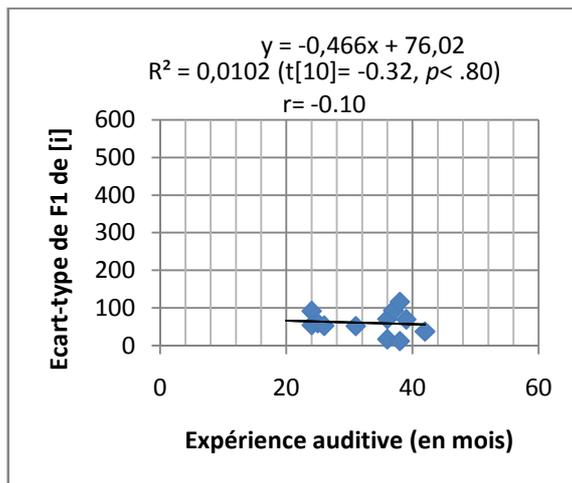
4. Graphiques 6 et 7 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).



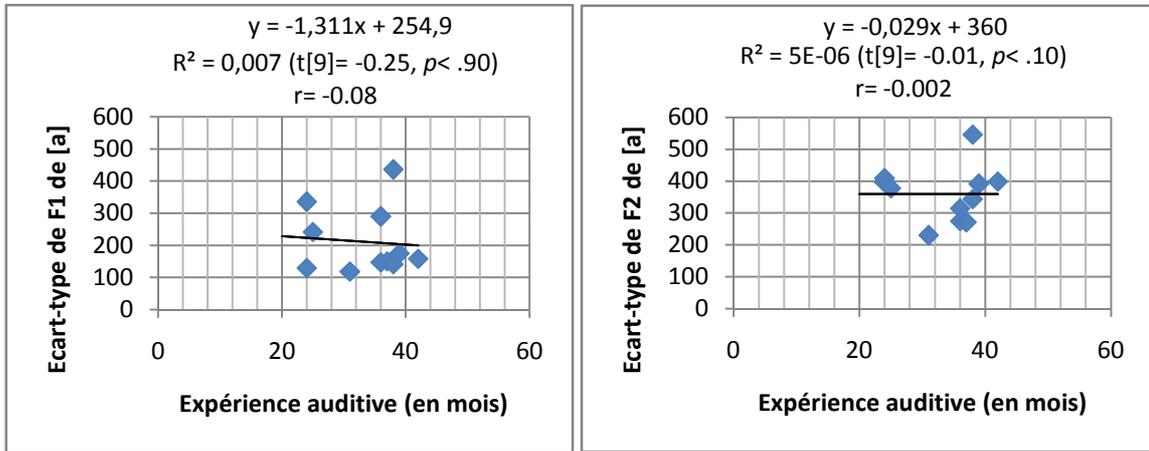
5. **Graphique 8 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).**



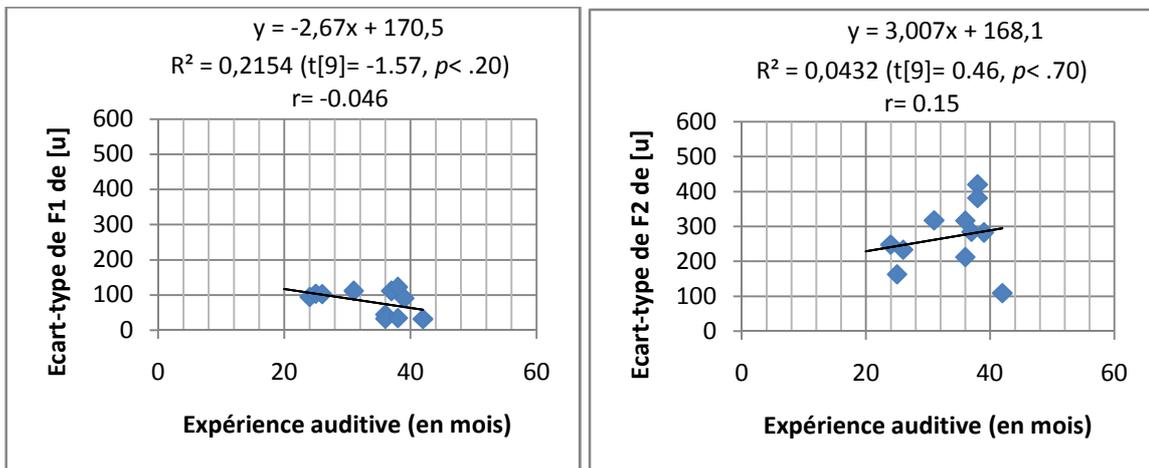
6. **Graphiques 9 et 10 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).**



7. Graphiques 11 et 12 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).



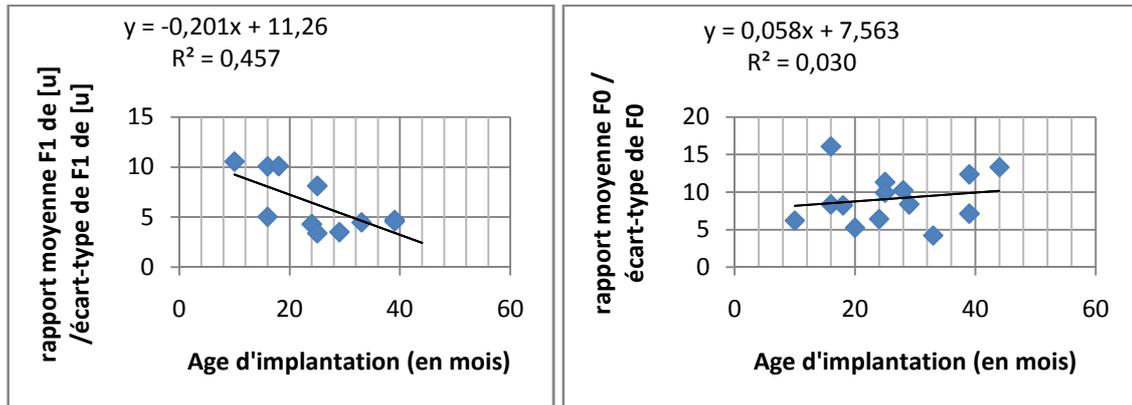
8. Graphiques 13 et 14 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).



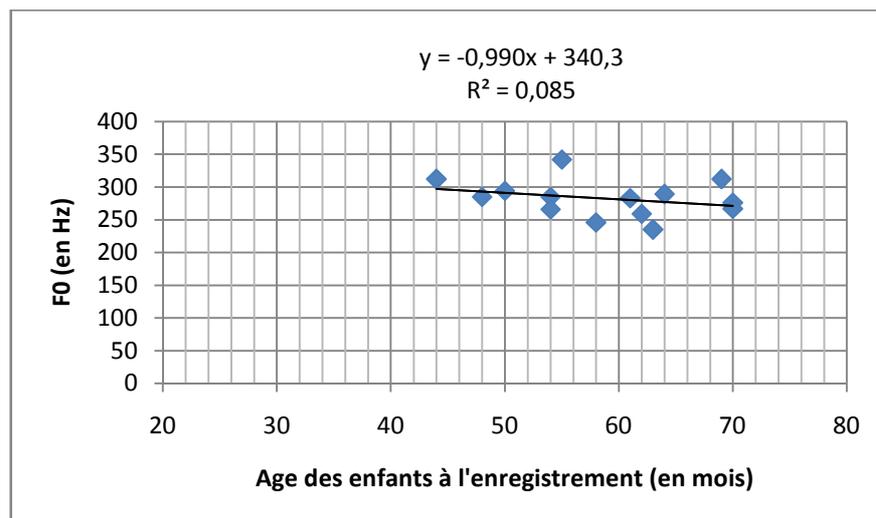
---

## Annexe XI : Graphiques rapport moyennes / écarts-types de F0 et de F1 de [u], et F0 en fonction de l'âge des enfants au moment de l'enregistrement

### 1. Graphiques rapport moyennes / écarts-types de F0 et de F1 de [u]



### 2. F0 (Hz) en fonction de l'âge des enfants au moment de l'enregistrement (mois)



## Annexes des versos

### 1. Verso de la page 15

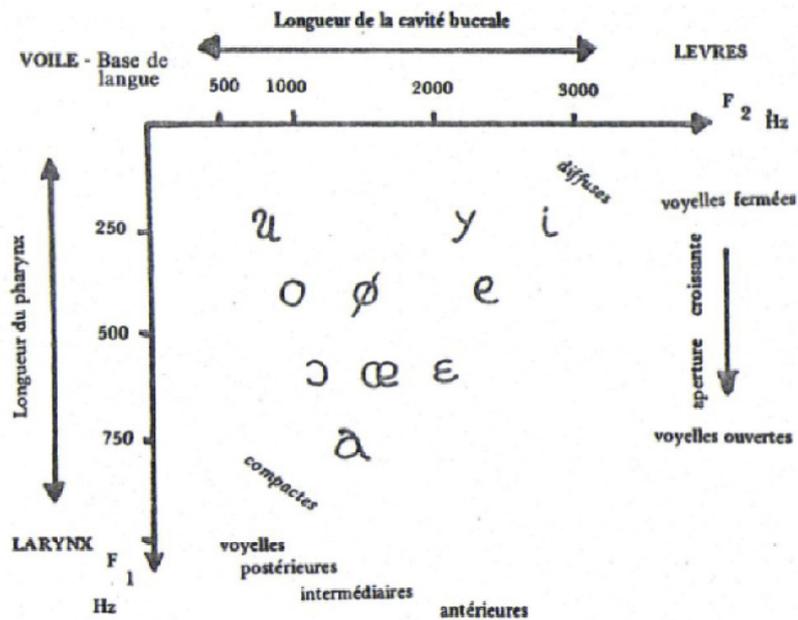


Figure 1 : Le triangle vocalique et le triangle articulaire (J.C., Lafon, 1961, cité par Cornut, 2009)

---

2. Verso de la page 16

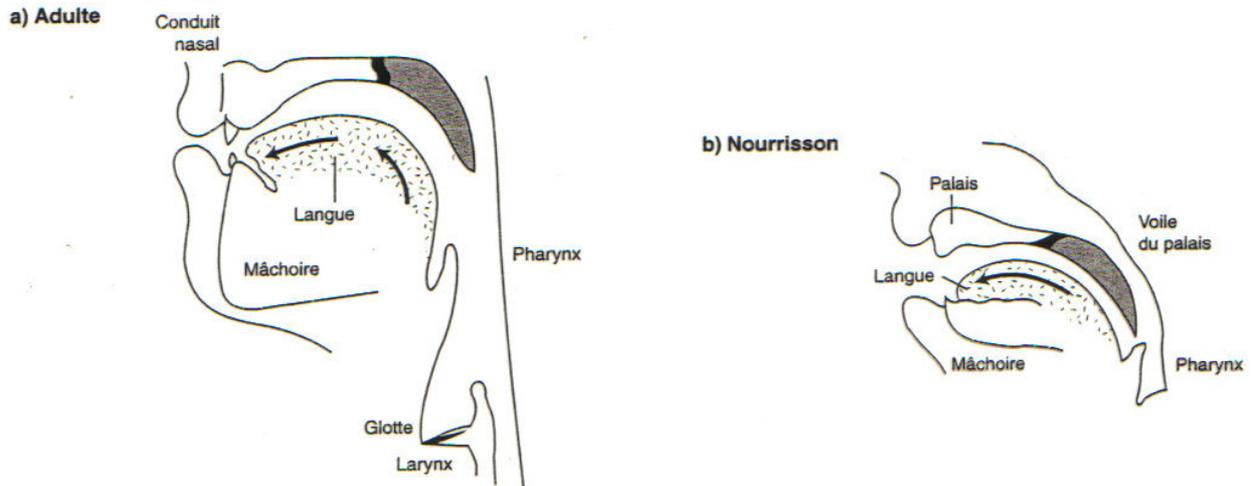


Figure 2 : Schémas du conduit vocal de l'adulte (a) et du nourrisson (b) (Boysson-Bardies, 2010)

---

3. Verso de la page 24

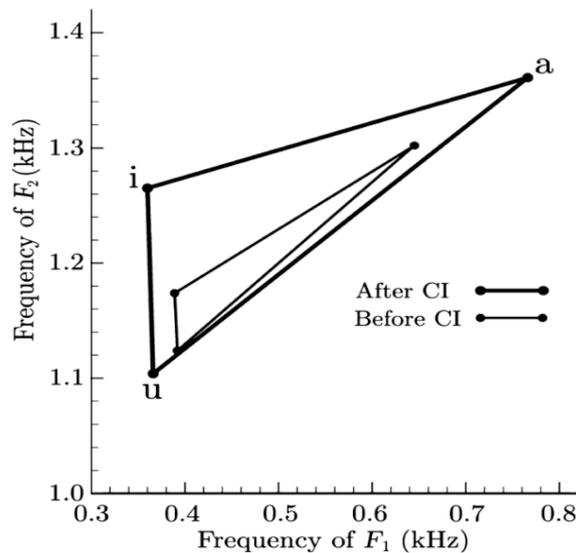


Figure 5 : Le triangle vocalique avant implantation et à six mois post-implantation de 13 enfants, âgés de 2 à 13 ans, ayant une surdité profonde pré-linguale, (Hocevar-Boltezar et al., 2008).

---

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

### Les figures

Figure 1 : Le triangle vocalique et le triangle articulatoire (J.C., Lafon, 1961, cité par Cornut, 2009).....	16
Figure 2 : Schémas du conduit vocal de l'adulte (a) et du nourrisson (b) (Boysson-Bardies, 2010).....	17
Figure 3 : Le triangle vocalique de l'enfant entendant d'après les données de Peterson et Barney (rapportées par Kent, 1992).....	18
Figure 4 : Le triangle vocalique de 13 enfants sourds profonds prélinguaux âgés de 2 à 13 ans (Hocevar-Boltezar et al., 2008).....	19
Figure 5 : Le triangle vocalique avant implantation et à six mois post-implantation de 13 enfants, âgés de 2 à 13 ans, ayant une surdité profonde pré-linguale, (Hocevar-Boltezar et al., 2008).....	25
Figure 6 : Capture d'écran du logiciel Praat® : relevé de formant de la voyelle [i] du segment « guitare ».....	38
Figure 7: Représentation du F0 moyen (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	44
Figure 8 : Représentation du F1 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	45
Figure 9 : Représentation du F2 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	46
Figure 10: Représentation du F1 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	46
Figure 11 : Représentation du F2 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	47
Figure 12 : Représentation du F1 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	47
Figure 13 : Représentation du F2 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	48
Figure 14 : Représentation de l'AVS (Hz) de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois).....	49

---

Figure 15 : Représentation du F0 moyen (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	50
Figure 16 : Représentation du F1 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	51
Figure 17 : Représentation du F2 moyen de [i] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	52
Figure 18: Représentation du F1 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	52
Figure 19: Représentation du F2 moyen de [a] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive.....	53
Figure 20 : Représentation du F1 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive.....	53
Figure 21 : Représentation du F2 moyen de [u] (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive.....	54
Figure 22 : Représentation de l'AVS (Hz) de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois).....	54
Figure 23 : Longueur du conduit vocal en fonction de l'âge et du sexe (selon GOLDSTEIN (1980) et FITCH ET GIEDD (1999), cité par Ménard, 2002) .....	61
Figure 24 : Evolution de F0 en fonction de la croissance du conduit vocale (Beck, 1996, cité par Ménard).....	61

## **Les tableaux**

Tableau 1: Liste des enfants ayant été retenus.....	32
Tableau 2 : Fiabilité de l'analyse des données.....	3

---

## TABLE DES MATIERES

---

<b>ORGANIGRAMMES</b> .....	<b>2</b>
1. <i>Université Claude Bernard Lyon1</i> .....	2
1.1 Secteur Santé : .....	2
1.2 Secteur Sciences et Technologies : .....	2
2. <i>Institut Sciences et Techniques de Réadaptation FORMATION ORTHOPHONIE</i> .....	3
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
<b>PARTIE THEORIQUE</b> .....	<b>10</b>
I. LA SURDITE .....	11
1. <i>Les généralités de la surdité</i> .....	11
1.1. Définition et épidémiologie de la déficience auditive .....	11
1.2. La classification de la surdité en fonction de son moment d'apparition.....	11
1.3. La classification audiométrique de la surdité .....	12
2. <i>Les conséquences de la surdité profonde congénitale</i> .....	13
2.1. Les conséquences de la surdité profonde congénitale sur l'audition.....	13
2.2. Les conséquences de la surdité profonde congénitale sur le développement du langage et de la communication .....	13
II. LA VOIX.....	14
1. <i>La définition de la voix : les 3 étages qui la constituent</i> .....	15
2. <i>Les principaux paramètres de la voix</i> .....	15

3.	<i>La voix et les valeurs formantiques de l'enfant entendant</i> .....	16
4.	<i>La voix et les valeurs formantiques de l'enfant sourd profond appareillé</i> .....	18
III.	LA PROTHESE ACOUSTIQUE AMPLIFICATRICE NUMERIQUE EXTERNE .....	19
1.	<i>Le rôle de la prothèse conventionnelle</i> .....	19
2.	<i>Les conséquences du port de la prothèse sur l'audition, la compréhension et le développement du langage et de la communication</i> .....	20
IV.	L'IMPLANT COCHLEAIRE.....	21
1.	<i>Les généralités sur l'implant cochléaire</i> .....	21
1.1.	L'histoire de l'implantation cochléaire.....	21
1.2.	Les indications de l'implant cochléaire.....	21
1.3.	Les avantages de l'implant cochléaire par rapport à la prothèse classique.....	22
2.	<i>Le choix d'une implantation précoce</i> .....	22
2.1.	Le constat d'une implantation de plus en plus tôt chez les enfants .....	22
2.2.	Les raisons d'une implantation très précoce sont liées à la notion de période critique .....	22
3.	<i>Les conséquences d'une implantation précoce</i> .....	23
3.1.	Les conséquences de l'implant cochléaire sur l'audition .....	23
3.2.	Les conséquences de l'implant cochléaire sur la parole et l'articulation.....	24
3.3.	Les conséquences de l'implant cochléaire sur le langage .....	24
3.4.	Les conséquences de l'implant cochléaire sur la voix et les valeurs formantiques .....	25
	<b>PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES</b> .....	<b>26</b>
I.	PROBLEMATIQUE.....	27
II.	HYPOTHESE GENERALE.....	27
III.	HYPOTHESES OPERATIONNELLES.....	27
1.	<i>Concernant l'âge d'implantation</i> .....	27
2.	<i>Concernant la durée de l'expérience auditive</i> .....	28
3.	<i>Concernant l'âge d'implantation et l'expérience auditive</i> .....	28
	<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b> .....	<b>29</b>
I.	LA POPULATION.....	30
1.	<i>Les critères d'inclusion</i> .....	30
2.	<i>Les critères d'exclusion</i> .....	30
3.	<i>Les critères d'exclusion n'ayant pas pu être respectés</i> .....	31
4.	<i>Effectif et taille de l'échantillon</i> .....	31
II.	LE PROTOCOLE .....	32
1.	<i>Le choix du corpus</i> .....	33
1.1.	Les objectifs.....	33
1.2.	Le contrôle du matériel acoustique .....	33
1.2.1.	La place des voyelles dans le mot.....	33
1.2.2.	L'environnement consonantique.....	34
1.2.3.	L'âge d'acquisition des mots .....	34
1.3.	Le choix des mots .....	34
2.	<i>Le recueil des données</i> .....	35
2.1.	Le matériel d'enregistrement .....	35
2.2.	Le contexte expérimental .....	35
2.3.	La passation .....	35
3.	<i>L'analyse des données</i> .....	36
3.1.	Le paramétrage de Praat ®.....	36
3.2.	L'intensité.....	37
3.3.	La fréquence fondamentale (F0).....	37
3.4.	Les formants .....	37
3.5.	La fiabilité de nos résultats .....	38
III.	LA DESCRIPTION DE L'ANALYSE STATISTIQUE DE NOS RESULTATS .....	39
1.	<i>Le calcul des moyennes et des écarts-types et le tracé des triangles vocaliques</i> .....	39
2.	<i>La réalisation des courbes de tendance et le test de corrélation linéaire</i> .....	41
2.1.	La méthodologie .....	41
2.2.	Les courbes réalisées en fonction de l'âge d'implantation.....	41
2.3.	Les courbes réalisées en fonction de l'expérience auditive.....	42
3.	<i>L'analyse de régression linéaire multi-variée</i> .....	42
	<b>PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....	<b>43</b>
I.	L'INFLUENCE DE L'AGE D'IMPLANTATION SUR LES PARAMETRES VOCAUX .....	44
1.	<i>Influence de l'âge d'implantation sur la fréquence fondamentale (F0)</i> .....	44

2.	<i>Influence de l'âge d'implantation sur les formants F1 et F2</i> .....	45
2.1.	F1 et F2 de [i] .....	45
2.2.	F1 et F2 de [a].....	46
2.3.	F1 et F2 de [u].....	47
3.	<i>Influence de l'âge d'implantation sur l'AVS</i> .....	49
4.	<i>En résumé</i> .....	50
II.	L'INFLUENCE DE L'EXPERIENCE AUDITIVE SUR LES PARAMETRES VOCAUX.....	50
1.	<i>Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale (F0)</i> .....	50
2.	<i>Influence de l'expérience auditive sur les formants F1 et F2</i> .....	51
2.1.	F1 et F2 de [i] .....	51
2.2.	F1 et F2 de [a].....	52
2.3.	F1 et F2 de [u].....	53
3.	<i>L'AVS</i> .....	54
4.	<i>En résumé</i> .....	55
III.	MISE EN CORRELATION DES DEUX VARIABLES INDEPENDANTES, AGE D'IMPLANTATION ET EXPERIENCE AUDITIVE, SUR LES PARAMETRES VOCAUX.....	55
1.	<i>Impact des deux variables sur la fréquence fondamentale (F0)</i> .....	56
2.	<i>Impact des deux variables sur les formants F1 et F2 de la voyelle [u]</i> .....	56
3.	<i>Impact des deux variables sur l'AVS</i> .....	57
4.	<i>En résumé</i> .....	57
	<b>DISCUSSION DES RESULTATS</b> .....	<b>58</b>
I.	RAPPEL DE NOTRE SUJET ET DE NOS HYPOTHESES .....	59
II.	LA PLASTICITE CEREBRALE, UN ELEMENT PRIMORDIAL DANS LE DEVELOPPEMENT VOCAL ET ARTICULATOIRE POST-IMPLANTATION .....	60
1.	<i>Influence d'une implantation précoce sur la fréquence fondamentale (F0) et sa variabilité</i> ....	60
2.	<i>Influence d'une implantation précoce sur les formants de la voyelle cardinale [u] et leur variabilité</i> .....	62
2.1.	Le F1 de [u] et ses variations .....	62
2.2.	Le F2 de [u] et ses variations .....	63
3.	<i>Influence d'une implantation précoce sur l'étendue vocale (ou l'AVS)</i> .....	64
4.	<i>Validation de nos hypothèses</i> .....	64
III.	L'APPRENTISSAGE AUDITIF POST-IMPLANTATION, UN FACTEUR ESSENTIEL POUR LE DEVELOPPEMENT DE LA VOIX ET DU CONTROLE ARTICULATOIRE.....	65
1.	<i>Influence de l'expérience auditive sur la fréquence fondamentale</i> .....	65
2.	<i>Influence de l'expérience auditive sur le F2 de la voyelle [u]</i> .....	66
3.	<i>Influence de l'expérience auditive sur l'étendue vocale (ou l'AVS)</i> .....	66
4.	<i>Validation de nos hypothèses</i> .....	67
IV.	L'IMPLANTATION PRECOCE, UNE CONDITION PREALABLE A UN APPRENTISSAGE OPTIMAL .....	67
V.	LIMITES ET OUVERTURES POSSIBLES DE NOTRE ETUDE.....	68
1.	<i>Les limites de notre étude</i> .....	68
1.1.	Une population discutable à différents points de vue.....	68
1.2.	Un protocole contraint .....	70
2.	<i>Possibles approfondissements du sujet</i> .....	70
VI.	APPORTS PERSONNELS DE NOTRE TRAVAIL POUR NOTRE FUTURE PRATIQUE CLINIQUE.....	71
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>73</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>74</b>
	OUVRAGES : .....	74
	SITES INTERNET : .....	79
	<b>ANNEXES</b> .....	<b>80</b>
	ANNEXE I : LE DESCRIPTIF DE LA CLASSIFICATION AUDIOMETRIQUE DE LA SURDITE (BIAP, 1997).....	81
1.	<i>La surdité légère</i> .....	81
2.	<i>La surdité moyenne</i> .....	81
3.	<i>La surdité sévère</i> .....	81
4.	<i>La surdité profonde</i> .....	81
	ANNEXE II : LE FONCTIONNEMENT DE LA COCHLEE .....	82
	ANNEXE III : LE FONCTIONNEMENT DE LA PROTHESE CONVENTIONNELLE ET DE L'IMPLANT COCHLEAIRE.....	83
1.	<i>La prothèse conventionnelle</i> .....	83

2. <i>L'implant cochléaire</i> .....	83
ANNEXE IV : LE CORPUS.....	85
ANNEXE V : LES IMAGES DU CORPUS.....	86
ANNEXE VI : LA LETTRE ET LE QUESTIONNAIRE ADRESSES AUX PARENTS.....	87
1. <i>La lettre</i> .....	87
2. <i>Le questionnaire</i> .....	88
ANNEXE VII : LE PARAMETRAGE DE PRAAT®.....	90
ANNEXE VIII : LES TABLEAUX D'EXEMPLE DES VALEURS DE F0, F1 ET F2 RELEVÉES AVEC LE LOGICIEL PRAAT®.....	91
1. <i>Tableau 1 : exemple de relevés de F0 pour un enfant</i> .....	91
2. <i>Tableau 2 : exemples de relevés des formants F1 et F2 de [u] pour un enfant</i> .....	92
ANNEXE IX : LES TABLEAUX DES DONNÉES BRUTES DES MOYENNES ET DES ECART-TYPES.....	93
1. <i>Tableau 1 : Les moyennes</i> .....	93
2. <i>Tableau 2 : Les écart-types</i> .....	94
ANNEXE X : L'ANALYSE DE CORRELATION DES ECART-TYPES.....	95
1. <i>Graphique 1 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois)</i> .....	95
2. <i>Graphiques 2 et 3 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois)</i> .....	95
3. <i>Graphiques 4 et 5 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois)</i> .....	96
4. <i>Graphiques 6 et 7 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'âge d'implantation (mois)</i> .....	96
5. <i>Graphique 8 : Représentation des variations de F0 de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois)</i> .....	97
6. <i>Graphiques 9 et 10 : Représentation des variations de F1 de [i] et de F2 de [i] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois)</i> .....	97
7. <i>Graphiques 11 et 12 : Représentation des variations de F1 de [a] et de F2 de [a] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois)</i> .....	98
8. <i>Graphiques 13 et 14 : Représentation des variations de F1 de [u] et de F2 de [u] de chaque enfant en fonction de l'expérience auditive (mois)</i> .....	98
ANNEXE XI : GRAPHIQUES RAPPORT MOYENNES / ECARTS-TYPES DE F0 ET DE F1 DE [U], ET F0 EN FONCTION DE L'AGE DES ENFANTS AU MOMENT DE L'ENREGISTREMENT.....	99
1. <i>Graphiques rapport moyennes / écarts-types de F0 et de F1 de [u]</i> .....	99
2. <i>F0 (Hz) en fonction de l'âge des enfants au moment de l'enregistrement (mois)</i> .....	99
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>102</b>
LES FIGURES.....	102
LES TABLEAUX.....	103
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>100</b>

---

Sophie Daran  
Pauline Roucoult

**LA VOIX ET LES FORMANTS DES VOYELLES CARDINALES DE L'ENFANT  
SOURD PROFOND CONGENITAL IMPLANTE COCHLEAIRE: Impact de l'âge  
d'implantation et de l'expérience auditive**

105 Pages

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2010

---

**RESUME**

---

La surdité est le handicap sensoriel le plus fréquent chez l'enfant. Nous savons qu'un enfant sourd grandit et se développe différemment d'un enfant normo-entendant, tant au niveau psychomoteur qu'au niveau du langage et de la communication. La surdité d'un enfant implanté cochléaire peut passer inaperçue dans un environnement suffisamment stimulant, cependant sa voix, par ses caractéristiques particulières, nous interpelle systématiquement. Chaque enfant sourd possède sa propre histoire, quant à l'âge du diagnostic et de la pose de l'implant cochléaire. Il nous a donc semblé intéressant d'étudier l'impact de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive post-implantation sur la voix de l'enfant sourd profond congénital implanté.

Notre mémoire a pour objectif d'étudier les paramètres de la voix que sont la fréquence fondamentale (F0), les formants (F1 et F2) des voyelles cardinales [i], [a] et [u] et l'étendue vocale en situation de parole en fonction de l'âge d'implantation et de l'expérience auditive post-implantation. Ceci afin de déterminer si la précocité de l'implantation et la durée de l'expérience auditive ont un effet bénéfique sur les paramètres vocaux : rapprochement de la norme des enfants entendants, diminution de la variabilité...De plus, nous nous demandons si la précocité de l'implantation joue un rôle plus important que l'expérience auditive.

Dans ce but, nous procédons à l'enregistrement audio de 14 enfants sourds profonds congénitaux implantés cochléaires, puis nous analysons chacun des paramètres en fonction de l'âge d'implantation puis de l'expérience auditive post-implantation.

Les résultats nous montrent que plus un enfant a été implanté précocement et possède une expérience auditive importante, plus sa voix se normalise. De plus, nous constatons que l'âge d'implantation a un impact plus important que l'expérience auditive sur les paramètres vocaux.

---

**MOTS-CLES**

---

Surdité profonde congénitale, implant cochléaire, enfant, voix, fréquence fondamentale, formants, triangle vocalique, âge d'implantation, expérience auditive

---

**MEMBRES DU JURY**

---

COLIN Stéphanie, LINA-GRANADE Geneviève, OZIL Marie

---

**MAITRE DE MEMOIRE**

---

CANAULT Mélanie – TRUY Eric

---

**DATE DE SOUTENANCE**

---

30 JUIN 2011

---