



Mémoire de recherche  
Pour le Master 2 recherche Neuropsychologie

*Perception de la hauteur tonale par le patient implanté  
cochléaire : relation avec la perception de la prosodie  
linguistique*

Amandine Capber

Sous la direction du professeur Olivier Deguine

Et codirigé par Docteur Mathieu Marx

2010-2011



## Table des matières

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
1.1. LA HAUTEUR TONALE .....	6
1.1.1. <i>La hauteur tonale et la perception de la hauteur tonale dans la voix humaine</i> .....	6
1.1.2. <i>Codage tonotopique et temporel des sons</i> .....	7
1.1.2.1. <i>La perception de la hauteur tonale</i> .....	8
1.1.2.2. <i>Etudes de la perception de la hauteur tonale</i> .....	9
1.1.2.3. <i>Influence de l'âge des sujets sur les capacités de perception auditive</i> .....	10
1.1.3. <i>Substrats neuroanatomiques de la perception de la hauteur tonale et de la voix humaine</i> .....	10
1.2. LA PROSODIE .....	12
1.2.1. <i>Définition</i> .....	12
1.2.2. <i>Rôle de la hauteur tonale dans la perception de la prosodie</i> .....	13
1.3. LA PERCEPTION DE LA HAUTEUR TONALE ET DE LA PROSODIE CHEZ LE PATIENT IMPLANTE COCHLEAIRE.....	14
1.3.1 <i>Description</i> .....	14
1.3.2. <i>Traitement du son</i> .....	14
1.3.3. <i>Perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires</i> .....	16
1.3.4. <i>Influence de l'audition résiduelle sur les capacités perceptives des patients implantés cochléaires</i> .....	18
1.3.5. <i>Liens entre les données anamnestiques, la compréhension de la parole et la perception de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires</i> .....	19
1.4. BUT EXPERIMENTAL .....	20
<b>2. MATERIEL ET METHODE</b> .....	<b>21</b>
2.1. APPAREILLAGE ET STIMULI.....	21
2.1.1. <i>La perception de la hauteur tonale : seuil de discrimination</i> .....	21
2.1.2. <i>La perception de la prosodie : la discrimination question affirmation</i> .....	21
2.1.2.1. <i>Voix originale (original)</i> .....	22
2.1.2.2. <i>F0 constante (flat pitch)</i> .....	22
2.1.2.3. <i>Variation seule de F0 (Patel)</i> .....	22
2.1.3. <i>Procédure expérimentale et traitement des données</i> .....	22

2.2. SUJETS ET LIEU .....	23
2.2.1. Lieu.....	23
2.2.2. Le groupe de sujets normo-entendants (NHS) .....	23
2.2.3. Le groupe de patients implantés cochléaires .....	23
2.2.4. Le groupe de patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB) et sans audition résiduelle (CIS).....	24
<b>3. RESULTATS .....</b>	<b>24</b>
3.1. PERCEPTION DE LA HAUTEUR TONALE .....	24
3.1.1. Seuil de discrimination chez les sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes) ...	25
3.1.2. Seuil de discrimination chez sujets normo-entendants âgés (NHS âgés).....	25
3.1.3. Seuil de discrimination chez les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (CIS) .....	26
3.1.4. Seuil de discrimination chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB).....	27
3.1.5. Seuils de discrimination chez patients implantés cochléaires avec et sans audition résiduelle, des sujets normo-entendants jeunes et âgés .....	27
3.2. PERCEPTION DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE .....	28
3.2.1. Perception de la prosodie linguistique chez les sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes) .....	28
3.2.2. Perception de la prosodie chez les sujets normo-entendants âgés (NHS âgés).....	29
3.2.3. Perception de la prosodie linguistique chez les patients sans audition résiduelle (CIS).....	29
3.2.4. Perception de la prosodie linguistique chez les patients avec audition résiduelle (CIB).....	30
3.2.5. Perception de la prosodie linguistique chez les sujets normo-entendants jeunes, âgés et les patients implantés cochléaires.....	30
3.2.5.1. Test original .....	30
3.2.5.2. Test flat pitch.....	31
3.2.5.3. Test Patel.....	31
3.3. RELATION ENTRE LA PERCEPTION DE LA HAUTEUR TONALE ET DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE.....	32
3.4. RELATION ENTRE LES DONNEES ANAMNESTIQUES ET LA PERCEPTION DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE CHEZ LES PATIENTS IMPLANTES COCHLEAIRES .....	33

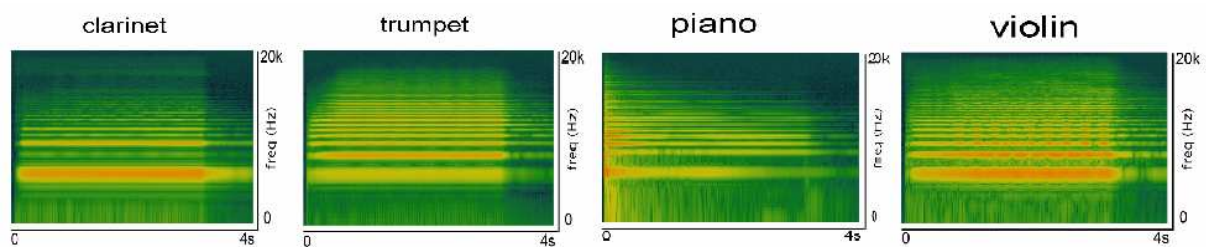
3.5. RELATION ENTRE LA PERCEPTION DE LA PAROLE ET LA PERCEPTION DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE CHEZ LES PATIENTS IMPLANTES COCHLEAIRES .....	33
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>34</b>
4.1. DEFICIT DE LA PERCEPTION DE LA HAUTEUR TONALE ET DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE CHEZ LES PATIENTS SOURDS IMPLANTES COCHLEAIRES .....	34
4.1.1. <i>La perception de la hauteur tonale chez les patients sourds implantés cochléaires</i> .....	35
4.1.2. <i>La perception de la prosodie linguistique chez les patients sourds implantés cochléaires</i> .....	35
4.1.3. <i>Relation entre la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique..</i>	36
4.1.4. <i>Limites et perspectives</i> .....	37
4.2. INFLUENCE DE LA PRESENCE D’AUDITION RESIDUELLE SUR LA PERCEPTION DES INFORMATIONS PROSODIQUES ET DE HAUTEURS TONALES .....	38
4.3. INFLUENCE DE L’AGE SUR LA PERCEPTION DE LA HAUTEUR TONALE ET LA PERCEPTION DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE .....	40
4.4. RECUPERATION AUDITIVE DE LA COMPREHENSION DE LA PAROLE ET DE LA PERCEPTION DE LA PROSODIE LINGUISTIQUE : INFLUENCE DES DONNEES ANAMNESTIQUES .....	41
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>42</b>
<b>6. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>43</b>
ANNEXE 1 : TABLEAU DE DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET ORTHOPHONIQUES DES SUJETS IMPLANTES COCHLEAIRES.....	46
ANNEXE 2 : TESTS DE PROSODIE .....	47
ANNEXE 3 : DONNEES STATISTIQUES DU GROUPE IMPLANTES COCHLEAIRES COMPLET ET D’HOMOGENEISATION DES SOUS-GROUPES .....	48
ANNEXE 4 : AUDIOGRAMME DU GROUPE DE PATIENTS IMPLANTES COCHLEAIRES AVEC AUDITION RESIDUELLE .....	49
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>50</b>

# 1. Introduction

## 1.1. La hauteur tonale

### 1.1.1. La hauteur tonale et la perception de la hauteur tonale dans la voix humaine

La hauteur tonale est une mesure objective faite à partir des variations de la fréquence fondamentale (F0) d'un son. De son côté, la perception de la hauteur tonale est un attribut perceptif du son qui permet d'ordonner les percepts sur une échelle subjective allant de grave à aigu. La perception de la hauteur tonale s'appuie sur l'ensemble des propriétés de l'onde sonore. La perception de la hauteur tonale est donc influencée par les autres propriétés qui sont l'intensité et le timbre. Dans un son complexe harmonique comme la voix humaine, il y a une fréquence fondamentale (F0) mais également des harmoniques qui sont des multiples de la fréquence fondamentale. Le timbre est ce qu'on appelle la qualité du son. Il est décrit par des adjectifs tels que « rocailleux », « clair » et « caverneux ». Il est défini en psychophysique par soustraction. Ainsi, lorsque l'on se place en présence de deux sons de même fréquence et intensité mais qu'ils paraissent qualitativement différents, alors leur timbre est différent (figure 1).



**Figure 1:** Spectrogrammes d'instruments harmoniques (clarinette, trompette, piano et violon) jouant la même note de musique (middle C à 261.6 Hz). Un spectrogramme représente l'intensité pour chaque fréquence en fonction du temps. Ces spectrogrammes illustrent la notion de timbre c'est à dire la différence de répartition des amplitudes des composantes harmoniques lorsque le timbre est différent (Donnelly & Limb, 2008)

D'un point de vue physique, deux timbres diffèrent par « *la différence de distribution des amplitudes des composantes harmoniques [...]* » (Garcia, Hall, & Plack, ; Hirsh & Watson, 1996; Patterson, Uppenkamp, Johnsrude, & Griffiths, 2002; Puschmann, Uppenkamp, Kollmeier, & Thiel, ; Ritsma, 1967) en d'autres termes, le timbre d'un son est caractérisé par la répartition formantique<sup>1</sup> et la forme de son enveloppe temporelle (courbe ADSR<sup>2</sup>). De plus, l'intensité acoustique du son est la quantité d'énergie fournie par l'onde acoustique. Elle peut être exprimée en décibel (dB) mais également en le décibel de niveau de pression sonore (dB SPL) en acoustique<sup>3</sup>. Ainsi, la perception de la hauteur tonale dans la voix humaine s'appuie principalement sur les variations de la fréquence fondamentale mais est influencée par les paramètres acoustiques de timbre et d'intensité.

### 1.1.2. Codage tonotopique et temporel des sons.

La perception de hauteur tonale est issue du traitement des fréquences du son par notre système auditif. C'est la cochlée qui réalise le premier traitement. En effet, elle réalise un codage physique du son. Chaque zone spécifique de la membrane basilaire de la cochlée est activée par une fréquence sonore donnée et stimule à son tour les neurones correspondants du nerf auditif. Ainsi, les neurones du nerf auditif permettent la transmission de deux types d'informations de fréquence de la cochlée au cortex cérébral. Le premier type de traitement est tonotopique c'est-à-dire que chaque population de neurones du nerf auditif correspond à une fréquence particulière et donc à une localisation donnée sur l'aire auditive primaire du cortex auditif (Cartwright, Gonzalez, & Piro, 2001; Ciocca, 2008; A. J. Oxenham, Bernstein, & Penagos, 2004; Townshend, Cotter, Van Compernelle, & White, 1987). Ensuite, la façon dont ces neurones déchargent, donne des informations sur les variations d'intensités au cours du temps pour cette fréquence particulière.

---

<sup>1</sup> La répartition formantique correspond à la répartition sur le spectre du son des formants. Les formants correspondent à une bande fréquentielle spécifique dont l'amplitude est particulièrement élevée suite au passage par les cavités de l'appareil phonatoire. La répartition formantique varie en fonction de la conformation de l'appareil phonatoire.

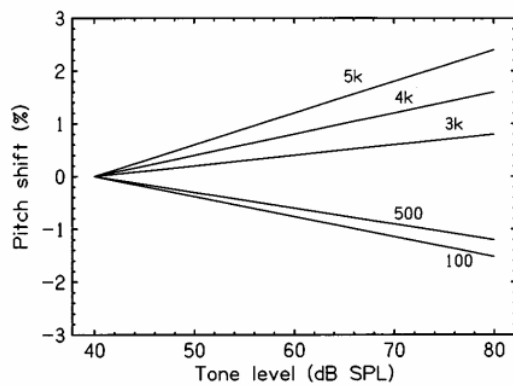
<sup>2</sup> La courbe ADSR correspond à la visualisation de l'évolution de l'amplitude du son complexe harmonique en fonction du temps. Il se découpe en quatre phases : Attack, Decay, Sustain et Release. Les transitoires correspondent à l'attaque et l'extinction.

<sup>3</sup> Le décibel par niveau de pression sonore (dB SPL) est communément utilisé en acoustique. Il est également une mesure physique qui correspond aux capacités auditives humaines. Ainsi, son 0 correspond au plus petit son audible par l'oreille humaine.

L'ensemble des variations d'intensités au cours du temps pour toutes les fréquences d'un son complexe est appelé codage temporel ou enveloppe temporelle du son. Les deux mécanismes de codage temporel et tonotopique vont permettre au système auditif de réaliser une analyse du son essentielle à la création de la perception de la hauteur tonale.

### 1.1.2.1. La perception de la hauteur tonale

La hauteur tonale est issue des variations de la F0 du son. En revanche, la perception de la hauteur tonale est également influencée par la présence des indices de timbre et d'intensité. L'influence de l'intensité est mise en lumière dans l'expérience de Stevens (1935) qui montre que les tons hauts (de 3000 à 12000 Hz) sont perçus comme plus hauts avec l'augmentation de l'intensité et qu'au contraire les tons graves (de 150 à 500 Hz) sont perçus comme plus graves avec l'augmentation de l'intensité (figure 2).



**Figure 2 :** Effet de l'augmentation de l'intensité sonore sur la perception de la hauteur tonale pour différentes fréquences. La perception de la hauteur tonale est en lien avec l'intensité du stimulus. Ainsi, c'est Stevens (1935) qui le premier à mis en avant ce phénomène. On constate que l'augmentation de l'intensité sur les fréquences de 500 Hz et 100 Hz entraîne un shift vers le bas de la perception de la hauteur tonale alors que pour les fréquences au dessus de 3000 Hz le phénomène est inversé. (Hartmann, 1996)

De plus, la perception de la hauteur tonale est influencée par le timbre. L'expérience de Ritsma (1967), révèle le rôle des harmoniques dans la perception de la hauteur tonale. Les résultats montrent qu'il y a une meilleure perception de la hauteur tonale pour des fréquences fondamentales de 100, 200 et 400 Hz lorsque qu'elles sont couplées aux harmoniques 3, 4 et 5. Un autre apport vient de l'étude de Licklider (1956) qui démontre que la hauteur tonale d'un son peut être perçue à partir de l'analyse de ses harmoniques et ce même en l'absence d'énergie spectrale de F0. Le traitement des fréquences du système auditif n'est plus simplement tonotopique (nécessité de la présence de F0 pour entraîner une perception de la hauteur correspondante).

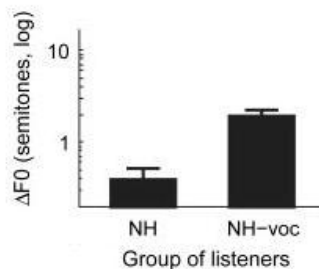


Elle est également temporelle avec le codage de la périodicité de l'onde sonore complexe par décharge synchrones des cellules sensorielles avec les variations de l'amplitude de la fréquence (Hartmann, 1996). L'étude de Plomp (1967) montre que la prédominance du traitement tonotopique ou temporel est dépendante de la valeur de la fréquence fondamentale. Selon lui, jusqu'à environ 700 Hz la perception de la hauteur tonale vient du traitement tonotopique alors qu'après 1400 Hz il serait issu du traitement temporel.

Ces travaux nous montrent l'importance de contrôler les paramètres de timbre et d'intensité entre deux sons lorsque l'on étudie la perception de la hauteur tonale.

### 1.1.2.2. Etudes de la perception de la hauteur tonale

La perception de la hauteur tonale dans cette étude est exprimée à l'aide du **seuil de discrimination**. Nous calculons la plus petite différence perceptible entre deux sons de hauteurs tonales voisines ( $\Delta F_0$ ). La valeur de ce calcul est le seuil de discrimination. Ainsi, le meilleur seuil de discrimination est celui dont la valeur est la plus faible. Le seuil de discrimination peut être exprimé sous trois formes : le rapport  $\Delta F_0/F_0$ , en Hertz ou en demi-tons. Elle est étudiée chez les sujets sains normo-entendants. L'étude de Cousineau et al. (2010) consiste à présenter deux sons différents aux sujets afin de mesurer leur seuil de discrimination de  $\Delta F_0$  (figure 3).



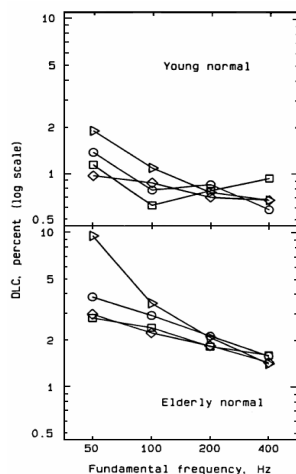
**Figure 3 : Seuil de discrimination moyen entre deux fréquences.** Le schéma présente le seuil moyen de discrimination de  $\Delta F_0$  des sujets sains en demi-tons dans une condition normale (NH) et vocodée (NH-voc) (Cousineau, Demany, Meyer, & Pressnitzer, 2010).

Ces mesures de seuil de discrimination ont été réalisées dans une condition normale d'écoute et dans une condition où les sons étaient vocodés. Les sujets obtiennent une moyenne de 0.39 demi-tons de seuil de discrimination pour des sons de 125 Hz en condition d'écoute simple. L'étude de Moore et Peters (1992), exprime chez les sujets sains jeunes le seuil de discrimination en pourcentage de  $F_0$ . Il montre que le seuil de discrimination évolue en fonction de la  $F_0$  mise en jeu. Ces résultats montrent que pour une  $F_0$  égale à 50 Hz le seuil de discrimination équivaut à 5% de  $F_0$  alors que pour  $F_0 = 5000$  Hz le seuil de discrimination des sujets est de 1%.

Enfin, l'étude de Souza et al. (2011) exprime le seuil de discrimination de leurs sujets en Hertz. Les auteurs présentent aux différents sujets les fréquences moyennes de la voix humaine allant de 100 à 230 Hz. Leurs résultats montrent en moyenne un seuil de discrimination de 2 Hz dans leur population de sujets sains.

### 1.1.2.3. Influence de l'âge des sujets sur les capacités de perception auditive

La perception auditive n'est pas stable mais évolue avec l'âge des sujets. Plusieurs études révèlent que cette évolution tend vers la diminution de la discrimination de la hauteur tonale chez les sujets âgés. L'étude de Moore et Peters (1992) montre la diminution des capacités de perception des fréquences en fonction de l'âge des sujets normo-entendants. Cette augmentation du  $\Delta F_0$  est constatée pour la plupart des fréquences étudiées dans cette étude (figure 4). L'étude de Souza et al. (2011) appuie l'hypothèse de la dégradation de perception de la hauteur tonale chez les sujets âgés. En effet, leur échantillon de sujets jeunes peut en moyenne détecter une différence de 2 Hz entre deux sons alors que les sujets âgés ne peuvent discriminer qu'une différence de 4 Hz. Enfin, le seuil de discrimination avec l'âge des sujets n'est pas la même pour toutes les fréquences étudiées (He, Dubno, & Mills, 1998; Moore & Peters, 1992).

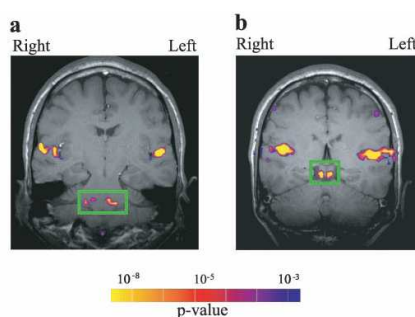


**Figure 4 :** *Différence minimale perceptible par des sujets jeunes et âgés pour des fréquences de 50 Hz à 400 Hz.* Score en pourcentage de la différence entre deux sons perceptibles par les sujets pour des fréquences données. On constate que les sujets âgés ont des performances plus basses que les sujets jeunes montrant la réduction de la perception de la hauteur tonale avec l'âge. (Moore & Peters, 1992)

On constate que les sujets âgés présentent une plus grande variabilité de performance que les sujets jeunes. Ainsi, la discrimination de la hauteur tonale varie avec l'âge : elle est détériorée chez les sujets âgés. De plus, cette baisse de performance des sujets âgés est plus prononcée sur les basses fréquences que sur les hautes fréquences (He et al., 1998).

### 1.1.3. Substrats neuroanatomiques de la perception de la hauteur tonale et de la voix humaine

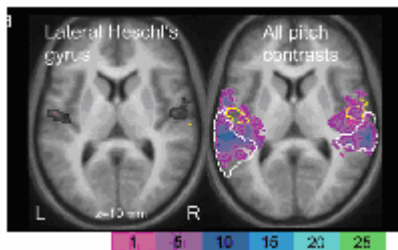
La perception de la hauteur tonale est issue du traitement bilatéral des informations sonores par le système auditif à partir de l'oreille et notamment de la cochlée jusqu'au cortex cérébral. Dans le cortex cérébral, l'information sonore est d'abord traitée dans le cortex auditif primaire. Le traitement des fréquences sonores est réalisé en fonction des propriétés tonotopiques et temporelles des fréquences et de façon bilatérale. Liégeois-Chauvel et al. (2001) dans leur étude en sEEG (stéréo-électroencéphalographie) montrent que l'organisation tonotopique des cortex auditifs n'est pas similaire d'un hémisphère à l'autre. Les auteurs font l'hypothèse que cette hétérogénéité est la traduction anatomique de la spécialisation hémisphérique gauche pour le traitement de la parole (enveloppe temporelle) et droite pour le traitement des informations tonotopique (Liegeois-Chauvel, Lorenzi, Trebuchon, Regis, & Chauvel, 2004; Patterson et al., 2002; Zatorre, Belin, & Penhune, 2002). Cette dominance droite permettrait une spécialisation hémisphérique pour tout ce qui a trait à la mélodie que ce soit dans la musique ou dans le langage. On peut donc voir là, l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique pour l'analyse des composantes mélodiques dans le discours.



**Figure 5 : Activation du gyrus de Heschl.** Cette image IRMf présente les différences d'activation entre deux stimuli dont seule la hauteur tonale varie. On constate également des activations significatives (entourées en vert) des noyaux cochléaires (a) et des colliculi du tronc cérébral (b) correspondant au passage de l'information sonore vers le cortex (Penagos, Melcher, & Oxenham, 2004).

D'autre part, une question largement soulevée dans la littérature est de savoir s'il existe un centre de traitement spécifique de la hauteur tonale. Selon Penagos et al. les informations fréquentielles du son après l'aires auditive primaire et secondaire sont traitées spécifiquement dans le gyrus de Heschl (GH). Les auteurs présentaient aux sujets deux sons dont le seul paramètre variant était la hauteur tonale. L'analyse des activations en IRMf montre l'activation du GH en réponse à la perception de deux hauteurs tonales différentes (figure 5). Selon ce point de vue, il n'y aurait donc qu'une aire spécifique de traitement de la hauteur tonale (Griffiths, 2003; Penagos et al., 2004). Une autre hypothèse considère qu'il n'existe pas de centre de traitement de la hauteur tonale mais qu'il y aurait un réseau d'aires fonctionnelles responsables de la perception de hauteur tonale.

En effet, Hall et Plack (2009), recensent en plus de l'activation du GH les activations du planum temporal et du planum polaire lors de la perception de la hauteur tonale (Garcia et al., ; Puschmann et al.) (Figure 6). En conclusion, deux théories s'opposent sur la présence d'un centre unique qui serait localisé au niveau du gyrus de Heschl (GH) ou un réseau d'aires fonctionnelles de traitement cérébral comprenant le GH, le planum temporel, et le planum polaire à l'origine de la perception de hauteur tonale.



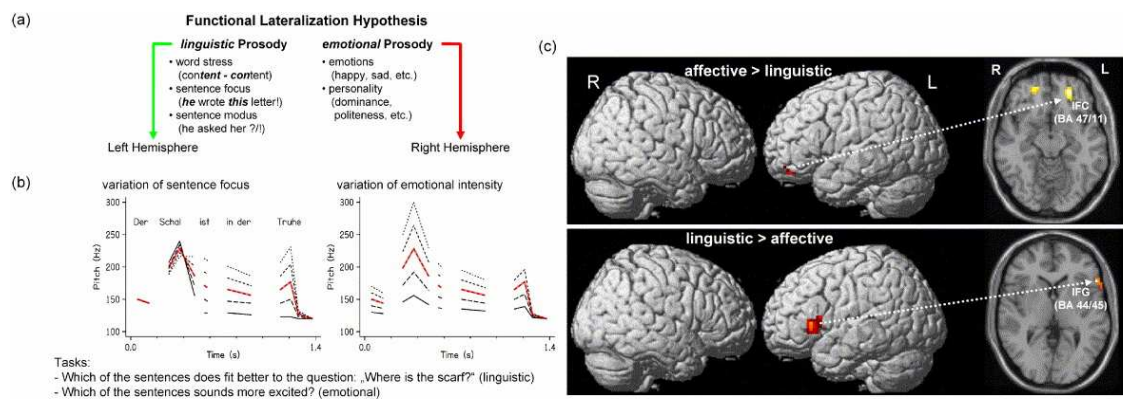
**Figure 6 : Distribution des activations spécifiques à la perception de la hauteur tonale dans une section horizontale du cortex auditif.** (a) Les activations générées par les stimuli de hauteurs tonales utilisés. On constate que d'autres aires du sulcus temporal supérieures sont actives en plus du gyrus de Heschl. Ces résultats vont dans le sens d'un réseau d'aires fonctionnelles pour la perception de la hauteur tonale (Hall & Plack, 2009).

## 1.2. La prosodie

### 1.2.1. Définition

*Le terme de prosodie désigne une branche de la linguistique consacrée à la description factuelle (aspects phonétiques) et à l'analyse formelle (aspects phonologiques) des éléments systématiques de l'expression phonique non-coextensifs aux phonèmes, tels que les accents, les tons, l'intonation et la quantité, dont les manifestations concrètes, dans la production de la parole, sont associées aux variations des paramètres physiques de la fréquence fondamentale (F0), de la durée et de l'intensité qui représentent les paramètres objectifs de la prosodie. Ces variations sont perçues par l'auditeur comme des changements de hauteur (ou de mélodie), de longueur et de sonie, qui constituent les paramètres subjectifs de la prosodie. Les éléments prosodiques exercent au niveau du mot (prosodie lexicale) et au-delà de ce dernier (prosodie supra-lexicale ou post-lexicale) un faisceau de fonctions grammaticales, para-grammaticales et extra-grammaticales, qui se rapportent à «ce qui est dit», à «la façon dont cela est dit», ainsi qu'à «l'identité du sujet parlant », et qui s'avèrent déterminantes pour signaler la structure des énoncés et du discours et pour procéder à leur interprétation sémantique et pragmatique (Di Cristo, 2004).*

Ainsi, la prosodie assure plusieurs fonctions dans le discours. On distingue classiquement la prosodie linguistique et la prosodie affective (figure 7). La prosodie linguistique regroupant les « délimitations » de structures de la phrase ou frontières prosodiques et la fonction « d'intégration » qui permettent la mise en forme du discours. De plus, les accentuations qui permettent la « mise en perspective de l'information », cela entraîne l'inscription de l'information dans son contexte. De son côté, la prosodie affective permet de traduire l'état émotionnel, attitudes et affects du locuteur (Lieberman, 1973; Pell, 1999a, 1999b; Pell & Baum, 1997; Pihan, 2006; Wildgruber, Ackermann, Kreifelts, & Ethofer, 2006). Elle influence également la perception du discours (Grandjean, Sander, Lucas, Scherer, & Vuilleumier, 2008).



**Figure 7 : Dissociation entre prosodie affective et linguistique.** (a) Cette étude présente les caractéristiques de ces deux types de prosodies et (b) les tâches expérimentales utilisées pour les mesurer dans l'IRMf. (c) On constate que la soustraction des activations pour les deux tâches entraîne l'apparition d'activations fonctionnelles cérébrales spécifiques en fonction de la tâche (Wildgruber et al., 2006).

L'étude en IRMf de Wildgruber, Ackermann et al. 2006 montre qu'il existe une dissociation fonctionnelle cérébrale entre la prosodie linguistique et affective. Les auteurs retrouvent des activations des aires gauches du langage. L'évaluation de la prosodie émotionnelle, de son côté, active les cortex orbito-frontaux de façon bilatérale.

Ainsi, la prosodie qu'elle soit linguistique ou affective permet de transmettre un grand nombre d'informations nécessaires à une meilleure compréhension du discours.

### 1.2.2. Rôle de la hauteur tonale dans la perception de la prosodie

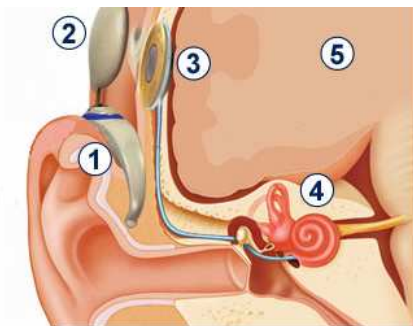
La hauteur tonale contribue à marquer les limites des unités structurales, distinguer les modes de phrases et à signaler les informations centrales (accentuation). Le rôle de la fréquence fondamentale dans la perception de la prosodie linguistique est essentiel. De plus, la hauteur tonale est nécessaire à la perception de la prosodie affective.

Truong et van Leeuwen (2007), ont utilisé des échantillons auditifs qui traduisaient des émotions différentes. Ils ont testé la détection du rire. Ils ont démontré que la moyenne de F0 est plus haute pour le rire que la parole. Bachorowski et al (2001) arrivent aux mêmes conclusions, leurs résultats étant que la moyenne de F0 en condition de rire est pour les hommes de 282Hz et pour les femmes de 421Hz alors qu'en condition parole elle est respectivement de 120 et 220Hz. **La hauteur tonale est un élément essentiel de la perception de la prosodie.**

### 1.3. La perception de la hauteur tonale et de la prosodie chez le patient implanté cochléaire

#### 1.3.1 Description

L'implant cochléaire est un dispositif médical implanté développé afin de permettre aux patients atteints d'une surdité bilatérale profonde à totale de recouvrir une partie de leurs capacités auditives (figure 8). Il permet de stimuler directement les fibres nerveuses terminales du nerf auditif et ainsi de transmettre au cerveau les informations de l'environnement sonore. L'implant est constitué d'une partie externe qui permet de capter l'information et de la traduire (processeur) afin de la transmettre par ondes hertziennes à la partie interne de l'implant.



**Figure 8 :** *L'implant cochléaire Advanced Bionics® dans le système auditif.* Le processeur (1), l'antenne (2), l'implant (3), le faisceau d'électrodes (4) et le cortex cérébral (5).

L'information est ainsi transmise aux électrodes implantées dans la cochlée (de 12 à 22 selon l'implant) et qui permettront de stimuler les neurones du nerf auditif.

#### 1.3.2. Traitement du son

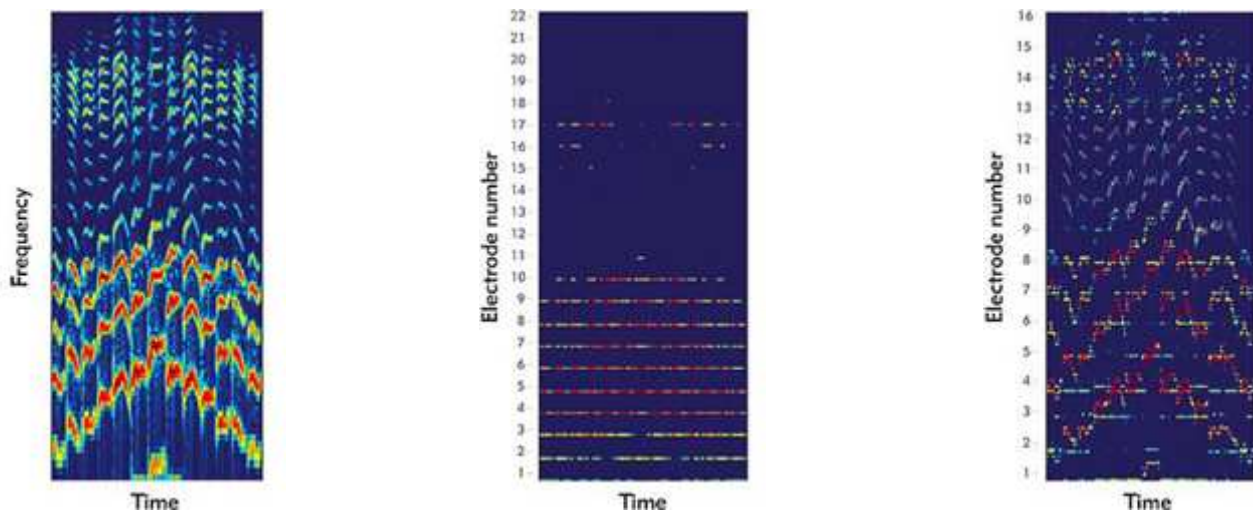
La perception de la hauteur tonale est issue du traitement du son par notre système auditif. En effet, ce traitement est réalisé à partir de l'oreille jusqu'au cortex cérébrale.

La cochlée assure dans ce système la jonction entre l'onde sonore physique et les informations électriques véhiculées par les neurones du nerf auditif. Le fonctionnement de l'implant cochléaire s'appuie sur les mécanismes de codage tonotopique et temporel à partir de la cochlée pour stimuler électriquement les neurones du nerf auditif. Ces stimulations électriques sont réalisées avec des électrodes (12 à 22 selon l'implant) insérées chirurgicalement dans la cochlée. La stratégie de codage est la façon dont l'implant stimule les neurones du nerf auditif. Cette stratégie dépend de l'implant cochléaire. Il existe une grande variété de stratégies de codages. La plus simple consiste à diviser le son en bande de fréquence. Ensuite, les informations de durée et d'intensité de chaque bande de fréquences sont moyennées et transmises à une électrode qui réalise une stimulation électrique aux neurones du nerf auditif. La conséquence de ce codage est l'importante perte d'informations fréquentielles (figure 9).

Son original (1)

Un exemple de codage simple du son avec un découpage en bande de fréquence (2)

HiRes 120® (3)



**Figure 9 :** (1) Spectre du son tel qu'il est reçu dans l'oreille saine. (2) Spectre du son après traitement par découpage du son en bande de fréquence. (3) Spectre du son après traitement par HiRes 120 d'*Advanced Bionics*®.

Des stratégies de codages plus élaborées s'efforcent de transmettre le plus possible d'informations aux cellules du nerf auditif. Un exemple est la stratégie de codage est la stratégie développée par *Advanced Bionics*® : le « current steering » ou orientation de courant. Cette stratégie cherche à améliorer la résolution fréquentielle de l'implant en créant des canaux virtuels. Les canaux virtuels sont créés par l'addition de la stimulation de deux électrodes adjacentes. La conjugaison de la stimulation de ces deux électrodes adjacentes est un point de contact électrique virtuel. Ceux-ci permettant de créer une fréquence intermédiaire perçue par les implantés (Firszt, Koch, Downing, & Litvak, 2007) et ainsi d'augmenter la quantité d'informations transmises par l'implant cochléaire.

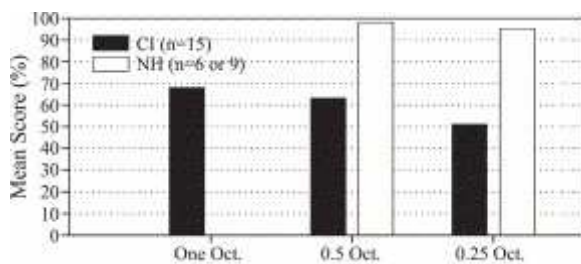
En conclusion, le nombre réduit d'électrodes entraîne une dégradation du signal sonore qui a comme conséquence la perte importante d'informations fréquentielles. En plus de la perte de ces d'informations il y a une perte d'informations issue de l'encodage du son, et de la stimulation du nerf auditif suite au codage du son. Ainsi, mais les techniques d'encodage de codage et de stimulation sont en constantes évolutions pour améliorer la perception des personnes sourdes avec l'implant cochléaire.

### **1.3.3. Perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires**

La hauteur tonale est centrale dans la perception de la prosodie. L'implant cochléaire qui délivre une information spectrale dégradée, entraîne des performances généralement plus basses chez l'implanté cochléaire (CI) que chez le sujet normo-entendant (NHS) (Chatterjee & Peng, 2008; Cousineau et al., 2010; Kovacic & Balaban, 2009; Looi, 2004; Meister, Landwehr, Pyschny, Walger, & von Wedel, 2009; Moore & Peters, 1992; Andrew J. Oxenham, 2008; Pressnitzer, Bestel, & Fraysse, 2005; Pretorius & Hanekom, 2008; Sandmann et al., 2010; Townshend et al., 1987) dans ces domaines. Nimmons et al. (2008) réalisent une tâche de discrimination de hauteur tonale d'un son complexe. Ils présentaient aux sujets deux sons consécutifs dont l'un était le son de référence (F0) et le second le son dont la hauteur tonale était augmentée. Ils obtenaient ainsi la plus petite différence perceptible par les sujets entre la F0 de référence et l'autre son. Les résultats montrent que les seuils de discriminations sont variables selon le sujet implanté cochléaire et selon la fréquence étudiée. Le seuil de discrimination des sujets allait d'un demi-ton à 9,1 demi-tons pour la fréquence 185 Hz, de 1 à 11,5 demi-tons pour 262 Hz, de 1 à 9 demi-tons pour 330 Hz et de 1 à 6,5 pour 394 Hz.



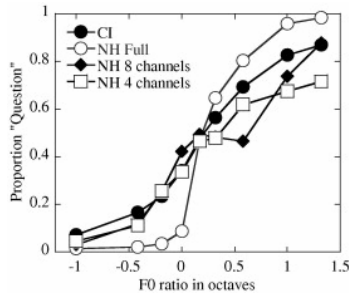
D'autres travaux comme ceux de Looi et al. (2004) montrent que les CI ont des performances significativement plus basses que les NHS dans une tâche d'ordination de hauteur tonale. Dans cette tâche on demandait aux sujets d'indiquer lequel des deux sons présentés avait la plus grande hauteur tonale. Les écarts entre les deux sons pouvaient être aléatoirement de 0.25, 0.5 ou 1 octave ce qui constituait les trois conditions du test. Dans chaque condition, les auteurs utilisaient des sons de F0 comprises entre 98 et 740 Hz. Les patients CI étaient significativement moins bons que les NHS dans les différentes conditions (figure 10). Les performances des CI n'étaient pas différentes pour des écarts de 0.5 et de 1 octave.



**Figure 10 : Performance de CI et de NH dans une tâche d'ordination de hauteur tonale entre deux sons.** Les CI dans les trois conditions 0.25, 0.5 et 1 octave ont des performances significativement plus basses que les NHs. A 0.25 octave les CI répondent au seuil de chance (50%). Pour les conditions 0.5 et 1 octave, il n'y a pas de différence significative dans leurs performances. D'après Looi et al (2004)

Les travaux de Drennan et Rubinstein (2008) et Chatterjee et Peng (2008) démontrent que le manque d'informations tonotopiques entraîne une dégradation de la perception de F0 et donc de l'aspect rythmique des sons que l'on retrouve aussi bien dans la parole avec la prosodie (tâche de reconnaissance de l'intonation) (figure 11) que dans la musique (Drennan & Rubinstein, 2008; Leal et al., 2003; Pressnitzer et al., 2005)<sup>4</sup>. En effet, l'expérience de Gfeller et al. (2000) montre que les patients implantés cochléaires reconnaissent entre 20% de mélodies rythmiques connues contre 90% pour les sujets sains normaux entendants. L'étude de Meister et al. (2009), montre que les implantés ne peuvent traiter les changements de F0 que de façon limitée, ce qui crée une baisse de performances dans une tâche de discrimination de question versus affirmation. Les auteurs rapportent un taux de réponses correctes allant de 65 à 93% pour les implantés et de 99% en moyenne pour les normo-entendants. **La perception de la hauteur tonale et de la prosodie chez les patients implantés cochléaires est altérée. Cette altération est la conséquence du manque d'informations fréquentielles délivrées par l'implant cochléaire.**

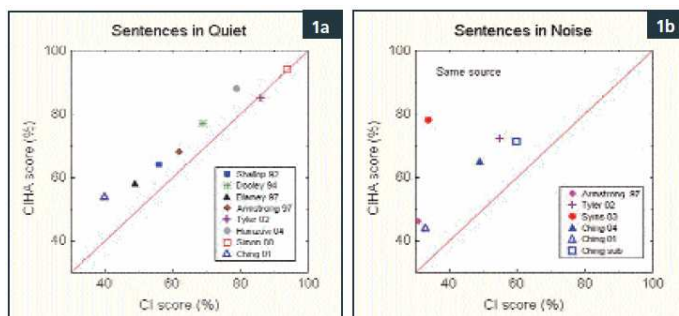
<sup>4</sup> Ces résultats de Drennan et coll. Nous permet de créer un parallèle entre la perception de la musique et celle de la prosodie chez les implantés cochléaire. L'article de Looi et coll. (2004) établit une corrélation entre la capacité à percevoir le pitch et celle de reconnaître une mélodie.



**Figure 11:** Courbe psychométrique d'attribution de question en fonction du rapport de  $f_0$  chez les sujets contrôles et les CIs. La pente de la courbe des NH en condition normal (full) est élevée mais plus le nombre de canaux diminue et plus l'inflexion est basse. On constate le même phénomène pour la courbe des CIs. D'après Chatterjee et Peng (2008)

### 1.3.4. Influence de l'audition résiduelle sur les capacités perceptives des patients implantés cochléaires

L'audition résiduelle peut être présente de façon ipsilatérale et/ou controlatérale à l'oreille implantée. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'audition résiduelle controlatérale donc à des patients qui sont équipés d'une prothèse auditive en plus de l'implant cochléaire (stimulation bimodale). De nombreuses études ont mis en avant l'utilité de conserver cette audition résiduelle car elle permet l'amélioration de la perception de la parole. En effet, l'étude de Ching et al. (2004) trouve une augmentation significative des performances dans une tâche de répétition de phrase après présentation auditive, entre les sujets à implant cochléaire sans audition résiduelle (CIS) et les patients à stimulations bimodales avec audition résiduelle (CIB) (figure 12). Cette étude présente également une évaluation subjective par les sujets de leur qualité d'écoute au quotidien. Ceux-ci rapportent qu'ils peuvent mieux suivre les dialogues d'un film, apprécier la musique, suivre une conversation dans le bruit et une conversation téléphonique avec une stimulation bimodale qu'avec l'implant cochléaire seul.



**Figure 12:** Méta analyse des performances en perception de phrases dans le silence et le bruit par les implantés cochléaires (CIS) et les patients implantés cochléaire plus aide auditive (CIB). Les différentes études mettent en avant de meilleures performances des sujets CIB pour la perception de phrase dans le bruit et dans le silence. D'après Ching et al. (2004)

De plus, les études d'Armstrong et al. (1997), de Gantz et al. (2005), Fraysse et al. (2006) montrent que la compréhension de la parole est améliorée chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle notamment en ce qui concerne la compréhension des phrases dans le bruit. En effet, l'étude de Fraysse et al. (2006), révèle une différence significative ( $p = 0.01$ ) entre la reconnaissance de phrase dans le bruit chez les implantés cochléaires sans audition résiduelle (46%) et chez les patients implantés avec audition résiduelle (56%). La présence d'audition résiduelle chez les patients implantés cochléaires améliore leurs performances en compréhension de la parole.

### **1.3.5. Liens entre les données anamnestiques, la compréhension de la parole et la perception de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires**

Les données anamnestiques font parti de l'histoire du patient sourd implanté cochléaire. Dans cette étude nous regroupons sous le terme de données anamnestiques la durée de déprivation auditive et la durée d'implantation. L'étude de Green et al. (2005) montre qu'il existe une corrélation négative entre la durée de déprivation auditive et l'activation corticale du patient sourd implanté cochléaire. Ainsi, ils montrent également que la durée de déprivation influence négativement la compréhension de la parole. De plus, ils trouvent que la durée d'implantation a également un effet sur l'activation corticale et donc ces auteurs postulent que par extension la durée d'implantation aura un effet sur la compréhension de la parole.

La compréhension de la parole est le sujet central de recherche chez les patients implantés cochléaires. En effet, l'un des buts principaux de l'implant est de permettre la reconnaissance de la parole Gfeller et al. (2007). La prosodie linguistique et la parole sont deux composantes du langage. Il est donc légitime que certains auteurs se soient intéressés à leur relation. Chatterjee et Peng. (2009), obtiennent une corrélation positive entre les performances de leurs sujets dans une tâche de discrimination de l'intonation et une tâche de reconnaissance de consonnes et voyelles. En effet, ils obtiennent pour les deux corrélations un  $p < 0,05$ .

La compréhension de la parole est soumise à l'influence négative de la durée de déprivation chez le patient implanté cochléaire.

De plus, la durée d'implantation est suspectée de permettre l'amélioration des performances en compréhension de la parole. Enfin, on constate qu'il existe une relation entre la discrimination de la parole et la perception de la prosodie linguistique.

#### 1.4. But expérimental

La perception de la hauteur tonale et la compréhension de la parole a été largement étudiée chez les sujets normo-entendants et les patients implantés cochléaires. En revanche, la perception de la prosodie linguistique chez le patient implanté cochléaire reste encore à approfondir.

L'objectif principal de notre étude est de comparer la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique dans un groupe de patients implantés cochléaires par rapport à un groupe de sujets normo-entendants. Nous faisons l'hypothèse que les patients implantés cochléaires présentent un déficit de la perception de la hauteur tonale et de la perception de la prosodie linguistique.

Dans le groupe des patients implantés cochléaires, nous étudierons l'impact de l'audition résiduelle sur ces capacités perceptives. Nous faisons l'hypothèse que l'audition résiduelle leur permet d'améliorer leurs performances par rapport à des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle.

Dans le groupe de sujets normo-entendants, nous étudierons l'effet de l'âge. Nous savons que les capacités de perception de la hauteur tonale sont altérées par l'âge. Notre hypothèse est que cet effet de l'âge est également retrouvé en perception de la prosodie linguistique avec une chute des performances des sujets normo-entendants âgés.

Enfin, nous explorerons les relations entre les données anamnestiques des patients, les capacités de compréhension de la parole et la perception de la prosodie linguistique. Nous posons l'hypothèse que plus la durée de déprivation auditive du patient est importante et moins la perception de la prosodie linguistique est bonne. Nous posons la seconde hypothèse que plus la durée d'implantation est longue et meilleures sera la perception de la prosodie linguistique. Notre dernière hypothèse est qu'il existe une relation entre la perception de la prosodie linguistique et la discrimination de la parole.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Appareillage et stimuli

#### 2.1.1. La perception de la hauteur tonale : seuil de discrimination

Le seuil de discrimination est le plus petit écart perceptible entre deux fréquences (de  $F_0$  différentes). Nous avons calculé le seuil de discrimination pour six fréquences : 110 Hz, 220 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 750 Hz et 1000 Hz. Les seuils de discrimination ont été déterminés à l'aide de la toolbox MLP du logiciel Matlab©. Nous avons utilisé une procédure adaptative non paramétrique pour calculer les seuils de discrimination (Grassi & Soranzo, 2009). Le test prenait la forme d'un protocole de choix forcé entre trois sons. Ainsi, le sujet entendait trois sons à la suite dont deux avaient une fréquence invariante standard correspondant à l'une des six fréquences étudiées, et un troisième à une fréquence plus élevée qui variait d'un essai à l'autre. L'écart entre les deux sons débutait à 1 octave<sup>5</sup> et était ensuite réduit et adapté par le programme informatique en fonction des réponses du sujet. Chaque fréquence étudiée constituait un bloc contenant lui-même 30 essais. La tâche du sujet consistait à donner à l'expérimentateur la position (1, 2 ou 3) de celui qu'il a perçu comme le plus aigu. Une fois la tâche effectuée, le seuil de discrimination a été normalisée en  $\Delta F_0/F_0$  standard. Les sons utilisés dans ce test étaient des sons complexes à quatre harmoniques de 250 ms équivalents en amplitude pour se rapprocher des propriétés de la voix humaine. L'ordre de présentation des six fréquences a été fait aléatoirement.

#### 2.1.2. La perception de la prosodie : la discrimination question affirmation

La discrimination question affirmation est le second volet des tests réalisés dans notre étude. Il consistait à distinguer si une phrase est interrogative ou affirmative. Pour cela, nous avons utilisé le matériel élaboré par Jessica Foxtan (Foxtan, Riviere, & Barone, 2009; Jessica M. Foxtan, Jennifer L. Dean, Rosemary Gee, and, & Griffiths, 2004) pour le traitement et l'enregistrement des signaux sonores mais également en s'appuyant sur le matériel et la méthode développé par Patel (Patel, Peretz, Tramo, & Labreque, 1998). Ainsi, deux acteurs (homme et femme) étaient enregistrés énonçant 12 phrases (ex : Il veut partir maintenant), de façon interrogative et affirmative.

---

<sup>5</sup> 1 octave correspond au doublement de la fréquence de référence. Ainsi, pour une  $F_0$  de 110 Hz, le son déviant avait une fréquence de 220 Hz.

L'expérience se déroulait de la manière suivante : un premier écran projetait la phrase écrite en blanc sur un écran noir sans ponctuation. La phrase disparaissait. Elle était ensuite entendue par les sujets dans le casque. Une fois que la phrase était entendue, le sujet répondait en cliquant sur une touche de clavier selon un code prédéfini (clique gauche pour répondre affirmation et clique droit pour répondre question). Les sujets réalisaient 24 essais car les 12 phrases étaient présentées dans les deux conditions de question et d'affirmation de façon aléatoire. La performance des sujets est le total de bonnes réponses par bloc de 24 essais. Cette performance a été reportée en pourcentage de bonnes réponses pour en faire l'analyse.

#### ***2.1.2.1. Voix originale (original)***

Le test original présente, selon la procédure détaillée ci-dessus, le matériel sonore sans transformation. Les paramètres acoustiques des stimuli : durée, intensité et fréquence sont originaux. Ainsi, ce test permet d'évaluer les capacités des sujets à discriminer la différence entre question et affirmation lorsque tous les indices acoustiques sont présents. Il est la condition contrôle (Annexe 2).

#### ***2.1.2.2. F0 constante (flat pitch)***

Ce second test flat pitch prend la même forme que le test précédent à l'exception que les stimuli utilisés sont traités avec le logiciel informatique PRAAT (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>) de telle façon que la F0 du stimulus de la séquence reste constante. Ce test permet d'évaluer les capacités des sujets à discriminer la différence entre question et affirmation lorsque la F0 reste constante (Annexe 2).

#### ***2.1.2.3. Variation seule de F0 (Patel)***

Ce troisième test Patel consiste à discriminer la différence entre question et affirmation en utilisant uniquement les indices de variation de la fréquence fondamentale en fin de phrase. Comme pour le test précédent, les stimuli sonores ont été traités avec le logiciel PRAAT afin que seule la variation de fréquence fondamentale soit un indice de discrimination entre une phrase interrogative ou affirmative (Annexe 2).

### **2.1.3. Procédure expérimentale et traitement des données**

Les différents tests ont été passés dans une cabine insonorisée du service ORL du CHU de Purpan. Le matériel utilisé pour les passations était un ordinateur portable et un casque dans lequel était passé le matériel sonore. La séance de tests durait entre 1h15 et 1h30.

Avant de commencer les tests, les sujets étaient informés du nombre de tests et du but de la recherche et signaient le formulaire de consentement. Ensuite l'expérimentateur communiquait la consigne avant chaque test et celle-ci était répétée si un doute ou une interrogation était émise par le sujet. Le matériel sonore était passé à 30 dBHL pour les sujets normo-entendants et à 65 dBHL pour les sujets implantés cochléaires qui sont les intensités standards d'évaluation des patients en audiométrie.

Les données expérimentales ont été traitées avec le logiciel *Statview*®. Les analyses statistiques ont été exécutées avec différents tests. Ainsi, pour analyser le seuil de discrimination à l'intérieur d'un même groupe, on utilisait le test non paramétrique de Friedman pour les descriptions générales et le test non paramétrique de Wilcoxon pour les comparaisons deux à deux. Pour comparer les seuils de discrimination entre les groupes, on utilisait le test non paramétrique de Mann Whitney. En ce qui concerne les données des tests de prosodie, on utilisait les tests paramétriques de t-appariés au sein d'un même groupe et d'ANOVA entre les groupes.

## 2.2. Sujets et lieu

### 2.2.1. Lieu

Notre étude s'est déroulée au sein du CHU de Purpan à Toulouse, dans une cabine insonorisée du service ORL. Cette étude a été préalablement approuvée par le Comité de Protection des Personnes du Sud – Ouest et d'Outre – Mer (n° : 08 161 03) promoteur le CHU de Toulouse. Tous les sujets de cette étude avaient plus de 18 ans. Ils ont pris connaissance du protocole et ont signé le questionnaire de consentement.

### 2.2.2. Le groupe de sujets normo-entendants (NHS)

Les sujets normo-entendants (NHS) recrutés avaient une audition normale. Ce groupe contrôle est composé de 30 sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes), âgés en moyenne de 28,1 ans  $\pm$ 1.9 (écart type). Il comprenait 19 femmes et 11 hommes. En plus du groupe de sujets normo-entendants jeunes, nous avons créé un petit échantillon de 5 sujets normo-entendants âgés (NHS âgés) (68,6 ans  $\pm$ 4,7) pour prendre en compte l'effet de l'âge sur la perception auditive.

### 2.2.3. Le groupe de patients implantés cochléaires

Un second groupe constitué de 23 patients implantés cochléaires tous opérés dans le service ORL du CHU Purpan. Ce groupe était constitué de 10 femmes et de 13 hommes. La moyenne d'âge est de  $62,4 \pm 2,9$  ans. Les sujets présentaient des durées de déprivation auditive variables, la durée médiane étant de 3,5 ans avec une étendue de 31,2 ans. Les durées d'implantation étaient également variables avec une médiane de 26 mois et une étendue de 93 mois. Les données orthophoniques utilisées sont la perception des mots dissyllabiques (liste de Fournier), la perception de phrase dans le silence et dans le bruit<sup>6</sup>. Les valeurs de ces données orthophoniques étaient aussi variables et sont présentées dans le tableau en annexe 1. L'ensemble des sujets a passé le test de discrimination. Les tests de prosodie n'ont pas été passés par le sujet CI3.

#### **2.2.4. Le groupe de patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB) et sans audition résiduelle (CIS)**

Parmi ces 23 patients nous avons réalisé une division en fonction de la présence d'audition résiduelle. Un premier groupe de 11 patients implantés cochléaire avec audition résiduelle (CIB). Ces patients bénéficient d'un implant cochléaire et d'une prothèse auditive controlatérale. L'audition résiduelle pour chaque patient est représentée sur le graphique de l'Annexe 3. Le second groupe est composé de 12 patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (CIS). Ces patients bénéficiaient uniquement de la stimulation avec l'implant cochléaire. Nous avons veillé à ce que les deux groupes soient homogènes (Annexe 3). Ils ont passé les tests dans les meilleures conditions d'écoute c'est-à-dire avec l'implant réglé et la prothèse auditive réglée également. Ainsi, le groupe CIB a passé les tests avec l'implant cochléaire et la prothèse. Le groupe CIS a passé les tests avec l'implant cochléaire uniquement.

### **3. Résultats**

#### **3.1. Perception de la hauteur tonale**

Le seuil de discrimination est mesuré pour six fréquences fondamentales (110, 220, 400, 500, 750 et 1000 Hz). La valeur de seuil de discrimination la meilleure est la plus faible. Nous utilisons également un seuil moyen de discrimination calculé sur les six seuils de discrimination de chaque sujet afin de rendre les analyses plus accessibles.

---

<sup>6</sup> Les phrases dans le bruit sont des phrases énoncées dans un bruit de type « cocktail party » soit avec 8 personnes qui s'expriment simultanément. Le rapport signal sur bruit (SNR) pour ces phrases était à +10 dB.



### 3.1.1. Seuil de discrimination chez les sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes)

Les seuils de discriminations des sujets NHS jeunes sont exposés dans le tableau de la figure 13.

110 Hz	220 Hz	400 Hz	500 Hz	750 Hz	1000 Hz	moyenne
0,046 ± 0,015	0,03 ± 0,006	0,024 ± 0,005	0,025 ± 0,008	0,02 ± 0,004	0,022 ± 0,005	0,028 ± 0,006

Figure 13: Tableau récapitulatif des seuils de discrimination des sujets NHS jeunes.

L'étude comparative des données révèle un effet de la fréquence sur le seuil de discrimination avec un  $p < 0.0001$ . On constate que le seuil de discrimination à 110 Hz est significativement plus élevé que les seuils de discrimination à 400, 500, 750 et 1000 Hz (figure 14). Le seuil de discrimination à 220 Hz est significativement plus élevé que les seuils de discriminations à 750 et 1000 Hz.

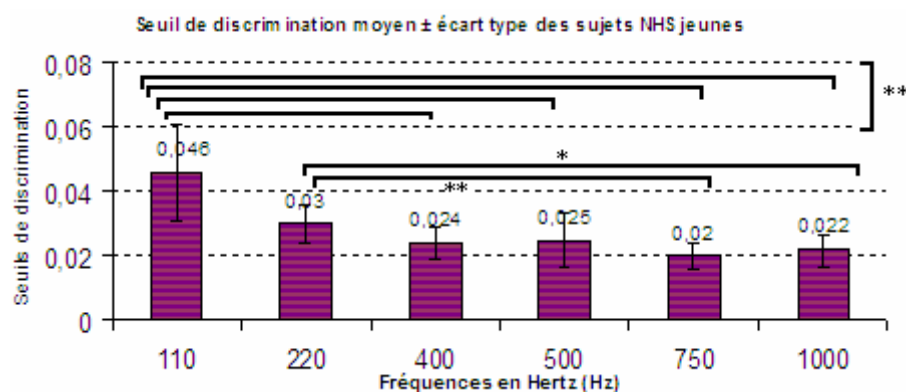


Figure 14: Graphique des seuils de discrimination des sujets NHS jeunes. Le graphique montre les différences statistiques entre les seuils de discrimination pour les six fréquences testées.

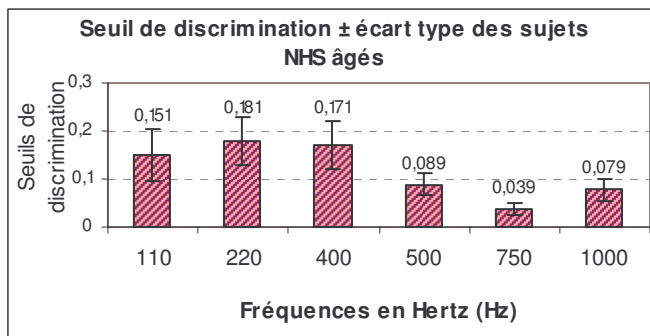
Il y a un effet de la fréquence sur le seuil de discrimination. Les seuils de discrimination aux fréquences 110 et 220 Hz sont plus élevés que les seuils de discrimination pour les autres fréquences.

### 3.1.2. Seuil de discrimination chez sujets normo-entendants âgés (NHS âgés)

Les seuils de discrimination des sujets NHS âgés sont exposés dans le tableau de la figure 15. On constate qu'il y a des seuils de discrimination variables selon les fréquences (figure 16).

110 Hz	220 Hz	400 Hz	500 Hz	750 Hz	1000 Hz	moyenne
0,151 ± 0,055	0,181 ± 0,05	0,171 ± 0,051	0,089 ± 0,024	0,039 ± 0,012	0,079 ± 0,023	0,118 ± 0,03

Figure 15: Tableau récapitulatif des seuils de discrimination des sujets NHS âgés.



**Figure 16:** Graphique des seuils de discrimination des sujets NHS âgés. Le graphique montre les différents seuils de discrimination pour les six fréquences testées.

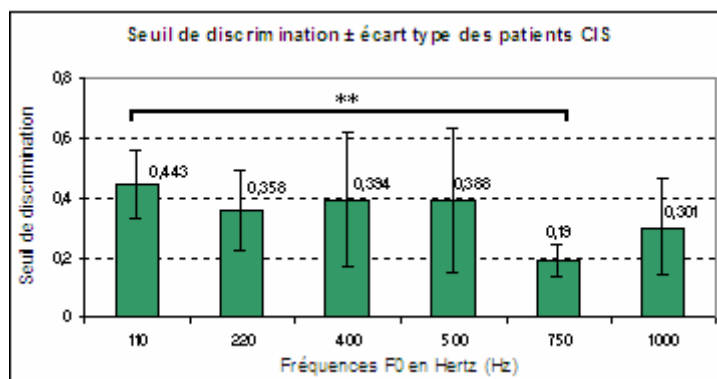
### 3.1.3. Seuil de discrimination chez les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (CIS)

L'étude comparative des seuils de discrimination pour les six fréquences fondamentales testées, révèle un effet de la fréquence sur le seuil de discrimination (figure 17).

110 Hz	220 Hz	400 Hz	500 Hz	750 Hz	1000 Hz	Moyenne
0,443 ± 0,389	0,358 ± 0,461	0,394 ± 0,772	0,388 ± 0,833	0,19 ± 0,182	0,301 ± 0,558	0,346 ± 0,562

**Figure 17:** Tableau récapitulatif des seuils de discriminations des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (CIS).

Nous avons pratiqué un test de Friedman dont la valeur de  $p = 0.0469$  est significative (figure 18). De plus, les tests de Wilcoxon réalisés entre les différents seuils de discrimination indiquent que le seuil de discrimination pour la fréquence 110 Hz est significativement plus grand que celui pour la fréquence 750 Hz ( $p = 0.0096$ ).



**Figure 18:** Graphique des seuils de discrimination des sujets CIS. Le graphique montre les différents seuils de discrimination pour les six fréquences testées.

Les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle ont des seuils de discrimination qui varient en fonction de la F0 étudiée.

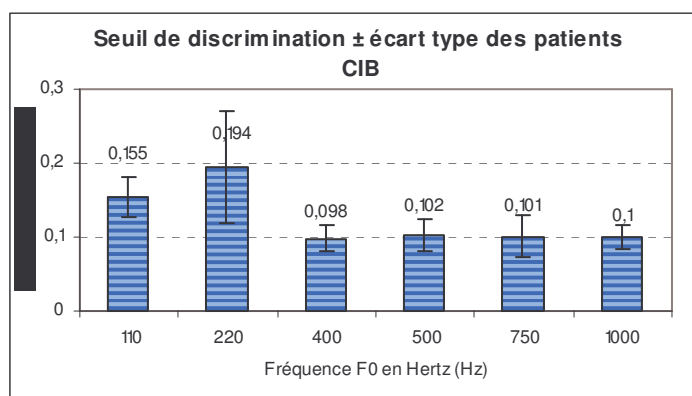
### 3.1.4. Seuil de discrimination chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB)

Les seuils de discrimination des sujets NHS jeunes sont exposés dans le tableau de la figure 19.

110 Hz	220 Hz	400 Hz	500 Hz	750 Hz	1000 Hz	Moyenne
0,155 ± 0,09	0,194 ± 0,248	0,098 ± 0,06	0,102 ± 0,073	0,101 ± 0,098	0,1 ± 0,055	0,125 ± 0,124

**Figure 19: Tableau récapitulatif des seuils de discrimination des patients CIB.**

L'analyse des données des patients implantés cochléaires avec audition résiduelle montre que le seuil de discrimination a tendance à être plus élevé dans les basses fréquences et à rester constant par la suite (figure 20).



**Figure 20: Graphique des seuils de discrimination des patients CIB.** Le graphique montre les différents seuils de discrimination pour les six fréquences testées.

### 3.1.5. Seuils de discrimination chez patients implantés cochléaires avec et sans audition résiduelle, des sujets normo-entendants jeunes et âgés

Nous allons analyser les seuils de discrimination moyens des deux groupes de patients implantés cochléaires avec les seuils de discriminations moyens des sujets normo-entendants jeunes et âgés (figure 21). Les comparaisons statistiques effectuées avec le test de Mann Whitney nous montrent que le groupe des patients CIS est significativement moins bon que les trois autres groupes avec un  $p = 0.0423$ , en comparaison avec les patients CIB, un  $p = 0.0452$ , en comparaison avec les sujets NHS âgés et un  $p < 0.0001$  en comparaison avec les sujets NHS jeunes.

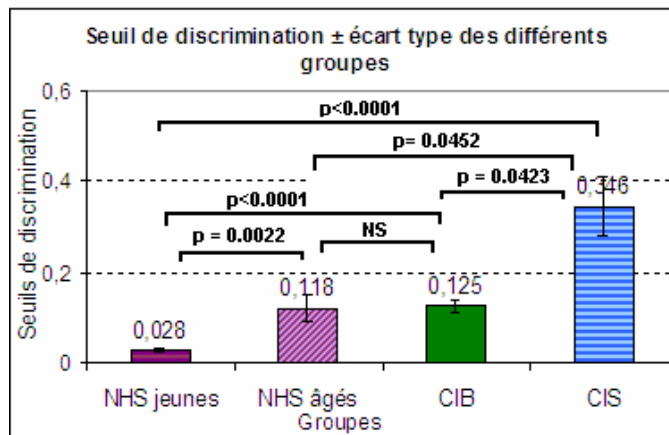


Figure 21: *Seuils de discrimination moyens pour les sujets NHS jeunes, NHS âgés, patients CIB et CIS.* Les sujets NHS jeunes ont la meilleure discrimination moyenne, ensuite viennent les sujets NHS âgés, puis les patients CIB et enfin les patients CIS.

Le groupe des patients CIB de son côté, ne montre pas de différence significative en comparaison avec les sujets NHS âgés ( $p = 0.9548$ ). Ils montrent une différence avec la discrimination moyenne des sujets NHS jeunes ( $p < 0.0001$ ). Enfin, il y a une différence significative entre la discrimination moyenne des sujets NHS âgés et sujets NHS jeunes ( $p = 0.0022$ ). On constate ainsi, que les sujets normo-entendants jeunes sont meilleurs que les sujets normo-entendants âgés. Le seuil de discrimination moyen des sujets normo-entendants âgés est comparable à celle des patients implantés cochléaires avec audition résiduelle. Le seuil de discrimination moyen des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle et avec audition résiduelle est significativement inférieur à celles des sujets normo-entendants jeunes.

### 3.2. Perception de la prosodie linguistique

Dans cette section, nous allons détailler et confronter les résultats obtenus par les différents groupes lors des tests de prosodie linguistique.

#### 3.2.1. Perception de la prosodie linguistique chez les sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes)

L'étude des performances des sujets NHS jeunes nous montre qu'ils ont des performances similaires dans les tests original et Patel (figure 22). Leurs performances dans le test de flat pitch sont très significativement inférieures à celles des tests original et Patel avec des  $p < 0.0001$ .

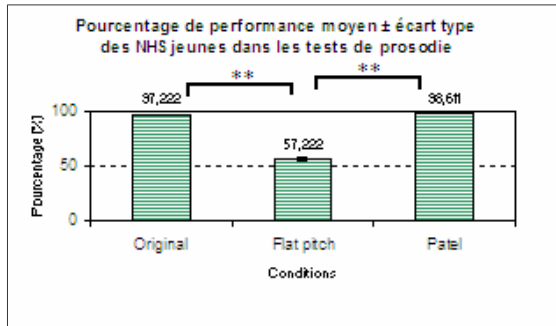


Figure 22: *Graphique des performances des sujets NHS jeunes.* Le graphique montre les différentes performances dans les tests de prosodie. On constate une chute significative des performances dans le test flat pitch.

### 3.2.2. Perception de la prosodie chez les sujets normo-entendants âgés (NHS âgés)

L'étude des performances des sujets NHS âgés nous montre qu'ils ont des performances significativement différentes dans tous les tests (figure 22). On constate une baisse significative des performances dans le test de flat pitch.

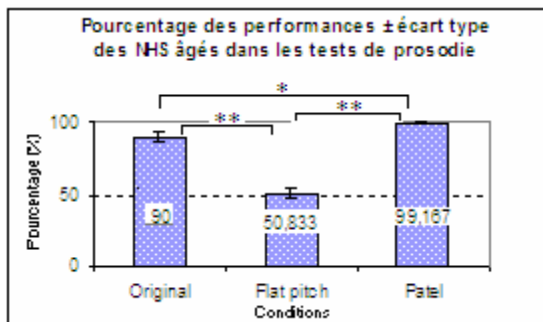


Figure 23: *Graphique des performances des sujets NHS âgés.* Le graphique montre les différentes performances dans les tests de prosodie. On constate une chute significative des performances dans le test flat pitch.

### 3.2.3. Perception de la prosodie linguistique chez les patients sans audition résiduelle (CIS)

L'analyse des performances des patients CIS montre qu'ils ont des performances au niveau du hasard dans les tests flat pitch et Patel.

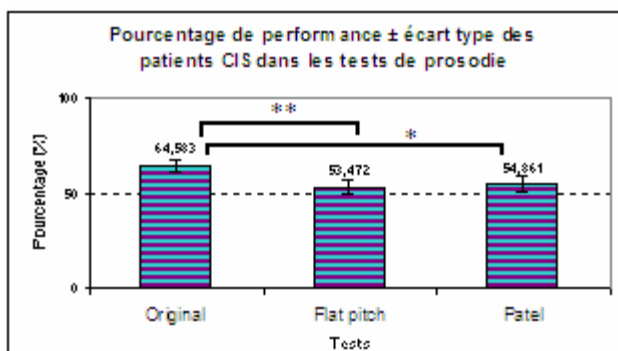
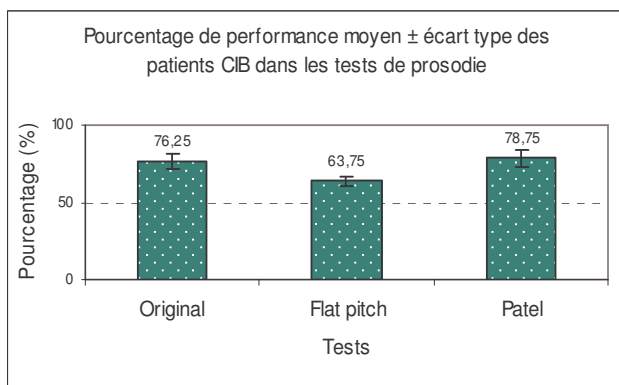


Figure 24: *Graphique des performances des patients CIS.* Le graphique montre les différentes performances dans les tests de prosodie. Il représente également les différences significatives entre les tests. On constate l'effondrement des performances dans les tests flat pitch et Patel.

De plus, on constate une différence significative entre les performances en condition originale et en condition flat pitch avec un  $p = 0.0063$ . Il y a également une différence significative entre les performances dans les tâches de prosodie originale et Patel avec  $p = 0.0305$ . Les performances des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle chutent en flat pitch et Patel (figure 24). Les performances dans ces tests sont au niveau du hasard.

### 3.2.4. Perception de la prosodie linguistique chez les patients avec audition résiduelle (CIB)

L'analyse des données des performances des patients CIB montre que leurs performances sont différentes du seuil de la chance dans tous les tests de prosodie (figure 25). Un test de t-apparié pour les performances dans les différents tests ne révèle pas de différence significative. Ainsi, les patients CIB ont des performances qui baissent dans le test flat pitch mais ce n'est pas significatif.



**Figure 25: Graphique des performances des patients CIB.** Le graphique montre les différentes performances dans les tests de prosodie. Il y a une tendance des patients CIB à avoir de moins bonnes performances dans le test de flat pitch.

### 3.2.5. Perception de la prosodie linguistique chez les sujets normo-entendants jeunes, âgés et les patients implantés cochléaires

#### 3.2.5.1. Test original

L'analyse comparative des performances des quatre groupes de sujets dans les tests de prosodie est présentée sur le graphique de la figure 26.

Les sujets normo-entendants jeunes ont des performances significativement supérieures à celles des autres groupes. Les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle quant à eux, ont des performances qui se rapprochent de celles des sujets normo-entendants âgés même si elles restent inférieures.

Les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle ont des performances très inférieures à celles des sujets normo-entendants jeunes et âgés.

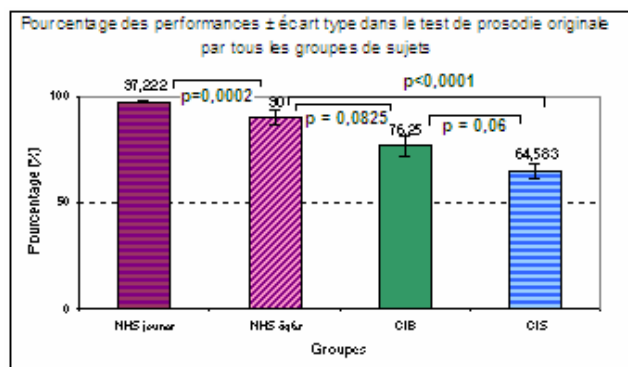


Figure 26 : Tableau récapitulatif des performances dans la tâche de prosodie originale des sujets NHS jeunes, âgés, CIB et CIS. Les NHS jeunes ont les performances les meilleures dans les tests de prosodie originale, suivi des sujets NHS âgés, des patients CIB et enfin des patients CIS.

### 3.2.5.2. Test flat pitch

La comparaison statistique des résultats des performances des quatre groupes de sujets dans le test de flat pitch est représentée dans le graphique de la figure 27. On constate que les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle ont significativement les meilleures performances que tous les autres groupes. De leur côté, les sujets normo-entendants âgés et les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle ont des performances au niveau du hasard.

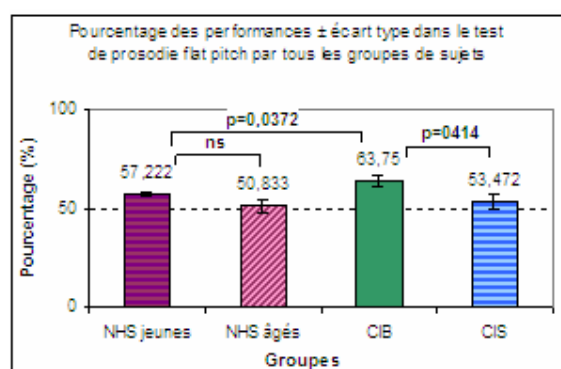
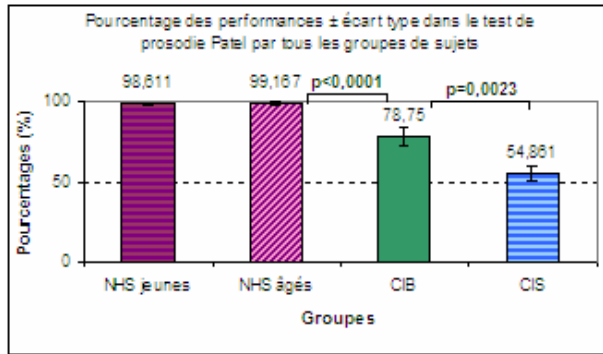


Figure 27: Tableau récapitulatif des performances dans la tâche de prosodie flat pitch des sujets NHS jeunes, âgés, CIB et CIS. Les patients CIB ont les meilleures performances, significativement meilleures que les autres groupes. De leur côté les patients CIS et sujets âgés ont des performances qui ne sont pas différentes du hasard.

### 3.2.5.3. Test Patel

La comparaison statistique des résultats des performances des quatre groupes de sujets dans le test de Patel est représentée dans le graphique de la figure 28.

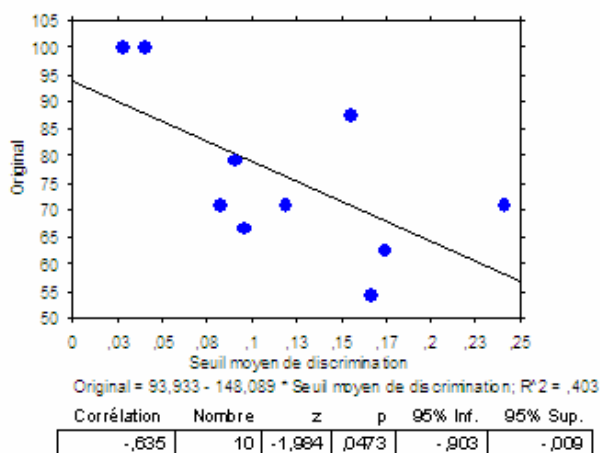


**Figure 28: Tableau récapitulatif des performances dans le test de prosodie Patel des sujets NHS jeunes, âgés, CIB et CIS.** Les sujets NHS âgés et jeunes ont des performances supérieures aux patients CIB et CIS. Les patients CIB ont des performances plus élevées que les CIS qui sont au niveau du hasard.

Les sujets normo-entendants jeunes et âgés ont des performances très significativement supérieures à celles des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle et les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle. De plus, les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle sont significativement meilleurs que les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle qui ont des performances au niveau du hasard.

### 3.3. Relation entre la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique

Dans cette partie, nous avons tenté de montrer les relations entre la perception de la hauteur tonale (seuil de discrimination) et les trois tests de prosodie pour les quatre groupes de sujets. On retrouve uniquement une corrélation négative pour le groupe des patients CIB ( $p = 0.0473$ ) entre les performances dans le test original et le seuil de discrimination moyen (figure 29). Chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle, une bonne perception de la hauteur tonale est liée à de bonne capacité de perception de la prosodie.

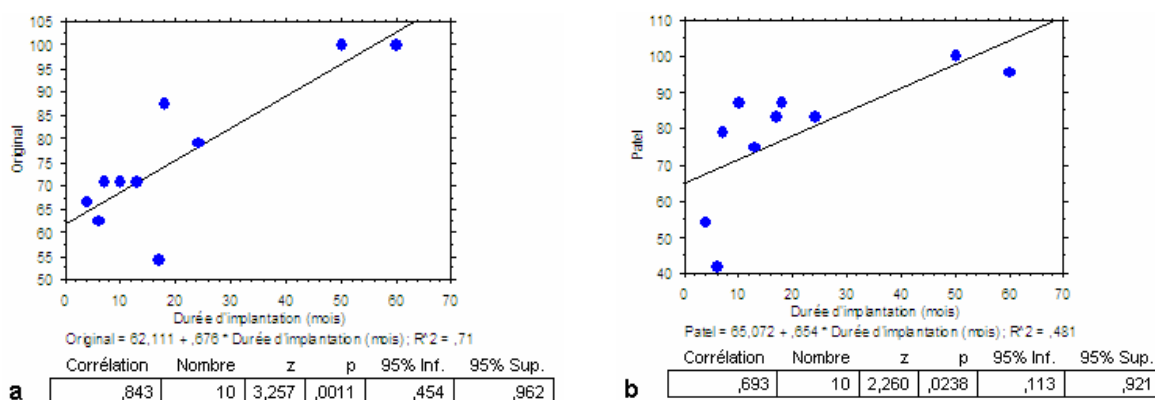


**Figure 29 : Corrélation négative des performances des patients CIB dans le test original et le seuil de discrimination moyen.** Les plus patients implantés cochléaires avec audition résiduelle ont de bonnes performances dans la condition de prosodie originale, plus leur seuil de discrimination moyen est bon. Il y a donc une relation entre la perception de la prosodie chez ces patients et leur capacité de perception de la hauteur tonale.



### 3.4. Relation entre les données anamnestiques et la perception de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires

Nous avons étudié les relations entre les données anamnestiques (durée d'implantation, soit la durée d'implantation des patients implantés cochléaires et durée de déprivation auditive) et la perception de la prosodie. Nous avons étudié ces relations dans les deux groupes d'implantés cochléaires. Nous avons trouvé uniquement deux corrélations positives dans le groupe de patients CIB. La première est une relation positive entre la durée d'implantation et les performances dans le test original (figure 30a). La seconde relation positive est entre la durée d'implantation et les performances dans le test Patel (figure 30b).



**Figure 30 :** *Corrélations positives de la durée d'implantation des CIB avec les performances en prosodie original (a) et Patel (b).*

Ainsi, chez les patients avec audition résiduelle, la durée d'implantation est à une influence positive sur les performances dans le test original et Patel.

### 3.5. Relation entre la perception de la parole et la perception de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires

Les patients implantés cochléaires bénéficient d'un suivi orthophonique pré implantation et post implantation. Nous avons étudié les relations entre les performances de perception de la parole (perception de mots dissyllabique (MD), de phrase dans le silence et de phrase dans le bruit) et les performances en prosodie linguistique. L'analyse des performances du groupe complet des patients implantés cochléaires nous montre deux corrélations positives entre les performances en compréhension de mots dissyllabiques et dans le test original ( $p = 0.0023$ ). Il y a également une relation positive et entre les performances en compréhension de mots dissyllabiques et dans le test de Patel ( $p = 0.0067$ ) (figure 31).

La bonne compréhension de mots dissyllabiques est liée avec de bonnes performances

dans le test original et Patel chez tous les patients implantés cochléaires.

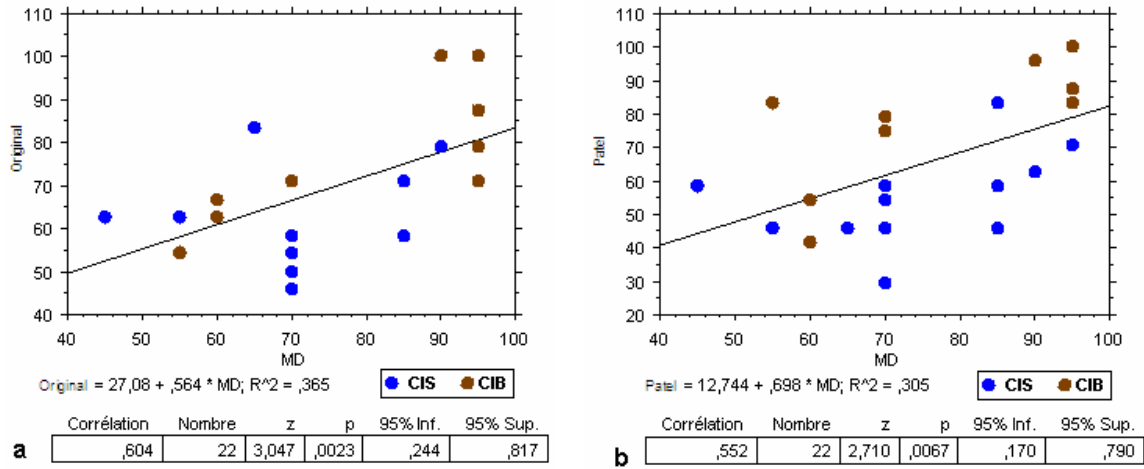


Figure 31 : Corrélations de la compréhension des mots dissyllabiques (MD) des patients CIB et des patients CIS avec les performances en prosodie original (a) et Patel (b). Les patients implantés cochléaires montrent une amélioration très significative de leurs performances en test original (p = 0.0023) et en Patel (p = 0.0067) corrélée positivement avec l'augmentation de la performance en compréhension de mots dissyllabiques.

#### 4. Discussion

La prise en charge de la surdité bilatérale profonde par implantation cochléaire a été une révolution pour les personnes qui en bénéficient. De nombreuses études et les témoignages des patients montrent que l'implant cochléaire permet de restaurer en grande partie la compréhension du langage. Toutefois, si la discrimination des phonèmes dans le langage est restaurée, la partie prosodique du discours reste largement déficitaire. Le travail de cette étude consiste à étudier la perception de la hauteur tonale et de la prosodie chez les patients implantés cochléaires et normo-entendants. Notre but est donc de comprendre ces déficits, et de mettre à jour les facteurs qui influencent la perception. Notre étude s'inscrit dans une visée globale d'amélioration de la prise en charge des personnes sourdes implantés cochléaires afin qu'elles puissent bénéficier de la meilleure qualité de vie possible.

##### 4.1. Déficit de la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique chez les patients sourds implantés cochléaires

Les déficits de perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires sont bien connus, mais peu d'études se sont intéressées aux déficits de perception de la prosodie linguistique.

#### **4.1.1. La perception de la hauteur tonale chez les patients sourds implantés cochléaires**

Les résultats de notre étude montrent que les patients CI ont un seuil moyen de discrimination qui est de 0,125 pour le groupe de patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB) et de 0,346 pour les patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (CIS). De leur côté, les sujets NHS jeunes ont un seuil moyen de discrimination de 0,028. Ainsi, la discrimination chez les sujets NHS jeunes est environ quatre fois supérieure à la discrimination des patients CIB, et environ douze fois supérieure à la discrimination des patients CIS. Notre étude montre que la perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires (CI) est très déficitaire comparée aux sujets normo-entendants jeunes (NHS jeunes). Ce qui confirme l'hypothèse que nous avons posée. De plus, nos résultats sont cohérents avec les résultats de la littérature. L'étude de Looi et al. (2004) montre que les sujets normo-entendants ont des performances de presque 100% pour une variation de hauteur tonale ( $\Delta F0$ ) de l'ordre de 0,25 octave. De leur côté, les patients implantés cochléaires pour avoir des performances supérieures au hasard ont besoin d'un  $\Delta F0$  de 0,5 octave. Ils n'atteignent des performances maximales que d'environ 68% pour un  $\Delta F0$  de 1 octave, loin des 100% de performance des sujets normo-entendants à  $\Delta F0$  de 0,25 octave. Le déficit de la perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires est principalement expliqué par le manque d'informations fréquentielles transmises par l'implant. Mais il faut également considérer aussi la perte d'informations suite à l'encodage du son et à la transmission des données. Enfin, l'intégrité du nerf auditif est un paramètre à prendre en compte dans le déficit de la perception des implantés cochléaires.

Les résultats de notre étude sont cohérents avec la littérature. Ils montrent un déficit de la perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires. Ce déficit serait dû à l'interaction entre les altérations des informations sonores lors de l'encodage, du codage et la transmission par l'implant cochléaire et l'intégrité du nerf auditif stimulé.

#### **4.1.2. La perception de la prosodie linguistique chez les patients sourds implantés cochléaires**

L'analyse des résultats de notre étude sur la prosodie montre que les sujets implantés cochléaires ont un déficit de la perception de la prosodie linguistique.

En effet, dans le test original, ils ont significativement de moins bonnes performances que les sujets sains normo-entendants (NHS). Alors que les sujets NHS jeunes ont des performances supérieures à 97% dans le test de prosodie originale, les patients implantés cochléaires ne dépassent pas les 76%. Les résultats de l'étude de Meister et al. (2009) sont en accord avec les nôtres. Dans leur étude, les performances des sujets NHS sont de 99% alors que les performances des patients CI sont significativement inférieures avec 82% de discrimination correcte entre question et affirmation en condition naturelle.

De plus, nous avons réalisé deux autres tests plus spécifiques afin de mettre à jour quels types d'indices acoustiques étaient les plus utilisés dans la perception de la prosodie linguistique. Il apparaît que tous les groupes de sujets ont une chute importante des performances dans le test de prosodie flat pitch. Ainsi, les indices de durée et d'intensité sont peu utilisés pour faire la discrimination entre question et affirmation. Seuls les patients CIB et les NHS jeunes ont des performances au dessus du hasard. Ces deux groupes utiliseraient donc les indices de durée et d'intensité pour percevoir la prosodie linguistique. Mais de façon surprenante, les patients CIB ont des performances de 63% significativement supérieures aux sujets NHS jeunes (57%) dans le test de flat pitch. Cela pourrait être l'indice de la mise en place par les patients CIB d'une stratégie compensatrice qui intègre tous les indices acoustiques afin de pallier leur déficit auditif.

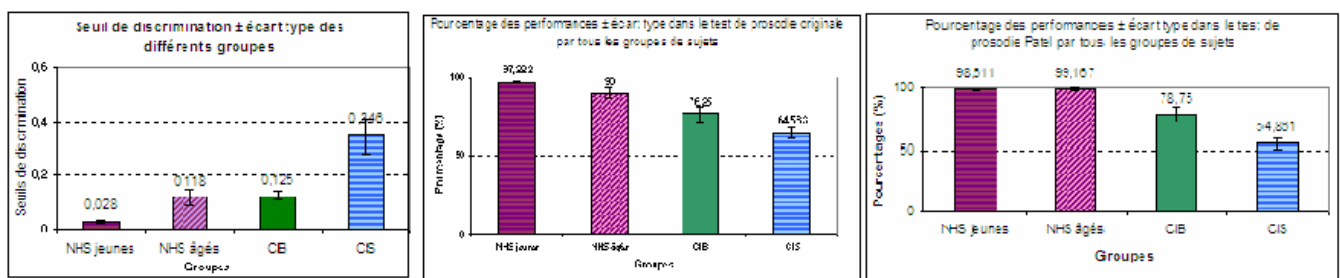
Enfin, les performances dans le test de Patel sont significativement déficitaires chez les patients implantés cochléaires. Alors que les sujets NHS jeunes ont des performances de 98%, les patients implantés cochléaires ont des performances significativement inférieures ne dépassant pas les 78%.

On constate chez les patients implantés cochléaire un déficit significatif de la perception de la prosodie linguistique. Mais face à ce déficit, les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle mettraient en place une stratégie d'adaptation. Elle consisterait à intégrer tous les indices acoustiques pour faire la discrimination entre question et affirmation.

#### **4.1.3. Relation entre la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique**

La prosodie comprend la hauteur tonale comme indice acoustique principal. Nous avons donc émis l'hypothèse qu'il existe un lien entre la perception de la hauteur tonale et la perception de la prosodie linguistique. Les résultats que nous avons obtenus dans notre étude permettent de confirmer cette hypothèse. En effet, nous retrouvons chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle, une corrélation positive entre les performances dans le test de prosodie originale et le seuil de discrimination moyen avec un  $p = 0,0473$ . Meilleure est la discrimination de la hauteur tonale et meilleure est la performance dans le test original.

De plus, même si nous ne retrouvons pas une preuve aussi tangible qu'une corrélation statistique, on constate néanmoins que la distribution des performances de seuil de discrimination et les performances dans le test original et Patel suivent la même tendance pour les quatre groupes comme le représente la figure 32. Ainsi, les meilleures performances dans ces tests sont pour les NHS jeunes suivit par les patients implantés cochléaires.



**Figure 32 :** Graphiques des performances des quatre groupes de sujets dans les tests de discrimination de hauteur tonale, prosodie originale et prosodie Patel. On constate pour les trois tests une tendance des quatre groupes à suivre la même hiérarchie de performances.

La perception de la hauteur tonale et la perception de la prosodie ont une relation significative uniquement chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle. Ainsi, la bonne perception de la hauteur tonale est en relation avec une bonne perception de la prosodie linguistique. Même si il n'existe pas de relation significative entre la perception de la hauteur tonale et de la prosodie pour les autres groupes, nos résultats montrent une tendance qui va dans le sens de cette hypothèse.

#### 4.1.4. Limites et perspectives

Les résultats de notre étude, conformément à notre hypothèse de départ, montrent un déficit de la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique chez les patients implantés cochléaires.

Nous supposons que c'est l'altération des informations sonores par l'implant cochléaire qui serait à l'origine de ce déficit. Ainsi, la perte d'information fréquentielle délivré par l'implant est souvent mise en cause. Cette perte d'information est variable d'une stratégie de codage à l'autre. Comme le montre Vandali et al. (2005) dans leur étude, il y a une influence de la stratégie de codage de l'implant sur la perception de la hauteur tonale. Notre étude comptait des patients CI dont les stratégies de codage étaient variables. Il serait donc pertinent de réaliser des groupes avec des stratégies de codages différentes afin de voir leur influence sur la perception de la hauteur tonale et la perception de la prosodie linguistique.

De plus, nous ne prenons dans nos conclusions en compte l'impact de la surdité sur l'organisation cérébrale des patients implantés cochléaires. L'étude de Cousineau et al. (2010) montre que les sujets NHS jeunes ont des performances significativement supérieures (0.39 demi tons) à celles des patients implantés cochléaires (7.8 demi tons). Mais en plus de ces deux groupes, les auteurs ont formé un troisième groupe de sujets NHS jeunes en condition de simulation d'implant. Une nouvelle fois, on constate des performances supérieures (1.98 demi tons) aux patients implantés cochléaires. Ces résultats prouvent que la seule dégradation fréquentielle du son n'est pas à l'origine des performances basses des patients implantés cochléaires. Il serait donc intéressant de comparer l'activation cérébrale des patients implantés et des sujets NHS jeunes dans les tests de perception de la prosodie linguistique.

Des limites de cette étude émergent deux pistes de recherches futures. Une première serait de voir l'influence des différentes stratégies de codage sur la perception des patients implantés cochléaires. Une seconde piste serait d'observer les activations cérébrales des sujets normo-entendants et l'activation cérébrale chez les patients implantés cochléaires dans des tests de perception de la hauteur tonale et de la prosodie.

#### 4.2. Influence de la présence d'audition résiduelle sur la perception des informations prosodiques et de hauteurs tonales

Notre étude posait l'hypothèse que la présence d'audition résiduelle chez les patients implantés cochléaires aurait également une influence sur la perception de la hauteur tonale et la perception de la prosodie.

On constate que la première hypothèse d'amélioration de la perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB) est vérifiée. En effet, il existe une amélioration significative des performances de discrimination de la hauteur tonale grâce à la présence d'audition résiduelle. Le seuil de discrimination des patients CIB est de 0,125. Elle est significativement meilleure ( $p = 0.0423$ ) que celle des patients implantés cochléaires sans audition résiduelle (0,346). Notre seconde hypothèse de l'amélioration des performances dans les tests de prosodie linguistique est elle aussi vérifiée. En effet, même si pour le test de prosodie original, la différence entre les groupes de patients CIS et CIB n'est pas significative ( $p=0,06$ ), il y a une tendance très nette des patients CIB à avoir de meilleures performances dans ce test avec un score à 76% contre 64% pour les patients CIS. Et ces données sont cohérentes avec celles de la littérature. En effet, la méta-analyse réalisée par Ching et al. (2004) dresse un tableau des différentes améliorations dues à la présence d'audition résiduelle. On constate que les améliorations sont de différentes natures (figure 33).

STUDIES ON ADULTS		STUDIES ON CHILDREN	
Study	Bimodal advantages cited		
Armstrong et al, 1997 <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• more "natural" sound</li> <li>• sound is heard in both ears rather than through the implant alone</li> <li>• own voice quality is improved</li> <li>• a "full communication potential" is available</li> </ul>	Simons-McCandless & Shelton, 2000 <sup>12</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 • speech appears to be heard in the middle of his head rather than in one ear</li> <li>• provide added security if either were to stop working during a school day</li> <li>• prefers sound quality and localization ability with the use of both devices worn together</li> </ul>
Blamey et al, 1997 <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hear sounds in both ears rather than on one side</li> <li>• "naturalness" of overall percept</li> </ul>	Ching et al, 2001 <sup>13</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>11 • initiate more conversation</li> <li>• understand more of what's being said</li> <li>• require less repetition</li> <li>• more willing to converse with unfamiliar persons</li> <li>• more confident in shops</li> </ul>
Tyler et al, 2002 <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hearing aid picks up additional information, gives "clarified" hearing</li> <li>• feels more comfortable hearing sounds in both ears</li> <li>• gets more directional sound</li> <li>• hearing aid adds "a little/more" hearing level, while the cochlear implant "gives me the word and voice clarity."</li> </ul>	Ching et al, 2000 <sup>17</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5 • children generally functioned better in everyday life</li> </ul>
Syms III & Wicksberg, 2003 <sup>4</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• better localization</li> <li>• better sound quality</li> </ul>	Ching et al, 2002 <sup>18</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7 • picks up other people's conversation</li> <li>• speaks more clearly</li> </ul>
Ching et al, 2004 <sup>19</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• adds more "brilliance" to people's voices</li> <li>• enjoy music more</li> <li>• easier to identify speaker in a group</li> <li>• easier to listen to speech in shops and restaurants</li> <li>• gives a "better balance"</li> <li>• more confident in everyday life</li> </ul>	Ching et al, 2004 (submitted) <sup>14</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>18 • imitate voice and intonation better</li> <li>• can localize sounds better</li> <li>• more spontaneous and responsive in conversations</li> <li>• doesn't mishear as much</li> <li>• can recognize songs on the radio</li> <li>• can distinguish between environmental sounds</li> <li>• can distinguish between people's voices</li> <li>• more confident with friends</li> <li>• participates more actively in games</li> <li>• enjoys jokes more</li> <li>• more talkative</li> <li>• more attentive</li> <li>• less repetition required</li> </ul>
Hamzavi et al, 2004 <sup>11</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• some directional hearing</li> <li>• more speech-like sound quality</li> </ul>		

Figure 33: Tableau récapitulatif de la méta analyse de Ching et al. (2004).

Notre étude s'intéresse à l'influence de la présence d'audition résiduelle chez les patients implantés cochléaires. La littérature montre que la présence d'audition résiduelle et donc l'utilisation d'une prothèse en plus de l'implant cochléaire est à l'origine d'une meilleure compréhension de la parole que si le patient bénéficie uniquement de l'implant cochléaire.

De plus, nos résultats montrent que les performances des patients CIS chutent considérablement du test original aux tests flat pitch et Patel. Dans ces deux derniers tests, les performances sont au niveau du hasard. En revanche, le profil des patients CIB est différent. Leurs performances dans les tests de flat pitch et Patel sont différentes du hasard même si elles ont tendance à baisser. Ces résultats seraient l'indice que les patients CIB en plus d'avoir une perception globalement meilleure que les CIS, auraient également des capacités d'intégration de tous les paramètres acoustiques. On peut encore une fois y voir là, une différence au niveau cortical qu'il serait intéressant d'étudier grâce à l'imagerie cérébrale.

En conclusion, l'audition résiduelle permet une amélioration globale des capacités de perception. De plus, on constate chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle une capacité d'intégration des indices acoustiques qui leur permet de percevoir la prosodie linguistique et cela même en l'absence de variation de la hauteur tonale.

#### 4.3. Influence de l'âge sur la perception de la hauteur tonale et la perception de la prosodie linguistique

Le vieillissement normal est connu pour entraîner une baisse générale de la perception. La littérature met en avant ce phénomène dans la perception de la hauteur tonale. Ainsi, comme le montre l'étude de Souza et al. (2011), on constate que l'âge entraîne une forte diminution de la discrimination chez les sujets normo-entendants âgés. Notre étude pose l'hypothèse que la perception de la prosodie sera également altérée sous l'effet de l'âge. Les résultats de notre étude sont cohérents avec les données de la littérature car nous trouvons qu'en perception de la hauteur tonale, les sujets normo-entendants âgés (NHS âgés) ont des performances significativement inférieures à celle des sujets NHS jeunes ( $p=0,0022$ ). De plus, nous retrouvons également un effet de l'âge dans la perception de la prosodie. On constate que les sujets NHS âgés avec des performances de 90% contre 97% chez les sujets NHS jeunes, ont des performances significativement inférieures à celles des sujets NHS jeunes ( $p=0,0002$ ). Les résultats montrent également une chute très significative des performances dans le test de flat pitch où les sujets NHS âgés ont des performances au niveau du hasard. Leurs performances dans ce test sont significativement inférieures à celles des sujets NHS jeunes. On peut voir avec l'incapacité de ces sujets NHS âgés à utiliser d'autres indices acoustiques que les variations de la fréquence fondamentale.



Ce phénomène pourrait découler de l'impact du vieillissement sur les capacités cérébrales des sujets normo-entendants. En revanche, notre échantillon n'était composé que de 5 sujets. Afin que l'effet retrouvé puisse avoir plus de puissance, il faudrait constituer un groupe plus important de sujets normo-entendants âgés. Mais au vue des résultats, une perspective future serait d'étudier cet impact de l'âge sur la perception des patients implantés cochléaires.

En conclusion, comme notre hypothèse le suggérait, il y a un effet de l'âge sur la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique. Cet effet nous ouvre une piste d'exploration de la perception chez le patient implanté cochléaire en fonction de l'âge.

#### 4.4. Récupération auditive de la compréhension de la parole et de la perception de la prosodie linguistique : influence des données anamnestiques.

La dernière hypothèse formulée dans cette étude est qu'il existe une relation entre les capacités de récupération linguistique et prosodique chez les patients implantés cochléaires. Les résultats montrent que chez les patients implantés cochléaires, il y a une corrélation positive entre les performances en compréhension de la parole et les performances en perception de la prosodie. Cette corrélation positive est retrouvée entre la compréhension de mots dissyllabiques (MD) et les performances dans le test original d'une part et entre la compréhension de MD et les performances dans le test Patel, d'autre part. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature. En effet, Chatterjee et al. (2008) trouvent une corrélation positive entre la discrimination de l'intonation et la reconnaissance de voyelles et de consonnes. De bonnes performances en compréhension de la parole sont liées à des performances hautes en perception de la prosodie linguistique. En se basant sur les activations cérébrales de l'étude de Green et al. (2005), on peut émettre l'hypothèse que l'activité fonctionnelle cérébrale et donc des processus de hauts niveaux soient liés aux performances dans les tâches de compréhension du langage (compréhension de la parole et perception de la prosodie). Cette hypothèse va dans le sens d'une rééducation du langage dans tous ses aspects et pas seulement dans la compréhension de la parole. De plus, il est probable que cette pratique aurait également des répercussions bénéfiques au niveau de l'activité corticale.

Enfin, nos résultats montrent uniquement une corrélation positive chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle entre les performances en perception de la prosodie pour le test original et le test Patel.

Ces résultats vont dans le sens de la théorie de Green et al. (2005) sur l'influence de la durée d'implantation sur l'amélioration des performances chez les patients implantés cochléaires. Encore une fois, ces résultats montrent l'importance de l'expérience, de la pratique qui améliore les capacités perceptives chez des patients implantés cochléaires.

En conclusion, une bonne perception de la prosodie linguistique est en relation avec une bonne compréhension de la parole. De plus, la durée d'implantation a une influence positive sur la perception de la prosodie linguistique. Ces résultats montrent l'importance de l'expérience sur la bonne perception de la prosodie linguistique. Ils révèlent également que l'amélioration des capacités perceptives est présente dans tous les aspects de la perception du langage.

## 5. Conclusion

Les patients implantés cochléaires présentent un déficit important de la perception de la hauteur tonale et de la perception de la prosodie linguistique. Ce déficit est dû à l'altération des informations fréquentielles entre le recueil des données sonores et la stimulation du cortex auditif. En effet, on constate que la présence et la stimulation de l'audition résiduelle chez le patient implanté cochléaire lui permet de réduire ce déficit perceptif. Il entraîne également le développement de stratégies adaptatives qui utilisent les indices acoustiques de durée et d'intensité pour compenser l'altération des informations fréquentielles. De plus, d'autres facteurs viennent vraisemblablement jouer un rôle dans les capacités de perception chez les patients implantés cochléaires. Ainsi, l'influence de l'âge a été montrée chez les sujets normo-entendants. Il est très probable qu'il y ait également des répercussions sur les capacités de perception des patients implantés cochléaires. Ce qui nous ouvre des perspectives de recherches futures sur l'influence de l'âge sur la perception des patients implantés cochléaires. Il faut ajouter, que la durée d'implantation et donc l'expérience avec l'implant a une influence positive sur les capacités de perception de ces patients. Les capacités de perception des patients implantés cochléaires sont en constante évolution. Ce constat offre à ces patients la possibilité de voir leurs capacités perceptives s'améliorer sur le long terme. Enfin, les relations que montre notre étude entre la perception de la parole et la perception de la prosodie permet d'envisager une prise en charge et non seulement de la compréhension de la parole mais également de la prosodie afin de maximiser les capacités de compréhension du langage chez les patients implantés cochléaires.

## 6. Bibliographie

- Armstrong, M., Pegg, P., James, C., & Blamey, P. (1997). Speech perception in noise with implant and hearing aid. *Am J Otol*, 18(6 Suppl), S140-141.
- Bachorowski, J. A., Smoski, M. J., & Owen, M. J. (2001). The acoustic features of human laughter. *J Acoust Soc Am*, 110(3 Pt 1), 1581-1597.
- Cartwright, J. H., Gonzalez, D. L., & Piro, O. (2001). Pitch perception: a dynamical-systems perspective. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98(9), 4855-4859.
- Chatterjee, M., & Peng, S. C. (2008). Processing F0 with cochlear implants: Modulation frequency discrimination and speech intonation recognition. *Hear Res*, 235(1-2), 143-156.
- Ching, Y., Incerti, P., Hill, M., & Brew, J. (2004). Fitting and evaluating a hearing aid for recipient of a unilateral cochlear implant: the NAL approach. *The hearing review*.
- Ciocca, V. (2008). The auditory organisation of complex sound. *Front bioscience*, 13, 148-169.
- Cousineau, M., Demany, L., Meyer, B., & Pressnitzer, D. (2010). What breaks a melody: Perceiving F0 and intensity sequences with a cochlear implant. *Hear Res*, 269(1-2), 34-41.
- Di Cristo, A. (2004). La prosodie au carrefour de la phonétique, de la phonologie et de l'articulation formes-fonctions. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, 23, 67-221.
- Donnelly, P., & Limb, C. (2008). Music perception on cochlear implant users. In N. e. al. (Ed.), *Cochlear Implants: Principles and Practices*.
- Drennan, W. R., & Rubinstein, J. T. (2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *J Rehabil Res Dev*, 45(5), 779-789.
- Firszt, J. B., Koch, D. B., Downing, M., & Litvak, L. (2007). Current steering creates additional pitch percepts in adult cochlear implant recipients. *Otol Neurotol*, 28(5), 629-636.
- Foxton, J. M., Riviere, L. D., & Barone, P. (2009). Cross-modal facilitation in speech prosody. *Cognition*, 115(1), 71-78.
- Frayse, B., Macias, A. R., Sterkers, O., Burdo, S., Ramsden, R., Deguine, O., et al. (2006). Residual hearing conservation and electroacoustic stimulation with the nucleus 24 contour advance cochlear implant. *Otol Neurotol*, 27(5), 624-633.
- Gantz, B. J., Turner, C., Gfeller, K. E., & Lowder, M. W. (2005). Preservation of hearing in cochlear implant surgery: advantages of combined electrical and acoustical speech processing. *Laryngoscope*, 115(5), 796-802.
- Garcia, D., Hall, D. A., & Plack, C. J. The effect of stimulus context on pitch representations in the human auditory cortex. *Neuroimage*, 51(2), 808-816.
- Gfeller, K., Christ, A., Knutson, J. F., Witt, S., Murray, K. T., & Tyler, R. S. (2000). Musical backgrounds, listening habits, and aesthetic enjoyment of adult cochlear implant recipients. *J Am Acad Audiol*, 11(7), 390-406.
- Gfeller, K., Turner, C., Oleson, J., Zhang, X., Gantz, B., Froman, R., et al. (2007). Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition, and speech reception in noise. *Ear Hear*, 28(3), 412-423.
- Grandjean, D., Sander, D., Lucas, N., Scherer, K. R., & Vuilleumier, P. (2008). Effects of emotional prosody on auditory extinction for voices in patients with spatial neglect. *Neuropsychologia*, 46(2), 487-496.
- Grassi, M., & Soranzo, A. (2009). MLP: a MATLAB toolbox for rapid and reliable auditory threshold estimation. *Behav Res Methods*, 41(1), 20-28.

- Green, K. M., Julyan, P. J., Hastings, D. L., & Ramsden, R. T. (2005). Auditory cortical activation and speech perception in cochlear implant users: effects of implant experience and duration of deafness. *Hear Res*, 205(1-2), 184-192.
- Griffiths, T. D. (2003). Functional imaging of pitch analysis. *Ann N Y Acad Sci*, 999, 40-49.
- Hall, D. A., & Plack, C. J. (2009). Pitch processing sites in the human auditory brain. *Cereb Cortex*, 19(3), 576-585.
- Hartmann, W. M. (1996). pitch, periodicity, and auditory organization. *J. Acoust. Soc. Am*, 100(6), 3491-3502.
- He, N., Dubno, J. R., & Mills, J. H. (1998). Frequency and intensity discrimination measured in a maximum-likelihood procedure from young and aged normal-hearing subjects. *J Acoust Soc Am*, 103(1), 553-565.
- Hirsh, I. J., & Watson, C. S. (1996). Auditory psychophysics and perception. *Annu Rev Psychol*, 47, 461-484.
- Jessica M. Foxton, Jennifer L. Dean, Rosemary Gee, and, I. P., & Griffiths, T. D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain*, 127(4), 801-810.
- Kovacic, D., & Balaban, E. (2009). Voice gender perception by cochlear implantees. *J Acoust Soc Am*, 126(2), 762-775.
- Leal, M. C., Shin, Y. J., Laborde, M. L., Calmels, M. N., Verges, S., Lugaardon, S., et al. (2003). Music perception in adult cochlear implant recipients. *Acta Otolaryngol*, 123(7), 826-835.
- Licklider, J. C. R. (Ed.). (1956). *Auditory frequency analysis* (C. Cherry ed.). London: Butterworths scientific publication.
- Lieberman, P. (1973). Linguistic and paralinguistic interchange, *International congress of anthropological and ethnological sciences*. Chicago.
- Liegeois-Chauvel, C., Giraud, K., Badier, J. M., Marquis, P., & Chauvel, P. (2001). Intracerebral evoked potentials in pitch perception reveal a functional asymmetry of the human auditory cortex. *Ann N Y Acad Sci*, 930, 117-132.
- Liegeois-Chauvel, C., Lorenzi, C., Trebuchon, A., Regis, J., & Chauvel, P. (2004). Temporal envelope processing in the human left and right auditory cortices. *Cereb Cortex*, 14(7), 731-740.
- Looi, V., McDermott, H, McKay, C and Hickson, L. (2004). Pitch discrimination and melody recognition by cochlear implant users. *International Congress Series*, 1273, 197-200.
- Meister, H., Landwehr, M., Pyschny, V., Walger, M., & von Wedel, H. (2009). The perception of prosody and speaker gender in normal-hearing listeners and cochlear implant recipients. *Int J Audiol*, 48(1), 38-48.
- Moore, B. C., & Peters, R. W. (1992). Pitch discrimination and phase sensitivity in young and elderly subjects and its relationship to frequency selectivity. *J Acoust Soc Am*, 91(5), 2881-2893.
- Nimmons, G. L., Kang, R. S., Drennan, W. R., Longnion, J., Ruffin, C., Worman, T., et al. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otol Neurotol*, 29(2), 149-155.
- Oxenham, A. J. (2008). Pitch Perception and Auditory Stream Segregation: Implications for Hearing Loss and Cochlear Implants. *Trends Amplif*, 12, 316-331.
- Oxenham, A. J., Bernstein, J. G., & Penagos, H. (2004). Correct tonotopic representation is necessary for complex pitch perception. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(5), 1421-1425.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labreque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain Lang*, 61(1), 123-144.

Patterson, R. D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I. S., & Griffiths, T. D. (2002). The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron*, 36(4), 767-776.

Pell, M. D. (1999a). Fundamental frequency encoding of linguistic and emotional prosody by right hemisphere-damaged speakers. *Brain Lang*, 69(2), 161-192.

Pell, M. D. (1999b). The temporal organization of affective and non-affective speech in patients with right-hemisphere infarcts. *Cortex*, 35(4), 455-477.

Pell, M. D., & Baum, S. R. (1997). The ability to perceive and comprehend intonation in linguistic and affective contexts by brain-damaged adults. *Brain Lang*, 57(1), 80-99.

Penagos, H., Melcher, J. R., & Oxenham, A. J. (2004). A neural representation of pitch salience in nonprimary human auditory cortex revealed with functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*, 24(30), 6810-6815.

Pihan, H. (2006). Affective and linguistic processing of speech prosody: DC potential studies. *Prog Brain Res*, 156, 269-284.

Plomp, R. (1967). Pitch of Complex Tones. *J. Acoust. Soc. Am*, 41(6), 1526-1533.

Pressnitzer, D., Bestel, J., & Fraysse, B. (2005). Music to electric ears: pitch and timbre perception by cochlear implant patients. *Ann N Y Acad Sci*, 1060, 343-345.

Pretorius, L. L., & Hanekom, J. J. (2008). Free field frequency discrimination abilities of cochlear implant users. *Hear Res*, 244(1-2), 77-84.

Puschmann, S., Uppenkamp, S., Kollmeier, B., & Thiel, C. M. Dichotic pitch activates pitch processing centre in Heschl's gyrus. *Neuroimage*, 49(2), 1641-1649.

Ritsma, R. J. (1967). Frequencies Dominant in the Perception of the Pitch of Complex Sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, 42(1), 191-198.

Sandmann, P., Kegel, A., Eichele, T., Dillier, N., Lai, W., Bendixen, A., et al. (2010). Neurophysiological evidence of impaired musical sound perception in cochlear-implant users. *Clin Neurophysiol*.

Souza, P., Arehart, K., Miller, C. W., & Muralimanohar, R. K. (2011). Effects of age on F0 discrimination and intonation perception in simulated electric and electroacoustic hearing. *Ear Hear*, 32(1), 75-83.

Stevens, S. S. (1935). The Relation of Pitch to Intensity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 6(3), pp. 150-154

Townshend, B., Cotter, N., Van Compernelle, D., & White, R. L. (1987). Pitch perception by cochlear implant subjects. *J Acoust Soc Am*, 82(1), 106-115.

Truong, K., Van Leeuwen, DA. (2007). automatic discrimination between laughter and speech. *Speech communication*, 49, 144-158.

Vandali, A. E., Sucher, C., Tsang, D. J., McKay, C. M., Chew, J. W., & McDermott, H. J. (2005). Pitch ranking ability of cochlear implant recipients: a comparison of sound-processing strategies. *J Acoust Soc Am*, 117(5), 3126-3138.

Wildgruber, D., Ackermann, H., Kreifelts, B., & Ethofer, T. (2006). Cerebral processing of linguistic and emotional prosody: fMRI studies. *Prog Brain Res*, 156, 249-268.

Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends Cogn Sci*, 6(1), 37-46.

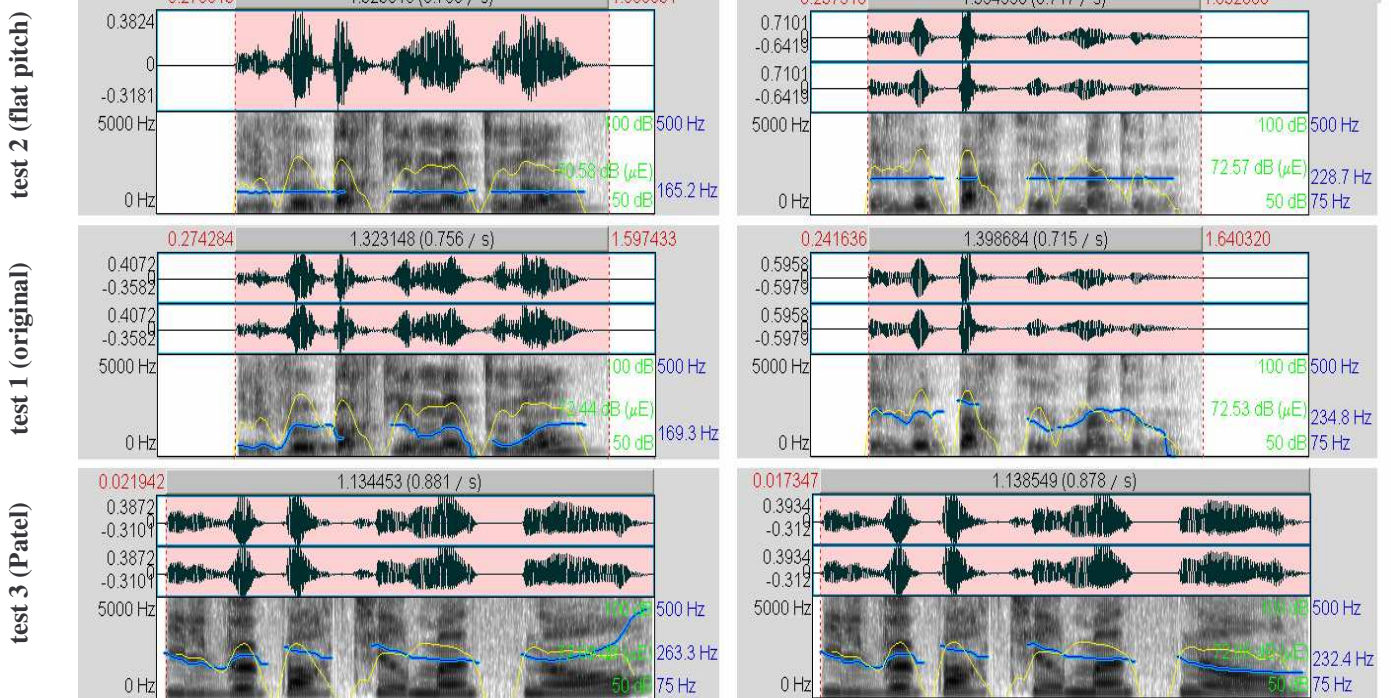
Annexe 1 : tableau de données démographiques et orthophoniques des sujets implantés cochléaires

Sujet	Age	Genre	Etiologie	Date d'implantation	Durée implantation (mois)	Durée de déprivation (ans)	Côté implantation	Marque implant	Stratégie de codage	Type de stimulation
1	73	1	Ménière droit	02/12/2009	7	1	droit	Advanced Bionics	HiRes 120	CI seul
2	76	2	Ménière	15/05/2008	26	1	droit	Advanced Bionics	HiRes 120	CI seul
3	69	1	maladie de Lobstein	17/11/2004	88	20	gauche	Advanced Bionics	HiRes 90	Bimodal
4	68	2	Inconnue	01/03/2006	60	26	gauche	Advanced Bionics	HiRes 90	Bimodal
5	45	1	Surdité brusque	02/11/2010	4	3	droite	Advanced Bionics	HiRes 90	Bimodal
6	72	2	Inconnue	20/03/2007	43	32	droite	Advanced Bionics	HiRes 90	CI seul
7	57	1	Surdité brusque	20/10/2010	6	6	gauche	Advanced Bionics	HiRes 90	Bilatéral
8	76	2	fracture rocher	05/01/2010	15	10	droit	Advanced Bionics	HiRes 90	CI seul
9	72	2	Brusque	05/02/2004	97	15	gauche	Cochlear	ACE	Bimodal
10	80	2	Envt + aggravation	19/12/2009	17	6	droit	Advanced Bionics	HiRes 120	Bimodal
11	68	2	Envt-dégradation	03/03/2010	13	3	gauche	Advanced Bionics	HiRes 120	CI seul
12	62	1	Inconnue	07/12/2005	65	1	gauche	Cochlear	ACE	CI seul
13	68	2	Traumatique	19/11/2010	6	15	droite	Cochlear	ACE	Bimodal
14	44	2	Inconnue	07/04/2005	60	6	droit	Nucleus C24	Ace 900Hz	CI seul
15	70	1	Inconnue	01/04/2003	84	4	gauche	Nucleus C24	Ace 900Hz	CI seul
16	69	2	Otospongiose	19/06/2007	36	1	droit	Nucleus C24	Ace 720Hz	CI seul
17	66	1	Familiale	19/06/2010	84	0,8	gauche	Nucleus C24	Ace 720Hz	CI seul
18	69	2	Inconnue	08/12/2005	55	1	gauche	Nucleus C24	Ace 900Hz	CI seul
19	63	1	Otospongiose	21/05/2008	24	1	droit	Nucleus C24	Ace 900Hz	Bimodal
20	62	2	Inconnue	15/12/2009	7	3	gauche	Nucleus C24	Ace 900Hz	Bimodal
21	42	2	Inconnue	05/12/2008	18	4	gauche	Nucleus C24	Ace 900Hz	Bimodal
22	43	1	Inconnue	30/05/2006	50	4	droit	Nucleus C24	Ace 720Hz	Bimodal
23	21	1	Inconnue	16/09/2009	10	3	gauche	Nucleus C24	Ace 720Hz	Bimodal

## Annexe 2 : Tests de prosodie

**Il veut partir maintenant ?**

**Il veut partir maintenant.**



*Illustration du traitement de la phrase « il veut partir maintenant » par le logiciel Praat® dans les différents tests de discrimination question-affirmation. Dans l'ensemble des images, la ligne bleue représente les variations de F0 dont la valeur est signalée en bout de ligne. La ligne jaune représente les variations d'amplitudes de la F0. Enfin la durée moyenne est signalée en tête de chaque image. La première ligne est l'illustration du test 3 (flat pitch). La seconde présente le test 1 (original). La dernière ligne présente le test 3 (Patel)*

## Annexe 3 : données statistiques du groupe implantés cochléaires complet et d'homogénéisation des groupes CIS et CIB

### *Description du groupe complet des patients implantés cochléaires*

	Moyenne	Déviati on Standard	Erreur Standard	Nombre	Etendue	Médiane
Ages	62,435	14,206	2,962	23	59	68
Durée déprivation	7,309	8,83	1,883	22	31,2	3,5
Durée d'implantation (mois)	38,043	30,613	6,383	23	93	26
MD	76,522	15,553	3,243	23	50	70
Phrases dans le silence	88,696	16,964	3,537	23	60	95
Phrases dans le bruit	73,87	24,54	5,117	23	95	84

### *Groupes de patients implantés cochléaires avec audition résiduelle (CIB) et sans audition résiduelle (CIS)*

Tableau ANOVA pour Ages

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	-10,068	11,766	,0896

Tableau ANOVA pour Durée d'im plantation (mois)

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	-21,167	25,447	,0983

Tableau ANOVA pour Durée déprivation

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	1,382	8,022	,7231

Tableau ANOVA pour MD

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	6,818	14,051	,3235

Tableau ANOVA pour Phrases dans le silence

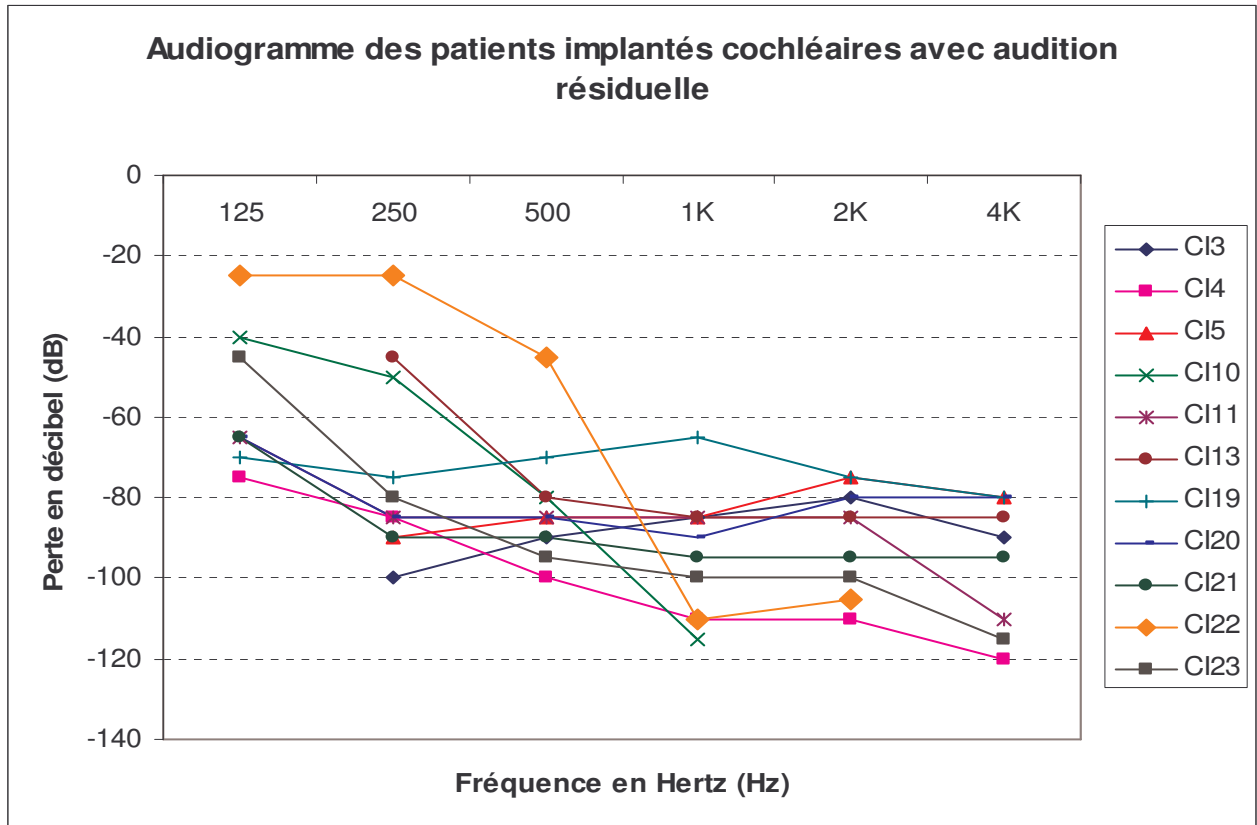
	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	2,727	15,605	,7193

Tableau ANOVA pour Phrases dans le bruit

	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Bimodal, CI seul	18,182	21,096	,0873



Annexe 4 : Audiogramme du groupe de patients implantés cochléaires avec audition résiduelle



## Remerciements

Je tiens à remercier le Pr. Olivier Deguine, Pascal Barone pour m'avoir permis de faire ce stage, pour leur aide et le temps qu'ils m'ont consacré.

Je remercie le directeur du Master 2 Jean-François Démonet et toute l'équipe pédagogique pour l'enseignement riche qu'il a mis en place.

Je remercie le laboratoire du CerCo et tout son personnel pour son aide et son accueil.

Je remercie le service ORL et le centre d'implant du CHU de Purpan pour leur aide et leur accueil.

Je remercie le docteur M. Marx pour son temps, son soutien de tous les instants, et son aide pour la réalisation de ce travail.

Je remercie Laure Chambaudie, Kuzma Strelnikov, Zoé Massida, Flavie Torrecillos pour leur aide et leur sympathie.

Je remercie tous les patients implantés cochléaires pour leur participation et le temps qu'ils m'ont consacré.

Je remercie toutes les personnes jeunes, moins jeunes et âgées qui ont accepté de participer à mes tests et pour le temps qu'elles m'ont consacré.

Je remercie l'association des seniors Olivier et le club de personnes âgées de Saint-Martin-de-Touch pour leur accueil et leur aide.

Je remercie ma famille sans qui je ne serai pas là.

Je remercie particulièrement mes parents et ma sœur qui ont contribué à améliorer ce travail.

Je remercie les D&D pour leur aide, leur soutien et pour avoir prouvé qu'en chaque scientifique se trouve un comique.

Je remercie ma douce Marion Lloze pour tout ce qu'elle m'apporte.

Je remercie les poules d'Avignon d'avoir été là, et de le rester depuis si longtemps.

Je remercie les habitants des 5 et 7 rues de Nice pour leur soutien, leur écoute et leur aide.

Je remercie Mario Fornaroli pour les samedis à programmer sur Matlab, pour son fameux vin rouge et son amitié.

Je remercie Jong Allegraud pour son aide dans des moments de trouble en programmation.

Je remercie Maxime Vedere pour son soutien, sa présence, ses fameuses lasagnes à l'aluminium et pour tous les rôtis que nous mangerons ensemble.

Je remercie tous ceux dont je ne cite pas les noms et qui ont contribué à ce travail.

*Je dédis ce travail à tous ceux qui, grâce à leurs actions, contribuent à améliorer la vie des autres.*

## Résumé

L'implant cochléaire est une nouvelle technologie qui permet aux patients sourds de récupérer en partie leurs capacités auditives. Notre travail est centré sur l'étude de la perception de la hauteur tonale et de la prosodie linguistique ainsi qu'à leur relation chez le patient sourd implanté cochléaire et chez le sujet normo-entendant. Nous avons développé un test qui évaluait le seuil de discrimination à différentes fréquences et un second test qui évaluait les capacités de discrimination entre question et affirmation. Nous avons également exploré l'influence de plusieurs facteurs dont les principaux sont : la présence d'audition résiduelle, l'âge de la durée d'implantation. Pour étudier ces facteurs, nous avons constitué deux groupes de sujets normo-entendants (jeunes et âgés) et deux groupes de patients implantés cochléaires (avec audition résiduelle et sans audition résiduelle).

Nos résultats ont prouvé l'amélioration des capacités perceptives des patients implantés cochléaires avec la présence audition résiduelle. Nous avons démontré l'altération en fonction de l'âge de la perception de la prosodie linguistique chez les sujets normo-entendants. Nous avons trouvé une influence positive de la durée d'implantation et des capacités de compréhension de la parole sur la perception de la prosodie linguistique. Nous avons souligné l'importance de la conservation et de la stimulation de l'audition résiduelle chez le patient implanté cochléaire. Ces résultats permettent également d'envisager une prise en charge plus globale des patients implantés en incluant la rééducation de la prosodie linguistique pour améliorer les capacités de perception du langage en général.

***Mots clés : perception auditive, implant cochléaire, hauteur tonale, prosodie linguistique, audition résiduelle.***

The cochlear implant is a new technology which enables deaf patients to recover partially their auditory capacities. Our work focused on studying pitch and linguistic prosody perception and their relationship for cochlear implantees and normal hearing subjects. We developed a discrimination threshold test at different frequencies and a second test to evaluate the ability to discriminate question from statement. We also investigated several factors, the main ones are: the presence and stimulation of residual hearing, age and implantation duration. In order to study these factors we constituted two groups of normal hearing subjects (young and elderly) and two groups of cochlear implantees (with residual hearing and without residual hearing).

Our results proved the enhancement of cochlear implantees perceptual capacities with residual audition. We demonstrated alteration of normal hearing subjects' linguistic prosody perception with age. We found the positive influence of implantation's duration and of the comprehension on speech on the perception of linguistic prosody. We underlined the importance of keeping and stimulating the residual hearing in cochlear implantees. These results let us consider a more global reeducation of cochlear implantees including linguistic prosody to improve the general capacities of language perception

***Key words: auditory perception, cochlear implant, pitch, linguistic prosody, residual hearing.***