



UNIVERSITE PAUL SABATIER/TOULOUSE III
Faculté de médecine Toulouse Rangueil
Enseignement des techniques de réadaptation

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophonie

La perception de la prosodie linguistique
chez l'adulte implanté cochléaire post-
lingual
Intérêt d'un entraînement axé sur la perception de
contours mélodiques

DESGRAVES Cécile – LAMBERT Fanny

Sous la direction de :

Marie Laurence LABORDE – Chris JAMES

Juin 2016

SYNTHESE MEMOIRE

La perception de la prosodie linguistique chez l'adulte implanté cochléaire post-lingual : intérêt d'un entraînement axé sur la perception de contours mélodiques

Cécile DESGRAVES, Fanny LAMBERT

Sous la direction de Marie-Laurence LABORDE et Chris JAMES

Faculté de Médecine Toulouse-Rangueil, le 29 juin 2016

INTRODUCTION

Actuellement, l'implantation cochléaire permet d'obtenir un niveau satisfaisant de compréhension de la parole dans le silence. D'autres domaines demandent cependant une perception plus fine des paramètres acoustiques du signal sonore, comme la musique, les conversations en milieu bruyant ou encore la perception de la prosodie. Ces éléments restent aujourd'hui encore difficilement perçus par les individus porteurs d'implant.

La perception des éléments segmentaux de la parole que sont les phonèmes et les mots est au cœur de la prise en charge orthophonique des sujets porteurs d'implant, afin d'obtenir une bonne compréhension du discours oral. Cependant, la situation réelle d'énonciation nécessite également d'accéder au phénomène suprasegmental que constitue la prosodie. Cet élément, souvent appelé mélodie de la parole, enrichit et affine le sens du message porté par les mots et possède une fonction linguistique et une fonction émotionnelle.

Un précédent mémoire, réalisé par Bérigaud et Hardoy (2014) s'était intéressé au versant émotionnel véhiculé par la voix. Dans ce mémoire, nous nous sommes penchées sur la prosodie linguistique qui concourt à la structuration syntaxique et à la signification du message et permet de déterminer la modalité des phrases. La perception de la prosodie repose sur les variations des paramètres acoustiques d'intensité, de durée et de fréquence. Nous avons choisi d'étudier plus particulièrement la perception de la fréquence, qui est le paramètre le plus difficilement perçu par les porteurs d'implant. Nous nous sommes intéressées à la relation entre les capacités de perception de la fréquence fondamentale et celles pour la perception de la prosodie à partir des variations de fréquence.

Notre objectif est de montrer l'intérêt d'un entraînement à la perception de la fréquence fondamentale, en s'appuyant sur la perception de contours mélodiques, pour améliorer les capacités de réception de la prosodie chez les sujets porteurs d'implant.

METHODOLOGIE

Sujets

61 sujets ont été inclus dans cette étude : 36 femmes et 25 hommes, avec une moyenne d'âge de 63 ans. 8 sujets sont porteurs d'un implant bilatéral, 27 portent un implant associé à une prothèse controlatérale et 26 portent uniquement un implant unilatéral. La durée moyenne post-implantation est de 5 ans 1 mois.

Parmi ces 61 sujets, 6 ont suivi un entraînement à la perception de contours mélodiques.

24 sujets normo-entendants ont été inclus, avec une moyenne d'âge de 42 ans.

Tests

Afin de valider nos hypothèses, nous avons fait passer les tests suivants, directement à travers l'implant :

- un test de perception de la prosodie afin d'évaluer les performances dans ce domaine lorsque seules persistent les variations de fréquence fondamentale.
- un test de perception de la fréquence fondamentale (Pitch Rank) avec deux registres de fréquence (sous-test fréquences basses et sous-test fréquences hautes). Ce test nous a permis d'étudier la corrélation entre performances pour la prosodie et performances pour la perception de la fréquence.
- un questionnaire afin de recueillir le ressenti des sujets implantés sur leur perception de la prosodie.

Les deux tests ont été réalisés par les sujets porteurs d'implant et les normo-entendants.

Matériel

Pour l'entraînement à la perception de contours mélodiques, nous avons utilisé un matériel en séance dirigée, composé de deux interfaces (PowerPoint 2007, Microsoft®) :

- une interface de perception d'intervalles de hauteur et de contours mélodiques instrumentaux
- une interface de perception de contours mélodiques prosodiques, correspondant à des phrases enregistrées et manipulées acoustiquement pour que seules persistent les variations de fréquence et/ou de rythme du signal sonore. Ces stimuli comportent les mêmes variations d'intonation que la phrase originale, sans que les phonèmes soient identifiables.

En parallèle, un auto-entraînement à domicile avec le logiciel Angelsound™ a été mis en place afin de travailler la discrimination de notes et l'identification de contours mélodiques instrumentaux.

Protocole

Une première évaluation d'une durée d'1 heure a été réalisée pour la passation des deux tests pour les 61 sujets. Les 6 patients sélectionnés pour l'entraînement ont bénéficié de 4 séances dirigées en notre présence, afin de se familiariser avec les exercices. Au bout de ces 4 semaines, ils ont commencé l'auto-entraînement à domicile pendant une durée moyenne de 6 semaines. Durant cet auto-entraînement, deux séances dirigées ont été effectuées. Une deuxième évaluation avec les deux tests a été réalisée pour ces 6 patients après les 6 semaines d'auto-entraînement.

Résultats

Les performances des sujets implantés (IC) apparaissent significativement différentes de celles des normo-entendants (NE), que ce soit pour le test de prosodie (IC $d'=0.972$, NE $d'=4.382$, $p=6.8E^{-30}$) ou pour celui de fréquence fondamentale (IC $d'=0.702$, NE $d'=2.476$, $p=4.6E^{-6}$ pour le sous-test fréquences basses, IC $d'=0.391$, NE $d'=2.557$, $p=2.8E^{-7}$ pour le sous-test fréquences hautes).

Une faible corrélation entre perception de la fréquence fondamentale et perception de la prosodie est observée ($r^2=0.306$, $p=0.016$ pour le sous-test fréquences basses, $r^2=0.270$, $p=0.035$ pour le sous-test fréquences hautes). Certains sujets obtiennent de bons scores en prosodie sans pour autant réussir le test de fréquence et inversement.

Enfin, notre entraînement ne montre pas d'amélioration significative des performances en perception de la prosodie et en perception de la fréquence fondamentale ($p>0.05$).

Discussion

Notre étude confirme les données de la littérature sur les difficultés à percevoir la prosodie à partir des variations de fréquence ainsi que la grande variabilité des résultats obtenus par les sujets implantés. Le test de Pitch Rank apparaît plus difficile à réaliser que celui de prosodie. En effet, les variations de fréquence sont plus importantes pour le test de prosodie et donc plus facilement détectables. D'autre part, dans le test de Pitch Rank, la perception des variations de fréquence fondamentale repose uniquement sur des indices temporels, les mêmes électrodes étant activées quel que soit le stimulus.

L'existence d'une corrélation entre les résultats aux deux tests nous permet de conclure qu'il existe un lien entre la capacité à percevoir les variations de fréquence fondamentale en s'appuyant sur des indices temporels et la capacité à percevoir la prosodie à partir des variations de fréquence fondamentale. Pour certains sujets ayant réussi le test de prosodie mais en échec sur le test de fréquence, nous supposons que leur réussite en prosodie repose sur la perception d'indices spectraux.

L'entraînement à la perception de contours mélodiques ne montre pas d'amélioration pour la perception de la prosodie à partir des variations de fréquence. Cet entraînement se heurte aux limites technologiques de l'implant et à des facteurs limitant, intrinsèques aux patients. Une amélioration de la qualité des enregistrements, un allongement de la durée d'entraînement et un choix plus ciblé des exercices proposés pourraient faire l'objet d'une étude ultérieure. Nous pouvons supposer que cet entraînement aura contribué à porter l'attention des sujets sur un paramètre qu'ils ne sont pas accoutumés à prendre en compte dans leur compréhension du message oral.

La participation active et la motivation des patients qui souhaitent continuer à s'entraîner au-delà de notre étude renforcent l'intérêt de développer des outils thérapeutiques axés sur la perception des éléments suprasegmentaux. Cette dimension du langage constitue donc un domaine à exploiter en orthophonie afin de contribuer à une meilleure compréhension du message oral par les patients porteurs d'implant.

BIBLIOGRAPHIE

BERIGAUD, L. HARDOY, M.L. (2014) *Intérêt d'un auto-entraînement auditif informatisé aux émotions chez les adultes sourds implantés cochléaires post-linguaux*. Mémoire d'orthophonie. Université Paul Sabatier Toulouse III Faculté de médecine Toulouse Rangueil. Enseignement des techniques de réadaptation. Direction : M.L. Laborde, C. James

DI CRISTO A. (2013) *La prosodie de la parole*. Belgique : de boeck solal, : 296.

GALVIN JJ, FU QJ, SHANNON RV. (2009) Melodic contour identification and music perception by cochlear implant users. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1169:518-33.

MCDERMOTT HJ (2004). Music perception with cochlear implants: a review. *Trends in Amplification* 8(2):49-82.

MARX M. (2013) *Approche psychophysique de la perception auditive para et extra linguistique chez le sujet sourd post lingual implanté cochléaire*. Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur. Université Paul Sabatier-Toulouse III. Direction : O.Deguine et P.Barone

WILSON BS, DORMAN MF (2008). Cochlear implants: a remarkable past and a brilliant future. *Hearing research* 242, 3-21

REMERCIEMENTS

Communs

Nous tenons tout d'abord à remercier chaleureusement tous les patients implantés ayant participé à l'étude, avec une mention particulière pour les six sujets ayant suivi l'entraînement. Merci pour votre investissement et votre motivation sans faille au long de ces quelques semaines.

Nous adressons aussi nos remerciements à nos maîtres de mémoire, Marie-Laurence Laborde et Chris James. Chacune de nos réunions a permis d'enrichir ce travail et vous nous avez laissé une grande latitude de manœuvre tout en nous aiguillant pour faire aboutir ce mémoire.

Nous remercions aussi toute l'équipe du service ORL pour leur accueil et leur aide.

Merci à Sandrine Cabrol pour la richesse de ses explications.

Nous remercions aussi tous nos sujets normo-entendants qui ont bien voulu se prêter au jeu de la passation des tests.

Merci à Arthur et Stéphane qui ont prêté leurs voix pour les enregistrements des phrases utilisées pour les contours.

Merci à Alexandre et Sébastien pour le prêt de matériel audio et les enregistrements.

Remerciements personnels

Merci à ma binôme pour sa persévérance tout au long de cette année et ses compétences en informatique qui m'ont ouvert des horizons !

De la part de Cécile

Merci à mes parents, à ma famille et particulièrement à mes amis qui ont suivi de près ou de loin les nombreux sentiments qui ont entouré la rédaction de ce mémoire.

Un merci particulier à ma colocataire qui a subi mes doutes et variations d'humeur face aux difficultés de ce mémoire mais m'a toujours soutenue. Merci pour tes encouragements et les relectures de ce travail.

Merci à ma binôme pour son indéfectible patience, son implication sans limites et sa remarquable rigueur. Travailler avec toi tout au long de cette année m'aura beaucoup apporté, tant sur le plan professionnel que sur le plan humain.

De la part de Fanny

Table des matières

INTRODUCTION	1
PARTIE THEORIQUE	5
CHAPITRE I – LA PROSODIE	6
I. <i>Définitions</i>	6
A. Langage, langue, parole, prosodie	6
B. Les marques de la prosodie	7
1. Intonation	8
2. Accentuation.....	8
3. Rythme	9
4. Interaction des marques de la prosodie	9
C. Rôle de la prosodie	9
1. Fonction référentielle : dimension linguistique	9
2. Fonction émotive : dimension paralinguistique	11
II. <i>Perception de la prosodie par l’oreille normo-entendante</i>	12
A. Acoustique des sons	12
1. Sons purs	12
2. Sons complexes	12
3. Paramètres acoustiques et corrélats perceptifs du son.....	13
a) Fréquence	13
b) Intensité.....	14
c) Timbre.....	15
d) Durée	15
B. Acoustique de la parole	16
1. Caractéristiques acoustiques des unités minimales de la parole	16
a) Les voyelles	16
b) Consonnes	17
2. Structure temporelle de la parole	17
a) Enveloppe temporelle.....	17
b) Structure temporelle fine	18
3. Les paramètres acoustiques de la prosodie.....	18
a) Fréquence	18
b) Intensité et durée	20
C. Physiologie de la perception prosodique.....	20
1. Traitement des sons par l’oreille	20
2. Traitement neuronal des sons	22
3. Traitement neuronal de la prosodie	23
CHAPITRE II – IMPLANT COCHLEAIRE ET PERCEPTION DE LA PROSODIE	25
I. <i>Surdité post-linguale et implantation cochléaire</i>	25
A. La surdité post-linguale	25

B.	L'implant cochléaire, généralités.....	26
II.	<i>Fonctionnement de l'implant cochléaire</i>	27
A.	Description et transmission du signal	27
B.	Stratégies de codage.....	28
1.	CIS (Continuous Interleaved Sampling) et HiRes (HiResolution).....	29
2.	N of m, SPEAK (Spectral Peak), ACE (Advanced Combination Encoder)	29
3.	FSP (Fine Structure Processing)	30
4.	Canaux virtuels	30
III.	<i>L'implant cochléaire et la perception de la prosodie</i>	30
A.	Perception de la prosodie linguistique	30
B.	Perception de la fréquence fondamentale	31
1.	Codage temporel	31
2.	Codage spatial	32
3.	Effets des variations simultanées des paramètres temporels et spatiaux.....	32
IV.	<i>Facteurs influençant les capacités auditives</i>	34
A.	Liés au patient.....	34
B.	Liés aux limites technologiques et chirurgicales de l'implant	35
1.	Dégradation spectrale du signal	36
2.	Dégradation temporelle du signal	36
3.	Pistes de recherche.....	37
CHAPITRE III : L'ENTRAÎNEMENT A LA PERCEPTION DE CONTOURS MELODIQUES		38
I.	<i>La musique et l'implant cochléaire</i>	38
A.	Définition de la musique.....	38
B.	Les attributs de la musique.....	39
1.	La fréquence	39
2.	Intensité.....	39
3.	Durée	40
4.	Timbre	40
C.	Perception de la musique	40
1.	Perception de la fréquence.....	40
2.	Perception de la durée	41
3.	Perception du timbre.....	42
D.	Appréciation de la musique	42
E.	Paramètres influençant perception et appréciation.....	43
II.	<i>La relation entre musique, parole et prosodie</i>	44
A.	Au niveau formel et fonctionnel	45
B.	Au niveau acoustique	45
C.	Au niveau cérébral	47
III.	<i>L'intérêt de l'entraînement</i>	49
A.	Généralités	49
B.	La plasticité cérébrale.....	49
1.	Déprivation auditive et plasticité cross-modale	49

2.	Réhabilitation auditive et plasticité cérébrale	50
C.	Conditions de l'entraînement	51
1.	Type d'entraînement	51
2.	Fréquence de l'entraînement	52
D.	Effets de l'entraînement musical	53
1.	Sur la plasticité cérébrale	53
a)	Au niveau sous-cortical	53
b)	Au niveau cortical	53
2.	Sur les compétences auditives.....	54
3.	Sur les compétences linguistiques et prosodiques	55
4.	Sur la perception de la parole dans le bruit	56
E.	Entraînement...ou prédispositions ?	56
F.	Musique et parole, une influence réciproque	57
PARTIE PRATIQUE.....		58
PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES		59
I.	<i>Problématique</i>	60
II.	<i>Hypothèses</i>	61
POPULATION		63
I.	<i>Sujets implantés cochléaires</i>	64
A.	Critères de sélection	64
B.	Composition de l'échantillon	65
1.	Echantillon total.....	65
2.	Sous-groupe entraînement.....	66
II.	<i>Sujets normo-entendants</i>	66
METHODOLOGIE.....		67
I.	<i>Recueil des données et analyse des résultats</i>	68
A.	Théorie de la détection du signal.....	68
B.	Outils statistiques utilisés	68
II.	<i>Matériel</i>	69
A.	Tests.....	69
1.	Prosodie.....	70
2.	Pitch Rank	70
B.	Questionnaire	71
C.	Matériel d'entraînement	71
1.	Matériel de rééducation en séances dirigées	72
a)	Première interface : intervalles et contours mélodiques instrumentaux	72
b)	Seconde interface : contours mélodiques prosodiques.....	75
2.	Matériel d'auto-entraînement : Angelsound™	78
a)	Discrimination de notes	78
b)	Identification de contours mélodiques instrumentaux	79

III. <i>Protocole</i>	80
A. Première évaluation T1.....	80
B. Phase d'entraînement	80
1. Séances dirigées (1 à 4).....	81
2. Auto-entraînement et séances 5 et 6	81
C. Seconde évaluation T2.....	81
RESULTATS ET ANALYSES	82
I. <i>Hypothèse 1 : perception de la prosodie à partir des variations de fréquence fondamentale</i>	83
II. <i>Hypothèse 2 : perception de la fréquence fondamentale</i>	85
A. Sous-hypothèse 2	88
III. <i>Hypothèse 3 : corrélation entre perception de la prosodie et perception de la fréquence fondamentale</i>	89
A. Au sein de l'échantillon total (N=61)	89
B. Analyse des résultats en Pitch Rank en fonction de la réussite en prosodie	90
C. Analyse des résultats en prosodie en fonction de la réussite en PitchRank	91
IV. <i>Hypothèse 4 : intérêt d'un entraînement à la perception de contours mélodiques</i>	93
A. Résultats à T1.....	93
B. Résultats à T2.....	94
1. Prosodie.....	95
2. Pitch Rank	95
3. Influence de l'entraînement sur la discrimination de la parole dans le bruit	96
C. Sous hypothèse 4.....	96
1. Au sein de l'échantillon total	97
2. Au sein du groupe ayant un $d' < 0.5$ au test de prosodie (N=29)	97
V. <i>Recherche explicative non spécifique aux hypothèses</i>	98
DISCUSSION	108
CONCLUSION	116
BIBLIOGRAPHIE	119
TABLE DES ILLUSTRATIONS	127
ANNEXES	130

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Pour la première fois en 1957, une stimulation directe du nerf auditif était effectuée à Paris par Eyriès, otologiste et anatomiste, à partir d'un dispositif conçu par Djourno, professeur de physique médicale. Ce dispositif implanté permit ainsi au premier patient de percevoir les sons de l'environnement. Les premiers implants délivraient des informations auditives rudimentaires à coupler avec la lecture labiale, sans permettre toutefois d'obtenir un bon niveau de compréhension.

Depuis, les progrès technologiques et chirurgicaux autorisent un bon niveau de compréhension de la parole dans le silence. En 2010, plus de 200 000 individus bénéficient de cette technologie indiquée pour remédier à la perte auditive dans les cas de surdité sévère à profonde.

La surdité engendre des difficultés de compréhension conduisant bien souvent à un isolement. La rupture de communication coupe l'individu du reste de la société et suscite parfois l'incompréhension de l'entourage. La réhabilitation auditive joue donc un rôle majeur dans la qualité de vie des patients atteints de surdité.

Les nouvelles sensations auditives perçues avec l'implant demandent de la part du patient une réappropriation du monde sonore, afin de créer de nouveaux repères et de pouvoir mettre du sens sur les sons perçus. C'est le rôle de la prise en charge orthophonique, grâce à la rééducation auditive de l'adulte implanté post-lingual, axée sur la perception des caractéristiques segmentales de la parole, depuis l'identification et la reconnaissance de phonèmes et de mots, jusqu'à la compréhension de phrases.

Or la communication en situation réelle repose aussi sur les phénomènes suprasegmentaux qui composent la prosodie. Cette enveloppe musicale rend non seulement la parole vivante et agréable à entendre, mais contribue également à fournir des informations linguistiques et à segmenter le discours. Elle permet de mieux appréhender la situation d'énonciation et offre des renseignements sur le locuteur, ses intentions, son état émotionnel. Actuellement, la perception de la prosodie à travers l'implant constitue encore une difficulté pour les patients porteurs d'implant.

De nombreuses études ont été menées sur ce sujet ces dernières années, montrant l'intérêt suscité par ce domaine d'intervention orthophonique (Marx 2013, Capber 2011).

Dans la continuité de travaux déjà réalisés, notamment le mémoire de Bérigaud et Hardoy (2014) sur la reconnaissance des émotions et celui de Louis-Marie (2014) sur la réalisation d'un matériel musical d'entraînement à la perception des variations mélodiques, nous avons souhaité contribuer à l'élargissement des axes thérapeutiques proposés aux patients implantés en nous intéressant aux possibilités d'améliorer la perception de la prosodie.

Notre étude porte sur la prosodie linguistique qui, par sa fonction référentielle, participe à la construction syntaxique et sémantique du message dont elle permet la transmission dans différentes modalités (affirmation, question, exclamation...). Elle repose sur les variations de hauteur, de rythme et d'intensité de la voix. La prosodie émotionnelle quant à elle, repose également sur les expressions du visage et des variations de timbre.

Notre étude se limite à la prosodie linguistique. Nous porterons notre intérêt sur la perception de l'intonation, qui correspond aux variations mélodiques de l'énoncé.

Malgré les progrès constants de ces dernières années, la perception de la fréquence à travers l'implant reste difficile à cause de limites technologiques et constitue aujourd'hui un enjeu d'amélioration. La perception de la prosodie linguistique chez les patients implantés repose ainsi en priorité sur les variations d'intensité et de durée. Notre étude porte donc sur l'influence du paramètre acoustique de la fréquence fondamentale pour la perception de la prosodie.

Nous nous sommes interrogées sur l'existence d'un lien entre les capacités de perception de la prosodie linguistique et celles de la fréquence fondamentale et sur la possibilité d'améliorer la perception de la prosodie en améliorant la perception de la fréquence fondamentale.

Afin de répondre à ces questionnements, nous avons tout d'abord évalué les capacités de perception de la fréquence fondamentale et de la prosodie linguistique à partir des variations de fréquence au sein de notre population de sujets implantés. Cette évaluation est réalisée directement à travers l'implant afin d'étudier les performances des patients avec l'implant seul. L'objectif est aussi d'étudier le lien existant entre perception de la prosodie et de la fréquence fondamentale sur un nombre important de patients afin d'obtenir des résultats significatifs.

De plus, la prosodie est souvent appelée musique de la parole. En effet, musique et prosodie partagent des caractéristiques communes et de nombreuses études montrent que l'entraînement musical améliore les performances pour la perception de la parole (Thompson

et al. 2004, Patel et al. 2013, Lo et al. 2015, Besson et al. 2007). Nous avons donc proposé à un nombre restreint de patients, sélectionnés parmi l'échantillon testé, un entraînement auditif axé sur la perception de contours mélodiques, c'est-à-dire la succession de sons de différentes fréquences fondamentales.

Cet entraînement a pour but de montrer les possibilités d'amélioration de la perception de la prosodie en s'appuyant sur la fréquence fondamentale, par une réévaluation post-entraînement des ces deux paramètres étudiés.

Sur le plan théorique, nous définirons d'abord la prosodie afin de comprendre l'importance de son rôle dans le discours et la situation d'énonciation. Nous la définirons du point de vue acoustique afin de justifier la pertinence de notre entraînement musical. Nous nous intéresserons à sa perception chez les normo-entendants, ce qui nous permettra de mieux comprendre sa perception par les individus implantés.

L'implant cochléaire, son fonctionnement et les stratégies de codage seront décrits, ainsi que la perception de la prosodie par les sujets implantés. Les limites technologiques et physiologiques seront analysées afin d'appréhender les difficultés rencontrées par les patients pour la perception de la prosodie.

Pour mieux définir notre entraînement, nous nous intéresserons à la musique et à sa relation avec la prosodie. Nous développerons le phénomène de plasticité cérébrale avant de faire une revue de littérature d'entraînements musicaux déjà réalisés par d'autres auteurs et de leurs effets.

Sur le plan pratique, nous expliquerons tout d'abord notre problématique et les hypothèses envisagées. Nous détaillerons notre méthodologie en décrivant la population, les tests utilisés ainsi que le matériel que nous avons créé pour l'entraînement à la perception de contours mélodiques et le logiciel d'auto-entraînement à domicile, avant de présenter les résultats. Notre discussion permettra d'analyser de manière plus élargie nos résultats et évoquera les limites de l'étude et ses perspectives possibles.

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I – La prosodie

I. Définitions

La communication nous inscrit en tant qu'être social au sein d'une communauté dont nous partageons les codes linguistiques et culturels. La faculté de langage, actualisée par la parole, constitue le noyau de cette communication dont un paramètre vient enrichir le contenu : celui de la prosodie. Nous définirons comment celle-ci s'inscrit au sein de la parole et du langage et nous préciserons son rôle dans la communication. Après avoir décrit les paramètres acoustiques qui la constituent, nous nous intéresserons à sa perception par l'oreille normo-entendante.

A. Langage, langue, parole, prosodie

Les confusions sont fréquentes entre les concepts de parole, de langue et de langage, qui sont parfois utilisés indifféremment pour désigner l'un ou l'autre. Or, en linguistique, ces notions revêtent des significations bien précises. Il importe donc de les définir afin d'éclaircir la position de la prosodie au sein du système linguistique.

« Le langage peut être défini comme un système de signes propre à favoriser la communication entre les êtres, c'est un acte physiologique (réalisé par différents organes du corps humain), psychologique (supposant l'activité volontaire de la pensée) et social (permettant la communication entre les hommes). » (Brin-Henry et al., 2004)

La langue constitue la faculté particulière et variable d'une communauté à l'autre d'exprimer le langage. Elle est définie par *« un système de signes et de règles permettant aux individus d'une même communauté de se comprendre »* (Brin-Henry et al., 2004).

La parole est une manifestation concrète de l'acte de langage, que Saussure décrit comme *« la partie individuelle de la langue qui résulte d'un acte psycho-physiologique volontaire, créatif, intelligent de la part du sujet parlant et qui organise les unités linguistiques sur l'axe syntagmatique »*. En orthophonie, *« la parole appartient au domaine de la phonologie, qui inclut la prosodie et le choix ou l'arrangement des phonèmes dans la chaîne parlée suivant les règles phonologiques communautaires »* (Brin-Henry et al., 2004).

La parole actualise ainsi le langage dans une réalité interactionnelle. Le paramètre de prosodie contribue largement à cette actualisation. On peut le définir comme la « mélodie de

la parole » ou « *l'ensemble des faits suprasegmentaux (...) qui accompagnent, structurent la parole et se superposent aux phonèmes* » (Brin-Henry et al., 2004). L'intonation, l'accentuation, le rythme, la mélodie et les tons constituent ces faits suprasegmentaux qui transmettent, par leur modulation au sein de la chaîne parlée l'intention du locuteur, sur le plan linguistique et émotionnel.

« *La prosodie [...] est une branche de la linguistique consacrée à la description (aspect phonétique) et à la représentation formelle (aspect phonologique) des éléments de l'expression orale tels que les accents, les tons, l'intonation, et la quantité [...]. Les signaux prosodiques sont polysémiques et véhiculent à la fois des informations paralinguistiques et des informations proprement linguistiques, déterminantes pour le traitement des énoncés et leur interprétation pragmatique dans le flux du discours.* » (Di Cristo, 2000, in Aura, 2012)

Les informations linguistiques données par la prosodie permettent de segmenter le discours en unités sémantiques. Les éléments prosodiques, qui peuvent être donnés par des variations de l'intonation, une accentuation plus ou moins marquée, un débit accéléré ou ralenti, apportent donc à l'énoncé un enrichissement de l'information sémantique.

Les informations paralinguistiques véhiculées par la prosodie renseignent sur l'état psychologique du locuteur, expriment son attitude et son intention de communication.

La prosodie, centrée sur le locuteur et la situation d'énonciation, est en ce sens « *une composante majeure pour la construction du sens en contexte et incontournable pour une communication réussie* » (Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999).

Comme le soulignent ces définitions, la prosodie est un paramètre suprasegmental essentiel à la compréhension du langage, qu'elle habille et dont elle enrichit le message. Elle se place dans une perspective interactionnelle puisqu'elle inscrit le locuteur et l'interlocuteur dans la situation d'énonciation et permet des jeux de langage comme l'ironie, notamment. Il n'est pas rare, en effet, que la prosodie seule permette de dégager un sens implicite ou de lever des ambiguïtés entre deux phrases comportant les mêmes unités segmentales.

B. Les marques de la prosodie

L'interaction d'unités suprasegmentales comme l'intonation, l'accentuation et le rythme définit la prosodie dans son sens large. Nous définirons brièvement chacune de ces unités puis verrons comment elles s'articulent entre elles pour dessiner la courbe mélodique.

1. Intonation

L'intonation correspond aux variations mélodiques se développant parallèlement à l'axe temporel du discours.

Elle est portée dans le discours par les morphèmes intonatifs dont l'organisation dans la chaîne parlée produira la ligne mélodique porteuse du sens de la phrase. Elle est ainsi un phénomène suprasegmental qui se superpose à la construction morphosyntaxique d'un énoncé dont elle enrichit le sens. L'intonation est traduite dans la langue française par une variation des niveaux de hauteur dans la voix du locuteur, portant sur des éléments segmentaux de la phrase afin de les mettre en exergue ou au contraire de les fondre dans le continuum sonore de la phrase prononcée. Elle correspond, au niveau acoustique, aux variations de la fréquence fondamentale, qui peuvent être associées à des variations de durée, voire d'intensité.

Ces variations de la ligne mélodique de l'énoncé, traditionnellement décrites par quatre niveaux de hauteur (Delattre, 1966), traduisent le type de l'énoncé (modalité, aspect informationnel du discours, implicite), ainsi que l'implication du locuteur en termes d'attitude, d'intention dans son message et fournissent ainsi les aspects pragmatique et expressif du message (Di Cristo, 1988 in Simon, 2004).

2. Accentuation

L'accentuation représente les variations d'intensité avec lesquelles le locuteur structure son énoncé et constitue, en ce sens, l'élément central de la description prosodique, à la base du rythme et générateur d'intonation (Aura, 2012).

La structure accentuelle se construit autour de deux types d'accents, initial et final, dont les corrélats phonétiques sont identifiables. L'accent initial attire l'attention de l'interlocuteur sur le groupe accentuel. Le type d'accent final, qui peut être continuatif, conclusif ou appellatif, donne une information sur la suite du discours et concourt à la structuration intono-syntaxique de la phrase (Di Cristo, Rossi, 1977 cités par Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999). Les unités accentuelles sont généralement portées par des syllabes. Une syllabe est dite accentuée lorsqu'elle est perçue avec plus d'intensité qu'une autre syllabe du même énoncé. L'approche accentuelle est donc relative : les marqueurs prosodiques sont perçus par comparaison. « *L'analyse est locale, progressive, indépendante des frontières de l'énoncé et du locuteur étudié. La hauteur d'une syllabe dépend directement de la hauteur de la syllabe qui la précède.* » (Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999).

3. Rythme

Dans le flux de parole, l'alternance de syllabes accentuées ou non, le débit avec lequel elles sont prononcées et la présence de pauses caractérisent le rythme. La récurrence de silences entrecoupant les syllabes et la vitesse de leur enchaînement dans le discours participent à sa structuration rythmique. La longueur d'une syllabe peut être porteuse de sens à elle seule et donner, par exemple, un indice d'hésitation. Le paramètre de rythme est donc lui-même essentiel dans la construction d'un message prosodique.

4. Interaction des marques de la prosodie

Di Cristo (2013) décrit la courbe mélodique comme la résultante d'une courbe globale (sur l'ensemble de la phrase), dessinée par les variations de hauteur et d'une composante locale caractérisée par des accentuations syllabiques (Simon, 2004). Il existe donc une imbrication de l'intonation et de l'accentuation qui interagissent au sein de la phrase et sont interdépendantes dans la construction de la mélodie du discours.

Le marquage accentuel (accentuation) et les différents niveaux de hauteur (intonation) permettent de segmenter l'énoncé en une succession de groupes intonatifs, qui en définissent le rythme. Intonation, accentuation et rythme sont donc trois phénomènes intimement liés, dont la variation des paramètres détermine la courbe mélodique du discours. Cette courbe définit la prosodie et concourt au sens du message.

C. Rôle de la prosodie

Au sein de la communication, la prosodie a une fonction référentielle, qui relève du domaine de la linguistique et une fonction émotive qui se rapporte davantage au domaine paralinguistique.

1. Fonction référentielle : dimension linguistique

Dans le domaine de la linguistique, la structure prosodique est directement liée aux structures syntaxique, sémantique et pragmatique du message. La prosodie linguistique résulte de contraintes esthétiques et/ou rhétoriques, de stratégies argumentatives et de constructions sémantiques particulières. Le genre discursif choisi implique également des contraintes intonatives précises. Les mécanismes de métaphores et les phénomènes d'emphase ou d'exagération constituent des marques de la prosodie linguistique.

L'intonation tient un rôle actif dans la structuration grammaticale de la phrase. La structure intonative est congruente à la syntaxe dans la mesure où elle respecte un jeu de contraintes rythmiques et linguistiques qui lui confère différentes fonctions.

L'intonation remplit une fonction distinctive dans le cas d'ambiguïtés sémantiques (« Mais oui mon cher, réellement » / « Mais oui mon cher Rey, elle ment ») ainsi qu'une fonction d'actualisation et de hiérarchisation des constituants syntaxiques (« La sœur de Pierre Olivier et son cousin » / « La sœur de Pierre, Olivier et son cousin ») (Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999).

Les segmentations intonatives peuvent donc, au sein d'une même phrase, provoquer des variations sémantiques fondamentalement différentes. L'influence mutuelle qu'exercent les structures syntaxique et prosodique l'une sur l'autre. Il est intéressant de se demander si c'est l'intonation qui impose la structure syntaxique d'un énoncé ou si c'est cette dernière qui induit les règles intonatives de l'énoncé. L'acquisition du langage par le nourrisson offre un début de réponse. En effet, avant d'articuler des phrases porteuses de sens, le nouveau-né commence par communiquer à travers l'intonation qu'il met dans son babillage. L'intonation seule est porteuse de sens et confère une syntaxe à son énoncé. L'intonation remplit une fonction démarcative, oppositive et prédicative et contribue ainsi à l'émergence des constructions syntaxiques (Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999).

La congruence des structures syntaxiques et prosodiques rend compte également de la fonction modale de la prosodie. C'est en effet la variation du contour intonatif qui va déterminer les différentes modalités des phrases du français. A ce titre, Delattre a décrit dix patrons de base du français en s'appuyant sur les différentes courbes intonatives, et défini quatre grandes catégories modales : déclarative, interrogative, parenthétique et exclamative. (Delattre, 1966).

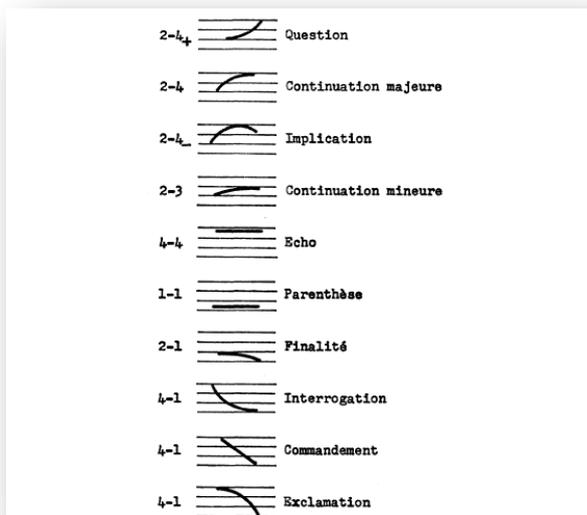


Figure 1 : Les dix intonations françaises les plus fréquentes et leur représentation schématique à l'aide de quatre niveaux de hauteur (Delattre, 1966)

finalité	} déclaratives
continuation majeure	
continuation mineure	
implication	
commandement	} interrogatives
question	
interrogation	} parenthétiques
parenthèse	
écho	} exclamative
exclamation	

Figure 2 : Les quatre catégories modales en fonction des dix intonations de Delattre, 1966

2. Fonction émotive : dimension paralinguistique

La prosodie émotionnelle appartient au domaine paralinguistique et offre à l'interlocuteur des indices en relation avec la situation de communication et avec la charge émotionnelle du discours.

La prosodie est définie dans sa dimension paralinguistique par deux fonctions expressives du langage. La fonction identificatrice exprime l'attitude du locuteur au sujet de ce qu'il dit (ses émotions, son caractère, mais aussi son appartenance socio-dialectale) et son état psychologique et physiologique. La fonction impressive rend compte des signaux liés aux statuts des interlocuteurs et au contexte social (Lacheret-Dujour, Beaugendre, 1999).

La perception des émotions à travers la prosodie est fondamentale dans l'acte de communication orale et se fonde principalement sur les variations de hauteur et de rythme (Frémont, 2013). Elle est également appuyée par le langage « kinésique » ou non verbal. La perception des émotions à travers les expressions du visage et le langage corporel appuie la prosodie émotionnelle et renforce l'intention sémantique du message.

La prosodie émotionnelle et la prosodie linguistique apportent toutes deux des informations essentielles à la compréhension du message mais se différencient par les indices acoustiques et visuels qu'elles impliquent. Pour notre étude, nous avons choisi de

nous intéresser à la prosodie linguistique, et plus particulièrement à l'intonation, qui permet de distinguer les modalités d'une phrase.

II. Perception de la prosodie par l'oreille normo-entendante

Nous venons de définir la prosodie et l'importance des informations qu'elle fournit pour la compréhension du message. Nous nous intéressons maintenant à sa perception, en réalisant d'abord un rappel de physique acoustique sur la nature et la composition des sons et plus particulièrement des sons de la parole, avant de nous intéresser à sa perception au niveau physiologique.

A. Acoustique des sons

En physique acoustique, le son est une onde produite par la mise en vibration d'éléments moléculaires de part et d'autre de leur position d'équilibre, se propageant dans un milieu élastique. On distingue les sons purs et les sons complexes.

1. Sons purs

Un son pur se caractérise par une onde acoustique simple, constituée d'une seule onde sinusoïdale périodique. Cette onde se définit par son amplitude, sa période et sa fréquence. L'amplitude correspond à la valeur de l'écart entre le point extrême de l'oscillation d'une molécule et son point d'origine. La période représente le temps d'une oscillation, soit le temps nécessaire pour que la molécule ait effectué un déplacement de part et d'autre de son point d'équilibre. La fréquence est définie mathématiquement par l'inverse de la période, elle correspond au nombre de fois où le phénomène périodique se reproduit en une seconde.

2. Sons complexes

Dans la réalité, on trouve préférentiellement des sons complexes, caractérisés soit par une onde périodique soit par une onde apériodique.

Les sons périodiques peuvent être décomposés, selon la loi de Fourier, comme une somme de signaux sinusoïdaux simples d'amplitude et de fréquences différentes. Comme l'illustre la figure 3, l'association de trois sons purs périodiques de fréquences différentes donne un son périodique complexe. Les voyelles et les sons musicaux sont des sons périodiques.

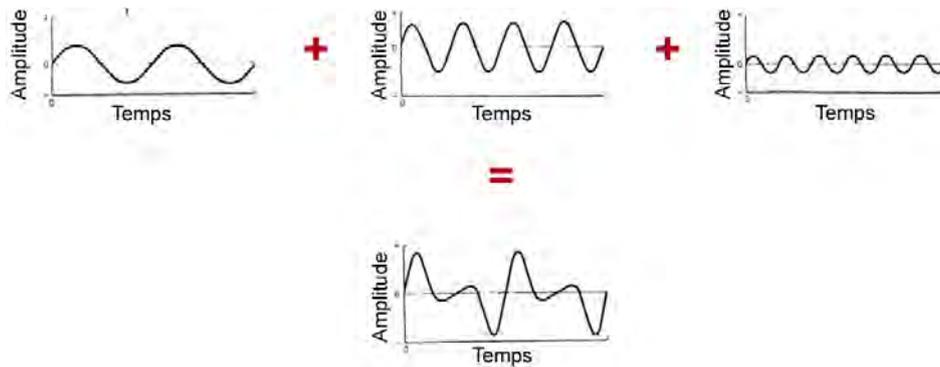


Figure 3 : Composition d'un son complexe périodique. La somme des ondes simples (3 graphiques du haut) donne un signal complexe périodique (graphique du bas) (Massida 2010).

Les sons aperiodiques comportent une multitude d'ondes non périodiques, dont on peut extraire l'amplitude ou la durée mais pas la fréquence. Ils sont définis par des « bandes fréquentielles étendues dans lesquelles les intensités spectrales sont relativement élevées » (Marx 2013). Les bruits de l'environnement ainsi que les consonnes sont des sons non périodiques.

3. Paramètres acoustiques et corrélats perceptifs du son

Les sons périodiques peuvent être définis au niveau acoustique par des caractéristiques de fréquence, d'intensité, de timbre et de durée.

a) Fréquence

La fréquence correspond à la vitesse à laquelle l'onde parcourt un cycle vibratoire. Elle s'exprime en Hertz. La fréquence la plus basse d'un son est le premier harmonique du son, elle est appelée fréquence fondamentale, les autres sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

Le champ fréquentiel perceptible par l'oreille humaine se situe entre 20 et 20 000 Hz.

L'enveloppe spectrale d'un son correspond à l'intensité de chacun des harmoniques qui le compose. Cette représentation fréquentielle se présente sous forme d'une succession de raies.

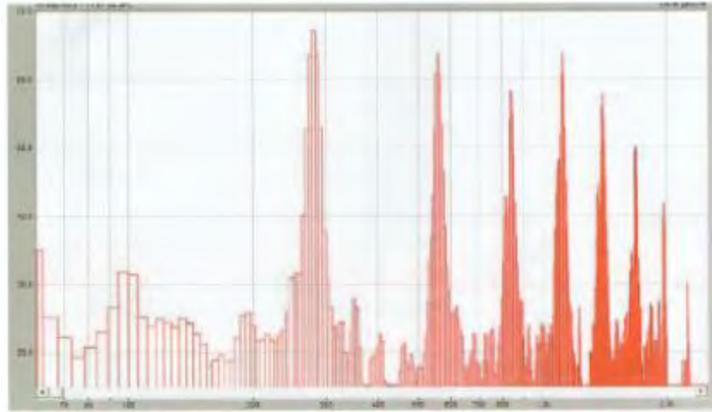


Figure 4 : Représentation fréquentielle d'un son complexe (fréquence en abscisse, intensité en ordonnée) (Renard, Collet, 2008)

La sensation de hauteur tonale (ou pitch) est définie en acoustique par la perception de la fréquence fondamentale et constitue son corrélat perceptif. Cependant, le cerveau humain est capable de percevoir une hauteur en l'absence d'énergie au premier harmonique (correspondant à la fréquence fondamentale), qu'il peut reconstruire à partir des harmoniques suivants. L'exemple type de ce phénomène de « fondamental absent » est celui du téléphone. Alors que la bande passante est comprise entre 300 et 3 500 Hz (domaine restreint par rapport au champ auditif), nous parvenons à comprendre notre interlocuteur.

b) Intensité

L'intensité est définie par la puissance acoustique émise par une source sonore. Elle s'exprime en décibels (dB) et se traduit sur le plan perceptif par une sensation appelée sonie. Cependant, la sonie est non seulement liée à l'intensité mais encore à la fréquence et à la durée du son. C'est à travers cette sensation que l'on détermine si un son est faible ou fort.

Les courbes isosoniques rendent compte du fait que, pour une même fréquence, la sensation provoquée par une onde sonore croît de manière non linéaire en fonction de l'intensité.

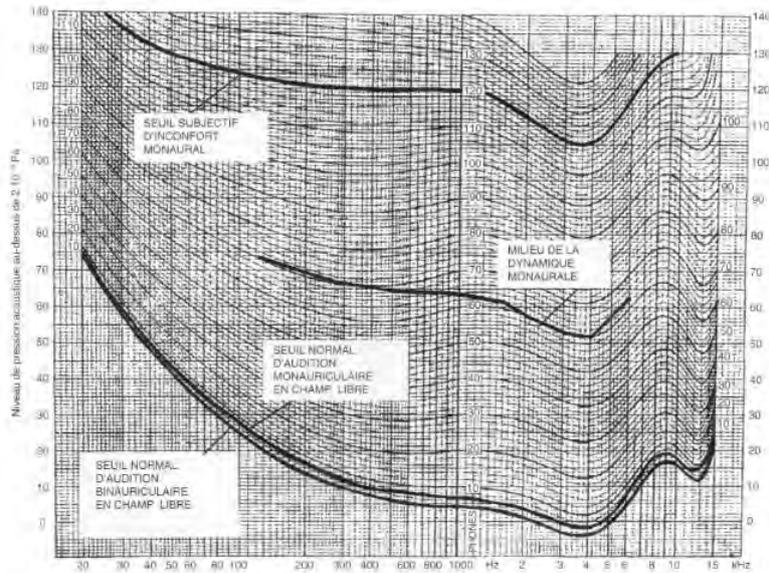


Figure 5 : Courbes isononiques du champ auditif humain en dB SPL (Renard, Collet, 2008)

Ces courbes permettent également de situer le champ auditif humain, délimité par le seuil normal d'audition (limite inférieure) et le seuil subjectif d'inconfort (limite supérieure).

c) Timbre

Au niveau acoustique, il dépend du rapport entre la fréquence fondamentale du son et de ses harmoniques (Renard, Collet, 2008).

Le timbre est défini par l'ANSI (American National Standards Institute, 1960 in Marx, 2013) comme un "attribut de la sensation sonore permettant de juger que deux sons complexes de même intensité, même fréquence fondamentale et même durée de présentation sont différents". Le timbre varie donc en fonction de la source sonore et permet de la définir. Il permet notamment de reconnaître deux instruments jouant la même note ainsi que les voix des personnes qui nous entourent. Un timbre peut être riche ou pauvre et qualifier la voix de « rauque », « soufflé », « éraillée », etc.

Le timbre de la voix humaine dépend de la morphologie du tractus vocal et de la configuration des résonateurs.

d) Durée

La durée n'est pas une grandeur acoustique en tant que telle mais elle est importante pour identifier, mesurer et analyser les sons. La durée d'un son correspond au temps durant lequel il est émis. Les sons d'intensité constante avec une durée supérieure à 1 ou 2 secondes sont considérés comme stables. Les sons d'une durée inférieure à 1 seconde sont appelés sons impulsionnels, ce qui est le cas des consonnes constrictives et occlusives.

B. Acoustique de la parole

1. Caractéristiques acoustiques des unités minimales de la parole

La parole, support de notre communication, est constituée de sons vocaux. Deux types de sons peuvent être décrits : les sons vocaliques et les sons consonantiques, constituant les unités minimales de la parole, également appelés phonèmes. Chacune de ces unités minimales a ses propres caractéristiques acoustiques, permettant de les différencier entre elles et constituant le support des modifications engendrées par la prosodie.

a) Les voyelles

L'onde sonore vocale naît du souffle pulmonaire qui est comprimé et décomprimé par l'ouverture et la fermeture successive des cordes vocales au niveau du larynx. Ces successions de mouvements d'adduction et d'abduction instaurent des variations de pression générant la vibration des molécules d'air.

Les voyelles sont des sons périodiques complexes résultant de cette vibration, la fréquence fondamentale dépendant directement de la tension musculaire des cordes vocales, dont la muqueuse vibre en conséquence. Les harmoniques, déterminant la richesse du son, sont créés par l'entrée en résonance du fondamental laryngé dans les cavités supra-laryngées. Ils résultent donc de la nature, de la taille et de la forme de l'appareil supra-laryngé, y compris les positions de la langue et des lèvres qui peuvent changer la longueur du conduit vocal.

Les harmoniques, ou fréquences de résonance, vibrent à une amplitude plus importante que la fréquence fondamentale. Leur représentation sur un spectre permet de visualiser les formants, pics d'amplitude correspondant à un maximum d'énergie. Ils correspondent aux zones fréquentielles de renforcement des impulsions laryngées. Lorsque l'air provenant des poumons est mis en vibration par les cordes vocales, il parvient aux cavités oro-pharyngées qui agissent comme des résonateurs et amplifient les harmoniques, comme un instrument de musique.

Le pharynx représente le modeleur du premier formant, les cavités supra-laryngées modèlent le deuxième formant. C'est la combinaison des deux premiers formants qui permet de distinguer les seize voyelles de la langue française.

La composition formantique est indépendante de la fréquence fondamentale. Ainsi, quelles que soient la nature, la taille, la forme de l'anatomie laryngée d'une personne, les voyelles prononcées au sein d'une même langue par des locuteurs d'âge ou de sexe différents seront toujours les mêmes.

b) Consonnes

Les consonnes supportent près de 80% de l'information transmise dans la parole et sont définies acoustiquement par des bruits. Les caractéristiques de voisement, de nasalité, de frication, de durée et la place de l'occlusion permettent de les classer selon leurs modalités d'articulation. En tant que son non périodique, on peut les distinguer selon deux types de bruits : les bruits aléatoires, qui regroupent les consonnes constrictives produites par un passage rétréci mais non interrompu de l'air au niveau des cavités supra-laryngées, et les bruits impulsionnels qui définissent les consonnes occlusives sourdes, produites par un relâchement soudain de l'air qui a été au préalable retenu par l'occlusion d'une des cavités oro-pharyngées.

2. Structure temporelle de la parole

La représentation temporelle d'un son illustre l'évolution de son intensité en fonction du temps sous forme d'une sinusoïde (ou plus exactement un ensemble de sinusoïdes dans le cas d'un son complexe) et rend compte de l'enveloppe temporelle et de la structure temporelle fine (figure 6).

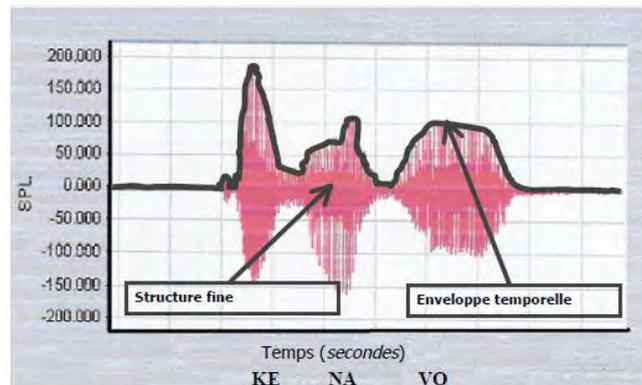


Figure 6 : Oscillogramme du son « Kenavo » (Menard, 2007).

a) Enveloppe temporelle

L'enveloppe temporelle du signal correspond aux fluctuations d'amplitude lentes, à de faibles fréquences (comprises entre 2 et 50Hz). Elle représente la « courbe globale du son » sur une représentation temporelle et sert à dégager les informations sur le temps de voisement permettant de discriminer les consonnes.

Les études montrent qu'elle joue un rôle majeur dans les processus d'identification et dans l'intelligibilité de la parole, en fournissant les informations sur le voisement, le mode d'articulation et le rythme.

b) Structure temporelle fine

La structure temporelle fine correspond aux fluctuations d'amplitude plus rapides du son (comprises entre quelques centaines et quelques milliers de Hertz). Sur la représentation temporelle, elle correspond à la partie la plus condensée de l'onde sinusoïdale complexe. C'est la structure temporelle fine qui traduit les modulations formantiques effectuées par les résonateurs. Lors de la perception d'un son, c'est le traitement de cette structure qui fournit les informations segmentales à propos du voisement et du mode d'articulation de la parole et permet ainsi de différencier les voyelles, de donner le timbre d'une voix ou d'un instrument. Elle est porteuse d'informations prosodiques également, par les indices concernant l'intonation et l'accentuation qu'elle véhicule.

L'enveloppe temporelle et la structure temporelle fine sont donc indispensables à la reconnaissance de la parole.

Les informations spectrales revêtent cependant une importance plus marquée pour la perception de la musique que les informations temporelles : "les contributions respectives de l'enveloppe et de la structure temporelle fine commencent [...] à être bien connues pour la discrimination de la parole. En revanche, leur implication potentielle dans le traitement des informations paralinguistiques et de la musique demeure vraisemblablement en arrière-plan des informations spectrales" (Marx 2013).

3. Les paramètres acoustiques de la prosodie

La prosodie est déterminée par des paramètres « dont la manifestation concrète, dans la production de la parole, est associée aux variations de la fréquence fondamentale (F_0), de la durée et de l'intensité (paramètres prosodiques physiques), ces variations étant perçues par l'auditeur comme des changements de hauteur (ou de mélodie), de longueur et de sonie (paramètres prosodiques subjectifs). » (Di Cristo, 1988 in Aura 2012). Ces paramètres se combinent aux caractéristiques intrinsèques des unités phonétiques dans le signal de parole.

a) Fréquence

Au niveau linguistique, la fréquence a un rôle primordial dans les différentes intonations décrites par Delattre (1966).

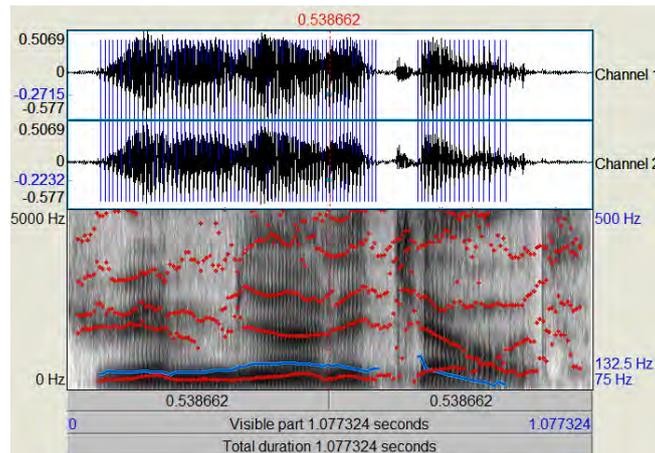


Figure 7 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase "Tu aimes bien les carottes." (Affirmation)

La modalité affirmative dessine un contour plutôt plat et descendant sur la fin. La fréquence fondamentale de la dernière syllabe diminue. La courbe dessinée par les variations de fréquence est représentée par le trait continu bleu sur le spectrogramme.

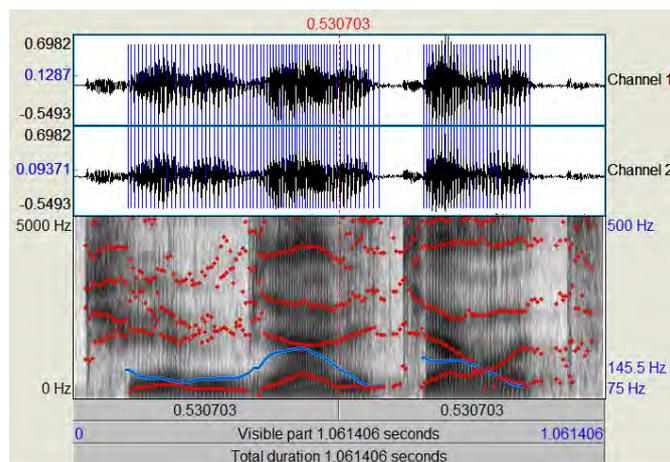


Figure 8 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase « Tu aimes bien les carottes ! » (Exclamation)

La modalité exclamative comprend des augmentations d'intensité et de fréquence fondamentale sur les constituants sur lesquels le locuteur souhaite insister. Une augmentation de la fréquence fondamentale, moins importante cependant que pour la modalité interrogative, est également observée en fin de phrase. Sur la figure 8 on peut observer une intensité plus importante aux endroits correspondant aux mots « bien » et « carottes » ainsi qu'une augmentation de la fréquence fondamentale au milieu de la phrase.

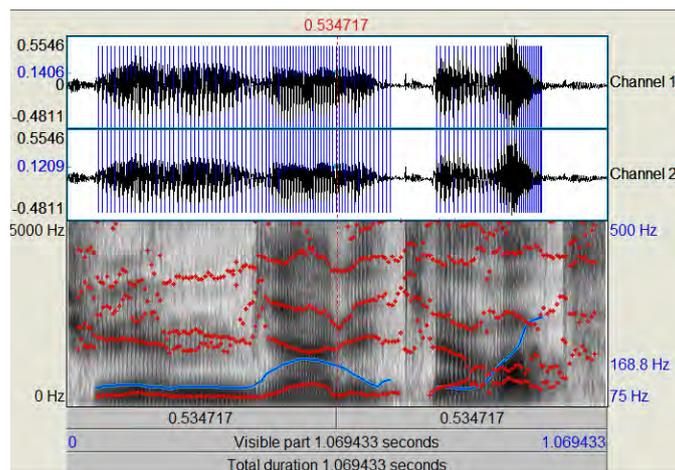


Figure 9 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase « Tu aimes bien les carottes ? » (Question)

La modalité interrogative est perçue par une élévation de la fréquence fondamentale en fin de phrase, associée parfois à des modulations au sein même de la phrase.

b) Intensité et durée

Comme nous l'avons vu précédemment, l'intensité intervient dans les phénomènes d'accentuation, elle permet de donner l'emphase de la modalité exclamative et d'appuyer l'importance d'un mot au sein d'un énoncé. Les caractéristiques de durée influent également sur le message prosodique, les pauses donnant un rythme différent aux phrases.

C. Physiologie de la perception prosodique

1. Traitement des sons par l'oreille

Les sons sont perçus par l'être humain grâce à l'oreille que l'on décompose en trois parties, chacune ayant un rôle défini.

L'oreille externe collecte les sons environnants à travers le pavillon qui les concentre par le conduit auditif externe jusqu'au tympan, membrane élastique qui entre en vibration et transmet les ondes vibratoires à l'oreille moyenne.

L'oreille moyenne a un rôle d'amplificateur du son. Au moyen des articulations entre le marteau, l'enclume et l'étrier, elle permet de conduire les vibrations jusqu'à la fenêtre ovale.

La fenêtre ovale constitue le point d'entrée de l'oreille interne, dont le rôle est d'analyser le signal provenant de l'oreille moyenne et de le transformer en signal bioélectrique. Elle comporte la cochlée et les ganglions spiraux d'où partent les fibres auditives.

La cochlée se présente sous la forme d'un coquillage : elle est formée d'un canal enroulé sur lui-même, constitué de trois parties : la rampe tympanique, la rampe vestibulaire

et le canal cochléaire, le nerf cochléaire se trouvant au centre et communiquant avec les cellules du canal cochléaire à travers les ganglions spiraux.

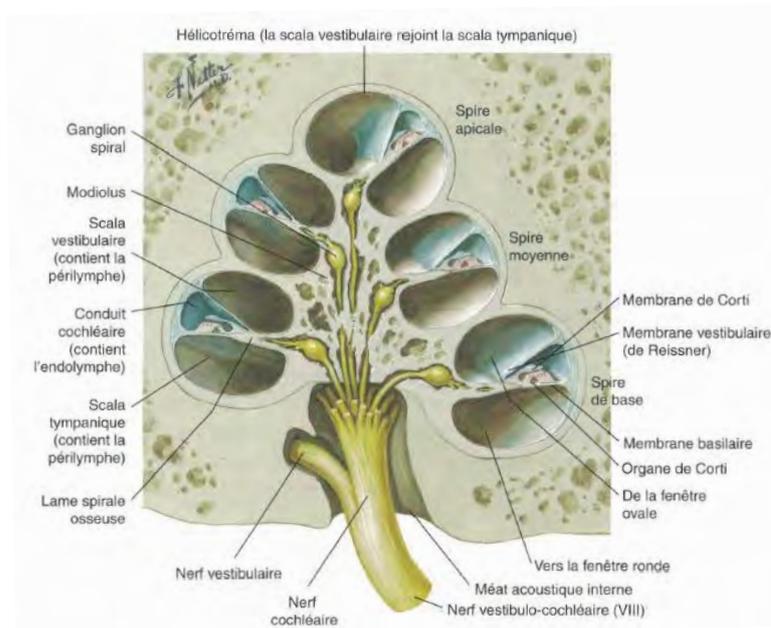


Figure 10 : coupe transversale de la cochlée entière (McFarland, 2009)

La vibration provoquée par les mouvements de l'étrier sur la fenêtre ovale est transmise dans la rampe vestibulaire par le liquide péri-lymphatique qu'elle contient et qui communique avec celui de la rampe tympanique par l'hélicotrema, au niveau de l'apex. Les ondes se déplacent au sein du liquide, transmettant des informations à la membrane basilaire dont les propriétés d'élasticité vont influencer sur les mouvements résultants. Fixe, fine et rigide à la base (entre les fenêtres ovale et ronde), elle subira des déformations moins importantes. Libre, plus large et plus souple à l'apex (au niveau de l'hélicotrema), les variations seront nettement plus visibles.

Au niveau de la cochlée, la transduction du signal analogique en signal nerveux destiné à être traité par le cerveau est source de divergence dans les théories de l'audition.

En 1928, von Békésy (in Carrat, 2009) propose la théorie de l'onde propagée, qui est la base de nombreux travaux de recherche dans le domaine de l'audition jusqu'à nos jours. Selon cette théorie, l'onde vibratoire transmise par la fenêtre ovale se déplace le long de la membrane basilaire de la base à l'apex et présente des maxima d'amplitude à des endroits précis, en fonction de la fréquence. L'oreille serait alors un analyseur de sons et chaque fréquence serait projetée à des points particuliers de la cochlée. C'est la théorie de la tonotopie cochléaire.

La théorie de l'échantillonnage cochléaire constitue une autre conception, décrite par Carrat (2009), pour pallier certains paradoxes comme l'incompatibilité de ces modèles avec

le phénomène du fondamental absent ou avec la finesse de la discrimination tonale de l'oreille.

Cette théorie considère l'oreille comme un convertisseur analogique-numérique, la cochlée « découpant » le signal en échantillons en fonction de la fréquence. Chaque son provoque une déformation de la membrane basilaire, prenant un aspect prédéfini en fonction des paramètres de temps, d'intensité et de fréquence qui lui sont propres. L'aspect de ces formes est également fonction des paramètres physiques de la cochlée, propres à chaque individu. Ainsi, un même son ne produira pas le même pattern membranaire chez deux personnes différentes. En revanche, pour une même personne, chaque son produira toujours le même pattern, qui sera reconnu au niveau cérébral.

Quel que soit le modèle théorique, cependant, il y a consensus concernant les cellules responsables de la transduction du message acoustique en message bio-électrique. On en dénombre deux types, situés sur la membrane basilaire et sous la membrane tectoriale : les cellules ciliées internes (CCI) et les cellules ciliées externes (CCE).

Le nombre et l'organisation spatiale des cellules ciliées définissent leur rôle car elles réagissent différemment aux vibrations membranaires et ne fournissent pas les mêmes informations aux fibres auditives. Les CCE possèdent de nombreuses connexions avec les fibres efférentes, assurant un circuit de rétroaction et sont connectées entre elles par plusieurs fibres collatérales, ce qui leur assure plutôt une fonction de codage du niveau acoustique (intensité).

Chaque CCI est connectée avec plusieurs fibres afférentes mais chaque fibre n'est connectée qu'à une CCI. L'information afférente est donc principalement fournie par les CCI, qui sont, quant à elles, davantage impliquées dans la sélectivité fréquentielle.

Après traitement par les cellules ciliées, les informations acoustiques sont codées en impulsions électriques et acheminées via les fibres nerveuses jusqu'aux centres de traitement cérébraux. Le système nerveux auditif conserve l'organisation spatio-temporelle et la tonotopie cochléaire à tous les niveaux.

2. Traitement neuronal des sons

L'influx nerveux partant des ganglions de Corti (groupement des corps cellulaires des fibres nerveuses) est transmis le long des fibres afférentes à travers les différents étages du système auditif entrant en jeu dans le processus de traitement.

A la sortie des noyaux cochléaires, les fibres traversent le complexe olivaire supérieur pour effectuer une nouvelle synapse dans le noyau lemniscal latéral et se projeter sur le

noyau central du colliculus inférieur, de nombreuses fibres croisant la ligne médiane et quelques-unes établissant ces connexions du côté ipsilatéral. Une nouvelle synapse s'effectue entre les fibres arrivant au colliculus inférieur et celles se projetant dans le corps géniculé. A ce niveau, la dernière synapse conduit les fibres auditives afférentes vers l'aire auditive corticale, située dans le lobe temporal.

D'un point de vue fonctionnel, le cortex auditif primaire se divise en deux parties : le noyau central et la ceinture périphérique. La région centrale constitue le premier niveau d'intégration, elle analyse les sons purs en respectant une organisation tonotopique fréquentielle. La ceinture périphérique, quant à elle, constitue le second niveau d'intégration et répond davantage à l'analyse des sons complexes.

Le cortex auditif spécifique au langage s'étend d'avant en arrière le long du gyrus temporal supérieur, symétriquement par rapport à la partie antéro-externe du gyrus de Heschl (Samson et al, 2001). Il est connecté avec l'aire sensitive du langage (aire de Wernicke) à la partie postérieure du gyrus temporal, elle-même connectée au planum temporal (ou aire 22 de Brodmann) au niveau du gyrus supra-marginal. Une connexion avec l'aire de Broca (44 et 45) enfin, achève de décrire l'intégralité des voies auditives conduisant à la capacité de langage. Il s'agit donc d'un système bilatéral d'aires corticales, entre les cortex auditifs primaires et les aires du langage de l'hémisphère gauche, spécialisé dans le décodage de la parole humaine (Samson et al. 2001).

3. Traitement neuronal de la prosodie

Il est difficile de déterminer avec précision quels sont les processus neuronaux impliqués dans le traitement de la prosodie car ils sont sensiblement les mêmes que ceux de la parole.

Il semblerait que les régions temporelle postéro-supérieure et fronto-operculaire soient privilégiées. Lorsqu'on présente à des sujets des informations relatives aux frontières prosodiques, la partie dorso-latérale du cortex préfrontal droit et les régions cérébelleuses droites sont majoritairement activées. « Le traitement neuronal de la prosodie serait ainsi majoritairement assuré par l'hémisphère droit, par plusieurs régions neuronales incluant la région postérieure et supérieure du cortex temporal » (Marx, 2013).

D'après Samson et al. (2001) l'écoute de mélodies ou séries de tons et l'attention portée à des caractéristiques élémentaires d'un son comme l'intensité, la hauteur ou la durée

activent des régions temporales proches voire contiguës mais distinctes du cortex auditif spécifique au langage.

Bien qu'il soit difficile de déterminer avec précision les régions cérébrales responsables du traitement linguistique de la prosodie, il semblerait que l'hémisphère droit soit le plus largement décrit dans la littérature.

L'hémisphère gauche reçoit les informations de l'oreille droite et traite les aspects verbaux et non verbaux, la production et la perception de la parole. Il est responsable de l'analyse privilégiée des contrastes phonétiques, la détection des changements rapides, complexes et tenus des sons (consonnes, transitions formantiques, modulations du spectre de la parole).

L'hémisphère droit reçoit les informations de l'oreille gauche et traite majoritairement la mélodie, le rythme et l'intonation, donc les éléments prosodiques et émotionnels de la parole.

Les deux hémisphères sont donc nécessaires pour la compréhension. La perception des sons est une première étape. La reconnaissance des formes sonores par le centre cérébral, grâce à une analyse phonétique et psycho-acoustique, s'effectue par comparaison avec celles déjà mémorisées, et constitue la seconde étape nécessaire à la compréhension d'un message.

CHAPITRE II – IMPLANT COCHLEAIRE ET PERCEPTION DE LA PROSODIE

Dans ce chapitre, nous commencerons par décrire quelques généralités sur la surdité et l'implantation afin de mettre notre étude en contexte. Nous détaillerons le fonctionnement de l'implant et plus particulièrement les stratégies de codage actuellement utilisées, avant de nous intéresser à la perception de la prosodie par les porteurs d'implant. Ce chapitre se terminera par une analyse des facteurs influençant et limitant les capacités auditives et donc la perception de la prosodie, tant sur le plan physiologique que technologique.

I. Surdité post-linguale et implantation cochléaire

A. La surdité post-linguale

La surdité se définit comme l'incapacité totale ou partielle de percevoir les stimuli auditifs. Dans le cas de la surdité post-linguale, cette surdité est acquise après le développement du langage, soit après l'âge de 5-6 ans. L'altération du système auditif entrave la communication par le langage oral et la perception de l'environnement sonore.

Un rapport publié en 2007 par la HAS (Haute Autorité de Santé) indique que la prévalence de la déficience auditive de la population française, tous stades de surdité confondus, est de 7%, soit 4 millions de personnes, dont 1 million entre 18 et 65 ans, et 2.5 millions ayant plus de 65 ans.

Les étiologies de la surdité chez l'adulte sont variées. On peut citer les causes génétiques, la sénescence (ou presbyacousie), les traumatismes sonores (chroniques, aigus, barotraumatismes), les médicaments ototoxiques, les causes infectieuses parmi lesquelles la méningite, le neurinome de l'acoustique, le cholestéatome (HAS 2007). Aujourd'hui encore, il n'est pas toujours possible de retrouver la cause de la perte auditive.

La perte auditive constitue un handicap caché qui entraîne bien souvent un isolement social et un vécu douloureux par la personne. Ce handicap est partagé par l'entourage qui doit adapter son mode de communication.

B. L'implant cochléaire, généralités.

L'implant cochléaire est un dispositif électronique implantable permettant de restaurer la fonction auditive grâce à une stimulation électrique directe du nerf cochléaire. Selon la HAS, il est indiqué dans les cas de surdité neurosensorielle bilatérale sévère (perte auditive comprise entre 70 et 90 dB) à profonde (perte audiométrique moyenne supérieure à 90 dB) avec un taux de discrimination inférieur ou égal à 50% à 60 dB de mots dissyllabiques (listes cochléaires de Fournier) en champ libre, sans lecture labiale et avec un appareillage optimal. L'implant cochléaire est envisagé en cas de perte ou d'absence de bénéfice d'une aide prothétique conventionnelle. La motivation du patient constitue un élément très important pour la réussite de l'implantation et il est nécessaire de bien l'évaluer lors du bilan pré-implantation.

Après une phase de recherche dans les années 1950-1970, ce dispositif médical s'est beaucoup développé durant les vingt années suivantes et depuis 1990 l'essor de l'implantation a permis une avancée majeure dans la réhabilitation auditive chez l'enfant et l'adulte. Ainsi, des personnes privées d'audition ont pu retrouver des capacités à percevoir leur environnement sonore et linguistique leur permettant de suivre une conversation dans le silence, avec un très bon niveau de performance atteignant les 70 à 80% de reconnaissance de phrases dans le silence.

La HAS fait état de 1200 patients par an en France susceptibles d'être implantés. En 2010, plus de 200 000 personnes dans le monde portent un implant cochléaire, dont plus de 10 000 en France.

Les travaux de recherche de ces dernières années ont permis de nombreuses améliorations technologiques, notamment au niveau des stratégies de codage et des modèles de faisceaux d'électrodes. Les indications de l'implant se sont élargies à l'implantation bilatérale, aux surdités sévères et aux sujets ayant une audition résiduelle, permettant ainsi de conserver certaines caractéristiques de l'audition naturelle. Dans le cas de l'audition résiduelle, la stimulation électrique par l'implant cochléaire restaure la discrimination de la parole et la compréhension. La stimulation acoustique permet la perception de la fréquence fondamentale et du timbre, de manière partielle, par les premiers harmoniques. La perception de l'intonation des phrases et la reconnaissance de mélodies, ou de l'interlocuteur sont permises par cette stimulation bimodale (Marx 2013).

II. Fonctionnement de l'implant cochléaire

A. Description et transmission du signal

La partie externe de l'implant est constituée d'un microphone qui capte les sons de l'environnement. Ils sont ensuite analysés et transformés par le processeur externe en signaux numériques. Microphone et processeur sont inclus dans un contour d'oreille un peu plus volumineux qu'une prothèse conventionnelle, comportant aussi une source d'énergie de type pile ou batterie.

Le câble permet ensuite la transmission du signal analysé jusqu'à l'antenne. L'antenne circulaire, positionnée derrière le pavillon de l'oreille et épaisse de quelques millimètres, comporte un aimant, placé en regard de la partie interne de l'implant, au niveau du récepteur : le signal est transmis à ce récepteur grâce à un couplage électro-magnétique par voie transcutanée à vitesse rapide.

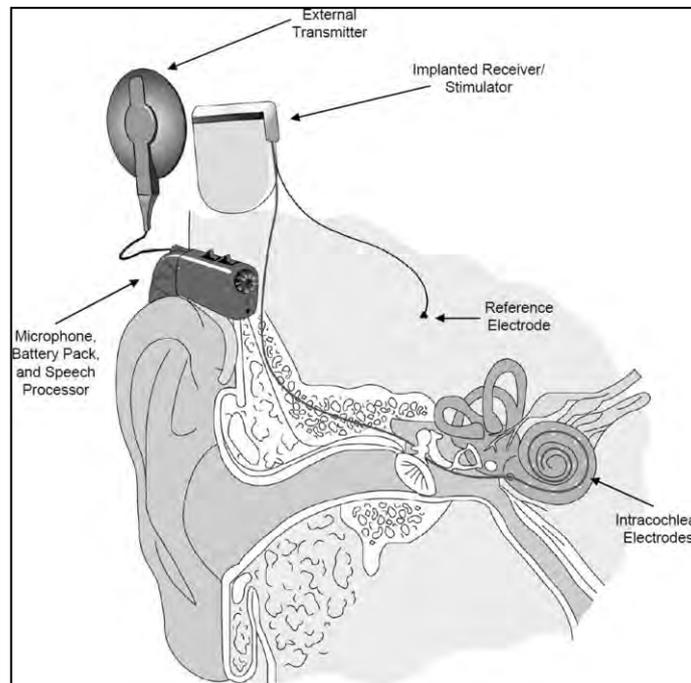


Figure 11 : Composants du système d'implantation cochléaire ME-DEL (Wilson, Dorman, 2008)

La partie interne, constituée du récepteur et du faisceau d'électrodes, est implantée chirurgicalement sous anesthésie générale. Le récepteur, situé dans une logette au niveau de l'os mastoïdien, reçoit le signal électrique par voie transcutanée et le transmet au faisceau d'électrodes, inséré dans la rampe tympanique.

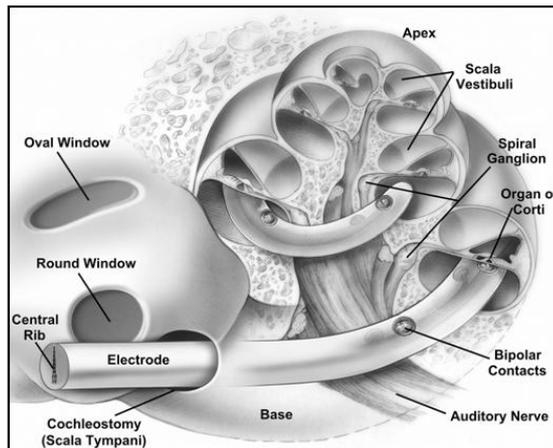


Figure 12 : Dessin en coupe d'une cochlée implantée (Wilson, Dorman, 2008)

Le courant électrique est délivré aux électrodes, placées en face des fibres nerveuses, stimulant ainsi les neurones au niveau des ganglions spiraux. Chaque électrode, au sein de la cochlée, est couplée à une électrode de référence située en dehors de la cochlée.

Ainsi, ce dispositif ne permet pas une amplification comme les prothèses conventionnelles mais une transformation du son en impulsions électriques stimulant directement les fibres du nerf cochléaire. Le tout fonctionne comme un système et une faiblesse d'un seul des composants peut dégrader significativement la performance de l'ensemble.

Actuellement, quatre fabricants se partagent le marché de l'implant cochléaire : Cochlear® (Australie), Advanced Bionics (société américaine), Med-El (Autriche), Neurelec (France).

B. Stratégies de codage

Au niveau du processeur, les stratégies de codage permettent la transformation du signal d'entrée, capté par le microphone, en stimulation électrique spécifique, appliquée par le faisceau d'électrodes et interprétable pour le système nerveux. L'objectif de ces stratégies de codage est de restituer le signal de la parole en se rapprochant au maximum des conditions naturelles de stimulation du nerf. L'amélioration de la transmission d'informations suprasegmentales comme la prosodie ou extralinguistiques comme la musique constitue actuellement une piste de recherche pour renforcer la réhabilitation de la fonction auditive. (Marx 2013). Le processeur permet ainsi de spécifier l'amplitude et les paramètres temporels du stimulus qui va être généré ainsi que les électrodes vers lesquelles se dirige le courant électrique (Mc Dermott 2004).

1. CIS (Continuous Interleaved Sampling) et HiRes (HiResolution)

La stratégie de codage CIS est présente dans tous les implants cochléaires, soit par défaut, soit comme option.

Le son ou la parole, capté par le microphone, est filtré en 16 bandes de fréquences grâce à des banques de filtre répartissant le signal d'entrée au sein de différents canaux. Les variations de l'enveloppe temporelle sont extraites pour chaque bande de fréquence et le signal sonore subit une compression pour inclure la large dynamique des sons de l'environnement (environ 100 dB) au sein de la dynamique électrique beaucoup plus étroite (10 dB ou un peu plus). L'intensité du son sortant du processeur est diminuée ou augmentée en fonction de l'intensité du signal acoustique entrant. Chaque bande de fréquence correspond à un canal. Les variations d'enveloppe de chaque bande de fréquence sont présentées à une électrode unique par l'intermédiaire de pulsations électriques : 4 à 22 électrodes sont susceptibles d'être activées, en fonction des patients et des modèles d'implant, avec un taux de 700 à 1600 impulsions électriques délivrées par seconde par les électrodes.

La stimulation électrique de chaque électrode se fait en alternance afin d'éviter au maximum les interactions entre électrodes. En effet, l'activation simultanée de deux électrodes adjacentes produit une sommation des deux champs électriques délivrés par ces électrodes. Cette sommation entraîne une interaction des zones stimulées au niveau de la cochlée.

La stratégie HiRes est très proche, elle consiste à stimuler seize électrodes à des vitesses de stimulation élevées.

2. N of m, SPEAK (Spectral Peak), ACE (Advanced Combination Encoder)

Le principe de ces stratégies est très proche de celui de CIS. La différence principale réside dans un programme de sélection des canaux, par l'identification des n signaux d'enveloppe temporelle ayant la plus haute amplitude au sein de m canaux et électrodes associées. Le stimulus n'est délivré qu'à ces n électrodes ayant l'amplitude du signal la plus importante. Le signal est divisé en 22 canaux correspondant à 22 électrodes et 8 à 10 bandes de fréquence sont sélectionnées. Le taux de stimulation, c'est-à-dire le nombre de pulsations électriques délivrées par seconde, est d'environ 1000 pour n of m et ACE, contre 250 pour SPEAK.

La suppression des canaux ayant une faible amplitude permet de réduire le nombre d'électrodes stimulées diminuant ainsi le niveau total d'interaction entre électrodes et zones stimulées au niveau de la cochlée. Les aspects les plus importants de l'environnement acoustique sont ainsi représentés.

3. FSP (Fine Structure Processing)

Ces dernières années, l'attention s'est portée sur la représentation de la structure temporelle fine, qui est importante pour la discrimination de la parole, de la musique, des tons lexicaux et pour la perception de la parole dans le bruit.

Dans cette stratégie, la bande de fréquence la plus basse (ou les 2 à 4 plus basses) subit un traitement particulier et l'électrode correspondante délivre une information différente : lorsque l'onde du signal franchit le zéro vers les valeurs négatives, de courtes impulsions sont délivrées, ce qui permet de transmettre des indices temporels et la hauteur de manière très fine pour ce canal particulier.

4. Canaux virtuels

Cette technique consiste à augmenter virtuellement le nombre de sites de stimulation de la cochlée, par l'application d'un courant dirigé entre deux électrodes : en fonction du ratio de courant délivré à chaque électrode, il est possible de créer des sites intermédiaires de stimulation. Une hauteur tonale intermédiaire par rapport aux hauteurs tonales des électrodes adjacentes peut ainsi être restituée, ce qui accroît les possibilités de percevoir des fréquences proches.

III. L'implant cochléaire et la perception de la prosodie

A. Perception de la prosodie linguistique

Malgré les avancées technologiques de l'implant, certains domaines restent encore difficiles pour les patients. Le téléphone, la perception de la musique, de la parole dans le bruit et de la prosodie basée sur la hauteur, c'est-à-dire la perception du contour mélodique de l'intonation des phrases, constituent des situations souvent compliquées à décoder.

D'après une étude réalisée par Peng et al. (2012), chez les sujets normo-entendants, le contour de la fréquence fondamentale constitue l'indice acoustique le plus pertinent pour la reconnaissance de l'intonation. Les indices de durée et d'intensité sont ignorés.

En cas de dégradation spectrale, comme c'est le cas chez les sujets implantés, la stratégie d'écoute change et ces indices de durée et d'intensité sont utilisés (avec une importance plus grande pour l'indice d'intensité). La sensibilité au contour de la fréquence fondamentale est inférieure chez les sujets implantés cochléaires par rapport aux normo-entendants, avec une grande variabilité entre les sujets. La précision de l'identification de l'intonation reste cependant corrélée à leur sensibilité au contour de fréquence fondamentale, mais pas à leur sensibilité pour les autres indices (Peng et al. 2012).

Nous nous intéressons donc maintenant à leur sensibilité à la détection de la fréquence fondamentale.

B. Perception de la fréquence fondamentale

La perception de la hauteur tonale, corrélat perceptif de la fréquence fondamentale, repose sur deux mécanismes : des fluctuations temporelles rapides du stimulus électrique (codage temporel) et une localisation au sein de la cochlée où le stimulus est délivré (codage spatial).

1. Codage temporel

Les électrodes stimulent le nerf auditif par l'intermédiaire d'un train régulier d'impulsions électriques. Des études réalisées sur électrode unique, soit en modifiant le taux de ce train d'impulsions (ou taux de stimulation), soit en modulant l'amplitude des impulsions montrent que, dans les deux cas, ces modifications permettent d'obtenir des variations dans la sensation de hauteur perçue par le patient.

La fréquence de modulation d'amplitude dépend du niveau de variation de l'enveloppe temporelle du signal sonore et permet de détecter des variations de hauteur à condition qu'elle soit assez basse (moins de 300 Hz) et que le taux du train d'impulsions soit assez haut (au moins quatre fois la fréquence de modulation).

De même la modification du taux de stimulation doit rester inférieure à 300 Hz pour permettre la détection d'un changement de hauteur : des taux de stimulation supérieurs à cette limite ne permettent aucune détection.

Les stratégies de codage précédemment décrites utilisent des taux de stimulation constants mais assez hauts : la transmission d'informations temporelles repose donc uniquement sur la modulation de l'amplitude des impulsions transmises à chaque électrode (Mc Dermott, 2004).

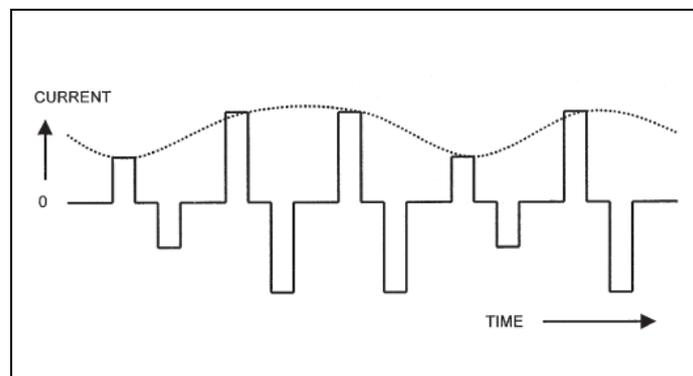


Figure 13 : Illustration de la modulation d'amplitude du train d'impulsions électriques. Le taux d'impulsion est constant, seule l'amplitude des impulsions varie (Mc Dermott, 2004).

Une tâche de reconnaissance de mélodie chez un patient porteur d'une électrode unique montre que la hauteur tonale peut être transmise par les changements temporels du stimulus, sans indice de la localisation cochléaire de la stimulation, alors que pour les normo-entendants, les indices temporels et spatiaux sont étroitement liés et dépendent de la fréquence du stimulus (McDermott, 2004). Cependant, cette expérience est réalisée en conditions artificielles avec une stimulation directe du nerf auditif via l'implant cochléaire à l'aide d'une seule électrode, et il est intéressant de se demander comment la mélodie est perçue en conditions réelles avec un processeur.

Les modulations d'amplitude du train d'impulsions électriques peuvent se retrouver en décalage de phase d'une électrode à une autre : le pic de modulation sur une électrode est décalé par rapport au pic de modulation sur une autre électrode. Un large décalage de phase entre électrodes proches réduit l'information temporelle permettant de percevoir la hauteur.

2. Codage spatial

Les neurones situés le long de la cochlée sont stimulés par les électrodes en fonction de la fréquence du stimulus, respectant ainsi la tonotopie cochléaire. Ainsi les électrodes basales sont activées pour coder les sons de haute fréquence et les électrodes apicales pour les sons de basse fréquence.

3. Effets des variations simultanées des paramètres temporels et spatiaux

Le signal électrique fourni par le processeur et délivré par les électrodes tient compte simultanément de ces deux paramètres spatial et temporel. Une variation de la hauteur d'un signal acoustique entraîne une variation du stimulus électrique dans les domaines spatiaux et temporels (McDermott, 2004).

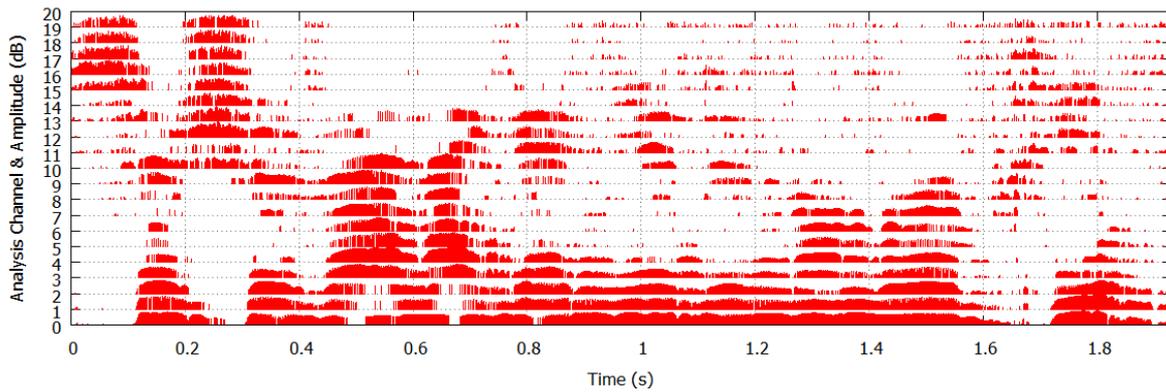


Figure 14 : Electrodeogramme de la phrase « Ce cheval a gagné de nombreux prix ? »

Cet électrodeogramme, équivalent du spectrogramme, représente en abscisse les stimuli délivrés par les électrodes, représentées en ordonnée et permet d'observer la simultanéité des variations des paramètres temporels et spatiaux. Sur la fin de cette phrase, il montre une activation importante des électrodes basales correspondant aux fréquences aiguës en termes de tonotopie cochléaire. Ceci est à mettre en relation avec la modalité interrogative dont l'intonation dessine un contour montant correspondant à une augmentation de la fréquence fondamentale en fin de phrase. On peut comparer cet électrodeogramme au spectrogramme du chapitre « Relation entre musique, parole et prosodie » p 46.

L'électrodeogramme suivant montre la même phrase prononcée avec une intonation affirmative : les électrodes basales sont moins activées car le contour intonatif est plat.

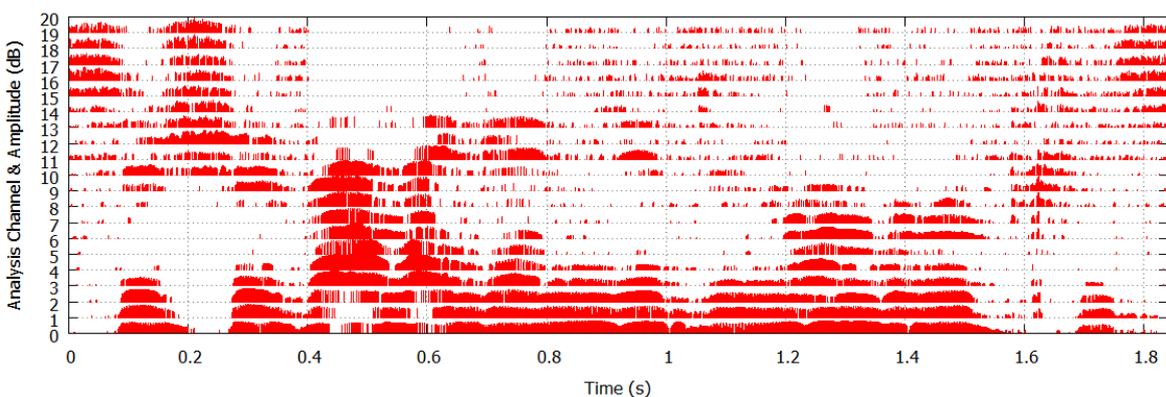


Figure 15 : Electrodeogramme de la phrase « ce cheval a gagné de nombreux prix. »

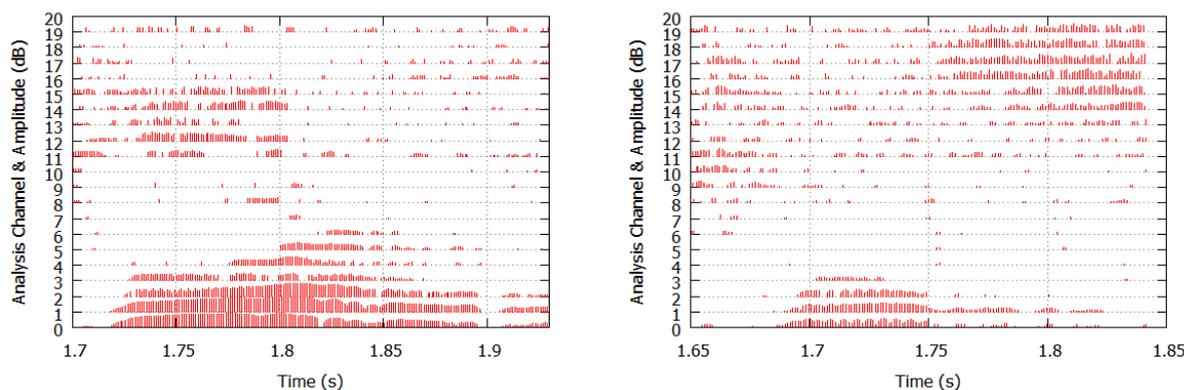


Figure 16 : Electrogramme du dernier mot de la phrase "Ce cheval a gagné de nombreux prix", intonation interrogative (à gauche) et affirmative (à droite).

Sur la figure 16 on peut observer le détail du dernier mot de ces phrases, avec activation plus importante des électrodes basales correspondant aux fréquences aiguës pour la phrase avec intonation interrogative.

IV. Facteurs influençant les capacités auditives

A. Liés au patient

Les performances des patients implantés cochléaires présentent une grande variabilité. Deux études réalisées par Blamey et al. en 1996 et 2011 ont permis d'analyser plus précisément les causes de cette variabilité. Les scores d'intelligibilité en perception (phonèmes, mots mono- et dissyllabiques, phrases) dans le silence ont été mesurés juste après activation de l'implant puis quelque temps après (de manière variable selon les centres d'implantation de l'étude).

On trouve les facteurs suivants ayant un effet significatif sur les performances, communs aux deux études :

Une durée de déprivation auditive importante, correspondant à une longue période entre le début de la surdité profonde et l'implantation, influence négativement les résultats.

L'âge d'implantation a également une influence négative : au-delà de 60 ans (Blamey et al., 1996) et au-delà de 70 ans en (Blamey et al., 2011), les résultats sont moins bons.

Plus l'âge de début de surdité est tardif, moins les résultats aux tests sont bons.

L'étiologie influence aussi les résultats : en 2011, les neuropathies et le neurinome montrent des scores largement en dessous de la moyenne, alors que les causes génétiques et la maladie de Ménière présentent des scores supérieurs à la moyenne.

Enfin, plus la durée d'implantation est longue, meilleurs sont les résultats, ce qui correspond à une expérience plus importante avec l'implant.

Entre 1996 et 2011, la technique chirurgicale s'est améliorée, ainsi que la technologie des appareillages (stratégies de codage, taux de stimulation, réglages). L'information fournie par les implants est donc de meilleure qualité, ce qui permet de diminuer la charge des processus cognitifs et auditifs.

La durée de déprivation auditive est en moyenne moins longue en 2011, car l'opération est programmée plus précocement. D'autre part, une meilleure prise en charge de la surdité par des prothèses conventionnelles avant implantation contribue à réduire l'effet dégénératif. Le processus naturel de dégradation périphérique et centrale, dû à une longue durée de surdité, est ainsi réduit. En effet, lors d'une déprivation sensorielle auditive, la partie périphérique des neurones, située entre le corps cellulaire dans le ganglion spiral et la partie terminale au sein de l'organe de Corti, subit une dégénérescence : les corps cellulaires résistent mieux et correspondent aux sites de stimulation pour l'implant cochléaire. A cause de la perte d'information en provenance de la périphérie, les aires normalement dévolues à l'audition peuvent être réattribuées à d'autres fonctions sensorielles comme la vision, par un mécanisme de plasticité cross-modale.

L'influence relative de chacun de ces facteurs sur les capacités auditives a donc changé. Dans l'étude de 1996, la durée de surdité était le facteur influençant le plus nettement les performances, suivi par l'âge de début de surdité et l'âge d'implantation. Dans celle de 2011, c'est la durée d'expérience avec l'implant qui est la plus significative suivie de l'âge de début de surdité et l'âge d'implantation.

La composante biologique, correspondant au trajet du nerf auditif depuis la stimulation des ganglions spiraux jusqu'à l'analyse par les aires cérébrales, influence donc de manière très importante les capacités du patient pour le décodage des informations transmises par l'implant. Ceci peut expliquer la grande variabilité obtenue aux tests par les différents patients.

B. Liés aux limites technologiques et chirurgicales de l'implant

Si l'implant cochléaire permet de restaurer correctement la compréhension de la parole, son efficacité reste limitée pour certaines situations d'écoute difficiles comme la conversation en milieu bruyant, l'écoute de la musique ou la perception des langues à ton comme le chinois. Le patient porteur d'implant identifie moins bien le genre du locuteur et perçoit difficilement la prosodie linguistique et les émotions. On pourra se reporter avec intérêt aux travaux de Berigaud et Hardoy (2014) sur le sujet des émotions.

Le traitement du signal acoustique par l'implant dégrade le signal dans ses composantes spectrales et temporelles. Le codage de la fréquence fondamentale est donc insuffisant pour permettre une perception correcte de la hauteur tonale, causant ainsi les difficultés mentionnées. Il en est de même pour le timbre, dont la transmission par l'implant est peu efficace à cause d'une résolution spectrale limitée ne donnant pas un accès suffisant aux harmoniques.

1. Dégradation spectrale du signal

Le traitement du signal par l'implant fournit une information grossière au niveau spectral.

La localisation physique de l'électrode influence considérablement la spécificité spatiale de la stimulation. L'électrode se situe dans la rampe tympanique sans être au contact direct avec le nerf auditif. Elle en est séparée par la lame spirale osseuse et l'espace de la rampe tympanique rempli de périlymphe : le courant électrique se propage à travers le liquide, très conducteur, il est diffusé par l'os avant d'activer le nerf. La stimulation d'une électrode à un niveau d'écoute confortable active les neurones d'une région de plusieurs millimètres, ce qui équivaut, pour le porteur d'implant, à la perception de la moitié d'une octave (Shannon, 2012). Le recouvrement des champs électriques entre électrodes adjacentes et plus lointaines est responsable d'un chevauchement entre neurones pouvant être stimulés par une même électrode.

La bande de fréquence de l'électrode activée ne correspond pas forcément à la fréquence caractéristique des neurones stimulés par cette électrode et l'insertion du faisceau dans la cochlée n'est pas assez profonde pour atteindre les très basses fréquences (Kong et al., 2004). Ceci nuit à la perception exacte de la hauteur tonale.

Le nombre d'électrodes est limité (de 12 à 22 électrodes selon les fabricants). De plus, le nombre de canaux perceptibles séparément est toujours inférieur au nombre d'électrodes. Même si un plus grand nombre de canaux semblerait bénéfique pour la perception de la hauteur mélodique, il est aussi important d'améliorer l'indépendance entre les canaux, car les performances diminuent lorsque l'interaction entre les canaux augmente (Crew, Galvin, 2012).

2. Dégradation temporelle du signal

Lors de la stimulation d'une électrode unique, les changements de la fréquence de stimulation électrique sont détectables pour de basses fréquences jusqu'à 300 Hz, mais pas

pour de hautes fréquences. La perception de la hauteur tonale est donc associée à la fréquence de stimulation uniquement pour les basses fréquences.

De manière générale, les stratégies de codage ne conservent que l'enveloppe temporelle et éliminent les informations concernant la structure temporelle fine. Le défaut de transmission de la structure temporelle fine empêche une bonne reconnaissance de la hauteur mélodique et du timbre.

La perception de la hauteur tonale d'un son complexe par les normo-entendants repose sur des indices spectraux et temporels, grâce à l'analyse individuelle des harmoniques et la périodicité de l'onde périodique (Arehart, 1994). La résolution spectrale et temporelle insuffisante de l'implant limite donc la perception de la hauteur mélodique.

3. Pistes de recherche

Une amélioration de la perception de la structure fine du signal, contenant des variations rapides du signal qui ne sont pas présents dans l'enveloppe, peut se révéler intéressante pour la perception de la hauteur (Mc Dermott, 2004). C'est le cas de la stratégie de codage FSP.

La résolution spectrale pourrait être améliorée par la condensation du champ électrique afin que le courant soit plus localisé sur un point de stimulation nerveuse, ou en rapprochant les électrodes des ganglions spiraux. Le fabricant Cochlear® utilise des électrodes « préformées » qui permettent de se rapprocher au plus près du modiolus et donc des cellules nerveuses, évitant ainsi le phénomène de chevauchement des courants électriques entre électrodes adjacentes.

Malgré cette stimulation assez imprécise des fibres nerveuses en comparaison avec l'activation nerveuse permise par l'oreille normo-entendante, un haut niveau de la compréhension de parole est atteint. Les processus cérébraux sont donc assez robustes pour permettre cette compréhension à partir des indices parcellaires fournis par l'implant.

Ainsi, si les avancées technologiques de l'implant ont permis d'améliorer la perception de la parole, il reste encore des progrès à réaliser pour une meilleure transmission de la fréquence fondamentale afin d'améliorer la qualité de la perception de la parole, de la prosodie et de la musique et les possibilités d'écoute en milieu bruyant.

CHAPITRE III : L'ENTRAÎNEMENT A LA PERCEPTION DE CONTOURS MELODIQUES

De nombreuses études mettent en avant l'effet bénéfique d'un entraînement musical sur les performances dans le traitement de la parole et plus particulièrement pour la perception de la parole dans le bruit et la perception de la prosodie (Patel, 2013).

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons tout d'abord à l'écoute de la musique avec un implant, écoute souvent désagréable à cause des limites inhérentes à la technologie et aux facteurs individuels des patients. L'étude des relations qu'entretiennent musique, parole et prosodie nous permettra de mieux comprendre l'intérêt de l'entraînement musical sur la perception de la parole et plus particulièrement de la prosodie. A travers la description du phénomène de plasticité cérébrale, nous aborderons le rôle du cerveau dans l'acquisition de nouvelles compétences grâce à l'entraînement. Enfin nous relaterons les effets de cet entraînement dans différents domaines, notamment celui de la prosodie.

I. La musique et l'implant cochléaire

Nous commencerons par définir la musique puis nous nous intéresserons à sa perception et à son appréciation par les porteurs d'implant, ainsi qu'aux facteurs susceptibles d'influencer ces deux éléments.

A. Définition de la musique

Définir la musique se révèle être un exercice complexe, tant son expression est diverse. Les types de musique sont aussi variés que les cultures et les époques : de la musique traditionnelle et folklorique en passant par l'opéra, le rap ou la variété, la musique orientale ou chinoise, les styles musicaux sont très nombreux. Le regard de l'artiste, du philosophe, du psychologue ou encore du physicien constituent autant d'approches différentes qui se complètent et reflètent la grande richesse de l'art musical.

Cet art se manifeste lors de rituels culturels, d'événements sociaux qui jalonnent notre existence et ceux de nos sociétés et permet l'expression et le ressenti de nos émotions. Nous rencontrons quotidiennement la musique dans nos lieux de vie.

La musique constitue donc une entité très riche, qu'on peut définir de manière simple comme un ensemble divers de styles et de combinaisons de différentes hauteurs individuelles jouées de manière successive (mélodie) ou concomitante (harmonie) selon

différents modèles de rythme et de tempo, à travers un ou plusieurs timbres (instruments solo ou mélangés) (Looi et al., 2008). D'autres facteurs contribuent aussi à caractériser la musique comme la qualité subjective, l'émotion véhiculée par la musique, le contexte dans lequel elle est écoutée. (Mc Dermott, 2004).

B. Les attributs de la musique

La musique se fonde sur les variations des paramètres acoustiques que nous avons déjà définis dans notre partie sur la prosodie et la physique acoustique : fréquence, intensité, rythme et timbre.

1. La fréquence

En musique, la fréquence définit la position des notes sur une portée : à chaque note correspond une fréquence. L'écart entre deux notes successives (ou distance entre deux sons) définit l'intervalle. L'intervalle minimal entre deux notes, utilisé en musique occidentale, est le demi-ton. L'intervalle entre les notes décrit par ordre croissant est le suivant : seconde, tierce, quarte, quinte, sixte, septième et octave. On trouvera en annexe I un tableau récapitulant la valeur en fréquence des notes de la gamme (Marx, 2013).

Les notes forment une série de sons qui va du grave à l'aigu et inversement. Il existe sept noms de notes pour exprimer tous les sons, pour la gamme de do majeur : do, ré, mi, fa, sol, la, si, correspondant aux intervalles ton, ton, demi-ton, demi-ton, ton, ton, demi-ton.

L'échelle musicale correspond aux sons appréciables à l'oreille, depuis le plus grave jusqu'au plus aigu, pouvant être joués par des instruments ou chantés par des voix humaines. Cette échelle se divise en trois registres : grave, médium et aigu.

La succession des hauteurs tonales forme la mélodie. Le contour mélodique correspond à la forme générale de la mélodie (ascendante ou descendante). L'harmonie résulte de l'émission simultanée de plusieurs notes dont la combinaison sonne agréablement à l'oreille.

2. Intensité

Les variations d'intensité donnent au morceau de musique les nuances, selon l'intensité avec laquelle le son est émis. Le son peut être faible (piano) ou fort (forte), avec différents degrés d'intensité entre les deux : pianissimo, mezzo piano, mezzo forte, fortissimo...

3. Durée

Le rythme correspond à la durée des sons et des intervalles de silence entre les sons, c'est-à-dire à la succession des durées. En musique, la durée d'une note est indiquée par sa forme (blanche, noire, croche, demi-croche...) et les silences par des notations spécifiques sur la portée (pause, demi-pause, soupir, demi-soupir...). Le tempo est la vitesse d'exécution d'une œuvre.

4. Timbre

En musique, le timbre correspond à la « couleur » d'une note ayant la même hauteur et la même intensité, jouée par différents instruments, permettant ainsi de les distinguer. Il est caractérisé au niveau acoustique par le spectre de fréquence et l'amplitude de l'enveloppe temporelle des sons, ainsi que par la configuration spatiale des sources sonores (McDermott, 2004).

C. Perception de la musique

Malgré une transmission limitée des informations spectrales par l'implant, il est possible pour les sujets porteurs d'implant d'atteindre de bons niveaux en compréhension de la parole dans le silence. En revanche, la perception de la musique demande une précision beaucoup plus importante au niveau spectral et les stratégies de codage actuelles semblent insuffisantes pour une bonne perception de la musique grâce à l'implant.

1. Perception de la fréquence

La perception de la hauteur de sons complexes est très difficile pour de nombreux patients implantés. En effet, les indices de hauteur sont transmis grâce à la localisation de la stimulation au sein de la cochlée mais, à cause de la distance entre les électrodes et le nerf ainsi que de la disparité des neurones restants, la tonotopie cochléaire n'est pas respectée de manière exacte. De même, les indices temporels transmis via la modulation de l'enveloppe temporelle sont faibles et ne transmettent l'information de hauteur que jusqu'à 300 Hz, les fréquences de modulation au-delà de 300 Hz ne permettent pas de détecter un changement de hauteur.

La perception de la mélodie peut être envisagée sous un angle écologique d'écoute de mélodies réelles et familières ou bien sous un angle plus scientifique, lors de tests de discrimination ou d'identification de contours mélodiques.

La capacité à reconnaître une mélodie familière dépend de nombreux facteurs parmi lesquels on peut citer la familiarité de l'auditeur avec cette mélodie, l'expérience d'écoute et d'entraînement musical, la culture, la mémoire des mélodies et de leur titre, ainsi que les circonstances dans lesquelles la musique est écoutée. Dans ce cas-là, la perception précise des paramètres acoustiques que sont la hauteur et le rythme de la mélodie n'est pas toujours une condition préalable nécessaire à une bonne reconnaissance. La reconnaissance des mélodies grâce aux paroles des chansons est favorisée par les bonnes performances en compréhension de la parole obtenues par les patients implantés. Cependant, les scores obtenus par les patients implantés dans la reconnaissance de mélodies sans indices verbaux restent inférieurs aux normo-entendants (Mc Dermott, 2004).

La tâche de discrimination entre deux contours mélodiques ayant le même rythme, sans indice verbal, peut s'avérer plus délicate à cause d'un nombre réduit d'indices acoustiques disponibles. Ce type de tests permet d'étudier les capacités à percevoir les changements de hauteur sans qu'il soit nécessaire de percevoir de manière précise la hauteur absolue ou relative des notes entre elles : la détection de la direction générale du contour, de type montant ou descendant, suffit. Plusieurs études montrent des performances inférieures à celles des normo-entendants (Galvin et al., 2009, Gfeller, 2009). Pour percevoir ces changements de hauteur et de direction, les patients implantés ont besoin que l'intervalle entre deux fréquences successives soit beaucoup plus important que celui requis par les normo-entendants (Mc Dermott, 2004). Il semble qu'un nombre accru de canaux disponibles, permettant une résolution spectrale plus fine, soit nécessaire pour l'identification des mélodies sans indices rythmiques (Kong et al., 2004).

2. Perception de la durée

Les patients porteurs d'implant montrent d'excellentes capacités dans le domaine de la perception du rythme, avec des scores proches de ceux des normo-entendants (Kong et al., 2004). La résolution temporelle requise pour la perception des durées et des intervalles de temps entre les notes est de l'ordre de dix millisecondes, ce qui est tout à fait compatible avec la résolution temporelle de l'implant (Mc Dermott, 2004).

Ainsi, les mélodies familières dont le rythme est bien marqué, sont plus facilement reconnues que celles qui sont moins rythmiques. En effet, les scores en reconnaissance de chansons familières par des patients implantés sont de 60% en présence d'indices rythmiques et tombent au niveau de la chance lorsque ces indices rythmiques sont éliminés (Kong et al., 2004).

3. Perception du timbre

Le timbre repose sur les variations de l'enveloppe spectrale et la structure temporelle fine. Or, nous l'avons vu, le processeur ne permet qu'une analyse spectrale large et donne peu d'informations sur la structure temporelle fine (Looi et al., 2008). Cette résolution spectrale insuffisante empêche la transmission des harmoniques, ce qui nuit à la perception du timbre.

La reconnaissance du timbre est souvent examinée sous l'angle de l'identification d'instrument, qui s'avère plus difficile chez les porteurs d'implant que chez les normo-entendants (McDermott, 2004). Les sujets porteurs d'implant confondent des instruments appartenant à des familles différentes alors que les normo-entendants font plutôt des confusions entre instruments au sein d'une même famille (à cordes, à vent, percussion, cuivre). Les instruments à percussion sont plus facilement identifiés, confirmant l'importance des indices rythmiques par rapport aux indices de timbre et de hauteur (Looi et al., 2008).

Une comparaison des résultats réalisée chez des patients avant et après implantation sur des épreuves de rythme, de timbre, de hauteur et de mélodies montre des scores significativement inférieurs après implantation uniquement pour la perception de la hauteur, la perception des autres paramètres étant inchangée. Il est à noter que, dans l'épreuve de mélodie les indices rythmiques sont présents, ce qui peut expliquer cette absence de différence entre les résultats pré et post-implantation pour cet item (Looi et al., 2008).

Ainsi, le rythme constitue un indice plus prégnant pour la perception de la musique que celui de la hauteur, dont le signal est transmis peu efficacement par l'implant. La perception de la musique repose donc principalement sur des indices temporels chez les sujets porteurs d'implant cochléaire, la résolution spectrale étant trop limitée pour fournir des indices suffisants à la reconnaissance de la hauteur tonale.

D. Appréciation de la musique

Les informations auditives fournies par l'implant ne permettent pas d'apprécier pleinement les sons complexes de la musique, ce qui incite les chercheurs à développer des améliorations techniques en termes de conception d'implant et de stratégies de codage (McDermott 2004).

L'appréciation de la musique ne repose pas uniquement sur la précision de sa perception en termes de timbre, de rythme, de hauteur et de mélodie. En effet, le plaisir éprouvé grâce à l'écoute de la musique dépend aussi de la qualité du son perçu et de son appréciation (Looi et al., 2008). Evaluer si le sujet porteur d'implant prend du plaisir à écouter la musique permet de prédire s'il va éprouver l'envie de le faire régulièrement. Il est donc

important d'ajouter un critère d'appréciation de la musique par le sujet implanté, en plus de celui de précision de la perception (Gfeller et al., 2008).

L'appréciation de la musique repose sur la qualification subjective de la qualité musicale des sons instrumentaux, correspondant au paramètre du timbre. Des échelles décrivant la « beauté », le « naturel » du son entendu sont utilisées, ainsi que des qualificatifs (« beau, clair, métallique, terne/brillant, plein/vide... ») désignant le son de l'instrument.

Le son des instruments est qualifié de moins plaisant par les patients implantés que les normo-entendants, en particulier pour les instruments à cordes et le taux d'appréciation générale de la musique classique est inférieur chez les normo-entendants (Gfeller 2002 et 2003 in McDermott, 2004).

E. Paramètres influençant perception et appréciation

L'évaluation de la perception et celle de l'appréciation de la musique n'échappent pas à la grande variabilité des scores obtenus par les sujets porteurs d'implant cochléaire, la reconnaissance d'extraits musicaux variant par exemple entre 0 et 94%. Le très haut score de 94% de reconnaissance est difficilement explicable au vu des limites techniques de l'implant en termes de transmission de la structure temporelle fine (Gfeller et al., 2008). Certains individus obtiennent des scores meilleurs en reconnaissance d'instrument alors qu'ils obtiennent des scores faibles en perception de la hauteur : il existe donc aussi une différence intra-individuelle pour la perception des paramètres acoustiques (Gfeller et al., 2008).

Gfeller et al. (2008) ont analysé les facteurs contribuant à cette variabilité. D'un point de vue technique, ni le type d'appareillage, ni la stratégie de codage n'ont d'influence. Seul le port d'une prothèse conventionnelle est un facteur significatif améliorant les scores à la fois en reconnaissance et en appréciation. La durée d'implantation n'a d'influence que pour la perception des chansons avec paroles, ce qui est à mettre en lien avec de meilleurs scores en reconnaissance de la parole si la durée post-implantation augmente. Une bonne perception de la parole ne permet pas de prédire de manière générale la perception et l'appréciation de la musique en l'absence de paroles. L'entraînement musical antérieur à l'implantation à un niveau avancé ainsi que l'écoute régulière de musique en post-implantation constituent des indices prédictifs de succès pour les morceaux de musique sans paroles.

La perception ne consiste pas seulement à enregistrer des données mais implique également l'organisation, l'interprétation et l'utilisation de ces informations en contexte, afin de comprendre et de construire « une expérience affective et esthétique » (McAdams, 2015). Les fonctions cognitives, comme la mémoire, l'attention, la pensée, le raisonnement, traitent ces informations sensorielles pour acquérir et utiliser par la suite ces nouvelles connaissances. Le traitement des informations sensorielles interagit avec l'évocation de connaissances acquises antérieurement et stockées en mémoire : la perception dépend des expériences passées. Perception et cognition entretiennent donc des liens étroits et il importe de s'attacher à l'influence des fonctions cognitives sur l'appréciation et la perception de la musique. L'étude de Gfeller et al. (2008) montre par exemple que la réussite à une tâche visuelle faisant appel à la mémoire de travail apparaît comme un indice prédictif positif pour la perception et l'appréciation de la musique.

Gfeller (2009) propose quelques pistes pour améliorer la perception de la musique chez les sujets porteurs d'implant. L'écoute de chansons avec des paroles permet de s'appuyer sur la compréhension verbale car l'implant a été mis au point pour la communication d'informations linguistiques, même si l'identification des paroles chantées est plus difficile que celle de paroles en voix parlée. Il est conseillé aussi de ne pas mettre de musique en fond sonore lors d'une conversation, ce qui peut être perçu comme un bruit de fond désagréable. Préserver au maximum l'audition résiduelle permet de percevoir les informations concernant les basses fréquences, ce qui améliore la reconnaissance des mélodies et donne une qualité plus naturelle à la musique.

II. La relation entre musique, parole et prosodie

L'origine de la musique et des vocalisations musicales dans l'histoire de l'évolution humaine laisse encore aujourd'hui une large place au débat. Darwin propose l'existence d'un proto-langage musical à partir duquel le langage parlé se serait développé, théorie reprise actuellement. D'autres auteurs voient plutôt dans la musique une élaboration culturelle à partir de processus cognitifs et moteurs (Arbib, 2013).

Musique et parole partagent des points communs et des différences. A première vue, musique instrumentale et parole semblent se distinguer notablement l'une de l'autre : la guitare ou la trompette ne sonnent pas comme la voix humaine. On peut se demander si les différences résident dans leurs propriétés acoustiques intrinsèques ou résultent de processus cognitifs construits par le sujet.

La prosodie est quelquefois appelée « musique de la parole » : voyons quelques éléments nous permettant de comparer musique instrumentale, parole et prosodie. Nous abordons ici uniquement la musique instrumentale. Même si le chant fait partie intégrante de la musique, il contient des paroles qui le rapprochent beaucoup de la voix parlée.

A. Au niveau formel et fonctionnel

La parole est constituée d'unités minimales de sons, les phonèmes, regroupés en mots porteurs de sens auxquels s'ajoute la prosodie qui précise et nuance le discours. Le langage permet donc de représenter et d'échanger des concepts.

La musique repose elle aussi sur une combinaison de sons, unités minimales de rythme, d'intensité et de hauteur, qui permet de transmettre une signification qui n'est pas linguistique ni conceptuelle mais de nature esthétique et expressive.

La parole permet une communication dont la codification est bien précise. La musique véhicule aussi une signification laissant une part plus libre à l'interprétation personnelle (Arbib, 2013). Il est parfois difficile de décrire une œuvre musicale par des mots : « *la musique commence à exprimer quelque chose exactement au moment où les mots cessent de pouvoir le faire* » (Chouard, 2009). La musique et la prosodie ont en commun la faculté de transmettre des émotions (Frémont, 2013).

De même que les mots que nous utilisons sont parfois impuissants pour exprimer notre pensée, la distance peut être grande entre les notes écrites par un compositeur et sa conception de la musique.

B. Au niveau acoustique

La parole et la musique instrumentale reposent sur la variation de signaux acoustiques organisés au niveau temporel, mais dont les caractéristiques spectro-temporales sont assez différentes (Patel, 2013).

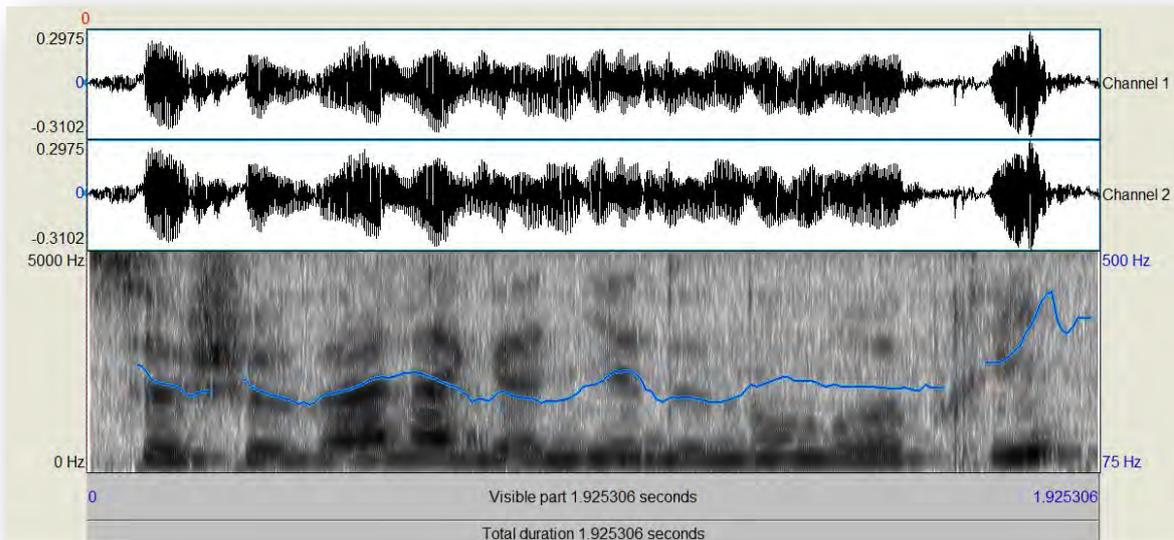


Figure 17 : Structure temporelle (deux courbes noires en haut) et spectrogramme (en bas) avec contour de hauteur (trait bleu) de la phrase « Ce cheval a gagné de nombreux prix ? ».

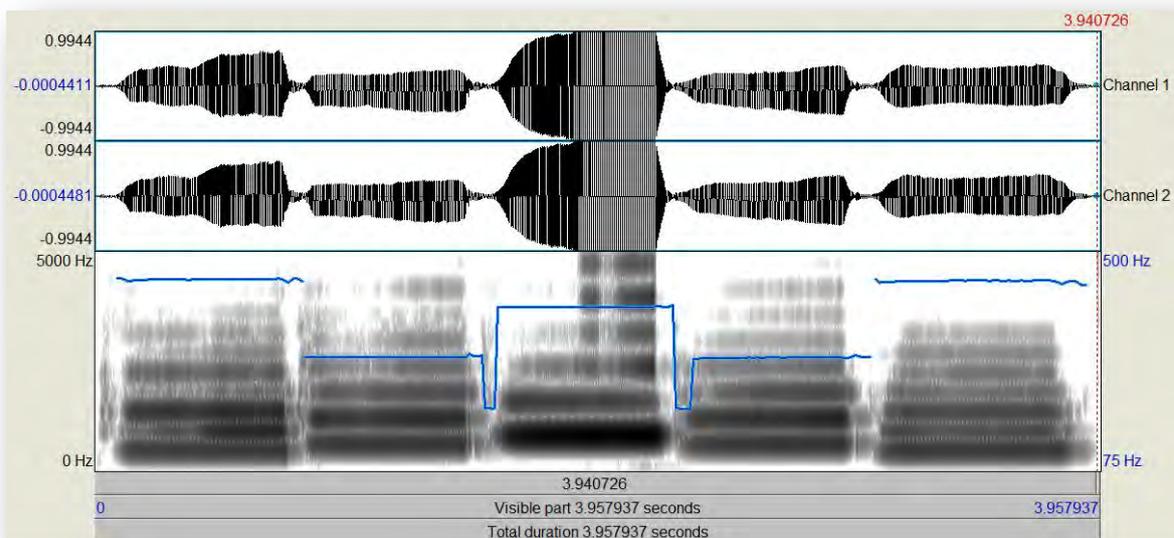


Figure 18 : Structure temporelle (deux courbes en haut) et spectrogramme avec contour de hauteur (trait bleu) de cinq notes jouées à la flûte (contour mélodique)

Dans la parole, l'amplitude de l'enveloppe temporelle est constituée par la modulation relativement lente de l'énergie totale, à l'intérieure de laquelle se déroulent les changements rapides du spectre permettant de définir la succession des phonèmes (Patel, 2011). Cette enveloppe contribue à donner des indices sur le rythme de la parole, son accentuation et la séparation des syllabes, permettant ainsi de segmenter les mots à partir du flux continu de la parole. Pour la musique, l'enveloppe temporelle constitue aussi un paramètre très important, responsable de la perception du timbre et du sens du rythme.

La musique est plus lente que la parole en termes de rythme. En moyenne, la durée d'une syllabe est de 191 ms (Greenberg, 1996 in Patel, 2013) contre 280 ms pour les notes (Watt, Quinn, 2006 in Patel, 2013). Chaque syllabe de la parole fait l'objet d'une quantité de changements de l'enveloppe spectrale bien supérieure à celle qu'on peut observer pour chaque note de musique (figures 17 et 18).

Ainsi, le temps disponible pour extraire l'information à partir de la parole est plus court que pour la musique, mais des indices redondants permettent de compenser cette rapidité dans l'émission des constituants acoustiques de la parole et d'accéder à la compréhension du message.

La hauteur tonale est un paramètre très riche en musique, qui permet aussi de véhiculer l'information linguistique de la prosodie et des tons lexicaux (Patel, Iversen, 2007). On retrouve aussi une différence entre musique instrumentale et parole au niveau de la fréquence fondamentale. Les gammes de fréquence dans lesquelles se situent parole et instrument sont grossièrement les mêmes, bien que les instruments possèdent une étendue de fréquence supérieure à celle de la voix humaine. On peut observer des différences assez importantes dans le tracé de leur fréquence fondamentale (trait bleu sur les figures 17 et 18) : celle de l'instrument varie par paliers de manière discrète, alors que les variations de fréquence de la parole sont de nature continue (Patel, 2013).

La parole s'appuie donc sur des variations spectrales rapides correspondant au timbre et permettant l'identification des phonèmes, alors que la musique repose plutôt sur des variations de la hauteur mélodique, le timbre de l'instrument restant le même. Inversement, la hauteur tonale présente une utilité linguistique, notamment pour l'intonation et les tons lexicaux et le timbre permet de distinguer les instruments de musique entre eux.

C. Au niveau cérébral

Des cas de dissociation entre le traitement du langage et de la musique ont pu être observés. Lors de lésions neurologiques, le traitement de la parole est conservé chez certains patients mais la reconnaissance de la musique est impossible, alors que d'autres ont de bonnes capacités à traiter les sons non verbaux, dont fait partie la musique mais présentent une surdité verbale (les mots étant perçus comme une langue étrangère). Ceci a pu conduire à penser l'existence de deux modules distincts pour le traitement de la musique et du langage (Peretz, Coltheart, 2003).

Ces auteurs ont proposé l'existence d'un module acoustique commun, permettant de recevoir et de traiter le signal acoustique, qui serait ensuite envoyé vers un module

spécifique à la musique ou à la parole, en fonction du type de signal d'entrée. Chaque module (musique et langage) contient des sous-modules dont les fonctions peuvent se chevaucher : par exemple, le module d'analyse du contour de la hauteur permettrait sans doute d'analyser aussi l'intonation, grâce à la détermination de la direction de la hauteur entre sons adjacents sans regarder précisément l'intervalle les séparant. D'autres modules sont spécifiques, comme le module de conversion acoustico-phonologique pour la parole ou le module d'encodage tonal de la hauteur, permettant de percevoir les notes le long de l'échelle musicale après analyse de leur intervalle.

Il est donc important de faire la distinction entre paramètre acoustique (comme la fréquence) et attribut perceptif correspondant (la hauteur tonale) car ces deux éléments n'ont pas le même niveau de traitement neuronal. Après analyse au niveau sous-cortical, la hauteur serait ensuite traitée de manière différente selon que le contexte soit linguistique ou musical. Par exemple, quand la hauteur induit une différenciation lexicale, elle est traitée préférentiellement par l'hémisphère gauche, alors qu'elle est normalement traitée par l'hémisphère droit (Zatorre, Gandour, 2007).

Au niveau cortical, le traitement de l'attribut perceptif fait donc appel à un processus cognitif spécifique de haut niveau, différent selon qu'il s'agisse de musique ou de langage. Au niveau sous-cortical, l'encodage des paramètres acoustiques sous-jacents de cet attribut repose sur un traitement général de bas niveau relevant de réseaux neuronaux se chevauchant plus largement. Le cortex auditif possède un nombre important de neurones et de régions spécialisées alors que les structures sous-corticales sont beaucoup moins riches en termes de neurones, de connexions, et ont donc moins de possibilités de séparer le traitement de la musique et de la parole. La fréquence et les autres paramètres acoustiques partagés par la musique et la parole seraient traités par l'intermédiaire de réseaux sous-corticaux se chevauchant.

Plusieurs études révèlent que des structures cérébrales communes permettent le traitement de la musique et de la parole.

Dans un cerveau normal, l'analyse de contours mélodiques non linguistiques et de l'intonation de la parole partagent des mécanismes neuronaux communs (Liu et al., 2010).

Chez les musiciens, certaines structures cérébrales comme le corps calleux, le gyrus de Heschl, le planum temporale, le gyrus frontal inférieur gauche, le cortex moteur primaire et le cervelet sont plus larges que chez les non-musiciens. Or, ces régions ne sont pas spécifiques au traitement de la musique mais peuvent aussi être activées pour le traitement du langage (Besson et al., 2007).

Le gyrus frontal inférieur gauche (ou aire de Broca) est impliqué dans le langage et la musique. Ainsi, sa taille est plus importante au niveau de la pars opercularis chez les personnes habituées à manipuler des sons langagiers ou musicaux de par leur profession (musiciens, phonéticiens...), alors que chez des individus ayant des capacités moindres dans le domaine du traitement des sons, ce volume apparaît diminué ou bien augmenté à droite (Asaridou, McQueen, 2013).

Au niveau du cortex auditif, la densité de la matière grise du gyrus de Heschl, composant majeur du cortex auditif primaire, est plus importante chez les musiciens (Asaridou, McQueen, 2013). De manière plus précise, une densité plus élevée à droite du gyrus de Heschl est corrélée avec les capacités de jugement d'une hauteur tonale relative (Foster, Zatorre, 2010 in Asaridou, McQueen, 2013) et des habiletés rythmiques et mélodiques (Hyde et al., 2009).

III. L'intérêt de l'entraînement

A. Généralités

L'implantation cochléaire seule, sans réhabilitation auditive associée, n'est pas suffisante pour bénéficier pleinement de toutes les potentialités de l'appareillage. L'exposition passive quotidienne aux bruits de l'environnement et à la parole permet d'améliorer la fonction auditive. Il est cependant nécessaire de lui associer un entraînement auditif afin d'aider le cerveau à utiliser les informations périphériques fournies par l'implant. Cet entraînement permet d'accroître et de faciliter la plasticité cérébrale (Fu, Galvin, 2007). Ainsi, les performances maximales sont plus vite atteintes et le niveau de fonctionnement auditif est meilleur (Wilson et al., 2008).

B. La plasticité cérébrale

Le phénomène de plasticité cérébrale intervient lors de la maturation du cerveau chez l'enfant, lors d'une déprivation sensorielle ou encore lors d'un apprentissage et correspond à la capacité du cerveau à modifier ou réorganiser sa structure et son fonctionnement.

Le cerveau des musiciens est souvent pris comme modèle pour mettre en évidence la plasticité cérébrale.

1. Déprivation auditive et plasticité cross-modale

Plus la durée de déprivation auditive est courte, meilleurs sont les résultats en reconnaissance de la parole. En effet, la perte auditive, en privant les aires cérébrales de l'information sensorielle périphérique, affecte les connexions des neurones au sein des aires

auditives. Ces aires auditives ne recevant plus d'information périphérique sont réattribuées à d'autres fonctions sensorielles, comme la vision : c'est le phénomène de plasticité cross-modale.

Ce phénomène de plasticité contribue donc aux limites de l'implantation cochléaire, à cause de la détérioration des aires auditives, et constitue un facteur explicatif de la grande variabilité des résultats obtenus chez les patients.

Cependant, cette plasticité cross-modale chez l'adulte permet d'accroître le phénomène d'intégration auditivo-visuelle de la parole, et améliore ainsi les compétences de perception de la parole (Strelnikov et al., 2015).

2. Réhabilitation auditive et plasticité cérébrale

Après implantation, il est nécessaire parfois d'attendre plusieurs mois avant d'atteindre un niveau de satisfaction suffisant pour la compréhension de la parole et la discrimination des sons de l'environnement. C'est le temps nécessaire au cerveau pour se réorganiser à partir des nouvelles informations sensorielles fournies par l'implant. Cette réorganisation cérébrale joue un rôle majeur dans l'amélioration de l'audition.

Le niveau de fonctionnement cérébral au niveau des aires auditives détermine le niveau de performance auditive. Ainsi, aucun lien n'a été trouvé entre les scores en reconnaissance de mots et le nombre de cellules ganglionnaires survivantes : certains patients ayant encore un nombre important de cellules ganglionnaires ont obtenu des scores faibles, alors que d'autres ayant un nombre de cellules faibles ont pu obtenir de bons scores. Il semblerait donc que le nombre de cellules ganglionnaires requises pour un bon fonctionnement de l'implant soit minime, et que le cerveau joue un rôle primordial en permettant de reconstituer la totalité de l'information auditive à partir des représentations périphériques parcellaires fournies par l'implant (Wilson et al., 2008).

Ainsi, le cerveau joue un rôle fondamental en permettant l'apprentissage et l'adaptation à l'implant. Des dommages sur la fonction cérébrale, que ce soit au niveau du tronc cérébral ou des aires auditives, une plasticité cérébrale limitée ou une plasticité cross-modale trop importante ont des effets négatifs sur les performances du patient.

C. Conditions de l'entraînement

1. Type d'entraînement

L'entraînement musical est bénéfique pour améliorer l'encodage neuronal de la parole, grâce à une plasticité adaptative. Selon Patel (2013) cette plasticité est possible si les cinq conditions suivantes sont réunies lors du traitement de la musique (hypothèse « OPERA »). Ces conditions obligent les réseaux sous-corticaux à fonctionner avec plus de précision que pour la parole normale :

- O pour « Overlap » : les paramètres acoustiques importants à la fois pour la perception de la musique et de la parole (périodicité de l'onde et amplitude de l'enveloppe) doivent être traités par des réseaux neuronaux se chevauchant à un degré significatif à un certain niveau du traitement (sous-cortical, cortical ou les deux).
- P pour « Précision » : la musique oblige à un traitement neuronal plus précis des paramètres acoustiques car, dans la mélodie musicale, des notes séparées par de très faibles intervalles (un à deux demi-tons) peuvent avoir une grande importance pour l'harmonie de l'ensemble. De même, le rythme doit être précisément perçu. Dans des conditions normales, la communication par la parole ne nécessite pas une perception aussi précise de la hauteur tonale à cause d'indices sémantiques ou syntaxiques redondants qui permettent la compréhension même si les indices de hauteur sont imprécis. La perception précise des détails acoustiques de la hauteur tonale dans la parole est cependant importante pour mieux percevoir des éléments précis du contexte comme l'identité du locuteur, son état émotionnel grâce à la prosodie, ou la perception de la parole dans le bruit. La musique demande aussi une précision plus importante que la parole au niveau temporel et rythmique ; pour la parole, le VOT (Voice Onset Time) permet de faire la différence entre consonnes, mais d'autres indices (F0, voyelle et durée) permettent aussi de compléter cette information temporelle. La demande de précision temporelle dans la parole est donc moindre que celle demandée par la musique.
- E pour « Emotion » : éprouver des émotions lors de l'écoute de la musique est un facteur important de réussite dans l'acquisition des performances et concourt à la motivation du sujet.
- R pour « Répétition » : l'entraînement musical doit être intensif, avec une répétition régulière.
- A pour « Attention » : une attention focalisée sur les détails du son comme la hauteur crée des conditions favorables au développement de la plasticité cérébrale.

Le traitement de la musique ne réunit pas forcément ces conditions de manière automatique, mais pour avoir une amélioration de l'encodage de la parole, il est nécessaire d'en tenir compte dans la conception des activités musicales proposées lors de l'entraînement.

Les possibilités d'entraînement musical sont nombreuses et diverses et on peut penser que les effets sur la parole et la musique seront différents selon la forme des exercices proposés et la fréquence de l'entraînement.

Un entraînement à l'identification de contours mélodiques a été proposé récemment à une population de seize patients (Lo et al., 2015). Deux types d'entraînement étaient proposés à deux groupes de patients, la progression reposant sur la réduction soit de la durée des notes, soit de leur intervalle, à chaque fois que le niveau précédent était atteint, avec sept niveaux de difficulté. Une amélioration des performances en identification de questions et d'affirmations utilisant uniquement les indices d'intonation a été démontrée, mais sans effet significatif du type d'entraînement proposé. Cependant, la taille réduite de l'échantillon limite l'interprétation de ces résultats.

2. Fréquence de l'entraînement

Selon les études, diverses fréquences d'entraînement sont proposées.

L'étude précédemment citée proposait une fréquence de 15 à 30 minutes par jour, quatre fois par semaine durant six semaines avec une amélioration obtenue une à deux semaines après le début du test (Lo et al., 2015).

Un entraînement à raison de 45 min par semaine pendant 5 mois, portant sur des exercices de détection de notes et de voix, de discrimination et d'identification des paramètres fondamentaux de la musique (rythme, intensité, fréquence, timbre) et de mélodies, a montré un bénéfice sur la perception de la musique ainsi que sur son appréciation (Bourguet, 2007).

Galvin et al., (2009) ont proposé un auto-entraînement à la reconnaissance de neuf contours mélodiques, une demi-heure par jour à raison de 5 jours par semaine, sur une durée allant d'une semaine à deux mois. Les sujets étaient autorisés à s'entraîner aussi longtemps qu'ils en ressentaient le bénéfice. Les stimuli étaient composés de sons complexes à trois harmoniques.

La fréquence d'entraînement (nombre de séances par semaine) semble avoir peu d'effet, contrairement à la quantité totale d'entraînement, c'est-à-dire le nombre total de séances (Nogaki et al., 2007). Ceci montre qu'il est important de réaliser un certain nombre de séances d'entraînement, même de façon irrégulière, sur une certaine période de temps.

D. Effets de l'entraînement musical

1. Sur la plasticité cérébrale

Parole et musique révèlent l'existence d'une plasticité intra-domaine : l'entraînement dans un domaine comme celui de la musique, améliore le traitement des sons musicaux, de même que l'expérience et l'entraînement linguistique améliore le traitement des sons de la parole. Il existe aussi un phénomène de plasticité inter-domaine ou cross-modale dans lequel l'entraînement dans un domaine améliore les capacités dans un autre domaine : l'entraînement musical améliore les compétences langagières, par un effet de transfert positif des compétences.

a) Au niveau sous-cortical

La musique et la parole sont des processus cognitifs complexes, souvent étudiés sous l'angle cortical, plus que sous-cortical. Selon Wong et al., (2007), l'expérience musicale modifie l'encodage sous-cortical de la hauteur en linguistique. La « frequency following response » (FFR), mesurée grâce à l'EEG est une réponse neuronale générée dans le tronc cérébral. Cette mesure au niveau du tronc cérébral est le reflet de processus sensoriels plus que cognitifs. Son intérêt est de refléter la perception de la hauteur fondamentale de la voix car elle encode l'énergie de la fréquence fondamentale du stimulus. Chez des sujets musiciens n'ayant jamais été exposés à une langue à tons, la qualité de la FFR est meilleure pour la détection de changements de hauteur de tons lexicaux que chez des non-musiciens : l'encodage sous-cortical de la hauteur en linguistique est donc plus robuste et fiable chez les musiciens. Une corrélation positive a également été mise en évidence entre la qualité de cette onde et d'une part, le taux d'entraînement musical, d'autre part les performances en identification et discrimination des syllabes en mandarin.

b) Au niveau cortical

L'imagerie montre que l'entraînement musical est responsable de changements dans les structures et fonctions corticales, corrélés avec une meilleure acuité auditive (Moreno 2009).

L'entraînement musical a un impact positif sur l'attention auditive et la mémoire de travail auditive (Besson et al., 2011), ce qui améliore le traitement de la parole, car musique et parole ont des réseaux neuronaux communs impliqués dans ces processus (Schulze, Koelsch, 2012). Selon Patel (2013), la mémoire de travail auditive est plus fortement sollicitée dans la musique. En effet, les sons de la parole sont rapidement convertis en représentations sémantiques et ne sont pas mémorisés comme des sons mais comme des

unités porteuses de sens. Ce n'est pas le cas de la musique instrumentale, qui n'a pas d'encodage sémantique, et oblige ainsi le sujet à stocker les détails acoustiques entendus en mémoire de travail auditive. La musique obligerait aussi à une attention sélective plus marquée sur certains paramètres acoustiques alors que, dans la parole, une attention plus globale suffit à la communication.

Il existerait donc des interactions réciproques entre trajets neuronaux ascendants et descendants, les processus cognitifs (mémoire et attention) interagissant réciproquement avec des processus sensoriels sous-corticaux (Wong et al., 2007). Kraus et al. (2012) précisent même que les changements sous-corticaux sont précédés de changements corticaux, l'entraînement musical permettant d'abord une amélioration cognitive qui modèle en retour les structures sous-corticales.

2. Sur les compétences auditives

L'oreille musicale améliore le traitement de la hauteur tonale dans le langage. Si des changements importants de hauteur sont aussi bien perçus par les musiciens que les non musiciens, les faibles changements sont mieux détectés par les musiciens. Une tâche de détection de l'incongruité d'une hauteur finale dans une phrase linguistique ou musicale (accroissement de la fréquence fondamentale du dernier mot de 35% pour les phrases linguistiques, d'un demi-ton pour la dernière note dans les phrases musicales) a été présentée à des musiciens. L'enregistrement une activité cérébrale plus importante pour la détection de faibles incongruïtés et un pourcentage de réponses erronées plus faible par rapport aux non musiciens (Besson et al., 2007).

Selon l'étude de Lo et al., (2015) proposant deux types d'entraînements à des patients implantés, l'un ciblé sur la durée des notes, l'autre sur leur intervalle, il semblerait que l'entraînement à l'identification de contours mélodiques améliore la détection de la fréquence fondamentale. En effet, le test de prosodie, dont les résultats montrent une amélioration significative grâce à l'entraînement, reposait uniquement sur l'identification de l'intonation de la dernière syllabe de simples mots uni ou bi-syllabiques, en l'absence de tout indice sémantique ou syntaxique. Cependant, il est possible que les indices de durée et d'intensité aient pu aussi être utilisés de manière concomitante.

De manière générale, de nombreuses études proposant cette tâche d'entraînement à l'identification de contours mélodiques montrent une amélioration des performances (Lo et al., 2015, Galvin et al., 2009). L'entraînement permet aux sujets implantés d'apprendre à utiliser les faibles indices de hauteur dont ils disposent à travers l'implant (Galvin et al., 2009).

3. Sur les compétences linguistiques et prosodiques

L'entraînement musical permet de développer et d'affiner des mécanismes utiles dans le traitement de la musique en influençant l'organisation anatomo-fonctionnelle des régions cervicales. Or, si musique et langage partagent des ressources neuronales communes, il semble évident que l'expertise musicale influence le traitement du langage.

L'acquisition de compétences musicales peut donc être bénéfique pour le traitement d'autres signaux auditifs complexes comme la prosodie, dont le décodage repose sur l'extraction des informations relatives à des changements de hauteur, de vitesse et d'amplitude du signal acoustique auxquels un sens est attribué : l'entraînement musical a un effet bénéfique sur l'extraction de ces informations en améliorant l'encodage neuronal de la parole.

Les performances en détection de la prosodie dans la parole sont meilleures chez des sujets ayant un précédent d'entraînement musical. La tâche de correspondance entre une phrase prononcée avec une intonation émotionnelle et une mélodie intonative, c'est-à-dire une séquence de sons constituée par l'extraction de la hauteur et des variations temporelles de la phrase précédente, montre de meilleures performances chez les musiciens par rapport aux non musiciens. La même tâche réalisée dans une langue étrangère montre également de meilleurs résultats chez les musiciens (Thompson et al., 2004).

Une autre étude a révélé l'impact positif d'un entraînement de piano sur les capacités à décoder la prosodie affective chez des enfants, montrant chez eux une sensibilité accrue aux émotions véhiculées par la voix (Thompson et al., 2004).

Dans une étude réalisée par Patel (2013), deux patients implantés cochléaires ont été entraînés à jouer cinq notes au piano, formant divers contours mélodiques avec des intervalles de un à trois demi-tons, à raison d'une demi-heure par jour, cinq jours par semaine pendant un mois. Cet entraînement fait appel à une boucle sensori-motrice, ce qui semble plus efficace pour permettre la plasticité cérébrale qu'une simple tâche d'écoute passive (Lappe et al., 2008).

Les résultats mettent en évidence une amélioration de la reconnaissance de ces mêmes contours mélodiques par les deux patients. La perception de la prosodie n'est améliorée que chez un seul des deux patients.

4. Sur la perception de la parole dans le bruit

Ecouter de la parole dans le bruit ou percevoir des contours prosodiques sont des capacités renforcées chez des adultes normo-entendant entraînés musicalement (Parbery-Clark et al., 2009). Ceci pose donc la question de l'intérêt de l'entraînement musical chez les personnes implantées pour mieux percevoir la parole en contexte bruyant (Patel, 2013). De plus, une meilleure attention auditive et mémoire de travail améliorent la perception dans le bruit.

Cependant, l'étude réalisée par Lo et al. (2015) ne montre pas d'effet de l'entraînement à l'identification de contours mélodiques sur la perception de phrases dans le bruit pour le groupe, quel que soit le type d'entraînement (durée ou intervalle). En revanche, cet entraînement est bénéfique pour certains individus ayant une prothèse contro-latérale et donc un meilleur accès aux indices acoustiques, à la fréquence fondamentale et à la structure fine grâce à leur audition résiduelle. Selon l'auteur, la perception dans le bruit ne peut pas être améliorée car elle nécessite un mécanisme de différenciation perceptif entre sources sonores, alors que l'entraînement proposé fait appel à une mélodie unique, sans masquage par une autre source sonore.

E. Entraînement...ou prédispositions ?

On peut se demander si les meilleurs résultats obtenus par les sujets musiciens aux épreuves linguistiques proposées dans les diverses études décrites précédemment sont réellement dues à leur expérience de la pratique musicale ou à des différences anatomiques et physiologiques innées de leur système auditif, pertinentes pour le traitement de la parole. Ces prédispositions leur permettraient de réussir à la fois dans le domaine musical et linguistique et ils seraient plus à même de suivre un entraînement musical.

Pour prouver précisément le rôle de l'entraînement musical dans l'amélioration des habiletés linguistiques, la capacité à détecter des changements de hauteur tonale a été mesurée chez des enfants, avant et après entraînement musical, ainsi que chez un groupe contrôle soumis à un entraînement visuo-spatial avec des activités de peinture. L'amélioration la plus significative des performances a été obtenue pour le groupe ayant suivi un entraînement musical de 6 mois. Ceci montre donc que l'entraînement musical permet une amélioration des performances linguistiques.

De plus, le degré d'amélioration de l'encodage de la parole est corrélé au nombre d'années d'entraînement musical (Wong et al., 2007, Patel, 2012).

Ces éléments seraient donc en faveur d'un effet de l'entraînement plutôt que de prédispositions spécifiques pour la musique.

F. Musique et parole, une influence réciproque

S'il a été démontré que l'entraînement musical améliore la perception de la parole et notamment de la prosodie, l'inverse est aussi possible : ainsi, l'expérience linguistique des langues à tons permet de moduler le traitement de la musique (Asaridou, McQueen, 2013).

Ainsi, l'amélioration de la perception de la prosodie et des compétences linguistiques, grâce à l'entraînement musical, confirme l'existence de certains réseaux et mécanismes neuronaux partagés permettant le traitement conjoint de la parole et de la musique, justifiant l'intérêt de proposer un tel entraînement.

PARTIE PRATIQUE

PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

I. Problématique

La technologie de l'implant cochléaire a fait d'énormes progrès ces dernières années et le nombre de patients bénéficiant de cette prothèse auditive ne cesse de croître. La perception de la parole en situation de silence est très satisfaisante pour la majorité des sujets. En revanche, la difficulté demeure particulièrement importante pour l'écoute de la musique et les conversations en milieu bruyant, qui constituent des situations quotidiennes assez courantes. La musique fait partie intégrante de nos vies et peut être perçue par ces patients comme un bruit de fond confus et gênant. La difficulté à converser avec plusieurs personnes dans un lieu bruyant peut être pénible à vivre pour ces patients et conduire à un isolement social.

Au niveau de la parole, la perception de la prosodie à partir des indices de hauteur tonale reste compliquée. L'implant cochléaire dégrade le signal acoustique au niveau temporel et spectral ce qui limite les possibilités de perception de la fréquence fondamentale par le sujet implanté. Cette perception est aussi limitée par la surdité elle-même, qui entraîne une destruction des cellules sensorielles de l'oreille interne et induit des modifications de l'organisation et de la structure du trajet nerveux et des aires cérébrales.

Les travaux de recherche s'intéressent donc maintenant aux possibilités d'amélioration de la perception de la musique, de la parole dans le bruit ainsi que de la prosodie. Ces divers domaines présentent comme caractéristique commune la nécessité de pouvoir percevoir correctement la fréquence fondamentale.

Notre problématique est donc la suivante : un entraînement à la perception de la fréquence fondamentale, grâce à la reconnaissance de contours mélodiques, présente-t-elle un intérêt pour améliorer les performances en réception de la prosodie linguistique chez l'adulte implanté cochléaire ?

II. Hypothèses

Les études que nous venons de citer dans notre partie théorique montrent que les sujets porteurs d'implant s'appuient préférentiellement sur des indices de rythme et d'intensité plutôt que de hauteur pour la perception de la prosodie. Nous avons donc choisi d'étudier la possibilité d'améliorer la perception de la prosodie en optimisant la perception de la fréquence fondamentale à travers l'implant.

Les échantillons de population étudiée dans la littérature dépassent rarement une vingtaine de sujets. Nous avons inclus un nombre important de patients afin que notre échantillon soit le plus représentatif possible de la population générale.

Nous avons d'abord décidé de faire un état des lieux de leurs capacités perceptives au niveau de la prosodie, ce qui nous a amené à poser l'hypothèse suivante :

Hypothèse 1 : Un nombre important de sujets implantés présente des capacités limitées pour la perception de la prosodie à travers l'implant seul à partir des variations de fréquence fondamentale.

Il existe un lien entre perception de la prosodie et perception de la hauteur tonale (Capber 2011). Nous avons donc décidé d'évaluer les capacités de perception de la fréquence fondamentale, dont l'attribut perceptif est la hauteur tonale, ce qui nous a amené à poser l'hypothèse suivante :

Hypothèse 2 : Un nombre important de sujets implantés présente des difficultés pour percevoir la fréquence fondamentale à travers l'implant seul.

Sous-hypothèse 2 : la perception de la fréquence fondamentale d'un son aigu est plus difficile que celle de la perception de la fréquence fondamentale d'un son grave pour les sujets implantés.

Notre entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques repose sur la perception des variations de fréquence fondamentale. Afin de valider l'intérêt de cet entraînement, il nous a paru important d'étudier le niveau de corrélation qu'on peut établir entre la perception de la fréquence fondamentale et de la prosodie au sein de notre population. Nous avons donc émis l'hypothèse suivante :

Hypothèse 3 : chez les sujets porteurs d'un implant cochléaire, les performances pour la perception de la prosodie sont corrélées positivement à celles de la perception de la fréquence fondamentale.

Comme nous l'avons décrit dans notre partie théorique, musique et prosodie ont de nombreux paramètres acoustiques communs dont celui de la fréquence. Nous nous sommes donc interrogées sur l'effet de l'entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques que nous avons proposé :

Hypothèse 4 : un entraînement à la perception de la fréquence fondamentale grâce à la reconnaissance de contours mélodiques permet d'améliorer la perception de la prosodie.

Comme nous l'avons vu dans notre partie théorique, la littérature décrit des difficultés pour la perception de la prosodie chez les patients implantés. Il nous a semblé intéressant de savoir si ces difficultés constituent une réelle plainte de la part des patients. Nous leur avons proposé un questionnaire afin de valider notre sous-hypothèse :

Sous-hypothèse 4 : La conscience de leurs difficultés à détecter la prosodie entraîne une plainte et une demande de la part des patients, justifiant une prise en charge orthophonique.

POPULATION

I. Sujets implantés cochléaires

A. Critères de sélection

Ce groupe est composé de 61 patients sourds implantés cochléaires (IC) dont 36 sujets féminins et 25 sujets masculins bénéficiant d'un suivi régulier au service d'implant auditif du CHU Pierre-Paul Riquet de Toulouse.

Nous avons choisi des critères d'inclusion nous permettant d'étudier une population assez large afin que les résultats obtenus par les patients reflètent le plus fidèlement possible ceux de la population générale. En effet, les patients implantés font généralement preuve d'une grande variabilité dans leurs performances, ce qui peut parfois rendre difficile l'interprétation des analyses statistiques réalisées sur de petits échantillons.

Nos critères d'inclusion sont donc les suivants :

- Sujets de plus de 18 ans
- Atteints de surdité post-linguale
- Sans distinction de sexe ou de niveau socioculturel
- Implantés depuis plus de 12 mois
- Compréhension dans le bruit supérieure à 60% pour un rapport signal sur bruit (S/B) de +10 dB

Nous avons choisi d'inclure uniquement des patients atteints de surdité post-linguale afin d'avoir une homogénéité dans la familiarisation avec la prosodie. En effet, les sujets ayant une surdité pré-linguale n'ont pas accès au même développement linguistique.

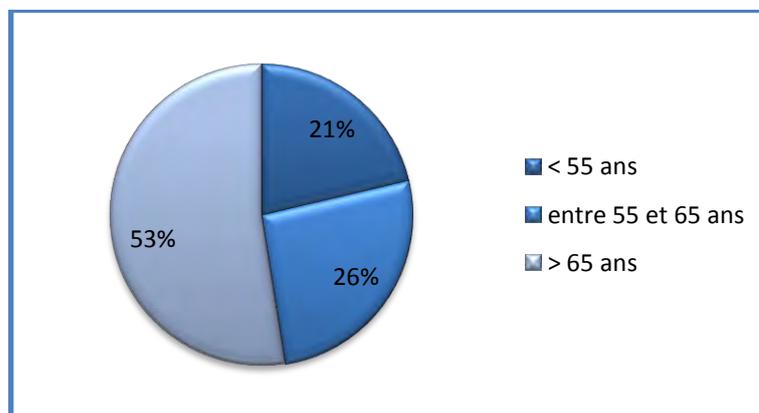
Un délai d'un an post-activation est nécessaire pour que les performances en reconnaissance de phrases et de mots monosyllabiques atteignent une phase de plateau (Wilson, Dorman, 2008). Nous avons donc inclus des sujets implantés depuis plus d'un an, que nous pouvons considérer comme accoutumés à la perception des sons à travers l'implant.

De plus, les tests et le protocole d'entraînement que nous avons proposés aux patients portent sur la prosodie et la musique, connus pour être plus difficilement perceptibles que la parole par les sujets implantés. Il est donc nécessaire que nos sujets soient suffisamment performants pour discriminer la parole dans le bruit.

B. Composition de l'échantillon

1. Echantillon total

Nos critères d'inclusion nous permettent d'avoir une large distribution de l'âge de nos sujets, de 27 ans minimum à 87 ans maximum, avec une moyenne de 63 ans. La répartition est la suivante :



Graphique 1: Répartition des sujets en fonction de leur âge (moyenne = 63 ans)

La répartition des sujets de notre échantillon est variable sur de nombreux paramètres (cf. tableau 1). Les étiologies, notamment, sont nombreuses (maladie de Ménière, méningite, otite chronique, otospongiose, origines génétique, ototoxique, traumatique, autre). Certaines données, en revanche, restent imprécises car il nous a été difficile de retracer l'histoire de certains patients : l'origine de la surdité est inconnue pour 33% de la population et les données de déprivation auditive manquent pour 7 de nos sujets.

		Nombre de sujets	Pourcentage de la population (%)
Sexe	Hommes	25	41,0
	Femmes	36	59,0
Latéralité	Unilatéraux	53	86,9
	Bilatéraux	8	13,1
	Moyenne		Valeurs extrêmes
Durée de déprivation		5 ans 5 mois	Entre 1 mois et 35 ans
Durée post-implantation		5 ans 1 mois	Entre 1 an et 15 ans

Tableau 1 : Données de la population

Huit patients sont porteurs d'un implant bilatéral, 27 portent un implant associé à une prothèse controlatérale et 26 portent uniquement un implant unilatéral

2. Sous-groupe entraînement

Au sein de l'échantillon de 61 patients, six sujets ont été retenus pour participer à l'entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques. Deux critères d'inclusion ont été choisis. Leurs résultats aux tests devaient être $d' < 1$ en prosodie et/ou $d' < 1$ en Pitch Rank, et ils devaient avoir la possibilité matérielle de se déplacer car l'entraînement impliquait de venir sept fois dans le service d'implant auditif. Dix-sept patients répondant à ces deux critères ont donc été contactés suite à la passation des tests et six ont répondu positivement.

La moyenne d'âge de ce groupe composé de deux femmes et quatre hommes est de 73 ans, avec des âges variant entre 67 et 80 ans : ces patients appartiennent donc au sous-groupe des sujets les plus âgés (> 65 ans).

Leur durée post-implantation varie entre 1 an 1 mois et 6 ans, avec une moyenne de 3 ans 11 mois, ce qui est proche de la moyenne de l'échantillon total.

Leur durée de déprivation auditive varie entre 1 et 3 ans avec une moyenne de 1 an 10 mois, ce qui est inférieur à la moyenne de l'échantillon total.

Ces six sujets sont implantés unilatéralement. Parmi eux, trois sont porteurs d'une prothèse conventionnelle controlatérale.

Les données récapitulatives concernant notre population d'étude sont disponibles en annexe II.

II. Sujets normo-entendants

Le deuxième groupe se compose de 24 sujets normo-entendants (NE) ayant une audition normale, composé de 6 hommes et 18 femmes, avec une moyenne d'âge de 42 ans, le plus jeune ayant 18 ans, le plus âgé 63 ans. Ce groupe nous a permis de comparer les performances des sujets implantés par rapport aux performances attendues chez les normo-entendants.

METHODOLOGIE

I. Recueil des données et analyse des résultats

A. Théorie de la détection du signal

Les scores, obtenus par les sujets ayant passé les tests, reposent sur la théorie de détection du signal.

La réponse comportementale des sujets dépend à la fois d'un processus perceptif et d'un processus décisionnel. Dans les tests que nous proposons aux patients, un stimulus (phrase ou série de bips) demande une réponse de la part du sujet. Il doit choisir de cliquer sur la réponse qui lui semble correcte, non seulement en fonction de sa sensibilité au signal perçu mais aussi grâce à une stratégie et un jugement interne qui lui sont propres et lui permettent de prendre la décision de donner telle ou telle réponse.

La théorie de détection du signal (*Signal Detection Theory* ou SDT) permet de différencier critère de sensibilité et critère de jugement : le d' (dit D-prime) est le critère de sensibilité et donne le reflet de la réponse sensorielle, indépendamment du critère de jugement interne du sujet. Le d' permet donc d'éliminer le biais de réponse relatif au critère de décision du sujet. Si le d' est élevé, le sujet possède une bonne capacité de perception, s'il est faible, la perception est mauvaise. Un d' nul reflète que le sujet a répondu au hasard. Un $d' < 0$ est le reflet d'une inversion de la perception : par exemple, toutes les affirmations sont perçues comme des questions. En pratique, le d' ne dépasse pas la valeur 4.65. Un score $d' > 2$, correspond à une réussite significativement supérieure au hasard selon la distribution binomiale.

B. Outils statistiques utilisés

Pour comparer les moyennes de nos deux échantillons (NE et IC), nous avons choisi de réaliser un test T de Student sur échantillons indépendants, qui peut être utilisé même si la taille des échantillons est faible ($N < 30$). Nous avons auparavant vérifié la normalité de la distribution des résultats de notre échantillon, ainsi que l'égalité des variances des résultats dans chaque groupe par un test de Fischer. Nous avons utilisé le test de Student pour notre hypothèse 1 et 2 (comparaison des moyennes obtenues dans l'échantillon des implantés par rapport aux normo-entendants).

La valeur p obtenue permet de calculer le degré de signification, c'est-à-dire la force avec laquelle on rejette l'hypothèse que les moyennes comparées par le test de Student ne sont pas différentes. Nous choisissons un risque d'erreur $\alpha = 5\%$ (seuil de signification).

Si $p > 0.05$: on ne peut pas rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes.

Si $p < 0.05$: on rejette l'hypothèse d'égalité des moyennes. Les moyennes des deux échantillons comparés sont significativement différentes.

Pour étudier la liaison entre les deux variables quantitatives que sont les résultats en perception de la fréquence fondamentale et ceux en perception de la prosodie (hypothèse 3), nous avons effectué une régression linéaire multiple. Nous avons calculé le coefficient de détermination (r^2) qui permet de juger de la qualité de la liaison entre les deux variables. Ce coefficient varie entre 0 et 1. Si r^2 se rapproche de 0 le lien entre les deux variables est faible, si r^2 tend vers 1, le lien entre les deux variables est fort. La valeur de probabilité p associée à la régression linéaire multiple montre la significativité du lien entre les variables :

Si $p > 0.05$: la corrélation entre les variables n'est pas significative.

Si $p < 0.05$: la corrélation entre les variables est significative. Dans le cadre de notre hypothèse 3, cela signifie que les résultats en fréquence fondamentale ont une influence sur les résultats en prosodie.

Nous avons ensuite comparé les résultats au sein de l'échantillon de patients avant et après le protocole d'entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques (hypothèse 4) par un test de Student sur échantillon apparié. Ce test a aussi permis de comparer les résultats en Pitch Rank de fréquences basses avec ceux en Pitch Rank sur les fréquences hautes au sein du groupe de patients implantés (sous-hypothèse 2).

Les résultats des sujets porteurs d'implant et des normo-entendants sont disponibles en annexe III du mémoire.

II. Matériel

A. Tests

Pour réaliser notre étude, nous avons fait passer à notre population un test de perception de la prosodie et un test de perception de la fréquence fondamentale (Pitch Rank), à l'aide d'un ordinateur portable (Type « IBM PC Windows »). Les stimuli ont été délivrés à l'implant par l'intermédiaire d'un câble audio personnel (Cochlear® ou Med-el®) connecté à la sortie audio de l'ordinateur, permettant ainsi de tester la perception directement à travers l'implant. La passation des tests s'est déroulée dans un bureau de l'unité adulte du service d'implant auditif du CHU Pierre-Paul Riquet de Toulouse pour les sujets implantés. Les sujets normo-entendants ont été testés à domicile à l'aide d'un casque (Beyerdynamic® modèle DT770 Pro) afin d'éliminer les perturbations dues aux bruits environnants.

1. Prosodie

Le test de perception de la prosodie repose sur la discrimination entre question et affirmation.

Ce test est issu de l'étude de Patel (Patel et al., 1998). Il est composé de douze phrases affirmatives (« le supermarché est fermé le dimanche. ») et leurs correspondantes interrogatives (« le supermarché est fermé le dimanche ? »), prononcées par des acteurs féminins et masculins. Chaque couple de phrases est similaire sur le plan de la syntaxe et du lexique, et diffère uniquement sur l'intonation. Des manipulations acoustiques réalisées par le logiciel SIGNAL™ (Engineering Design, Belmont, USA) ont permis d'éliminer les indices de durée et d'intensité, afin que seuls les indices variations de fréquence fondamentale soient disponibles pour permettre la discrimination de l'intonation.

Les variations de fréquence fondamentale pour ce test de prosodie augmentent d'une octave sur le dernier mot de la phrase pour les questions (de 240 à 500Hz) et baissent d'une demi-octave pour les affirmations (de 240 à 180Hz).

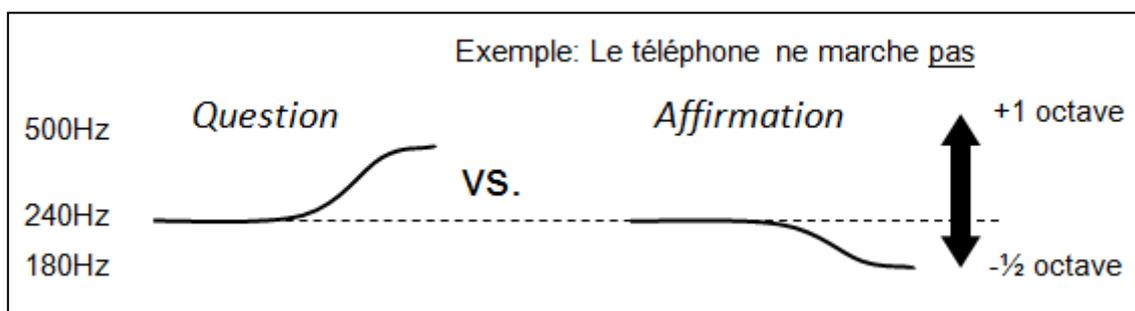


Figure 19 : Représentation des variations de l'intonation (test de prosodie)

La phrase entendue par le sujet est écrite en haut de l'écran, sans ponctuation, afin de permettre au patient de se concentrer sur la seule tâche de perception de l'intonation et d'éviter le biais que constituerait une tâche de discrimination de la parole. La réponse du sujet repose sur une procédure de choix forcé entre l'item question et l'item affirmation, sans possibilité de réécouter la phrase.

2. Pitch Rank

Ce test est composé de stimuli enregistrés à des fréquences fondamentales de 126 à 212 Hz, issus de l'étude de Massida (2010). Ils ont été regroupés en deux groupes, correspondant à nos deux sous-tests et chaque stimuli a une durée de 300 ms. Le premier sous-test (« fréquences basses ») comporte six sons complexes de fréquences fondamentales égales à 126, 134, 141, 147, 155, et 164 Hz. Le second sous-test (« fréquences hautes ») comporte six autres sons complexes dont les fréquences fondamentales sont égales à 164, 175, 181, 191, 204 et 212 Hz.

Dans ce test, le sujet entend trois sons. Les deux premiers ont la même fréquence fondamentale et celle du troisième est soit plus aigue, soit plus grave. La réponse du sujet repose sur une procédure de choix forcé entre deux items (« grave » ou « aigu »), aucune réécoute n'étant possible. L'écart de fréquence fondamentale entre les deux premiers sons et le dernier son entendu est donc plus ou moins important, selon la configuration de la séquence de sons. Le test comporte 60 items, présentés de manière aléatoire, chaque configuration de sons apparaissant plusieurs fois afin que les résultats soient les plus significatifs possible.

Dans ce test, les variations de fréquence fondamentale entre deux sons sont moins importantes que pour le test de prosodie. De plus, ce sont toujours les mêmes canaux qui sont activés lors de l'écoute des stimuli, comme l'illustre l'électrodiagramme en annexe IV. Ainsi dans ce test, seules les informations temporelles permettent de discriminer la fréquence fondamentale, contrairement au test de prosodie dans lequel les informations spectrales sont aussi disponibles grâce à l'activation de différents canaux (cf. électrodiagrammes d'une phrase issue du test de prosodie p.33).

B. Questionnaire

Afin de répondre à notre sous-hypothèse 4, nous avons créé un questionnaire nous permettant de récolter les ressentis des sujets concernant leur perception de la prosodie. Il comporte cinq questions, pour lesquelles le sujet doit attribuer une note de 0 à 10 en fonction de son ressenti, 0 correspondant à « pas du tout », 10 correspondant à « souvent » ou « parfaitement » (cf. Annexe V).

C. Matériel d'entraînement

L'entraînement à la perception de contours mélodiques que nous avons proposé au six sujets sélectionnés à l'issue des tests a été mis en place avec un matériel utilisable en séance de rééducation dirigée et un matériel d'auto-entraînement à domicile. Ces deux types de matériels s'appuient sur des supports à la fois visuels et auditifs permettant une stimulation plurimodale.

Nous avons choisi de proposer tout d'abord un entraînement dirigé, afin de familiariser les patients avec le support auditif avant l'auto-entraînement à domicile. En effet, ce type d'exercice est très rarement, voire jamais proposé et il peut paraître difficile au premier abord. L'intérêt de l'entraînement dirigé est de pouvoir adapter le type d'exercice proposé aux capacités du patient, afin de veiller à ne pas le mettre en échec, tout en lui proposant une marge de progression. Afin de suivre l'évolution des patients et d'adapter les exercices

en fonction de leurs difficultés, nous avons créé une grille d'observation, disponible en annexe VI.

1. Matériel de rééducation en séances dirigées

Notre matériel de rééducation utilisé en séance dirigée permet d'entraîner les patients à la détection de contours mélodiques instrumentaux et prosodiques. La perception de contours mélodiques repose sur la perception de la forme générale de la mélodie, c'est-à-dire la perception de la succession des hauteurs tonales. Nous avons donc choisi de débiter par des exercices de perception d'intervalles de hauteur. Nous avons introduit ces exercices lors des premières séances afin de permettre un entraînement et une familiarisation progressive avec la détection de variations de fréquence, en nous inspirant du matériel musical d'entraînement à la perception des variations mélodiques réalisé par R. Louis-Marie (2014).

Nous avons donc construit deux interfaces au moyen du logiciel PowerPoint 2007, Microsoft®, fournies sur le CD-ROM intitulé « Matériel d'entraînement à la perception de la prosodie chez l'adulte implanté cochléaire » et joint à ce mémoire. Les consignes précises d'utilisation de ce matériel et les supports visuels destinés au patient sont également disponibles sur ce CD-ROM.

a) Première interface : intervalles et contours mélodiques instrumentaux

La première interface comporte des exercices de perception d'intervalles et de contours mélodiques instrumentaux.

Les enregistrements ont été effectués à l'aide du logiciel d'édition de partitions musicales Allegro Finale 2008, développé et édité par la société MakeMusic, en utilisant les sonorités de deux instruments à corde (piano, guitare) et deux instruments à vent (flûte et clarinette).

• Intervalles de hauteur (séance 1 et 2)

Pour cet exercice, les instruments ont été enregistrés sur la gamme qui s'étend de Sol³ à Do⁶. Chaque note dure en moyenne 500 ms. Deux notes successives sont présentées au patient, qui doit déterminer laquelle est la plus aigue ou la plus grave. Cet exercice débute avec la perception de larges intervalles de l'ordre de l'octave, progressivement réduits pour atteindre le ton ou le demi-ton. Le but de cet exercice est

d'affiner les capacités de discrimination des intervalles, afin de préparer le patient aux exercices de perception de contours mélodiques.

- **Contours mélodiques instrumentaux (séance 3 à 6)**

Pour ces exercices de perception de contours mélodiques instrumentaux, nous nous sommes inspirées du logiciel d'auto-entraînement AngelSound™, que nous présentons au paragraphe « matériel d'auto-entraînement ». Nous avons choisi de réaliser nos propres enregistrements, d'une durée plus longue (500 ms) que les stimuli du logiciel (270 ms), afin de pouvoir proposer au patient des exercices plus progressifs (de la discrimination jusqu'à la reconnaissance) et de personnaliser ainsi la progression en fonction des réponses du patient.

Neuf types de contours mélodiques correspondant à des séquences de cinq stimuli de même durée et de hauteurs différentes ont été enregistrés avec les sonorités des quatre instruments précédemment utilisés. A chaque contour mélodique correspond une représentation graphique visuelle (dessin du contour).

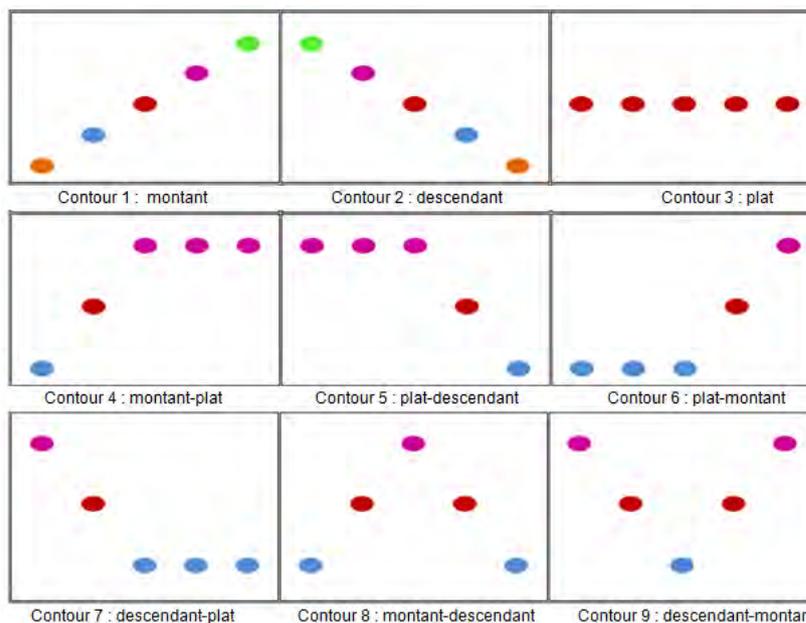


Figure 20 : représentations graphiques des contours mélodiques instrumentaux présentées comme support visuel aux patients

Les exercices proposés comportent trois niveaux de difficulté en fonction de l'intervalle entre les notes (5 demi-tons pour le niveau I, 3-4 demi-tons pour le niveau II, et 1-2 demi-tons pour le niveau III). Pour chaque niveau, les contours ont été enregistrés dans le registre grave et aigu (partitions en annexe VII).

La progression des exercices est fondée sur les principes de l'éducation auditive. Les exercices sont réalisés en commençant par le niveau I, jusqu'au niveau III en fonction des possibilités du patient, en présentant à chaque fois le registre grave et aigu et en variant les instruments proposés. La progression est la suivante :

✓ **Exercices de discrimination (séance 1 et 2)**

Deux contours sélectionnés parmi les contours ascendant, descendant ou plat sont proposés au patient qui doit dire si ce qu'il entend est « pareil » ou « différent ». La difficulté est ensuite augmentée en sélectionnant les deux contours à écouter parmi les neuf disponibles, le patient doit effectuer la même tâche de discrimination entre les deux stimuli.

✓ **Phase d'apprentissage des contours (séance 3 à 6)**

Le patient écoute la mélodie en regardant le schéma pour associer la stimulation auditive à sa représentation visuelle. Il peut aussi s'imprégner du contour mélodique et de sa représentation en suivant le dessin du contour avec le doigt ou en le reproduisant vocalement. Cette phase d'apprentissage repose donc sur plusieurs modalités (visuelle, auditive, kinesthésique et proprioceptive). Cet apprentissage est repris à chaque début de séance à partir de la 3^{ème} séance afin d'améliorer les compétences par la répétition de la tâche.

✓ **Exercices d'identification (séance 3 à 6)**

Dans cet exercice, le patient doit désigner la représentation visuelle du contour entendu. L'identification est d'abord réalisée avec un nombre réduit de contours (deux contours, ascendant et descendant pour la séance 3), puis proposée avec la totalité des contours selon une progression de difficulté croissante (séance 4 à 5). L'identification parmi les neuf contours correspond à l'exercice réalisé lors de l'auto-entraînement avec le logiciel Angelsound™ que nous détaillons plus loin.

Nous avons également proposé un exercice d'identification faisant intervenir la mémoire : il s'agit d'écouter deux ou trois contours mélodiques successifs et de trouver ensuite à quel contour correspond le schéma visuel présenté après écoute (séance 6).

✓ **Exercice de reconnaissance (séance 6)**

Le patient, déjà familiarisé avec les dessins des contours, doit reproduire graphiquement le contour écouté.

b) Seconde interface : contours mélodiques prosodiques

La seconde interface comprend des exercices portant sur la perception des intonations de phrases selon trois modalités : affirmative, interrogative, exclamative.

Nous avons enregistré des phrases chez des sujets masculins et féminins, que nous avons manipulées acoustiquement à l'aide des logiciels Praat¹ et Audacity² afin de créer un contour mélodique prosodique à partir de ces phrases. Chaque phrase, identique sur le plan syntaxique et lexical, a été enregistrée sous les trois modalités (affirmative, interrogative et exclamative).

Pour chaque modalité, trois stimuli ont été créés. Le premier stimulus correspond à la phrase en condition originale, le deuxième correspond uniquement aux variations de hauteur (« Pitch ») et le dernier correspond aux variations de hauteur et de rythme (« Pitch&Pulses »). Dans ces deux derniers stimuli, que nous appelons contours mélodiques prosodiques, les phonèmes ne sont plus identifiables, seules persistent les variations de fréquence et/ou de rythme du signal sonore, en fonction des variations de l'intonation de la phrase de départ.

Ainsi, pour chaque phrase, neuf stimuli sont donc disponibles (exercices 1 et 2) : trois stimuli affirmatifs, trois stimuli interrogatifs et trois stimuli exclamatifs, chacun d'entre eux constitués par la phrase, le « Pitch » et le « Pitch&Pulses ». L'exercice 3 repose sur un choix entre deux modalités et l'exercice 4 sur une seule modalité, la difficulté résidant en une mise en contexte plus importante.

Le « Pitch&Pulses » conserve les indices de rythme, nous avons choisi de l'utiliser au début de notre progression pour aider le patient à se familiariser avec les contours prosodiques. En effet, nous l'avons vu, le rythme facilite la reconnaissance de la prosodie chez les sujets implantés. Au cours de la progression proposée au patient, l'objectif est de pouvoir réaliser les exercices uniquement avec le « Pitch », sans les indices de rythme.

Nous avons choisi de proposer cette perception de contours mélodiques prosodiques afin de permettre une application plus pratique et fonctionnelle des exercices de perception de contours mélodiques instrumentaux.

• Exercice 1 : contours prosodiques (séances 1, 2, 3)

Pour cet exercice, nous avons enregistré vingt phrases. Chaque modalité (affirmative, interrogative et exclamative) est illustrée par un tableau comportant la phrase écrite, les mots étant placés sur quatre niveaux de hauteur (figure 21). Ce tableau, inspiré des courbes des

¹ <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

² <http://audacity.fr/>

intonations fondamentales de Delattre (1966), est disposé devant le patient à chaque écoute et constitue un support visuel permettant de croiser modalité auditive et visuelle.



Figure 21 : Exemples de tableaux représentatifs des courbes intonatives d'une phrase

Une première phase de familiarisation et d'apprentissage est réalisée, grâce l'écoute de la phrase en condition originale, puis des contours mélodiques prosodiques correspondants (« Pitch » et « Pitch&Pulses »), toujours avec le support visuel disponible.

L'exercice proprement dit consiste ensuite à écouter la phrase en condition originale puis un contour prosodique et à déterminer si ce contour correspond à la phrase. Une difficulté supplémentaire est ajoutée, par l'écoute de la phrase en condition originale, puis de deux ou trois contours mélodiques prosodiques. Il s'agit ensuite de déterminer quel contour correspond à la phrase, faisant ainsi intervenir la mémoire de travail auditive.

- **Exercice 2 : contours prosodiques et images (séances 3, 4)**

Cet exercice est composé de cinq situations imagées. Le support visuel proposé au patient est constitué cette fois-ci par des photos associées aux phrases écrites (figure 22). Chaque photo illustre une information pouvant se rapporter à la même phrase, identique sur le plan syntaxique et lexical. Cependant les photos se différencient par la situation qu'elles évoquent et induisent ainsi l'intonation de la phrase leur correspondant. La signification de chaque image se rapporte donc au sens porté par l'intonation. Cet exercice est destiné à mettre les intonations en contexte, afin d'aider le patient à généraliser l'apport éventuel de cet entraînement dans la vie quotidienne. Les photos, libres de droit, ont été sélectionnées sur Internet en fonction de leur pertinence par rapport à la situation choisie.



Figure 22 : Planche d'images et leur phrase correspondante

Ces trois images sont présentées au patient qui entend une phrase en condition originale dans une modalité (affirmative, interrogative ou exclamative) et doit désigner l'image correspondant à l'intonation entendue. L'étape suivante consiste à écouter le contour prosodique et à effectuer la même tâche de désignation.

- **Exercice 3 : contours prosodiques et situation de dialogue écrit (séance 5)**

Le troisième exercice porte sur quatre dialogues tirés d'un livret de mise en pratique orale de l'apprentissage du français langue étrangère (Akyuz, 2001) afin de travailler la perception de la prosodie dans le contexte apporté par la situation de conversation. L'intonation dépend de la situation d'énonciation, qui renseigne sur les intentions du locuteur.

Le support visuel est constitué par le texte du dialogue, imprimé en police suffisamment grande pour que les patients puissent le lire avant d'écouter les stimuli.

Pour chaque phrase de cet exercice, deux modalités intonatives ont été enregistrées. Une seule de ces deux modalités correspond à celle attendue dans le dialogue.

L'exercice consiste à lire le texte oralement pour se familiariser avec la situation d'énonciation. Puis le patient écoute les deux contours mélodiques prosodiques, l'un correspondant à la modalité adaptée à la situation, l'autre correspondant à la même phrase enregistrée dans une autre modalité (deux « Pitch » ou deux « Pitch&Pulses »). Il doit ensuite choisir le contour approprié par rapport à la situation du dialogue.

Une vérification par l'écoute de la phrase correcte est ensuite opérée. Pour les patients qui rencontrent des difficultés, nous lisons ensemble le texte à voix haute, en respectant l'intonation avant de faire écouter les contours.

- **Exercice 4 : contours prosodiques et situation de dialogue en image (séance 6)**

Dans cet exercice, cinq situations de dialogue sont représentées par un texte accompagné d'une photo constituant ainsi le support visuel. Ces photos permettent d'enrichir les informations contextuelles liées aux phrases.

L'exercice consiste, après un temps de lecture et d'observation, à écouter un contour mélodique prosodique et à déterminer à quelle phrase il se rapporte. Les phrases utilisées dans cet exercice comptabilisent le même nombre de syllabes afin de permettre au patient de s'appuyer uniquement sur les variations d'intonation et non sur la longueur de la phrase.

2. Matériel d'auto-entraînement : Angelsound™

La fondation Emily Shannon Fu Foundation a développé une technologie d'entraînement informatisé portant sur la parole (Computer-Assisted Speech Training) dont AngelSound™ est le dernier et considéré comme le plus exhaustif des produits.

AngelSound™ est un programme interactif de réhabilitation de l'écoute, téléchargeable gratuitement³ et comportant plusieurs modules autodirigés avec différents niveaux de difficulté. Au sein de chaque module, de nombreux exercices sont proposés, permettant de travailler divers domaines liés à l'audition (musique, écoute de la parole dans le bruit, téléphone...).

Chaque exercice comporte une prévisualisation (« preview ») permettant de se familiariser avec l'exercice par l'écoute des sons à travailler, un entraînement (« training ») avec feed-back correctif et un test permettant de réaliser l'exercice en enregistrant ses résultats sans feed-back correctif.

Au sein du logiciel, nous avons sélectionné deux types d'exercices à proposer aux patients en auto-entraînement à domicile : la discrimination de notes et l'identification de contours mélodiques instrumentaux.

a) Discrimination de notes

Cet exercice est disponible au sein du « **music module** » et du « **auditory module** » et permet l'entraînement à la perception des intervalles de hauteur. La tâche consiste à écouter trois sons, dont deux sont identiques sur le plan de la hauteur et à déterminer quel son diffère des deux autres. Après chaque bonne réponse, l'écart de hauteur entre les sons est réduit pour l'item suivant.

³ http://angelsound.tigerspeech.com/angelsound_download.html

Au sein du « **music module** », l'exercice appelé « *music note discrimination* » est classé sur quatre niveaux en fonction de l'intervalle entre les notes (de 7 à 12 demi-tons pour le niveau 1, jusqu'à seulement un demi-ton pour le niveau 4). Cet exercice comporte 25 items.

Au sein du « **auditory module** », l'exercice appelé « *frequency discrimination* » permet de réaliser cette tâche en sélectionnant cette fois le registre (grave, medium, aigu, sons purs à 1000 Hz) dans lequel on réalise l'exercice. Cet exercice comporte 30 items.

b) Identification de contours mélodiques instrumentaux

Cet exercice est disponible au sein du « **music module** » et du « **melodic module** ». Il consiste à écouter un contour mélodique et à cliquer sur le contour identifié (figure 23). Les neuf contours dans cet exercice sont donc les mêmes que ceux utilisés en séance dirigée. La durée plus courte des stimuli accroit la difficulté de l'exercice par rapport à l'exercice en séance dirigée.

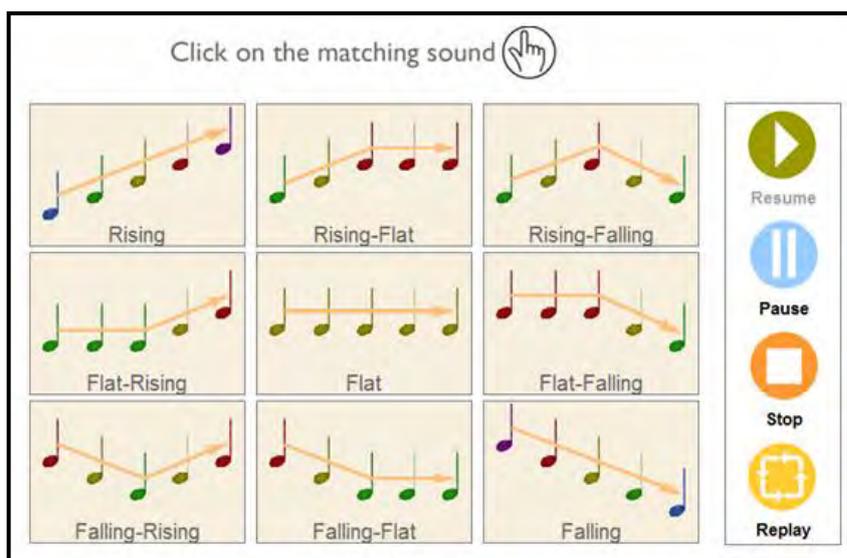


Figure 23 : Identification des contours instrumentaux (AngelSound™)

Dans le « **melodic module** » il est possible de choisir l'écoute des contours parmi sept instruments de musique (piano, trompette, violon, orgue, clarinette, carillon) ou d'écouter des sons purs. Quatre niveaux de difficultés sont possibles, correspondant à un intervalle de plus en plus réduit entre les notes (de 5-6 demi-tons pour le niveau 1 à un demi-ton pour le niveau le plus difficile). Cet exercice comporte 25 items.

Dans le « **music module** », l'exercice de « *music contour segregation* » comporte une difficulté supplémentaire, car une note masquante (correspondant au contour plat) se

superpose au contour mélodique et perturbe son identification. Il est possible de choisir le registre de cette note parmi quatre hauteurs de notes masquantes. En revanche, seul l'orgue est disponible. Cet exercice comporte aussi 25 items.

III. Protocole

Notre étude s'est déroulée en trois temps : une première passation des tests (T1) et du questionnaire, une phase d'entraînement en séance et à domicile, et une deuxième passation des mêmes tests (T2) pour les sujets ayant suivi l'entraînement.

A. Première évaluation T1

Les patients sélectionnés selon nos critères d'inclusion ont été contactés par courrier pour solliciter leur participation à notre étude. Une lettre d'information jointe à leur convocation a permis de leur faire connaître le déroulement de notre étude (Annexe VIII).

Les tests se sont déroulés d'octobre à décembre 2015, dans un bureau du service d'implant auditif du CHU Pierre Paul Riquet. La durée de passation des tests était de 1h.

Ce premier rendez-vous a débuté par une explication orale de notre protocole, ainsi que du déroulement des tests. L'implant a été branché sur la sortie audio de l'ordinateur et les paramètres (volume, mixage boucle et mixage accessoire) ont été réglés de manière identique pour tous les patients. Le test de prosodie a été réalisé en premier, avec une phase d'entraînement et de familiarisation, dans laquelle la phrase entendue apparaissait à l'écran avec la réponse écrite à la suite. Pendant cet entraînement, chaque phrase entendue dans une modalité était immédiatement suivie de sa correspondante dans l'autre modalité.

Le test de prosodie a été suivi du test de Pitch Rank en commençant soit par le sous-test fréquences basses, soit par le sous-test fréquence aigue, de manière aléatoire afin d'éviter un biais de passation à cause d'une éventuelle fatigue due à la longueur du test.

Le questionnaire a été rempli soit en début de séance lors des branchements, soit entre les deux sous-tests de Pitch Rank.

B. Phase d'entraînement

Suite à ces tests, six sujets ont été sélectionnés pour bénéficier de l'entraînement, qui s'est déroulé sur une période moyenne de onze semaines au total, de janvier 2016 à avril 2016. Les exercices ont été réalisés en champ libre, à l'aide d'enceintes auditives, le port de la prothèse controlatérale étant laissé au libre choix du patient.

L'un des patients a montré de très bonnes performances dès les premières séances de rééducation, du fait de son passé musical et de son niveau d'audition controlatérale. Nous

avons donc décidé qu'il réaliserait chaque exercice avec l'implant seul, à l'aide du câble utilisé pour les tests.

1. Séances dirigées (1 à 4)

Les patients ont effectué quatre séances dirigées d'entraînement à raison d'une séance par semaine pendant quatre semaines. Nous avons décidé que chaque patient suivrait l'intégralité de l'entraînement dirigé avec la même étudiante, pour obtenir une continuité dans le suivi des patients. Les séances d'une durée de 45 min se sont déroulées dans un bureau de l'unité d'implant auditif du CHU Pierre Paul Riquet.

Afin d'éviter l'effet de lassitude et de fatigabilité que la répétitivité de certaines tâches peut engendrer, nous avons déterminé une progression de séances basée sur la difficulté croissante des exercices et sur une alternance entre les exercices de perception des contours mélodiques instrumentaux et ceux portant sur les contours prosodiques (cf. en annexe IX).

La 4^{ème} séance a consisté à expliquer le téléchargement et l'utilisation du logiciel Angelound™ en fournissant au patient une notice papier (annexe X), ainsi qu'un livret de suivi pour suivre son évolution et les exercices réalisés (annexe XI).

2. Auto-entraînement et séances 5 et 6

A l'issue de ces quatre séances, les patients ont réalisé six semaines d'auto-entraînement à domicile avec la recommandation d'utiliser le logiciel trois fois par semaine à raison de 30 minutes par séance, l'ordre des exercices étant laissé au libre choix du patient.

En fonction des performances observées lors des quatre premières séances dirigées, nous avons adapté les recommandations concernant les exercices à réaliser en auto-entraînement. Ainsi pour certains patients en difficulté, nous avons conseillé de ne pas réaliser l'exercice de « *music contour segregation* » afin de ne pas les mettre en situation d'échec.

Durant cet auto-entraînement deux séances dirigées ont été proposées. Une évaluation en début de chaque séance des difficultés rencontrées avec le logiciel a permis d'adapter le contenu de ces 5^{ème} et 6^{ème} séances.

C. Seconde évaluation T2

A l'issue des six semaines d'auto-entraînement, les six patients ont été réévalués par une nouvelle passation des tests de prosodie et Pitch Rank, dans les mêmes conditions qu'à T1, afin d'objectiver leur évolution.

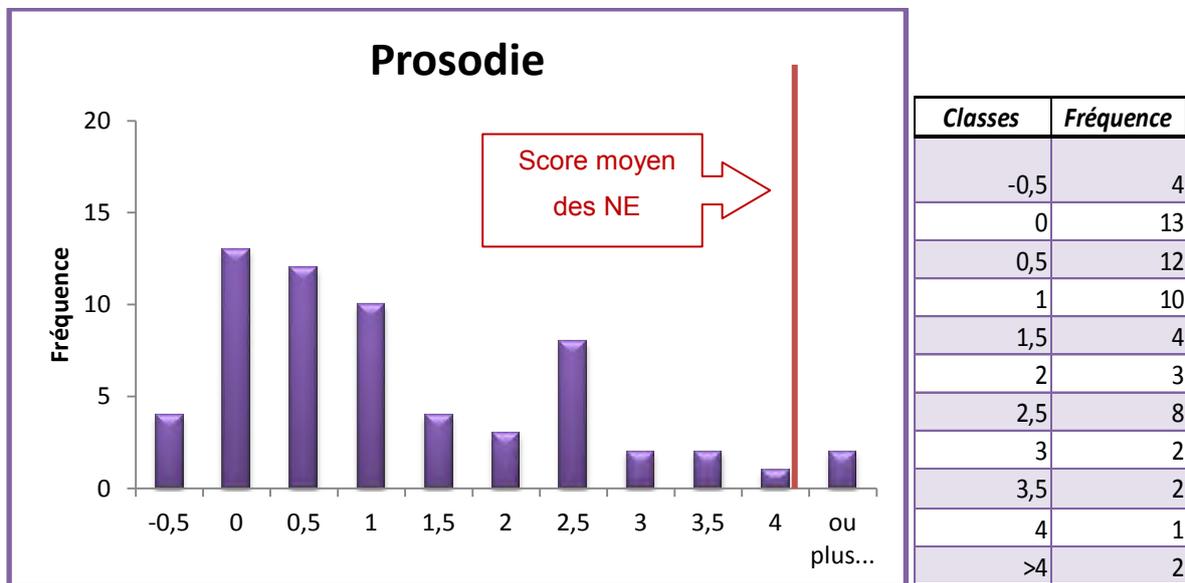
RESULTATS ET ANALYSES

I. Hypothèse 1 : perception de la prosodie à partir des variations de fréquence fondamentale

Notre hypothèse était la suivante : un nombre important de sujets implantés présente des capacités limitées pour la perception de la prosodie à travers l'implant seul, à partir des variations de fréquence fondamentale.

Nous allons étudier sa validation grâce à l'analyse statistique des résultats obtenus au test de prosodie par les patients implantés, en comparant leurs résultats à ceux des normo-entendants. La totalité des patients (N=61) réussit à réaliser ce test jusqu'au bout.

L'étude des résultats des patients implantés au test de prosodie montre la répartition suivante :



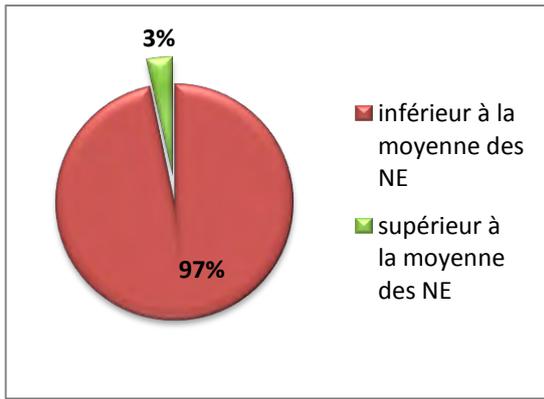
Graphique 2 : Histogramme de répartition des scores d' des sujets implantés (test de prosodie)

On observe donc un premier groupe de patients implantés constituant une grosse majorité ayant des scores d' autour de 0, ainsi qu'un deuxième groupe se situant autour de scores à 2.5, avec une grande variabilité des résultats entre les sujets.

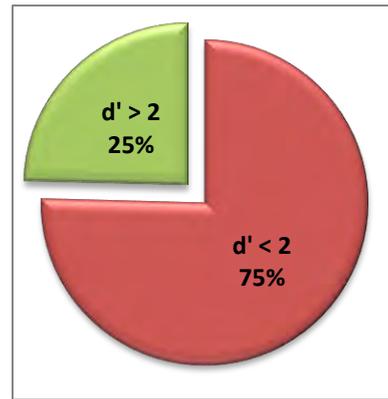
Un pourcentage important de sujets obtient un score $d' < 0.5$ objectivant des performances proches du hasard (29 sujets soit 48% de l'échantillon).

Un pourcentage non négligeable de sujets obtient des scores $d' > 2$ (15 sujets, soit 25% de l'échantillon).

Deux sujets seulement réussissent cette épreuve sans commettre aucune erreur, obtenant ainsi des résultats supérieurs à la moyenne des normo-entendants (NE), soit 3% de l'échantillon.



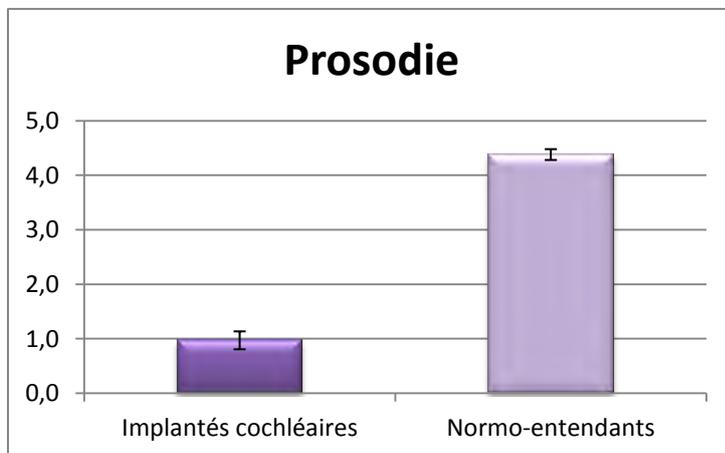
Graphique 3 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à la moyenne des NE



Graphique 4 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à $d'=2$

Les scores des normo-entendants atteignent des valeurs plafond, ce qui rend valide notre test : tous les normo-entendants obtiennent un score $d' > 2$. Seuls six normo-entendants n'obtiennent pas un score maximum et commettent une ou deux erreurs sur les 24 items.

La comparaison des résultats entre normo-entendants et sujets implantés montre que les résultats obtenus par les sujets implantés sont très significativement différents des résultats obtenus par les normo-entendants ($p=6.8E^{-30}$).



Graphique 5 : Histogramme de comparaison des scores moyens d' obtenus au test de prosodie

Moyenne	Prosodie
Implantés cochléaires	0,972
Normo-entendants	4,382

La grande majorité des sujets implantés obtient donc des scores largement inférieurs à ceux des normo-entendants. Notre hypothèse 1 est validée : un nombre important de sujets implantés présente des capacités limitées pour la perception de la prosodie à travers l'implant seul, à partir des variations de fréquence fondamentale.

II. Hypothèse 2 : perception de la fréquence fondamentale

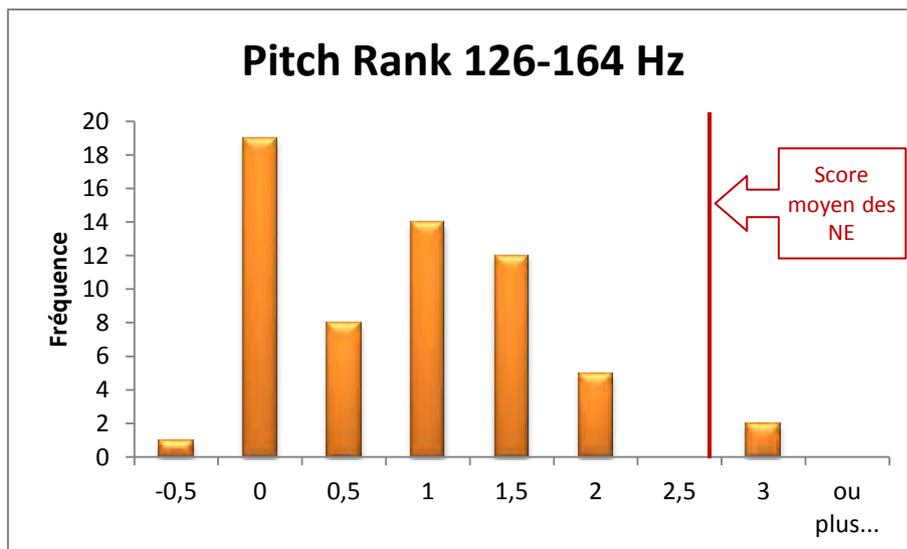
Notre hypothèse est la suivante : un nombre important de sujets implantés présente des difficultés pour percevoir la fréquence fondamentale à travers l'implant seul.

Nous allons étudier sa validation grâce à l'analyse statistique des résultats obtenus au test de Pitch Rank par les patients implantés, en comparant leurs résultats à ceux des normo-entendants. Sur ce test, 53 patients ont réussi réaliser la totalité du sous-test de fréquences graves et 52 patients la totalité du sous-test de fréquences aiguës. Les autres patients (N=11 patients au total) ont trouvé ce test trop difficile et n'ont pas souhaité le terminer, ou n'ont effectué qu'un test sur les deux, car ils ne percevaient aucune différence de hauteur des sons. Nous avons choisi de ne pas insister pour qu'ils terminent le test afin de ne pas les mettre en échec. Ceci nous montre déjà les difficultés de perception de fréquence fondamentale par les patients, ce qui présuppose la validité potentielle de notre hypothèse.

L'élimination des résultats des sujets ayant décidé d'arrêter le test à cause de sa difficulté constitue un biais de sélection, car nous éliminons ainsi les résultats des sujets les plus en difficulté.

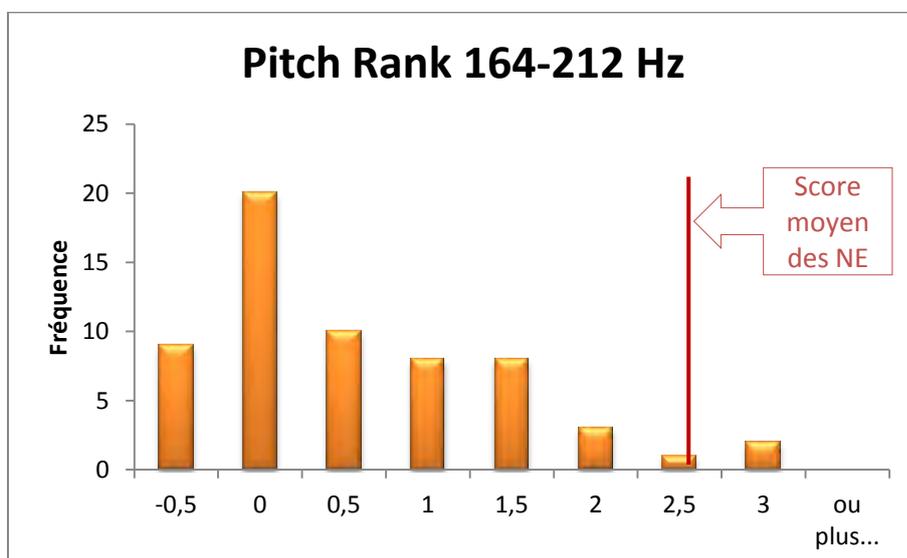
Il nous a donc paru justifié d'inclure les résultats de ces sujets en leur attribuant une valeur de $d'=0$. Cette valeur correspond à des performances se situant au niveau de la chance pour le test. En effet, nous pouvons supposer que ces patients en difficulté auraient répondu au hasard et obtenu des scores proches du niveau de la chance s'ils avaient réellement effectué le test. L'inclusion de leurs résultats reflète de manière plus pertinente les performances de l'échantillon total.

L'étude des résultats des patients implantés au test de Pitch Rank montre la répartition suivante :



Classes	Fréquence
-0,5	1
0	19
0,5	8
1	14
1,5	12
2	5
2,5	0
3	2
>3	0

Graphique 6 : Histogramme de répartition des scores d' (Pitch Rank fréquences basses)



Classes	Fréquence
-0,5	9
0	20
0,5	10
1	8
1,5	8
2	3
2,5	1
3	2
>3	0

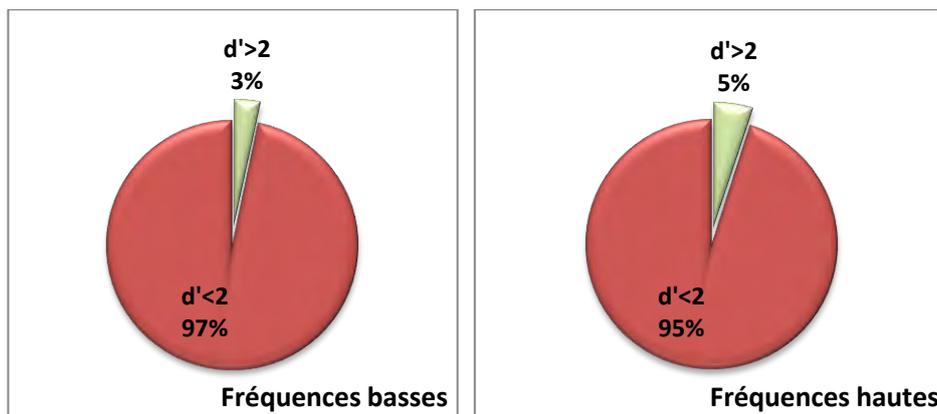
Graphique 7 : Histogramme de répartition des scores d' (Pitch Rank fréquences hautes)

Un pourcentage important de sujets obtient des scores $d' < 0.5$ en fréquence haute (N=39 sujets soit 64% de l'échantillon) et 28 sujets (soit 46% de l'échantillon) en fréquences basses. Un nombre plus important de sujets présente donc des difficultés à réaliser le sous-test de fréquences hautes par rapport au sous-test des fréquences basses.

Un sujet obtient un score $d' = -2.087$ (fréquences aigues), ce qui correspond à une inversion des réponses : les fréquences aigues sont perçues comme graves et inversement.

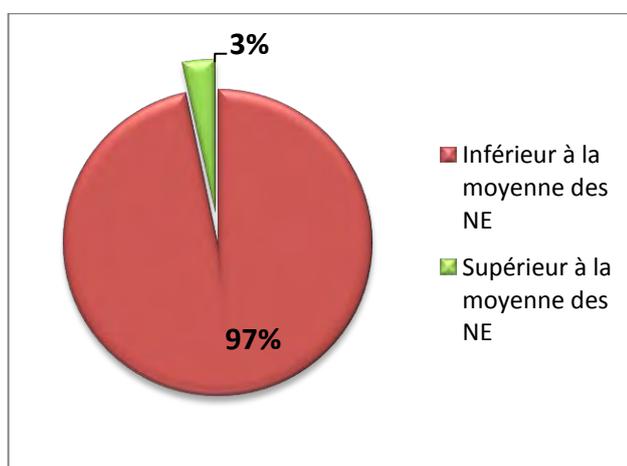
Si on considère un score $d' > 2$, cela concerne 2 patients pour les fréquences basses (3% de l'échantillon N=61), et 3 patients pour les fréquences hautes (5% de l'échantillon

N=61) soit un nombre très faible de sujets ayant une réussite significativement supérieure au hasard.



Graphique 8 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à $d'=2$

Pour chaque sous-test (fréquences basses et fréquences hautes), deux sujets implantés seulement parviennent à dépasser la moyenne des normo-entendants : ce ne sont pas les mêmes patients pour chacun des sous-tests. Aucun sujet implanté ne parvient à réaliser le test sans erreur.



Graphique 9 : Diagramme de répartition des scores en Pitch Rank des sujets implantés par rapport à la moyenne des NE (fréquences basses et fréquences hautes)

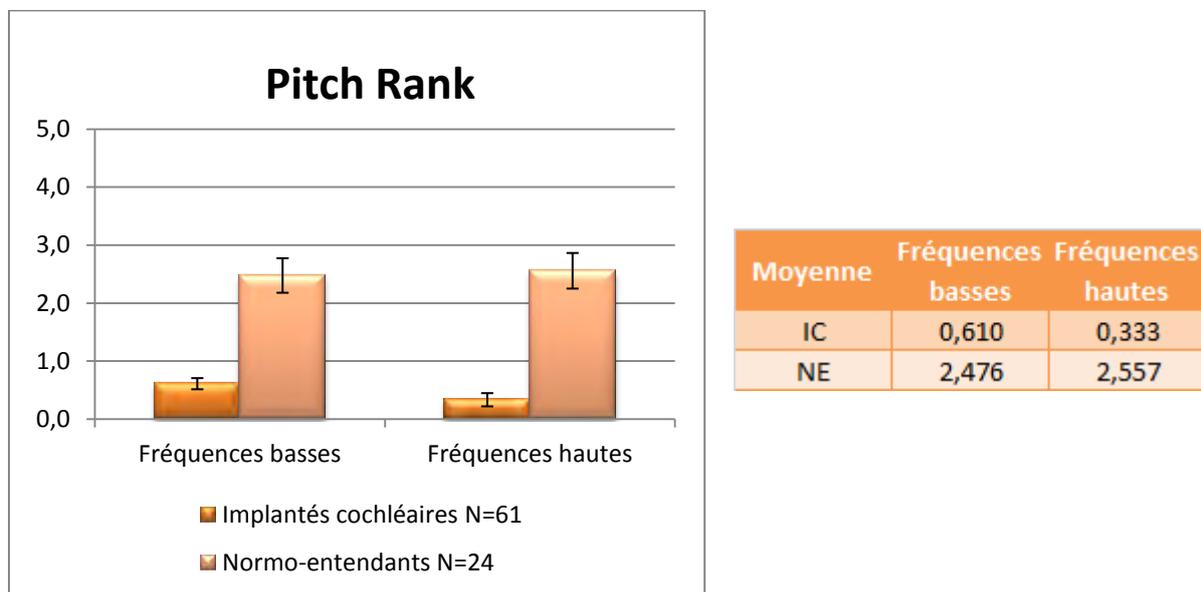
Pour les normo-entendants, ce test apparaît plus difficile à réaliser que celui de la prosodie.

Pour les fréquences basses, seuls 5 sujets (soit 21% de l'échantillon) parviennent à réaliser le test sans erreur, et 6 sujets (soit 25% de l'échantillon) pour les fréquences hautes.

En fréquences basses, 10 sujets obtiennent un score $d'>2$ (42% de l'échantillon).

En fréquences hautes, 13 sujets obtiennent un score $d'>2$ (54% de l'échantillon).

La comparaison entre sujets implantés et normo-entendants des moyennes obtenues par sous-test pour chaque gamme de fréquences montre une différence significative ($p=4.6E^{-6}$ pour les fréquences basses, $p=2.8E^{-7}$ pour les fréquences hautes).



Graphique 10 : Histogramme de comparaison des scores moyens d'obtenus au test de Pitch Rank

Notre hypothèse 2 est donc validée. Un nombre important de sujets implantés présente des difficultés pour percevoir la fréquence fondamentale à travers l'implant seul.

A. Sous-hypothèse 2

Notre sous-hypothèse 2 est la suivante : la perception des fréquences fondamentales aiguës est plus difficile que celle des fréquences graves pour les sujets porteurs d'implant.

Afin de la valider, nous comparons les résultats obtenus par les sujets implantés aux sous-tests de Pitch Rank (fréquences graves et fréquences aiguës). Les résultats obtenus en fréquences basses sont significativement différents de ceux obtenus en fréquences hautes chez les sujets implantés ($p=0,006$).

Notre sous-hypothèse 2 est donc validée.

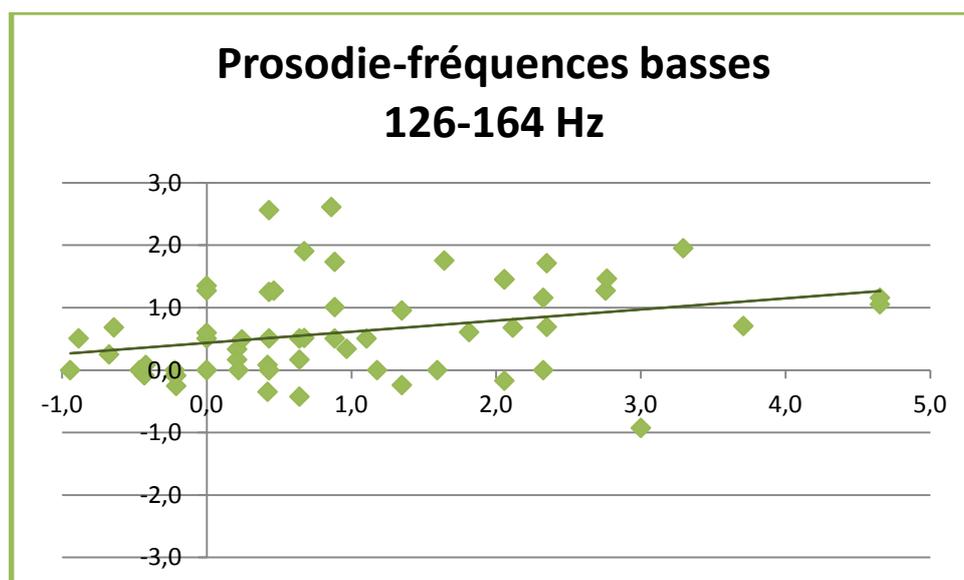
III. Hypothèse 3 : corrélation entre perception de la prosodie et perception de la fréquence fondamentale

Notre hypothèse est la suivante : chez les sujets porteurs d'un implant cochléaire, les performances pour la perception de la prosodie sont corrélées positivement à celles de la perception de la fréquence fondamentale. Nous cherchons ainsi à déterminer si de bonnes capacités de perception de la fréquence fondamentale permettent de bien percevoir les variations mélodiques de la parole.

Afin d'approfondir nos analyses, nous comparons les résultats en Pitch Rank entre les patients ayant réussi le test de prosodie et ceux ayant échoué.

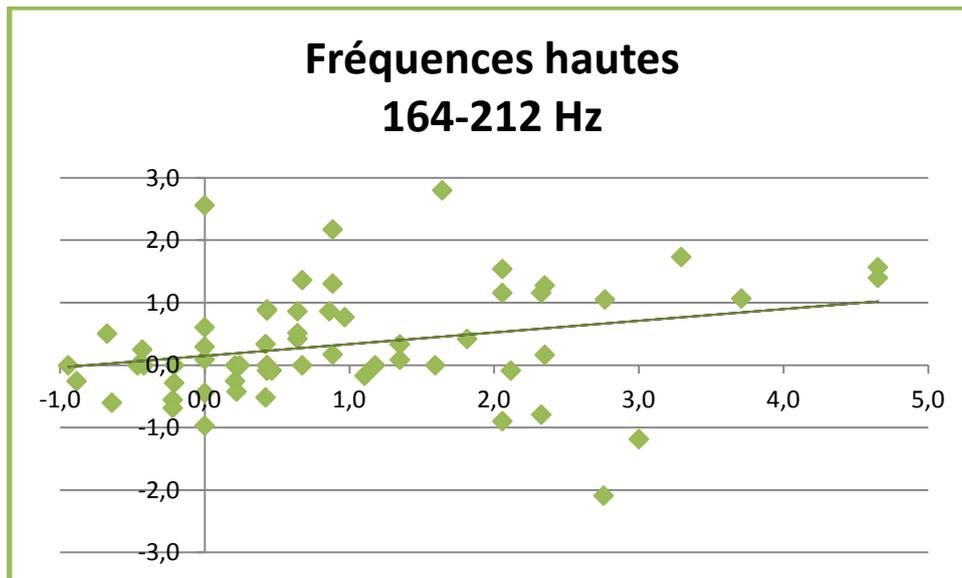
De même, les résultats en prosodie des sujets ayant réussi les tests de Pitch Rank sont comparés à ceux ayant échoué en Pitch Rank.

A. Au sein de l'échantillon total (N=61)



Graphique 11 : Corrélation entre les résultats au test de prosodie et au test de Pitch Rank fréquences basses

Il existe une corrélation entre les scores en prosodie et les scores au test de Pitch Rank sur les fréquences basses ($r^2=0.306$, $p=0.016$). Cela signifie que les sujets ayant une bonne perception de la fréquence fondamentale des fréquences graves peuvent mieux percevoir la prosodie en s'appuyant sur les indices acoustiques de fréquence.



Graphique 12 : Corrélation entre les résultats au test de prosodie et au test de Pitch Rank fréquences hautes

Cette corrélation est aussi démontrée entre les scores en prosodie et les scores au test de Pitch Rank fréquence aigue ($r^2=0.270$, $p=0.035$). Les sujets ayant une bonne perception de la fréquence fondamentale aigue sont davantage capables de percevoir les variations mélodiques de la parole en s'appuyant sur les indices de fréquence.

Cette corrélation entre perception de la fréquence fondamentale et perception des variations mélodiques de la parole existe mais reste cependant faible ($r^2 < 0.5$). Le nuage de points des graphiques présentés montre que certains patients ayant de bons scores en prosodie (proches de $d'=4$) obtiennent des scores d' proches de 1 en Pitch Rank. D'autres sujets obtiennent de bons scores en Pitch Rank (proche de $d'=3$) mais des scores entre 0 et 1 en prosodie. La réussite au test de prosodie n'est donc pas systématiquement liée à la réussite au test de fréquence et inversement.

B. Analyse des résultats en Pitch Rank en fonction de la réussite en prosodie

Nous allons maintenant comparer les résultats en Pitch Rank entre les patients ayant réussi le test de prosodie et ceux ayant échoué.

Les sujets ayant un $d' > 2$ en prosodie (N=15) obtiennent en moyenne un $d'=0.911$ (fréquences basses) et $d'=0.472$ (fréquences hautes).

Les sujets ayant un $d' < 2$ en prosodie (N=46) obtiennent en moyenne un $d'=0.512$ (fréquences basses) et $d'=0.288$ (fréquences hautes).

L'analyse comparative de leurs résultats en Pitch Rank ne montre pas de différence significative entre ces deux groupes, que ce soit en fréquences basses ($p=0.092$) ou en fréquences hautes ($p=0.491$).

Les sujets ayant bien réussi le test de prosodie n'ont donc pas des résultats significativement différents en Pitch Rank par rapport aux sujets ayant échoué en prosodie. Les sujets ayant de bonnes capacités pour percevoir les variations mélodiques de la parole ne sont pas réellement plus performants pour détecter des différences de fréquence fondamentale que les sujets ayant des difficultés pour la perception de la prosodie.

Comme nous l'avons décrit dans notre hypothèse 3, la corrélation existant entre résultats en prosodie et résultats en Pitch Rank est faible. Une bonne réussite au test de prosodie ne signifie pas systématiquement une bonne réussite au test de Pitch Rank.

C. Analyse des résultats en prosodie en fonction de la réussite en PitchRank

Les sujets ayant un $d' > 2$ en fréquence basse ($N=2$) obtiennent en moyenne un $d'=0.646$ en prosodie.

Les sujets ayant un $d' > 2$ en fréquence haute ($N=3$) obtiennent en moyenne un $d'=0.842$ en prosodie.

Le faible nombre de sujets ayant réussi le test de Pitch Rank par rapport au nombre de sujets total nous permet de réaliser une analyse purement qualitative.

Les résultats en prosodie des sujets ayant réussi le test de Pitch Rank ne sont pas meilleurs que ceux de l'échantillon total ($d'=0.972$ pour $N=61$). Il est difficile de conclure au vu du faible nombre de sujets ayant obtenu un score $d' > 2$.

Si nous nous intéressons aux sujets ayant arrêté le test de Pitch Rank au cours de la passation, nous observons que leurs résultats sont inférieurs en prosodie par rapport à ceux de l'échantillon total : ceux ayant arrêté le test de fréquences basses ($N=8$ patients) obtiennent $d'=0.278$ en moyenne et ceux ayant arrêté le test de fréquences hautes ($N=9$) obtiennent $d'=0.326$, contre $d'=0.972$ pour l'échantillon total ($N=61$).

Cette analyse confirme la faiblesse de la corrélation entre résultats en prosodie et résultats en Pitch Rank précédemment décrite. En effet, les sujets ayant obtenu de bons

scores en prosodie obtiennent des résultats similaires à la moyenne de l'échantillon total en fréquence. Les sujets ayant obtenu les meilleurs scores en fréquence obtiennent des résultats similaires à la moyenne de l'échantillon total en prosodie. Les sujets ayant échoué au test de fréquence obtiennent des résultats inférieurs à la moyenne de l'échantillon total en prosodie.

La faiblesse de cette corrélation ne permet donc pas de prédire, de manière systématique, les résultats d'un test à partir des résultats obtenus à l'autre test. Il est en effet possible d'obtenir de bons scores en prosodie sans pour autant avoir de bons scores en fréquence, ou d'obtenir de bons scores en fréquence sans pour autant avoir de bons scores au test de prosodie.

Notre analyse montre donc l'existence d'une corrélation entre perception de la fréquence fondamentale et perception de la prosodie au sein de notre échantillon lors de l'attribution d'un $d'=0$ aux sujets ayant arrêté le test lors de la passation ($p<0.05$).

Chez les sujets porteurs d'un implant cochléaire, les performances pour la perception de la prosodie sont corrélées positivement à celles de la perception de la fréquence fondamentale, de manière faible. Notre hypothèse 3 est donc partiellement validée.

IV. Hypothèse 4 : intérêt d'un entraînement à la perception de contours mélodiques

Notre hypothèse était la suivante : un entraînement à la perception de la fréquence fondamentale grâce à la reconnaissance de contours mélodiques permet d'améliorer la perception de la prosodie.

Afin de vérifier la validité de notre hypothèse, nous avons comparé les résultats aux tests de prosodie et de Pitch Rank avant et après le protocole d'entraînement parmi les six patients ayant suivi ce protocole.

A. Résultats à T1

	Prosodie	Fréquences basses	Fréquences hautes
Sujet 42	0,464	1,272	-0,084
Sujet 37	0,641	0,507	0,865
Sujet 40	0,885	1,734	2,175
Sujet 23	0,967	0,341	0,771
Sujet 30	1,349	-0,240	0,087
Sujet 52	2,350	0,692	0,167
Moyennes	1,109	0,718	0,664

Tableau 2 : Scores d' des patients sélectionnés pour l'entraînement (T1)

Les sujets inclus dans le protocole d'entraînement ont obtenu un score $d' < 1$ en prosodie et/ou $d' < 1$ en Pitch Rank.

Les sujets 23 et 37 obtiennent un score $d' < 1$ à la fois en prosodie et en Pitch Rank.

Les sujets 30 et 52 obtiennent un score $d' < 1$ uniquement en Pitch Rank. Leurs scores en prosodie sont supérieurs à 1, ce qui est en lien avec la validation partielle de notre hypothèse 3 : un bon résultat en prosodie n'est pas systématiquement associé à un bon score en Pitch Rank.

Les sujets 40 et 42 obtiennent un score $d' < 1$ uniquement en prosodie.

Le sujet 40 (score en prosodie $d' < 1$) obtient des scores en Pitch Rank supérieurs à 1.5, ce qui le situe parmi les meilleurs sujets.

La comparaison des résultats de ce sous-groupe à l'échantillon de sujets ayant réalisé la totalité des tests montre que leur moyenne en prosodie ($d' = 1.109$) les situe très

légèrement au-dessus de la moyenne de l'échantillon ($d'=0.972$). Leurs performances en prosodie ne sont donc pas très différentes de celles de l'échantillon total.

Leurs résultats en perception de fréquence fondamentale basse ($d'=0.718$) sont proches de ceux de l'échantillon total ($d'=0.702$). En revanche, ils obtiennent des résultats légèrement meilleurs que la moyenne de l'échantillon en perception de fréquence fondamentale haute ($d'=0.391$ pour l'échantillon total, $d'=0.664$ pour les six patients).

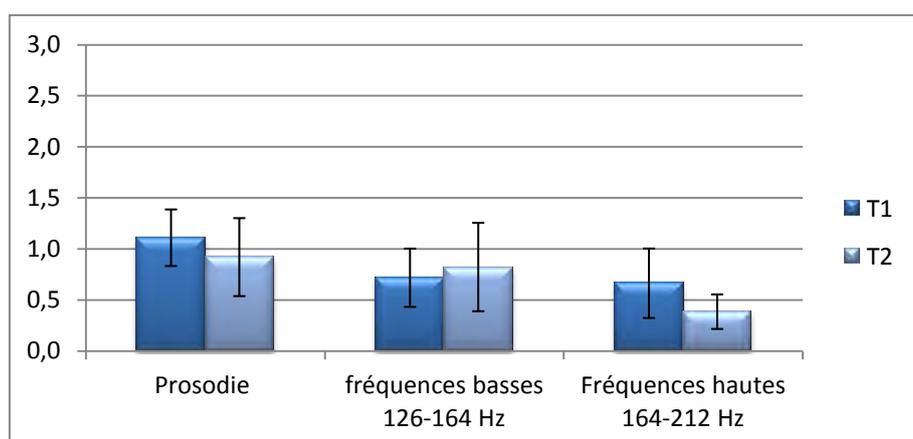
B. Résultats à T2

Comparons les résultats obtenus par les sujets avant et après entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques :

	Prosodie	Fréquences basses	Fréquences hautes
Sujet 42	-0,244	1,069	0,257
Sujet 37	0,421	0,778	0,000
Sujet 40	1,642	2,343	1,182
Sujet 23	0,464	0,168	0,282
Sujet 30	0,885	-0,771	0,421
Sujet 52	2,350	1,351	0,170
Moyennes	0,920	0,823	0,385

Tableau 3 : Scores en d' des patients sélectionnés pour l'entraînement (T2)

L'évolution de la moyenne des scores en prosodie et Pitch Rank avant et après entraînement est représentée par le graphique suivant :



Graphique 13 : histogramme de l'évolution des scores moyens des sujets avant et après entraînement

1. Prosodie

A T1, notre échantillon de 6 patients obtient une moyenne $d'=1.109$. A T2, cette moyenne est $d'=0.919$. Cette différence n'est pas statistiquement significative ($p=0.416$). Il apparaît donc que les résultats en prosodie ne sont pas améliorés par le protocole d'entraînement.

Pour les quatre sujets ayant obtenu un score de $d'<1$ à T1, les scores de d' restent inférieurs à 1 à T2, ce qui signifie que les réponses des sujets restent proches du hasard. La légère diminution des résultats entre T1 et T2 est donc attribuable au hasard et non à une réelle baisse des performances. Seul le sujet C montre une progression en prosodie ($d'=0.885$ à T1, $d'=1.642$ à T2).

Les sujets E et F ayant un $d'>1$ à T1 ne montrent pas de progression. Le sujet E montre une baisse de performance ($d'=1.349$ à T1, $d'=0.885$ à T2).

L'entraînement à la reconnaissance de contours mélodiques ne permet donc pas une amélioration des performances en perception de la prosodie au sein de notre échantillon de six patients.

2. Pitch Rank

Pour les fréquences basses, à T1, notre échantillon obtient une moyenne $d'=0.718$. A T2, cette moyenne est $d'=0.823$. Cette différence n'est pas statistiquement significative ($p=0.617$). Les résultats en perception de fréquence fondamentale basse ne sont pas améliorés par le protocole d'entraînement.

Pour les fréquences hautes, à T1, notre échantillon obtient une moyenne $d'=0.664$. A T2, cette moyenne est $d'=0.385$. Cette différence n'est pas statistiquement significative ($p=0.300$). Les résultats en perception de fréquence fondamentale haute ne sont pas améliorés par le protocole d'entraînement.

Nous avons observé que la moyenne obtenue par les six sujets à T1 en fréquences hautes était légèrement meilleure que celle de l'échantillon. Cette différence s'estompe à T2 ($d'=0.391$ pour l'échantillon total, $d'=0.385$ pour les six patients). Nous pouvons donc conclure que la différence observée à T1 est plus attribuable au hasard qu'à une réelle supériorité des performances en perception de la fréquence fondamentale aigue par ces six patients.

L'entraînement à la perception de contours mélodiques ne permet pas de conclure à une amélioration des performances pour la perception de la fréquence fondamentale et de la prosodie au sein de notre échantillon de six patients : notre hypothèse 4 n'est pas validée.

3. Influence de l'entraînement sur la discrimination de la parole dans le bruit

Il nous a semblé intéressant d'analyser l'effet de l'entraînement à l'identification de contours mélodiques sur la discrimination de la parole dans le bruit. En effet, la perception de la fréquence est importante pour la discrimination de la parole dans le bruit.

Les résultats, correspondant au pourcentage de mots correctement perçus, sont les suivants :

	T1		T2	
	SNR +10 dB (%)	SNR + 5 dB (%)	SNR +10 dB (%)	SNR + 5 dB (%)
Sujet 42	88	69	84	52
Sujet 37	93	71	92	76
Sujet 40	97	93	99	89
Sujet 23	65	45	88	83
Sujet 30	100	100	92	89
Sujet 52	100	84	82	78

Tableau 4 : Pourcentage de reconnaissance des mots dans le bruit à T1 et T2

On n'observe donc pas d'amélioration de la discrimination de la parole dans le bruit, à l'exception du patient 23 dont les scores augmentent de manière importante. Ce patient a d'ailleurs spontanément exprimé cette amélioration avant même la passation du test de discrimination de la parole dans le bruit.

C. Sous hypothèse 4

La perception de la prosodie à travers l'implant est donc difficile pour un grand nombre de sujets. Il nous a semblé intéressant de savoir si ces difficultés constituent une réelle plainte de la part des patients. Nous leur avons donc proposé un questionnaire afin de valider notre sous-hypothèse 4 : la conscience de leurs difficultés à détecter la prosodie entraîne une plainte et une demande de la part des patients, justifiant une prise en charge orthophonique.

Nous considérons d'abord les réponses de l'ensemble de la population (N=61), avant de nous intéresser plus particulièrement aux patients ayant échoué au test de prosodie ($d' < 0.5$), grâce à une analyse descriptive des réponses au questionnaire.

1. Au sein de l'échantillon total

Sur l'ensemble de notre échantillon (N=61), 16 sujets déclarent ressentir des difficultés à percevoir la prosodie (attribution d'une note inférieure à 5/10 sur notre questionnaire) et 13 sujets ressentent une difficulté modérée (note de 5/10). Des difficultés à percevoir la prosodie sont donc décrites par 47,5% de notre échantillon (N=29).

Une absence de difficultés à percevoir la prosodie ou des difficultés peu importantes sont rapportées par 29 sujets, soit 47,5% de l'échantillon (note supérieure à 6/10).

Le questionnaire n'a pas été rempli par 3 patients.

Au sein de notre échantillon, le nombre de sujets décrivant des difficultés pour la perception de la prosodie (N=29) est équivalent au nombre de sujets ne ressentant pas de difficultés ou des difficultés peu importantes (N=29).

Parmi les sujets décrivant des difficultés (N=29), 14 sujets (soit 48,2%) obtiennent un $d' < 0.5$ au test de prosodie. Leur moyenne au test de prosodie est de 0.884. Un nombre important de sujets (51,8%) relate des difficultés qui ne sont pas objectivées par le test.

Parmi les sujets ne relatant pas de difficultés ou des difficultés peu importantes (N=29), 13 sujets (soit 44,8%) obtiennent un $d' < 0.5$ au test de prosodie. Leur moyenne au test de prosodie est $d' = 1,129$. Un nombre relativement important de sujets présente donc des difficultés objectivées par le test de prosodie, sans pour autant ressentir de difficultés subjectives.

Le pourcentage de patients ayant des difficultés objectivées par le test de prosodie est donc équivalent entre les patients déclarant avoir des difficultés et ceux déclarant ne pas en avoir.

Sur l'ensemble de la population, les sujets mentionnant des difficultés à percevoir la prosodie obtiennent un score au test de prosodie ($d' = 0.884$) inférieur à ceux ne déclarant pas de difficulté ou des difficultés peu importantes ($d' = 1.129$).

2. Au sein du groupe ayant un $d' < 0.5$ au test de prosodie (N=29)

Parmi les 29 sujets ayant un $d' < 0,5$ au test de prosodie, 14 d'entre eux (48,2%) relatent des difficultés à percevoir la prosodie et 2 ne se prononcent pas. 13 d'entre eux déclarent ne pas avoir de difficulté importante (note moyenne > 5) soit 44,8% des sujets ayant un $d' < 0.5$.

Parmi ces 13 sujets ne mentionnant pas de difficulté importante, ils sont 6 (20,6% des sujets ayant un $d' < 0.5$) à mentionner des difficultés de manière plus focalisée. Un sujet

présente des difficultés à percevoir que son interlocuteur utilise un ton ironique mais ne se plaint pas de ne pas percevoir les intonations dans la voix ou les demandes adressées. 5 sujets déclarent avoir des difficultés à percevoir qu'on leur demande de faire quelque chose ou qu'on leur donne un ordre mais ne se sentent pas en difficulté sur la perception de l'ironie ou des différentes intonations dans la voix de leurs interlocuteurs.

Si l'on compte ces six sujets parmi ceux relatant des difficultés à percevoir la prosodie, on peut considérer que 68,9 % des sujets ayant échoué au test de prosodie mentionnent avoir une difficulté à la percevoir dans la vie quotidienne.

Il est donc difficile de conclure à l'existence d'une relation entre les difficultés ressenties concernant la perception de la prosodie et les difficultés objectivées par les tests. En effet, parmi les 29 patients ayant échoué au test de prosodie ($d' < 0.5$), la moitié d'entre eux déclarent ne pas avoir de difficulté à percevoir la prosodie en situation de vie quotidienne.

La moitié de notre échantillon (47.5%) décrit des difficultés pour la perception de la prosodie : on peut donc considérer que ces difficultés constituent une plainte de la part des patients, sans pour autant établir de lien systématique entre leur plainte et leurs résultats aux tests. Notre sous-hypothèse 4 est donc partiellement validée.

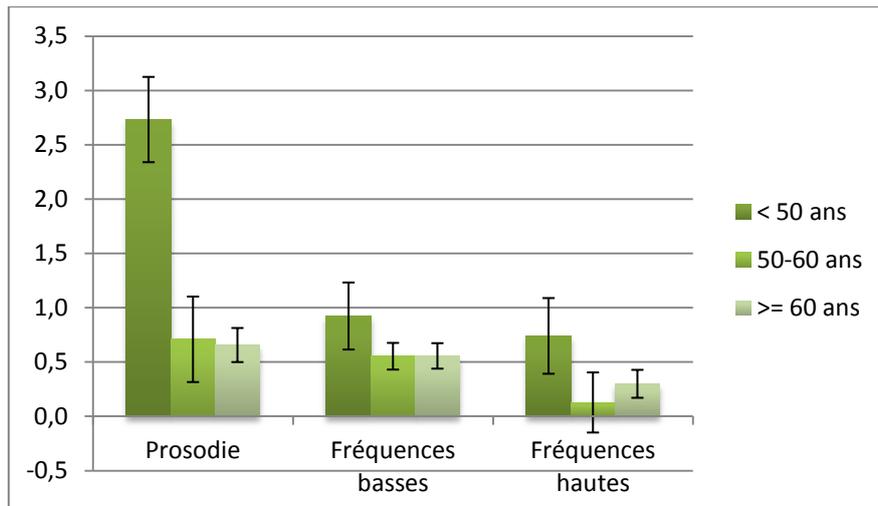
V. Recherche explicative non spécifique aux hypothèses

L'entraînement à la perception de contours mélodiques n'ayant pas permis une amélioration des performances en perception de la prosodie linguistique, nous avons souhaité approfondir l'analyse des données que nous avons récoltées, pour déterminer chez notre échantillon les facteurs susceptibles d'influencer la perception de la prosodie et de la fréquence fondamentale.

La constitution de sous-groupe de sujets au sein de notre population, en se basant sur des critères déjà connus pour influencer les capacités auditives des sujets porteurs d'implant (Blamey 2011), nous a semblée intéressante pour étudier l'effet de ces critères sur les résultats aux tests.

Les barres d'erreur indiquées sur les graphiques correspondent à l'erreur-standard, indice de confiance de la moyenne, qui prend en compte l'effectif de chaque sous-groupe. En effet, certains sous-groupes ont des effectifs très faibles. L'absence de chevauchement des barres d'erreur entre deux sous-groupes montre que leurs résultats sont significativement différents.

Age du patient (N=61)



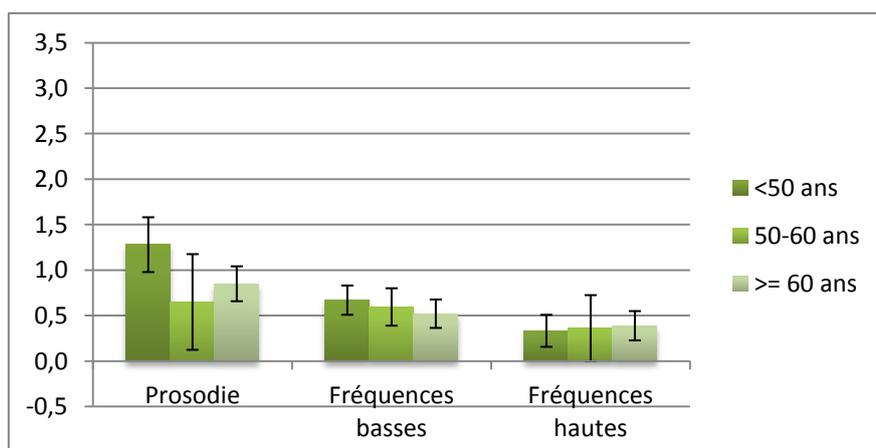
Graphique 14: Moyennes des scores d' en fonction de l'âge du patient

L'âge du sujet a un effet sur les résultats en prosodie : les sujets âgés de moins de 50 ans (N=9) obtiennent de meilleurs résultats ($d'=2.732$) par comparaison aux 50-60 ans ($d'=0.709$, N=9) et par rapport aux plus de 60 ans ($d'=0.656$, N=43).

Les résultats des moins de 50 ans en fréquence haute ($d'=0.740$) sont légèrement supérieurs à ceux des plus de 50 ans ($d'=0.127$ pour les 50-60 ans, et $d'=0.299$ pour les plus de 60 ans).

Il est à noter que les sujets ayant arrêté l'épreuve de Pitch Rank appartiennent tous à la classe d'âge supérieure à 60 ans.

Age de début de surdité (N=54)

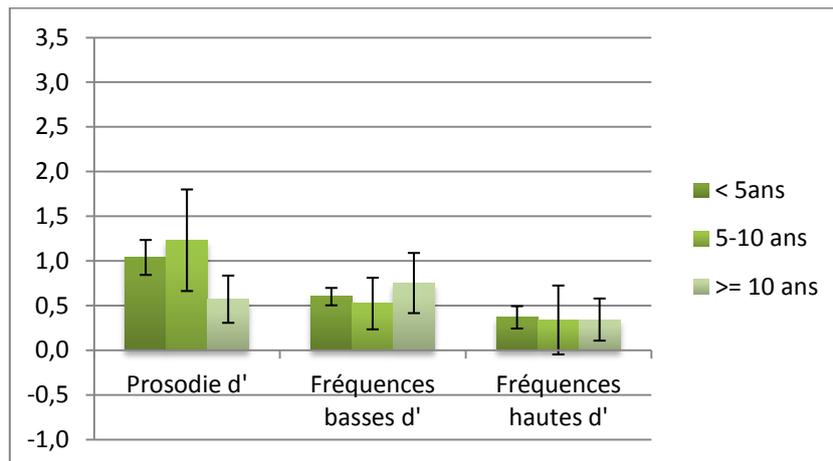


Graphique 15 : Moyennes des scores d' en fonction de l'âge d'apparition de la surdité

Les données de l'âge de début de surdité n'ont pas pu être retrouvées de manière exacte pour 7 sujets, ce qui nous permet d'étudier le critère d'âge de début de surdité sur un panel de 54 sujets.

La comparaison des résultats en fonction de l'âge de début de la surdité ne montre pas de différence entre les groupes d'âge : on peut seulement observer une légère supériorité des sujets ayant perdu l'audition avant l'âge 50 ans ($d'=1.281$, $N=23$) au test de prosodie par rapport aux sujets plus âgés ($d'=0.650$ pour les 50-60 ans et $d'=0.851$ pour les plus de 60 ans). Les erreurs standard de résultats en prosodie sont cependant trop larges pour pouvoir conclure.

Durée de déprivation auditive (N=54)



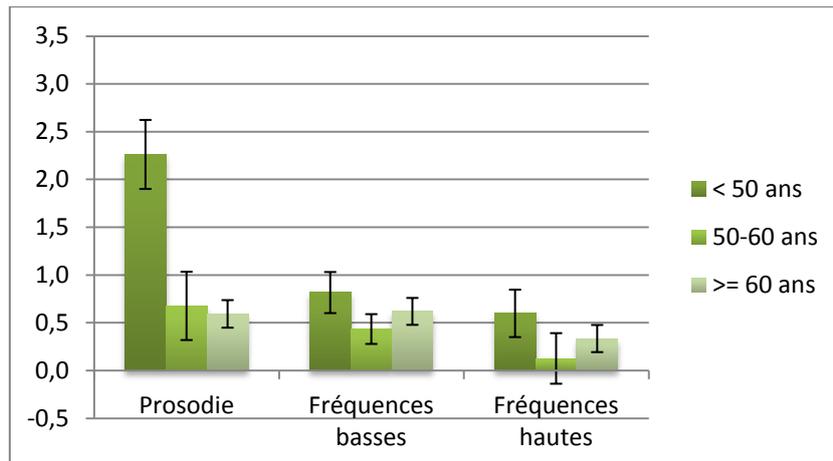
Graphique 16 : Moyennes des scores d' en fonction de la durée de déprivation auditive

Cette analyse concerne les mêmes patients que précédemment (N = 54).

Les sujets ayant subi une durée de déprivation supérieure à 10 ans (N=8) obtiennent des scores plus faibles en prosodie ($d'=0.570$) que les autres groupes ayant une durée de déprivation inférieure à 10 ans ($d'=1.037$, $N=35$ pour moins de 5 ans de déprivation, $d'=1.230$, $N=11$ entre 5 et 10 ans). L'erreur standard est cependant trop large pour pouvoir conclure à un quelconque effet de la durée de déprivation auditive.

Les scores en Pitch Rank sont peu différents d'un groupe à l'autre.

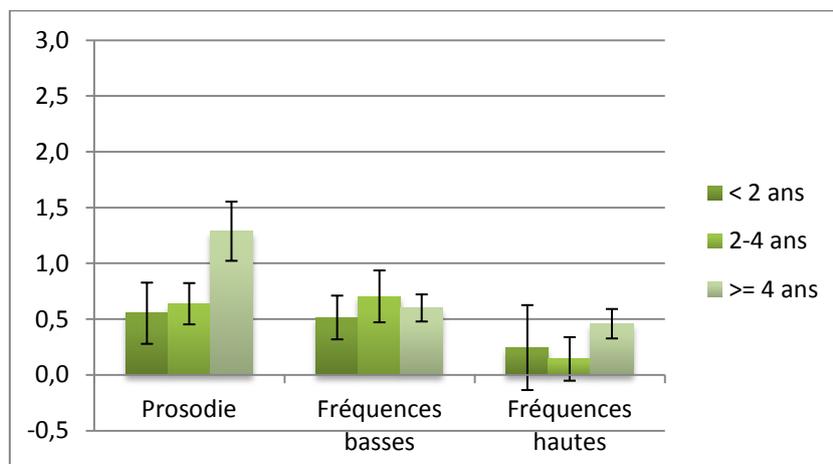
Age d'implantation (N=61)



Graphique 17 : Moyennes des scores d' en fonction de l'âge d'implantation des sujets

Les sujets implantés avant 50 ans obtiennent de meilleurs résultats en prosodie ($d'=2.262$ N=13), que les autres classes d'âge ($d'=0.677$ N=16 pour les 50-60 ans, $d'=0.593$ N=32 pour les plus de 60 ans). On n'observe pas de différence pour le test de Pitch Rank.

Délai post-activation (N=61)



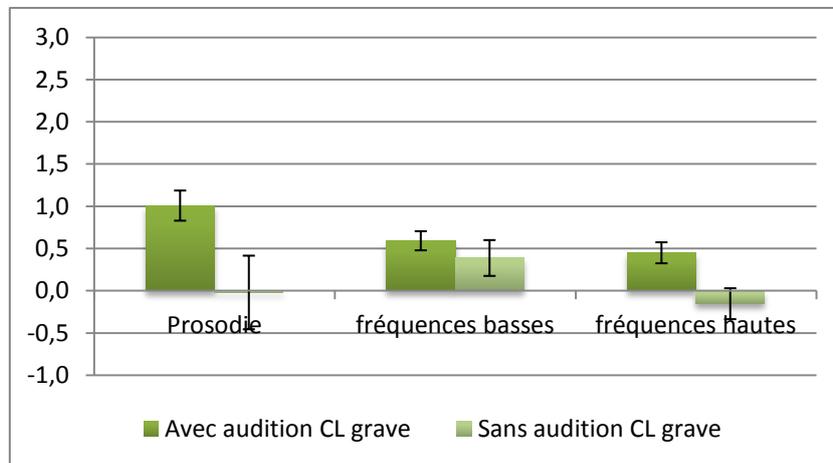
Graphique 18 : Moyennes des scores d' en fonction de la durée post-activation de l'implant

Les sujets implantés depuis plus de 4 ans obtiennent des résultats en prosodie ($d'=1.287$ N=33) meilleurs que ceux implantés depuis moins de 2 ans ($d'=0.552$ N=12) ou ayant un délai post-activation compris entre 2 et 4 ans ($d'=0.637$ N=16).

Audition controlatérale (N=53)

Cette analyse concerne les 53 sujets implantés unilatéralement.

• Fréquences graves

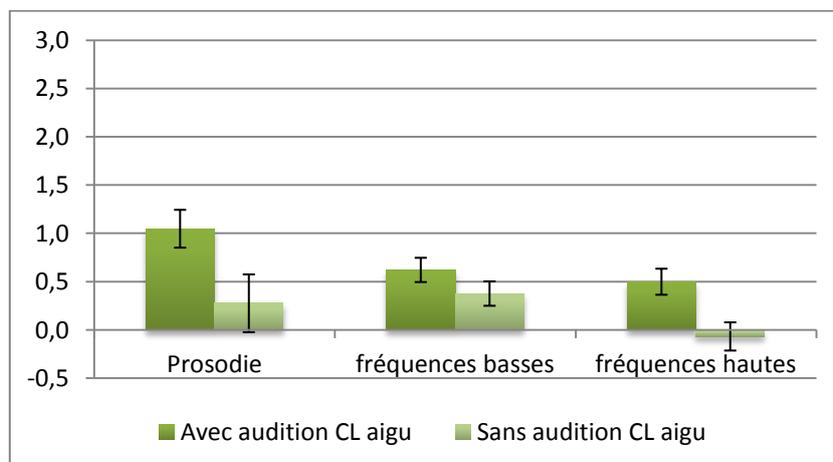


Graphique 19 : Moyennes des scores d' en fonction de l'audition controlatérale sur les fréquences graves

Les sujets ayant une audition résiduelle sur les fréquences graves (moyenne 250-500 Hz, N=46) obtiennent de meilleurs résultats sur le test de prosodie ($d'=1,010$) par rapport aux sujets sans audition controlatérale (N=7, $d'=-0,018$).

De même, les sujets ayant une audition résiduelle sur les fréquences graves obtiennent de meilleurs résultats sur le sous-test de fréquences hautes ($d'=0.451$) par rapport aux sujets sans audition controlatérale ($d'=-0.151$).

• Fréquences aiguës



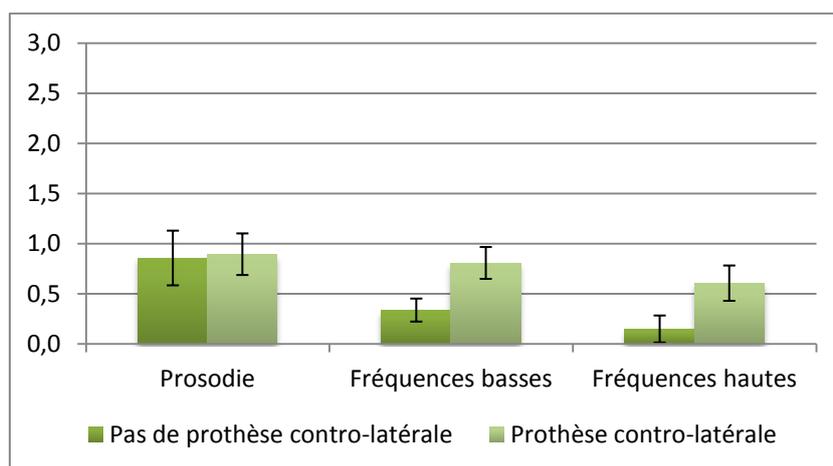
Graphique 20 : Moyennes des scores d' en fonction de l'audition controlatérale sur les fréquences aiguës

Les sujets ayant une audition résiduelle sur les fréquences aiguës (moyenne 1000-2000 Hz, N=41) obtiennent de meilleurs résultats sur les tests de prosodie ($d'=1,049$) par rapport aux sujets sans audition controlatérale (N=12, $d'=0,276$), ainsi que sur le test de fréquence haute ($d'=0,500$ avec audition résiduelle contre $d'=-0,067$).

Sur les tests de fréquence basse les sujets avec audition résiduelle obtiennent de meilleurs scores ($d'=0,622$) que les sujets sans audition résiduelle ($d'=0,377$). L'erreur standard ne permet cependant pas de conclure de manière significative.

Bien que nos tests soient réalisés à travers l'implant seul, il semble que les restes auditifs sur l'oreille controlatérale soient associés à une meilleure perception de la prosodie et de la fréquence fondamentale. Ces propos sont à nuancer du fait d'une analyse purement qualitative et de la disparité des sous-groupes avec et sans audition résiduelle.

Port de la prothèse controlatérale

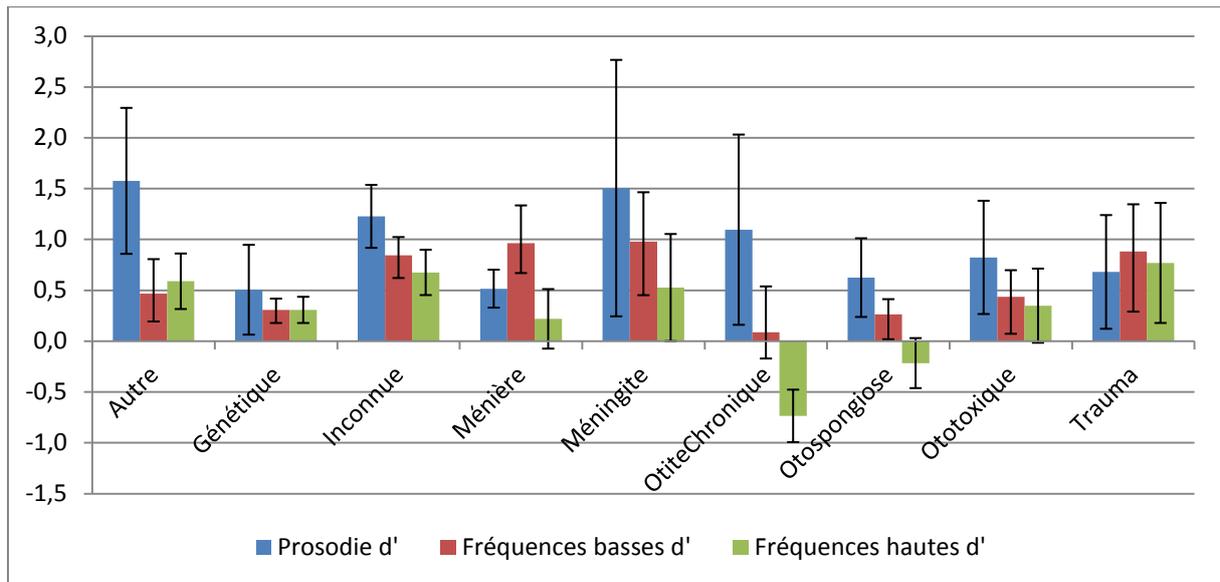


Graphique 21 : Moyenne des scores en fonction du port de prothèse controlatérale

Les sujets ayant une prothèse controlatérale obtiennent de meilleurs résultats au test de Pitch Rank fréquence basse (N=26 $d'=0,806$) par rapport aux sujets sans prothèse (N=27 $d'=0,336$) et de fréquence haute ($d'=0,604$ contre $d'=0,147$).

On n'observe pas d'effet de la prothèse controlatérale sur les résultats en prosodie.

Etiologie (N=61)

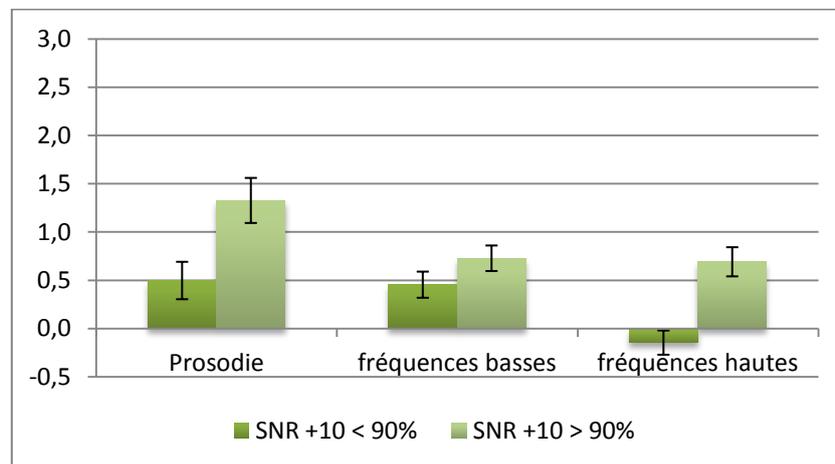


Graphique 22 : Moyenne des scores d' en fonction de l'étiologie

Le faible nombre de sujets au sein de chaque sous-groupe rend l'interprétation difficile, cependant on ne trouve pas d'effet de l'étiologie sur les résultats.

Discrimination de la parole dans le bruit (N=61)

- SNR +10 dB

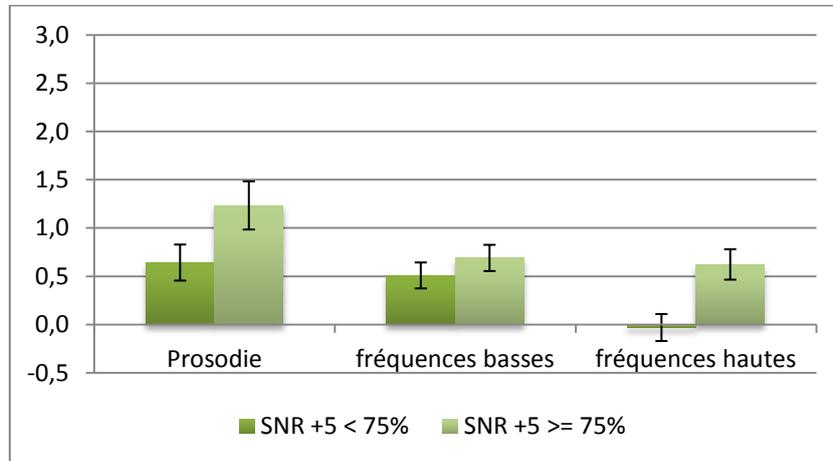


Graphique 23 : Moyennes des scores de d' en fonction des scores de discrimination de la parole dans le bruit pour un rapport signal/bruit (SNR) de +10dB

Les résultats des sujets ayant une discrimination de la parole dans le bruit à +10dB supérieure à 90% (N=35) sont meilleurs en prosodie ($d'=1.325$) par rapport aux sujets ayant une discrimination inférieure à 90% ($d'=0.496$, N=26).

De même, leurs résultats au test de fréquences haute sont meilleurs ($d'=0.690$ pour les sujets ayant une discrimination de la parole dans le bruit à +10dB, contre $d'=-0.147$).

- **SNR +5 dB**



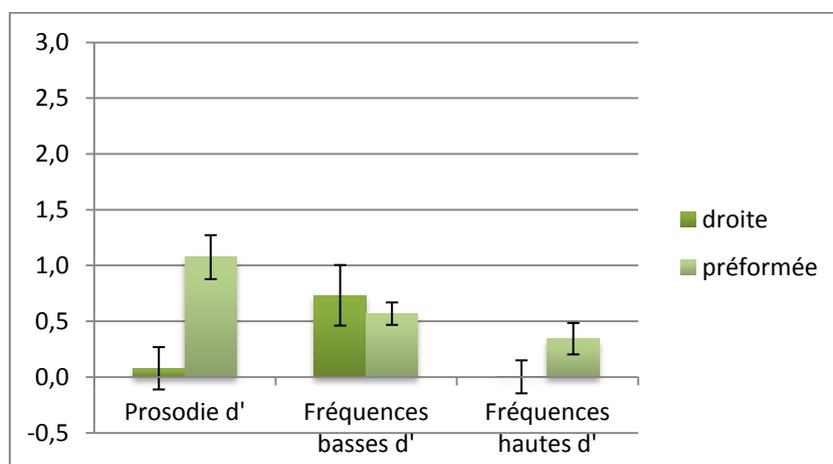
Graphique 24 : Moyennes des scores d' en fonction des scores de discrimination de la parole dans le bruit pour un rapport signal/bruit de +5dB

Pour la perception de la parole dans le bruit à +5dB les sujets ayant une discrimination supérieure à 75% obtiennent des résultats meilleurs en prosodie (N=34, $d'=1.234$, contre $d'=0.642$ chez les sujets ayant une discrimination inférieure à 75%) et en fréquences hautes ($d'=0.622$ contre $d'=-0.031$ chez les sujets ayant une discrimination inférieure à 75%).

De bonnes capacités discrimination de la parole dans le bruit sont donc associées à de bons résultats au test de prosodie et au test de fréquences hautes.

Caractéristiques de l'implant

- **Type d'électrode**



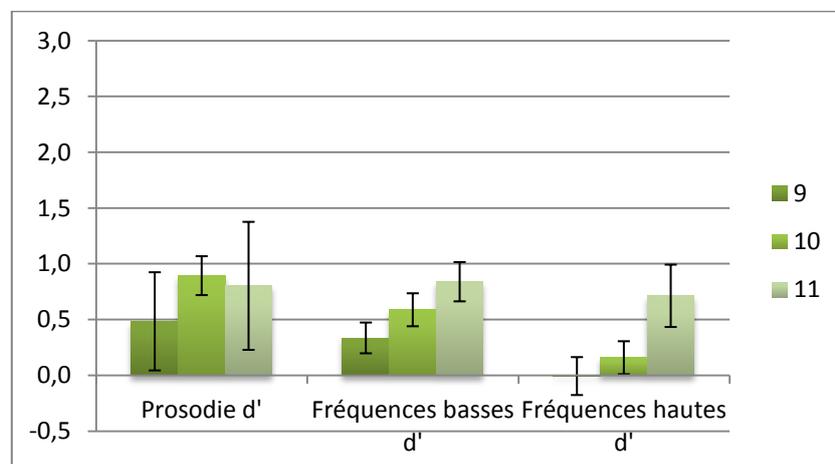
Graphique 25 : Moyennes des scores d' en fonction du type d'électrode

Le type d'électrode influence les résultats. Les sujets porteurs d'une électrode préformée Cochlear® obtiennent de meilleurs résultats en prosodie (N=40 $d'=1.074$) que les sujets porteurs d'électrode droite Cochlear® (N=13 $d'=0.078$). De même, leurs résultats en fréquence haute ($d'=0.343$) sont meilleurs que chez les porteurs d'électrode droite ($d'=0.002$).

- **Stratégie de codage**

Pour la stratégie de codage, seuls 6 sujets bénéficient de la stratégie FSP, tous les autres ayant tous la stratégie ACE (à l'exception d'un sujet ayant la stratégie SPEAK), nous n'avons donc pas analysé l'effet de la stratégie de codage sur les résultats.

- **Nombre de maxima**

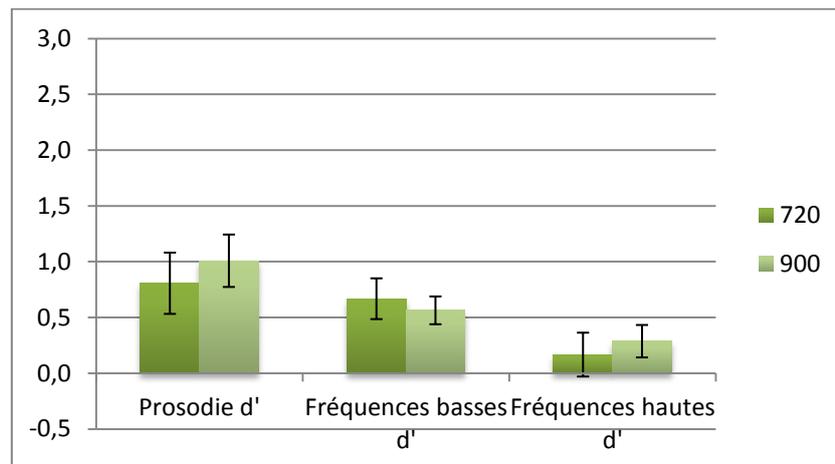


Graphique 26 : Moyennes des scores d' en fonction du nombre de maxima

Le nombre de maxima, correspondant au nombre de canaux activés (9, 10 ou 11) influence les résultats pour les tests de fréquence. Les sujets à 11 maxima obtiennent de meilleurs résultats (N=7 $d'=0.840$) en fréquence basse que les sujets à 9 maxima (N=12 $d'=0.336$). De même en fréquence haute, les sujets à 11 maxima obtiennent de meilleurs résultats ($d'=0.714$) que les sujets à 9 maxima ($d'=-0.006$).

Le nombre de maxima influence donc les résultats au test de Pitch Rank.

- **Vitesse de stimulation**



Graphique 27 : Moyennes des scores d' en fonction de la vitesse de stimulation

Aucun effet de la vitesse de stimulation (720 ou 900 Hz) n'est observable.

DISCUSSION

Interprétation des résultats

Notre étude confirme les données de la littérature : la perception de la prosodie à partir des variations de fréquence fondamentale reste difficile avec les stratégies de codage et les modèles d'implants actuels. Nos résultats montrent aussi la grande variabilité des performances des sujets implantés en perception de la prosodie et de la fréquence fondamentale. Cette variabilité est retrouvée dans les nombreuses études s'intéressant aux possibilités des patients implantés.

Alors que la très grande majorité des sujets normo-entendants plafonne à l'épreuve de prosodie, seuls deux sujets implantés parviennent à obtenir un score maximal. Les performances des porteurs d'implant sont donc largement inférieures à celles des normo-entendants pour la perception de la prosodie. Ces faibles performances concernent une grande partie de notre population qui obtient des scores proches du hasard (48% de l'échantillon). Nous pouvons donc conclure qu'un nombre important de sujets implantés présente des capacités limitées pour la perception de la prosodie à travers l'implant seul, à partir des variations de fréquence fondamentale.

La difficulté devient encore plus importante pour la perception de la fréquence fondamentale à travers l'implant : aucun des sujets implantés ne parvient à faire le test sans erreur, alors que 21% des normo-entendants plafonnent à l'épreuve. Comme pour la perception de la prosodie, les performances des patients porteurs d'implant sont donc largement inférieures à celles des normo-entendants. Une grande partie de notre population obtient des scores proches du hasard (46% pour le sous-test fréquences basses, 64% pour le sous-test fréquences hautes). Nous pouvons conclure qu'un nombre important de sujets implantés présente des difficultés pour percevoir la fréquence fondamentale à travers l'implant seul.

Notre étude montre aussi que la perception des fréquences aiguës est moins aisée que celle des fréquences graves chez les sujets porteurs d'implant.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la majoration des difficultés pour le test de perception de la fréquence fondamentale. Tout d'abord, même si la durée de variation du stimulus est plus courte dans le test de prosodie, les différences de variation de la fréquence fondamentale sont plus importantes (de l'ordre de l'octave). Ces variations sont donc plus facilement détectables. D'autre part, dans le test de Pitch Rank ce sont toujours les mêmes canaux qui sont activés pour chaque signal sonore. La perception des variations de fréquence fondamentale repose donc uniquement sur des indices temporels, aucun indice

spectral n'étant disponible. Au contraire, dans le test de prosodie, les canaux activés varient en fonction du signal sonore. Les indices spectraux sont donc présents, associés aux indices temporels, ce qui facilite la détection des variations de fréquence fondamentale. Enfin, ce test de perception de la fréquence fondamentale fait appel à du matériel non verbal et les notions de grave et aigu ont pu paraître abstraites à des sujets peu familiers de ces termes et de ce type d'exercice. Au contraire, les notions linguistiques de modalités affirmative et interrogative sont bien connues des sujets, ce qui facilite la compréhension et la réalisation de l'épreuve de prosodie.

Comme nous l'avons décrit dans notre partie théorique, la prosodie repose sur des variations de fréquence fondamentale, d'intensité et de durée. Or les sujets implantés utilisent surtout les indices de rythme pour percevoir la prosodie. L'implant leur donne un accès limité à la perception des variations de hauteur à cause d'une dégradation temporelle et spectrale du signal. Nos résultats montrent l'existence d'un lien entre la capacité à percevoir des variations de fréquence fondamentale en s'appuyant sur des indices temporels et la capacité à percevoir la prosodie à partir des variations de fréquence fondamentale. Cette corrélation est cependant faible : certains sujets ayant de bonnes capacités pour percevoir la prosodie sont peu performants pour percevoir la fréquence fondamentale à partir d'indices temporels. Les indices de durée et d'intensité n'étant pas disponibles dans le test de prosodie, nous pouvons supposer que leur réussite à ce test de prosodie repose sur la perception d'indices spectraux.

Cette réflexion est confirmée par notre recherche explicative dans laquelle nous étudions l'impact de facteurs propres aux sujets et aux implants sur les résultats aux épreuves. Les électrodes préformées permettent une stimulation plus précise du nerf auditif car elles sont localisées plus près des cellules nerveuses, ce qui limite le recouvrement des champs électriques entre électrodes adjacentes. Les informations spectrales fournies par l'implant sont donc plus précises que celles fournies par les implants à électrode droite située plus loin des ganglions spiraux. Or les sujets porteurs de ce type d'électrode obtiennent de meilleurs résultats en prosodie que ceux porteurs d'électrode droite. On peut supposer qu'ils profitent d'indices spectraux de meilleure qualité pour percevoir la prosodie.

Certains sujets en réussite sur la perception de la fréquence fondamentale ne réussissent pas le test de prosodie. On peut supposer qu'ils reçoivent bien l'indice acoustique à travers l'implant mais ont des difficultés pour l'identifier et le mettre en relation avec la prosodie. L'indice de fréquence fondamentale est donc difficile à identifier à travers l'implant.

L'étude de Capber (2011) avait démontré l'existence d'une corrélation entre perception de la prosodie et perception de la hauteur tonale chez les patients implantés cochléaires avec audition résiduelle. Nos résultats sont en accord avec cette étude qui montre l'existence d'une tendance à la corrélation pour les sujets n'ayant pas d'audition résiduelle.

L'entraînement à la perception de contours mélodiques ne montre pas d'amélioration pour la perception de la prosodie. La rééducation orthophonique des patients implantés se heurte aux limites technologiques de l'implant et à des facteurs limitant, intrinsèques aux patients. Il est difficile d'évaluer ces derniers et il semble que la composante biologique, depuis la stimulation du nerf auditif jusqu'à l'analyse par les aires cérébrales, revête une grande importance pour les performances des patients. Le groupe ayant suivi l'entraînement est âgé en moyenne de 73 ans. Il n'existe pas de limite supérieure d'âge pour l'implantation, cependant le déclin cognitif dû à l'âge peut limiter certaines fonctions comme l'attention et la mémoire et rendre plus difficile la progression lors de l'entraînement.

Tous les patients ayant suivi l'entraînement se sont montrés très motivés et assidus aux séances. L'appropriation du support informatique s'est accomplie avec beaucoup de facilité, bien que le support soit disponible uniquement en anglais. L'auto-entraînement a été plus difficile à mettre en place pour un patient qui n'a pu utiliser le logiciel qu'une semaine avant la deuxième phase de test, pour des raisons personnelles. Les patients ont apprécié le travail sur d'autres paramètres que ceux habituellement pris en charge en rééducation orthophonique. Plusieurs d'entre eux ont déclaré vouloir continuer à s'auto-entraîner après la deuxième phase de tests.

Nous pouvons supposer que cet entraînement aura aidé ces patients à être attentifs à un paramètre qu'ils ne sont pas accoutumés à prendre en compte dans leur compréhension du message oral. La faiblesse de la corrélation précédemment décrite montre que le lien entre l'indice de fréquence et la prosodie est flou pour les sujets porteurs d'implant. L'intérêt de cet entraînement est d'aider les patients à utiliser au mieux les informations de fréquence fournies par l'implant afin de construire une association entre la fréquence fondamentale et la prosodie.

L'amélioration de la perception de la prosodie à partir des indices de fréquence fondamentale repose donc sans doute sur une amélioration de la technologie de l'implant. Notre entraînement, qui comporte des limites que nous allons évoquer par la suite, se heurte aux restrictions technologiques et physiologiques précédemment évoquées.

Limites

Notre étude comporte des limites sur le plan des tests proposés, le matériel et l'entraînement à la perception de contours mélodiques ainsi que sur l'inclusion des patients.

Nos tests ont été réalisés dans un bureau du service d'implants auditifs, et certains bruits environnants ont pu perturber la passation des tests. Une passation en cabine insonorisée aurait pu être une alternative intéressante afin d'éviter ces perturbations extérieures.

En ce qui concerne le test de Pitch Rank, la passation s'est révélée longue et répétitive à cause des 60 items pour chaque sous-test, ce qui a pu entraîner une fatigue. De plus certains patients étaient testés après leur rendez-vous de suivi orthophonique, ce qui pouvait contribuer à majorer la fatigabilité de nos sujets et à fausser nos résultats. Bien que certains normo-entendants aient obtenu un score maximal en Pitch Rank, ce qui valide le test, nombreux ont été les sujets porteurs d'implant à le décrire comme difficile et à se sentir en situation d'échec. Les normo-entendants ont souvent décrit ce test comme fastidieux.

Pour le test de prosodie, les patients sont habitués à réaliser des tests de discrimination de la parole. Ils ont eu tendance à oublier la tâche de perception de l'intonation et à chercher à percevoir les phrases, bien qu'elles soient disponibles visuellement sur le logiciel.

Il aurait pu aussi être intéressant de tester les capacités cognitives de nos sujets afin d'éviter un biais de compréhension des consignes. Certains patients ont eu parfois des difficultés à comprendre qu'ils devaient se focaliser sur l'intonation et non sur la discrimination de la parole. De même, les notions de grave et aigu nécessitaient parfois des explications approfondies pour certains patients.

Notre échantillon de sujets normo-entendants n'est apparié ni au niveau de l'âge, ni au niveau du nombre de sujets avec les sujets implantés : cependant l'importance de la différence des résultats entre les deux groupes réduit cette limite.

Un test supplémentaire de perception de la prosodie en condition originale, avec les indices d'intensité et de durée ajoutés à ceux de fréquence aurait permis d'objectiver le paramètre acoustique responsable des difficultés de perception.

En ce qui concerne notre entraînement, les enregistrements ont été réalisés avec du matériel amateur, la qualité insuffisante de ces derniers a pu rendre difficile le travail d'identification des contours mélodiques prosodiques. Il a en effet été nécessaire de réaliser quelques manipulations avec le logiciel Praat pour enlever le bruit de fond concomitant à

l'enregistrement. Il serait intéressant de confier l'enregistrement de ces contours à des professionnels du son.

Certains exercices se sont révélés assez difficiles pour les patients, de par la qualité des enregistrements, mais aussi de par la tâche demandée en elle-même. Il nous a donc fallu mettre des adaptations en place, ce qui s'est révélé très intéressant pour nous en tant que futures professionnelles. Ainsi les exercices sur la perception des contours mélodiques prosodiques ont nécessité de rajouter une étape intermédiaire de discrimination entre deux contours ou entre deux phrases avant de passer à l'étape d'association entre le contour et la phrase en condition originale.

D'autre part, la multiplicité des exercices proposés n'a pas permis de se focaliser sur une tâche d'identification. Nous avons choisi de proposer des exercices variés afin d'éviter la monotonie et une trop grande répétitivité. Or il apparaît que c'est la répétition et la focalisation sur un nombre minimum de stimuli qui permet d'améliorer les performances auditives (Fu et al., 2007). Il serait donc intéressant de cibler l'entraînement soit sur l'identification des contours instrumentaux, soit sur celle des contours prosodiques.

Le déroulement de l'auto-entraînement présente aussi des limites. Il s'est déroulé à domicile, sans possibilité de contrôle réel de notre part, à l'exception du carnet de suivi à remplir par le patient lui-même à chaque séance d'auto-entraînement. Les bruits environnants au domicile ont pu nuire à la perception des contours et diminuer l'efficacité du travail fourni. Enfin, la durée assez courte d'entraînement peut aussi contribuer à expliquer l'absence d'amélioration des performances et il aurait pu être intéressant de poursuivre plus longtemps ces exercices. La phase de passation des tests et la mise au point de notre matériel nous a obligé à réduire la durée d'entraînement et le nombre de séances. L'auto-entraînement proposé par les auteurs du logiciel était réalisé à raison d'une demi-heure par jour, cinq jours par semaine sur une durée d'une semaine à deux mois (Galvin et al., 2009).

L'inclusion de nos sujets pour réaliser l'entraînement constitue également une limite de notre étude. Leur recrutement s'est avéré difficile car l'entraînement nécessitait de se déplacer plusieurs fois, ils devaient donc être géographiquement proches. Leur nombre restreint rend délicate l'analyse des résultats et la validation de notre hypothèse 4. De plus, leur âge (73 ans en moyenne) n'est pas représentatif de la totalité de la population des patients implantés. Deux d'entre eux obtiennent de très bons scores en prosodie, leur marge de progression est donc réduite, ce qui limite l'interprétation de nos résultats.

Perspectives

Nous présentons ici les perspectives de notre étude concernant les modalités de l'entraînement, le choix des patients susceptible d'y trouver un intérêt et les possibilités d'une analyse élargie de ses effets. Cette étude montre aussi l'intérêt d'une amélioration des possibilités techniques de l'implant par le perfectionnement du codage spatial du signal sonore.

Il pourrait être intéressant d'allonger la durée de notre entraînement ou d'augmenter la fréquence afin d'augmenter nombre total de séances.

Une passation des tests de prosodie et de Pitch Rank à plus longue échéance permettrait aussi d'objectiver une stabilisation des acquisitions éventuelles. Angelsound™ offre aussi la possibilité d'obtenir les résultats lors des exercices d'auto-entraînement. Une passation régulière des tests proposés par le logiciel pourrait permettre d'objectiver la progression et constituer un challenge intéressant pour les patients.

Lors des séances dirigées, nous avons réalisé un travail principalement auditif et visuel. Un travail plus axé sur les aspects kinesthésiques et proprioceptifs, par le chant et la répétition des contours entendus, la mise en place de gestes pour signifier le registre grave ou aigu, pourrait permettre de travailler le versant productif par le ressenti corporel. L'effet de transfert positif du travail en production pourrait être étudié sur les performances en réception du message prosodique. Un travail d'écoute régulière de mélodies familières, de variété, de musique polyphonique pourrait être intéressant à mener pour voir l'effet sur l'amélioration de la perception de la fréquence fondamentale.

Il serait intéressant de tester le matériel sur des sujets normo-entendants afin de vérifier que les exercices proposés ne sont pas trop difficiles à réaliser. Ce matériel pourrait aussi être proposé à d'autres patients, comme par exemple des enfants dyslexiques pour lesquels un entraînement musical améliore les performances en lecture (Moreno et al., 2009), ou des sujets amusiques, dont les capacités d'analyse fine de la hauteur tonale sont diminuées.

Les patients inclus dans l'étude avaient un niveau de compréhension de la parole dans le bruit supérieur à 60%. Cet entraînement pourrait aussi être proposé à des patients ayant des difficultés de discrimination de la parole dans le bruit plus importantes que celles notre population, pour étudier l'amélioration des capacités de conversation en milieu bruyant.

Les tests de prosodie pourraient aussi être réalisés par des patients ayant une faible capacité de discrimination de la parole afin d'étudier le lien entre perception de la prosodie et perception de la parole.

Dans la continuité du mémoire de Berigaud et Hardoy (2014), l'effet de cet entraînement sur la perception de la musique pourrait être étudié, par un test plus spécifiquement dédié à l'analyse des performances en perception musicale, comme par exemple le MBEA (Montreal Battery of evaluation of amusia), développé par Peretz et Coltheart (2003). Il pourrait être intéressant d'étudier aussi son effet sur la prosodie émotionnelle, par un test des émotions.

Ce travail pourrait donc être poursuivi dans un mémoire ultérieur, afin d'améliorer la qualité des enregistrements des contours mélodiques prosodiques et de valider l'entraînement sur des sujets normo-entendants. Cet entraînement pourrait aussi être validé auprès d'un nombre plus important de sujets implantés en ciblant de manière plus précise les exercices proposés, c'est-à-dire en choisissant d'utiliser uniquement les contours mélodiques prosodiques ou les contours instrumentaux.

CONCLUSION

CONCLUSION

La perception de la prosodie, qui repose sur les variations d'intensité, de durée et de fréquence, constitue donc une tâche délicate pour les porteurs d'implant, l'indice acoustique de fréquence restant le plus difficile à percevoir. L'amélioration de cette perception, de la discrimination de la parole dans le bruit et de la qualité d'écoute de la musique constituent aujourd'hui des progrès visés par la recherche dans le domaine de l'implantation cochléaire.

A travers cette étude, nous avons cherché à savoir si la perception de la prosodie, et plus particulièrement de l'intonation, est corrélée à la perception de la fréquence fondamentale, afin de valider ou non l'intérêt d'un entraînement à la perception de contours mélodiques dans la restauration de la perception de la prosodie.

Notre étude valide partiellement l'existence d'un lien entre perception de la fréquence fondamentale et de la prosodie et révèle la grande variabilité des performances obtenues par les sujets implantés. En revanche, l'entraînement proposé n'a pas permis d'améliorer les résultats des patients au test de prosodie et de fréquence fondamentale. On peut s'interroger sur les causes de cette absence de résultats. D'une part, notre protocole demanderait à être perfectionné dans son déroulement et allongé dans la durée. D'autre part, il semble que nous atteignons les limites technologiques de l'implant pour la perception de la fréquence fondamentale, notamment au niveau de la résolution spectrale.

La perception des paramètres suprasegmentaux du langage ne semble pas constituer une plainte des sujets de notre étude. Cependant, au regard de leurs résultats, elle reste un domaine intéressant à explorer en orthophonie. La participation active et la motivation des patients qui souhaitent continuer à s'entraîner au-delà de notre étude renforce l'intérêt de développer des outils thérapeutiques axés sur la perception des éléments paralinguistiques. Il serait intéressant d'améliorer la qualité de cet entraînement pour la perception de la prosodie et d'étudier un élargissement de son usage à d'autres domaines comme la perception de la parole dans le bruit.



UNIVERSITE PAUL SABATIER/TOULOUSE III
Faculté de médecine Toulouse Rangueil
Enseignement des techniques de réadaptation

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophonie

La perception de la prosodie linguistique chez l'adulte implanté cochléaire post- lingual

Intérêt d'un entraînement axé sur la perception de
contours mélodiques

DESGRAVES Cécile – LAMBERT Fanny

Paraphé à Toulouse, juin 2016,
par les directeurs de mémoire

Marie Laurence LABORDE

Chris JAMES

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

AKYUZ A. (2001) *Exercices d'oral en contexte. Niveau débutant*. Hachette, 128.

ARBIB MA. (2013) *Language, music and the brain, a mysterious relationship*. MIT Press, 584.

AREHART K.H. (1994). Effects of harmonic content on complex-tone fundamental frequency discrimination in hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 95 (6) : 3574-3585.

ASARIDOU SS, MCQUEEN JM. (2013) Speech and music shape the listening brain: evidence for shared domain-general mechanisms. *Frontiers in Psychology* 4: 321.

AURA K. (2012) *Protocole d'évaluation du langage fondé sur le traitement de fonctions prosodiques : étude exploratoire de deux patients atteints de gliomes de bas grade en contexte péri-opératoire*. Linguistique. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2012. Français.

BENARD C. (2013) *Intérêts de l'utilisation de la musique dans la rééducation orthophonique d'enfants sourds porteurs d'un implant cochléaire*. Mémoire d'orthophonie. Université de Caen Basse-Normandie, UFR de Médecine Département d'orthophonie de Caen. Direction : S. Moreau

BERGER E. PATTE C. (2014) *Programme d'intervention musicale auprès d'enfants sourds profonds implantés cochléaires : effets sur la perception et la production de variations de hauteur dans la parole, le chant et la musique*. Mémoire d'orthophonie. Université Claude Bernard Lyon I Institut des sciences et techniques de réadaptation. Direction : F. Guillerre

BERIGAUD L., HARDOY M.L. (2014) *Intérêt d'un auto-entraînement auditif informatisé aux émotions chez les adultes sourds implantés cochléaires post-linguaux*. Mémoire d'orthophonie. Université Paul Sabatier Toulouse III Faculté de médecine Toulouse Rangueil. Enseignement des techniques de réadaptation. Direction : M.L. Laborde, C. James

BESSON M, SCHÖN D, MORENO S, SANTOS A, MAGNE C. (2007) Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience* 25(3-4):399-410.

BESSON M, CHOBERT J, CÉLINE M. (2011) Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. *Frontiers in Psychology*. 2(94).

BLAMEY P, ARNDT P, BERGERON F, BREDBERG G, BRIMACOMBE J, FACER G, LARKY J, LINDSTROM B, NEDZELSKI J, PETERSON A, SHIPP D, STALLER S, WHITFORD L: (1996) Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants. *Audiology & neuro-otology*.1: 293–306.

BLAMEY, P., ARTIERES, F., BAŞKENT, D., BERGERON, F., BEYNON, A., BURKE, E., LAZARD, D.S. (2011). Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: an update with 2251 patients. *Audiology & neuro-otology*, 18(1) : 36-47.

BOUCCARA D, MOSNIER I, BERNARDESCHI D, FERRARY E, STERKERS O. (2012). Implants cochléaires chez l'adulte. *La revue de médecine interne*. 33 (3) :143-149.

BOURGUET C. (2007) Implant cochléaire et musique. *Glossa* n°101:62-71.

BRIN-HENRY F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V. (2011) Dictionnaire d'orthophonie. Faches Thumesnil, 303p.

CAPBER A. (2011) *Perception de la hauteur tonale par le patient implanté cochléaire: relation avec la perception de la prosodie linguistique*. Mémoire de recherche en neuropsychologie. Université Paul Sabatier - Toulouse III. Direction: O. Deguine et P. Barone

CARRAT R. (2009) *L'oreille numérique, vues nouvelles sur la perception des sons*. Monts, France : EDP Sciences, 310.

CHATTERJEE M, PENG SC. (2008) Processing F0 with cochlear implants: Modulation frequency discrimination and speech intonation recognition. *Hearing research* 235(1-2):143-56.

CHEVALIER M. FERNANDES J. (2014) *Impact d'une rééducation orthophonique sur la compréhension de la prosodie émotionnelle chez des sujets autistes sans déficience intellectuelle : études de cas*. Mémoire d'orthophonie. Université Claude Bernard Lyon I Institut des sciences et techniques de réadaptation. Direction : Douillet-Santaella E.

CHOI C.T.M, LEE Y-H. (2012). A Review of Stimulating Strategies for Cochlear Implants. Cochlear Implant Research Updates, Dr. Cila Umat (Ed.), ISBN: 978-953-51-0582-4, InTech, Available from:
<http://www.intechopen.com/books/cochlear-implant-research-updates/stimulating-strategies-for-cochlearimplants>

CHOUARD C. H. (2009) *L'oreille musicienne: les chemins de la musique de l'oreille au cerveau*. Gallimard. 416.

CORDES M, WSZOLEK ZK (2003) Deafness and Cerebral Plasticity. *Journal of Nuclear Medicine* 44(9):1440-1442.

CREW JD, GALVIN JJ, FU QJ. (2012) Channel interaction limits melodic pitch perception in simulated cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132 (5):429-435.

DANHAUSER A. (1995) *Théorie de la musique*. Paris : Éditions Henry Lemoine. 195

DELATTRE P. (1966) Les dix intonations de base du français. *French review*, 1-14.

DEMOTES-MAINARD E., GAUTHIER C. (2013) *Le renouvellement du processeur vocal chez l'adulte implanté cochléaire*. Mémoire d'orthophonie. Académie de Paris, Université Paris VI Pierre et Marie Curie. Direction : AMBERT-DAHAN E., BOREL S.

DI CRISTO A. (2013) *La prosodie de la parole*. Belgique : de boeck solal, 296.

DUMONT A. (2008) *Orthophonie et surdité, communiquer, comprendre, parler*. Issy-les-Moulineaux, France : Elsevier-Masson, 241

- DURAND M. (2001) *DO-RE-MI pour adultes implantés, la perception de la musique chez les adultes devenus sourds porteurs d'un implant cochléaire*. Mémoire d'orthophonie. Université Paul Sabatier Toulouse III Faculté de médecine Toulouse Rangueil. Enseignement des techniques de réadaptation. Direction : M.L. Laborde.
- FOXTON JM, DEAN JL, GEE R, PERETZ I., GRIFFITHS, T. D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain*, 127(4), 801-810.
- FOXTON, J. M., RIVIERE, L. D., & BARONE, P. (2009). Cross-modal facilitation in speech prosody. *Cognition*, 115(1), 71-78.
- FREMONT V. (2013) *La perception prosodique émotionnelle et la perception musicale chez des enfants implantés cochléaires: analyse statistique*. Mémoire d'orthophonie. Académie d'Orléans-Tours Université François Rabelais UFR de médecine école d'orthophonie, Tours. Direction : G. Bescond
- FU QJ. GALVIN JJ. (2007) Computer-Assisted Speech Training for Cochlear Implant Patients: Feasibility, Outcomes, and Future Directions. *Seminars in hearing*. 28(2): 10.
- GALVIN JJ, FU Q-J. (2005). Effects of Stimulation Rate, Mode and Level on modulation Detection by Cochlear Implant Users. *J Assoc Res Otolaryngol* 6(3): 269–279.
- GALVIN J.J., FU,Q.J. & NOGAKI, J. (2007). Melodic contour identification by cochlear implant listeners. *Ear and Hearing*, 28(3) : 302-319.
- GALVIN JJ, FU QJ, SHANNON RV. (2009) Melodic contour identification and music perception by cochlear implant users. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1169:518-33.
- GARCIA C., MARRAUD des GROTTES M. (2013) *Protocole de rééducation de la prosodie émotionnelle en réception chez des enfants autistes - étude de cas multiples*. Mémoire d'orthophonie. Université Claude Bernard Lyon I Institut des sciences et techniques de réadaptation. Direction : Gauthier C.
- GFELLER K, OLESON J, KNUTSON JF, BREHENY P, DRISCOLL V, OLSZEWSKI C. (2008) Multivariate predictors of music perception and appraisal by adult cochlear implant users. *Journal of the American Academy of Audiology* 19(2):120-34.
- GFELLER K. (2009) Music and Cochlear Implants Not in Perfect Harmony. ASHA leader / American Speech-Language-Hearing Association. PMID: PMC3150543.
- HAS (2007). Traitement de la surdité par pose d'implants cochléaires ou d'implants du tronc cérébral (Haute Autorité de Santé).
- HUTCHINS S, GOSSELIN N, PERETZ I (2010) Identification of changes along a continuum of speech intonation is impaired in congenital amusia. *Frontiers in Psychology*. 1 (236).
- HYDE KL, LERCH J, NORTON A, FORGEARD M, WINNER E, EVANS AC, SCHLAUG G (2009) Musical Training Shapes Structural Brain Development. *The Journal of Neuroscience*, 29(10): 3019-3025.
- KOLINSKY R, MORAIS J, PERETZ I. (2010) *Musique langage et émotion : approche neuro-cognitive*. Rennes :Presses universitaires de Rennes,124p.

- KONG YY, CRUZ R, JONES JA, ZENG FG. (2004) Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. *Ear and Hearing* 25(2):173-85.
- KRAUS N, STRAIT D, PARBERY-CLARK A (2012). Cognitive factors shape brain networks for auditory skills: spotlight on auditory working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1252(1): 100–107.
- KWON BJ, VAN DEN HONERT C. (2006) Dual-electrode pitch discrimination with sequential interleaved stimulation by cochlear implant users. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 120 (1):1-6
- LACHERET-DUJOUR A., BEAUGENDRE F., ROSSI M., (1999) *La prosodie du français*, CNRS éditions, Paris.353.
- LANDWEHR M, FÜRSTENBERG D, WALGER M, VON WEDEL H, MEISTER H. (2014) Effects of various electrode configurations on music perception, intonation and speaker gender identification. *Cochlear Implants International*.15(1):27-35.
- LAPPE C, HERHOLZ S, TRAINOR LJ, PANTEV C. (2008). Cortical Plasticity Induced by Short-Term Unimodal and Multimodal Musical Training. *The Journal of Neuroscience*. 28(39):9632–9639.
- LAUDANSKI J, ZHENG Y, BRETTE R. (2014) A Structural Theory of Pitch. *eNeuro* vol 1
- LECHEVALIER B, PLATEL H, EUSTACHE F. (2010) *Le cerveau musicien*. Bruxelles, De Boeck Supérieur, «Questions de personne », 328 p.
- LIU F, PATEL AD, FOURCIN A, STEWART L (2010) Intonation processing in congenital amusia: discrimination, identification and imitation. *Brain* 133(6):1682-1693.
- LO CY, MCMAHON CM, LOOI L, THOMPSON WF. (2015) Melodic Contour Training and Its Effect on Speech in Noise, Consonant Discrimination, and Prosody Perception for Cochlear Implant Recipients. *Behavioural Neurology Volume 2015 (2015)*, Article ID 352869, 10 pages.
- LOOI V, MCDERMOTT H, MCKAY C, HICKSON L (2008) The effect of cochlear implantation on music perception by adults with usable pre-operative acoustic hearing. *International Journal of Audiology*, 47:5, 257-268.
- LOUIS-MARIE R. (2014) *Réalisation d'un matériel musical d'entraînement de la perception des variations mélodiques dans le cadre de l'éducation auditive du patient porteur d'un implant cochléaire*. Mémoire d'orthophonie. Université Lille II Droit et santé. Institut d'orthophonie Gabriel Decroix. Direction : J. André
- LUO X, LANDSBERGER DM, PADILLA M, SRINIVASAN AG. (2010) Encoding pitch contours using current steering. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 128(3):1215-23.
- LUO X, PADILLA M, LANDSBERGER DM (2012). Pitch contour identification with combined place and temporal cues using cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 131(2):1325-36.

- LUTZE J. (2012) The Relationship between Music and Language. *Frontiers in Psychology* 3: 123.
- MARX M. (2013) *Approche psychophysique de la perception auditive para et extra linguistique chez le sujet sourd post lingual implanté cochléaire*. Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur. Université Paul Sabatier – Toulouse III. Direction : O. Deguine et P. Barone
- MARX M. JAMES, C. (2015) Speech Prosody Perception in Cochlear Implant Users With and Without Residual Hearing. *Ear and Hearing*. 36(2) : 239-48.
- MASSIDA A. (2010) *Etude de la perception de la voix chez le patient sourd post lingual implanté cochléaire unilatéral et le sujet normo-entendant en condition de simulation d'implant. Psychophysique et imagerie*. Thèse en vue de l'obtention du doctorat (neuroscience). Université Paul Sabatier – Toulouse III. Direction : O. Deguine et P. Barone
- MCADAMS S. (2015) *Perception et cognition de la musique*. Paris: Vrin (collection "MusicologieS"), 248 p.
- MCDERMOTT HJ (2004). Music perception with cochlear implants: a review. *Trends in Amplification* 8(2):49-82.
- MCFARLAND D.H. (2009) *L'anatomie en orthophonie: Parole, déglutition et audition*. Elsevier Masson, Paris,284.
- MENARD N, (2007) *Reproductibilité et sensibilité de l'analyse ATEC : Enveloppes temporelles, traits acoustiques et traits articulatoires*, Mémoire d'audioprothèse, Rennes.
- MORENO S, MARQUES C, SANTOS A, SANTOS M, CASTRO SL, BESSON M. (2009). Musical Training Influences Linguistic Abilities in 8-Year-Old Children: More Evidence for Brain Plasticity. *Cerebral Cortex*. 19:712-723.
- NIH (1995). National Institute of Health consensus conference. Cochlear implants in adults and children., *JAMA* 274, 1955-1961.
- NOGAKI G, FU QJ, GALVIN JJ. (2007) Effect of training rate on recognition of spectrally shifted speech. *Ear and Hearing*. 28(2):132-40.
- OXENHAM J.A., BERNSTEIN J.G.W, PENAGOS H. (2004) Correct tonotopic representation is necessary for complex pitch perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101 : 1421-1425.
- PARBERY-CLARK A, SKOE E, KRAUS N. (2009) Musical Experience Limits the Degradative Effects of Background Noise on the Neural Processing of Sound. *The Journal of Neuroscience*. 29(45):14100 –14107.
- PATEL, A. D., PERETZ, I., TRAMO, M., & LABREQUE, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain and Language*, 61(1), 123-144.
- PATEL AD, IVERSEN JR. (2007) The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences*. 11(9):369-72.

PATEL AD. (2011) Why would Musical Training Benefit the Neural Encoding of Speech? The OPERA Hypothesis. *Frontiers in psychology*. 2 :142.

PATEL AD. (2012) The OPERA hypothesis: assumptions and clarifications. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1252:124-8.

PATEL AD. (2013) Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research*. 308:98-108.

PENG SC, CHATTERJEE M, LU N. (2012) Acoustic cue integration in speech intonation recognition with cochlear implants. *Trends in Amplification*. 16(2) : 67-82.

PERETZ I, COLTHEART M. (2003) Modularity of music processing. *Nature Neuroscience* 6(7):688-91.

RENARD X. COLLET L. (2008) Collège national d'audioprothèse. Précis d'audioprothèse: production, phonétique acoustique et perception de la parole, Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, France.411.

ROBY B. (2012) *La perception musicale chez le patient sourd implanté cochléaire : intérêts de l'audition résiduelle*. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en médecine. Université Paul Sabatier - Toulouse III. Direction : M. Marx

SAMSON, Y. BELIN P., THIVARD L., BODDAERT N., CROZIER S., ZILBOVICIUS M., (2001) Perception auditive et langage : imagerie fonctionnelle du cortex auditif sensible au langage. *Revue Neurologique*, 157 : 8-9, 837-846.

SCHULZE K, KOELSCH S (2012) Working memory for speech and music. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1252:229-36.

SHANNON RV. (2012) Advances in auditory prostheses. *Current Opinion in Neurology*. 25 (1) 61-66.

SHANNON RV, CRUZ RJ, GALVIN JJ. (2011) Effect of stimulation rate on cochlear implant users' phoneme, word and sentence recognition in quiet and in noise. *Audiology & neurotology*. 16(2):113-23.

SIMON A.C., (2004) *La structuration prosodique du discours en français: une approche multidimensionnelle et expérientielle*. P. Lang, Berne, Suisse.370.

STRELNIKOV K, MARX M, LAGLEYRE S, FRAYSSE B, DEGUINE O, BARONE P. (2015) PET-imaging of brain plasticity after cochlear implantation. *Hearing research* 322:180-7.

THOMPSON WF, SCHELLENBERG EG., HUSAIN G. (2003). Perceiving prosody in speech : effect of music lessons. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 999:530-532.

THOMPSON W.F., GLENN SCHELLENBERG, E. & HUSAIN, G. (2004). Decoding Speech Prosody: Do Music Lessons Help? *Emotion*, 4(1) : 46–64.

VANDALI AE, SUCHER C, TSANG DJ, MCKAY CM, CHEW JW, MCDERMOTT HJ. (2005). Pitch ranking ability of cochlear implant recipients: a comparison of sound-processing strategies. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 117(5):3126-38.

WILSON BS, DORMAN MF. (2008) Cochlear implants: current designs and future possibilities. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 45(5):695-730.

WILSON BS, DORMAN MF (2008). Cochlear implants: a remarkable past and a brilliant future. *Hearing research* 242, 3-21.

WONG PC, SKOE E, RUSSO NM, DEES T, KRAUS N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience*. 10(4):420-2.

ZATORRE RJ, GANDOUR JT (2007) Neural specializations for speech and pitch: moving beyond the dichotomies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363(1493):1087-104.

ZENG FG, POPPER AN, FAY RR. (2011) *Auditory Protheses: New Horizons*. Springer Science & Business Media,397.

ZENG F-G, REBSCHER S, HARRISON WV, SUN X, FENG H. (2008) Cochlear Implants : System Design, Integration and Evaluation. *IEEE reviews in biomedical engineering*. 1:115-142

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableaux

Tableau 1 : Données de la population	65
Tableau 2 : Scores d' des patients sélectionnés pour l'entraînement (T1)	93
Tableau 3 : Scores en d' des patients sélectionnés pour l'entraînement (T2)	94
Tableau 4 : Pourcentage de reconnaissance des mots dans le bruit à T1 et T2	96

Figures

Figure 1 : Les dix intonations françaises les plus fréquentes et leur représentation schématique à l'aide de quatre niveaux de hauteur (Delattre, 1966)	11
Figure 2 : Les quatre catégories modales en fonction des dix intonations de Delattre, 1966.....	11
Figure 3 : Composition d'un son complexe périodique. La somme des ondes simples (3 graphiques du haut) donne un signal complexe périodique (graphique du bas) (Massida 2010).....	13
Figure 4 : Représentation fréquentielle d'un son complexe (fréquence en abscisse, intensité en ordonnée) (Renard, Collet, 2008).....	14
Figure 5 : Courbes isosoniques du champ auditif humain en dB SPL (Renard, Collet, 2008).....	15
Figure 6 : Oscillogramme du son « Kenavo » (Menard, 2007).	17
Figure 7 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase "Tu aimes bien les carottes." (Affirmation).....	19
Figure 8 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase « Tu aimes bien les carottes ! » (Exclamation). 19	
Figure 9 : Représentations temporelle et spectrale de la phrase « Tu aimes bien les carottes ? » (Question)	20
Figure 10 : coupe transversale de la cochlée entière (McFarland, 2009).....	21
Figure 11 : Composants du système d'implantation cochléaire ME-DEL (Wilson, Dorman, 2008)	27
Figure 12 : Dessin en coupe d'une cochlée implantée (Wilson, Dorman, 2008).....	28
Figure 13 : Illustration de la modulation d'amplitude du train d'impulsions électriques. Le taux d'impulsion est constant, seule l'amplitude des impulsions varie (Mc Dermott, 2004).	31
Figure 14 : Electrodogramme de la phrase « Ce cheval a gagné de nombreux prix ? »	33
Figure 15 : Electrodogramme de la phrase « ce cheval a gagné de nombreux prix. »	33
Figure 16 : Electrodogramme du dernier mot de la phrase "Ce cheval a gagné de nombreux prix", intonation interrogative (à gauche) et affirmative (à droite).	34
Figure 17 : Structure temporelle (deux courbes noires en haut) et spectrogramme (en bas) avec contour de hauteur (trait bleu) de la phrase « Ce cheval a gagné de nombreux prix ? »	46
Figure 18 : Structure temporelle (deux courbes en haut) et spectrogramme avec contour de hauteur (trait bleu) de cinq notes jouées à la flûte (contour mélodique)	46
Figure 19 : Représentation des variations de l'intonation (test de prosodie).....	70
Figure 20 : représentations graphiques des contours mélodiques instrumentaux	73
Figure 21 : Exemples de tableaux représentatifs des courbes intonatives d'une phrase	76
Figure 22 : Planche d'images et leur phrase correspondante	77
Figure 23 : Identification des contours instrumentaux (AngelSound™)	79

Graphiques

<i>Graphique 1: Répartition des sujets en fonction de leur âge (moyenne = 63 ans).....</i>	<i>65</i>
<i>Graphique 2 : Histogramme de répartition des scores d' des sujets implantés (test de prosodie)</i>	<i>83</i>
<i>Graphique 3 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à la moyenne des NE</i>	<i>84</i>
<i>Graphique 4 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à d'=2</i>	<i>84</i>
<i>Graphique 5 : Histogramme de comparaison des scores moyens d' obtenus au test de prosodie</i>	<i>84</i>
<i>Graphique 6 : Histogramme de répartition des scores d' (Pitch Rank fréquences basses)</i>	<i>86</i>
<i>Graphique 7 : Histogramme de répartition des scores d' (Pitch Rank fréquences hautes)</i>	<i>86</i>
<i>Graphique 8 : Diagramme de répartition des scores des sujets implantés par rapport à d'=2</i>	<i>87</i>
<i>Graphique 9 : Diagramme de répartition des scores en Pitch Rank des sujets implantés par rapport à la moyenne des NE (fréquences basses et fréquences hautes).....</i>	<i>87</i>
<i>Graphique 10 : Histogramme de comparaison des scores moyens d' obtenus au test de Pitch Rank</i>	<i>88</i>
<i>Graphique 11 : Corrélacion entre les résultats au test de prosodie et au test de Pitch Rank fréquences basses ..</i>	<i>89</i>
<i>Graphique 12 : Corrélacion entre les résultats au test de prosodie et au test de Pitch Rank fréquences hautes..</i>	<i>90</i>
<i>Graphique 13 : histogramme de l'évolution des scores moyens des sujets avant et après entraînement</i>	<i>94</i>
<i>Graphique 14: Moyennes des scores d' en fonction de l'âge du patient.....</i>	<i>99</i>
<i>Graphique 15 : Moyennes des scores d' en fonction de l'âge d'apparition de la surdité.....</i>	<i>99</i>
<i>Graphique 16 : Moyennes des scores d' en fonction de la durée de déprivation auditive</i>	<i>100</i>
<i>Graphique 17 : Moyennes des scores d' en fonction de l'âge d'implantation des sujets</i>	<i>101</i>
<i>Graphique 18 : Moyennes des scores d' en fonction de la durée post-activation de l'implant.....</i>	<i>101</i>
<i>Graphique 19 : Moyennes des scores d' en fonction de l'audition controlatérale sur les fréquences graves</i>	<i>102</i>
<i>Graphique 20 : Moyennes des scores d' en fonction de l'audition controlatérale sur les fréquences aigues</i>	<i>102</i>
<i>Graphique 21 : Moyenne des scores en fonction du port de prothèse controlatérale</i>	<i>103</i>
<i>Graphique 22 : Moyenne des scores d' en fonction de l'étiologie</i>	<i>104</i>
<i>Graphique 23 : Moyennes des scores de d' en fonction des scores de discrimination de la parole dans le bruit pour un rapport signal/bruit (SNR) de +10dB.....</i>	<i>104</i>
<i>Graphique 24 : Moyennes des scores d' en fonction des scores de discrimination de la parole dans le bruit pour un rapport signal/bruit de +5dB.....</i>	<i>105</i>
<i>Graphique 25 : Moyennes des scores d' en fonction du type d'électrode</i>	<i>105</i>
<i>Graphique 26 : Moyennes des scores d' en fonction du nombre de maxima.....</i>	<i>106</i>
<i>Graphique 27 : Moyennes des scores d' en fonction de la vitesse de stimulation.....</i>	<i>107</i>

ANNEXES

Table des annexes

Annexe I : Valeurs en fréquences des notes de la gamme	- 1 -
Annexe II : Tableau récapitulatif des données concernant les sujets de l'échantillon (sujets 1 à 30)	- 2 -
Annexe III : Résultats aux tests des sujets implantés cochléaires	- 5 -
Annexe IV : Electrodogrammes des sons complexes du test de fréquences (Pitch Rank).....	- 7 -
Annexe V : Questionnaire d'auto-évaluation de la perception de la prosodie.....	- 8 -
Annexe VI : Grille d'observation (page 1)	- 9 -
Annexe VII : partitions utilisées pour l'enregistrement des contours mélodiques instrumentaux (niveau I). -	12 -
Annexe VIII : Lettre d'information à destination des patients (page 1)	- 15 -
Annexe IX : Progression des séances proposées lors de la phase d'entraînement	- 18 -
Annexe X : Consignes de téléchargement et d'utilisation du logiciel AngelSound™ (page 1).....	- 19 -
Annexe XI : Livret de suivi du patient.....	- 23 -

Annexe I : Valeurs en fréquences des notes de la gamme

Note	Base	Octave	Octave	Octave	Octave	Octave	Octave	Octave	Octave 8	Octave 9
La	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	7040	14080
Sib	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62	14917,24
Si	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13	15804,27
Do	32,7	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093	4186,01	8372,02	16744,04
Do#	34,65	69,3	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92	8869,84	17739,69
Ré	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64	9397,27	18794,55
Mib	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03	9956,06	19912,13
Mi	41,2	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04	10548,08	
Fa	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65	11175,3	
Fa#	46,25	92,5	185	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91	11839,82	
Sol	49	98	196	392	783,99	1567,98	3135,96	6271,93	12543,85	
Sol#	51,91	103,83	207,65	415,3	830,61	1661,22	3322,44	6644,88	13289,75	

Annexe II : (a) Tableau récapitulatif des données concernant les sujets de l'échantillon (sujets 1 à 30)

N° Anonymat	Etiologie	Sexe du patient	Age du patient	Âge de début de surdité	Durée de déprivation auditive de l'oreille testée	Latéralité de l'oreille testée	Oreille controlatérale	Durée post-implantation	Audition controlatérale (dB)		Discrimination dans le bruit (%)	
									Graves	Aigus	à + 10dB	à + 5dB
1	Inconnue	F	60 ans 5 mois	57 ans 10 mois	0 ans 5 mois	gauche	implant cochléaire	2 ans 1 mois	--	--	98	85
2	Ménière	M	74 ans 11 mois	62 ans 0 mois	2 ans 11 mois	gauche	sans appareillage	10 ans	75	75	99	83
3	Otite Chronique	M	69 ans 5 mois	65 ans 1 mois	2 ans 2 mois	droite	sans appareillage	2 ans 2 mois	47,5	112,5	100	95
4	Inconnue	F	71 ans 3 mois	62 ans 8 mois	7 ans 0 mois	droite	appareillée	1 an 5 moi	70	105	96	86
5	Inconnue	F	48 ans 11 mois	30 ans 0 mois	6 ans 0 mois	droite	implant cochléaire	12 ans 10 mois	--	--	97	85
6	Inconnue	M	70 ans 3 mois	67 ans 4 mois	1 an 2 mois	droite	sans appareillage	1 an 8 mois	107,5	120	84	48
7	Ménière	M	68 ans 7 mois	49 ans 7 mois	14 ans 11 mois	gauche	appareillée	4 ans	70	72,5	70	42
8	Otospongieuse	F	75 ans 7 mois	63 ans 7 mois	6 ans 11 mois	droite	appareillée	5 ans	72,5	82,5	76	52
9	Inconnue	M	48 ans 0 mois	36 ans 1 mois	4 ans 11 mois	gauche	implant cochléaire	7 ans	--	--	95	88
10	Otospongieuse	F	64 ans 3 mois	48 ans 3 mois	12 ans 10 mois	droite	appareillée	3 ans	77,5	65	98	82
11	Trauma	M	62 ans 7 mois	55 ans 7 mois	4 ans 1 mois	gauche	sans appareillage	2 ans 9 mois	120	120	88	78
12	Otospongieuse	F	75 ans 7 mois	59 ans 7 mois	0 ans 9 mois	gauche	sans appareillage	15 ans 3 mois	120	120	80	51
13	Méningite	F	26 ans 9 mois	21 ans 6 mois	0 ans 0 mois	droite	implant cochléaire	5 ans 1 mois	--	--	97	90
14	Autre	M	76 ans 4 mois	72 ans 9 mois	2 ans 0 mois	droite	sans appareillage	1 an 7 mois	77,5	67,5	94	78
15	Génétique	F	51 ans 3 mois	43 ans 11 mois	3 ans 6 mois	droite	sans appareillage	3 ans 10 mois	87,5	90	98	88
16	Otospongieuse	F	67 ans 5 mois	64 ans 7 mois	1 an 0 mois	gauche	sans appareillage	1 an 10 mois	120	120	85	55
17	Génétique	F	57 ans 4 mois	40 ans 2 mois	14 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	3 ans 2 mois	52,5	87,5	91	75
18	Génétique	F	56 ans 5 mois	48 ans 4 mois	4 ans 0 mois	gauche	implant cochléaire	4 ans	--	--	95	86
19	Otite Chronique	M	59 ans 11 mois	54 ans 7 mois	1 an 0 mois	droite	sans appareillage	4 ans 2 mois	120	120	97	94
20	Inconnue	F	81 ans 3 mois	61 ans 4 mois	9 ans 2 mois	droite	appareillée	10 ans 9 mois	100	85	88	67
21	Otospongieuse	M	53 ans 8 mois	44 ans 3 mois	8 ans 0 mois	gauche	implant cochléaire	1 an 5 mois	--	--	71	46
22	Trauma	M	61 ans 11 mois	44 ans 4 mois	7 ans 1 mois	droite	sans appareillage	10 ans 6 mois	120	120	95	80
23	Ototoxique	F	66 ans 9 mois	60 ans 6 mois	3 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	3 ans 3 mois	110	120	65	45
24	Ménière	F	78 ans 7 mois	70 ans 11 mois	5 ans 0 mois	droite	appareillée	2 ans 7 mois	40	107,5	97	93
25	Inconnue	M	76 ans 2 mois	61 ans 2 mois	11 ans 0 mois	droite	appareillée	4 ans	82,5	77,5	96	65
26	Génétique	F	53 ans 8 mois	41 ans 9 mois	3 ans 9 mois	droite	sans appareillage	8 ans 2 mois	107,5	120	98	84
27	Inconnue	F	65 ans 10 mois	52 ans 9 mois	5 ans 0 mois	droite	appareillée	8 ans	62,5	100	91	79
28	Inconnue	M	54 ans 11 mois	--	--	gauche	sans appareillage	8 ans 8 mois	90	110	86	65
29	Otite Chronique	M	44 ans 3 mois	--	--	droite	sans appareillage	4 ans 10 mois	85	85	84	73
30	Autre	M	80 ans 2 mois	73 ans 11 mois	3 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	3 ans 3 mois	25	67,5	100	100

Annexe II : (b) Tableau récapitulatif des données concernant les sujets de l'échantillon (sujets 31 à 61)

N° Anonymat	Etiologie	Sexe du patient	Age du patient	Âge de début de surdité	Durée de déprivation auditive de l'oreille testée	Latéralité de l'oreille testée	Oreille controlatérale	Durée post-implantation	Audition controlatérale (dB)		Discrimination dans le bruit (%)	
									Graves	Aigus	à + 10dB	à + 5dB
31	Ototoxique	M	44 ans 10 mois	35 ans 0 mois	3 ans 0 mois	gauche	appareillée	6 ans 9 mois	60	107,5	100	97
32	Inconnue	F	72 ans 11 mois	69 ans 2 mois	2 ans 0 mois	droite	appareillée	1 an 8 mois	75	82,5	81	68
33	Génétique	M	60 ans 1 mois	44 ans 11 mois	9 ans 0 mois	droite	appareillée	6 ans 2 mois	57,5	105	99	91
34	Inconnue	F	87 ans 2 mois	80 ans 10 mois	4 ans 0 mois	gauche	appareillée	2 ans 3 mois	72,5	110	91	76
35	Inconnue	F	60 ans 2 mois	49 ans 0 mois	3 ans 0 mois	droite	sans appareillage	8 ans 2 mois	70	112,5	100	81
36	Méningite	F	63 ans 7 mois	--	--	gauche	appareillée	1 an 1 mois	97,5	102,5	65	47
37	Otospongiose	F	66 ans 10 mois	59 ans 9 mois	1 ans 0 mois	droite	appareillée	6 ans	90	90	93	71
38	Trauma	F	60 ans 10 mois	52 ans 11 mois	3 ans 4 mois	gauche	appareillée	4 ans 7 mois	85	90	100	75
39	Ménière	F	67 ans 8 mois	56 ans 8 mois	5 ans 4 mois	gauche	sans appareillage	5 ans 6 mois	100	115	86	58
40	Trauma	M	68 ans 5 mois	--	--	droite	appareillée	3 ans	17,5	97,5	97	93
41	Autre	F	55 ans 2 mois	40 ans 3 mois	3 ans 2 mois	gauche	sans appareillage	11 ans 9 mois	105	105	92	59
42	Ménière	M	80 ans 5 mois	76 ans 10 mois	1 ans 0 mois	gauche	appareillée	2 ans 6 mois	92,5	87,5	88	69
43	Inconnue	F	61 ans 1 mois	35 ans 10 mois	21 ans 0 mois	droite	implant cochléaire	4 ans 2 mois	--	--	95	65
44	Inconnue	F	71 ans 3 mois	--	--	gauche	sans appareillage	5 ans 5 mois	65	75	97	79
45	Ototoxique	F	68 ans 0 mois	49 ans 5 mois	10 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	8 ans 7 mois	47,5	95	64	25
46	Otite Chronique	M	69 ans 6 mois	--	--	gauche	sans appareillage	3 ans 5 mois	120	120	75	35
47	Ménière	F	66 ans 0 mois	63 ans 0 mois	1 ans 0 mois	droite	appareillée	2 ans	97,5	82,5	99	78
48	Otospongiose	M	57 ans 6 mois	53 ans 6 mois	2 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	1 an 11 mois	107,5	120	76	25
49	Autre	M	30 ans 11 mois	26 ans 0 mois	0 ans 7 mois	gauche	implant cochléaire	4 ans 2 mois	--	--	95	90
50	Inconnue	F	64 ans 7 mois	62 ans 0 mois	1 ans 0 mois	gauche	sans appareillage	1 an 7 mois	100	110	78	48
51	Inconnue	F	66 ans 4 mois	35 ans 8 mois	15 ans 0 mois	droite	sans appareillage	15 ans 8 mois	87,5	107,5	87	63
52	Otospongiose	M	75 ans 1 mois	65 ans 1 mois	1 ans 5 mois	droite	sans appareillage	8 ans 6 mois	120	120	100	84
53	Inconnue	F	48 ans 1 mois	34 ans 6 mois	4 ans 0 mois	droite	sans appareillage	9 ans 6 mois	40	107,5	100	100
54	Otospongiose	F	74 ans 8 mois	--	--	gauche	appareillée	1 an 1 mois	87,5	100	75	40
55	Otospongiose	F	67 ans 3 mois	63 ans 3 mois	1 ans 0 mois	droite	appareillée	3 ans	72,5	112,5	81	63
56	Autre	F	49 ans 2 mois	30 ans 1 mois	8 ans 0 mois	droite	sans appareillage	11 ans	95	102,5	100	95
57	Inconnue	F	38 ans 4 mois	27 ans 5 mois	4 ans 8 mois	droite	appareillée	6 ans 2 mois	57,5	107,5	85	41
58	Inconnue	M	67 ans 0 mois	29 ans 2 mois	35 ans 0 mois	droite	appareillée	2 ans 10 mois	100	100	73	49
59	Ototoxique	M	54 ans 2 mois	49 ans 11 mois	3 ans 0 mois	droite	appareillée	1 an 3 mois	112,5	120	85	76
60	Inconnue	F	59 ans 7 mois	55 ans 4 mois	3 ans 0 mois	droite	appareillée	1 an 3 mois	65	70	92	87
61	Autre	M	65 ans 3 mois	--	--	gauche	appareillée	4 ans	22,5	30	81	77

Annexe II : (c) Tableau récapitulatif des données concernant l'implant des sujets de l'échantillon

N° Anonymat	Sexe du patient	Age du patient	Type d'implant	Stratégie de codage	Nombre de maxima	Vitesse de stimulation	Type d'électrode	N° Anonymat	Sexe du patient	Age du patient	Type d'implant	Stratégie de codage	Nombre de maxima	Vitesse de stimulation	Type d'électrode
57	F	38 ans 4 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée	5	F	48 ans 11 mois	CI24RCS	ACE	10	900	préformée
59	M	54 ans 2 mois	CI24RECA	ACE	11	720	préformée	20	F	81 ans 3 mois	CI24RCS	ACE	9	900	préformée
31	M	44 ans 10 mois	CI24REMRA	ACE	12	720	préformée	41	F	55 ans 2 mois	CI24RCS	ACE	10	900	préformée
33	M	60 ans 1 mois	CI24REMRA	ACE	11	900	préformée	56	F	49 ans 2 mois	CI24RCS	ACE	12	900	préformée
58	M	67 ans 0 mois	CI24REST	ACE	10	720	droite	2	M	74 ans 11 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
22	M	61 ans 11 mois	CI24RST	ACE	10	900	droite	3	M	69 ans 5 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
12	F	75 ans 7 mois	CI24M (Nucleus24)	ACE	11	900	droite	4	F	71 ans 3 mois	CI24RECA	ACE	11	900	préformée
1	F	60 ans 5 mois	CI422	ACE	10	900	droite	6	M	70 ans 3 mois	CI24RECA	ACE	9	900	préformée
10	F	64 ans 3 mois	CI422	ACE	10	720	droite	7	M	68 ans 7 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
11	M	62 ans 7 mois	CI422	ACE	10	900	droite	9	M	48 ans 0 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
17	F	57 ans 4 mois	CI422	ACE	10	900	droite	14	M	76 ans 4 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
24	F	78 ans 7 mois	CI422	ACE	10	900	droite	15	F	51 ans 3 mois	CI24RECA	ACE	11	720	préformée
32	F	72 ans 11 mois	CI422	ACE	10	900	droite	16	F	67 ans 5 mois	CI24RECA	ACE	9	720	préformée
42	M	80 ans 5 mois	CI422	ACE	10	900	droite	18	F	56 ans 5 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
46	M	69 ans 6 mois	CI422	ACE	9	720	droite	21	M	53 ans 8 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
50	F	64 ans 7 mois	CI422	ACE	9	720	droite	26	F	53 ans 8 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
19	M	59 ans 11 mois	CI512	ACE	9	900	droite	28	M	54 ans 11 mois	CI24RECA	ACE	9	900	préformée
29	M	44 ans 3 mois	CI512	ACE	10	900	hybride	34	F	87 ans 2 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
27	F	65 ans 10 mois	CIHybL24	ACE	9	900	hybride	35	F	60 ans 2 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
8	F	75 ans 7 mois	CI512	ACE	10	720	préformée	37	F	66 ans 10 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
13	F	26 ans 9 mois	CI512	ACE	11	720	préformée	39	F	67 ans 8 mois	CI24RECA	ACE	9	900	préformée
36	F	63 ans 7 mois	CI512	ACE	10	900	préformée	40	M	68 ans 5 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
44	F	71 ans 3 mois	CI512	ACE	10	900	préformée	43	F	61 ans 1 mois	CI24RECA	ACE	9	900	préformée
49	M	30 ans 11 mois	CI512	ACE	11	900	préformée	45	F	68 ans 0 mois	CI24RECA	ACE	9	900	préformée
51	F	66 ans 4 mois	CI24RECA	SPEAK	9	250	préformée	47	F	66 ans 0 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
25	M	76 ans 2 mois	CONCERTO	FSP	Medel			48	M	57 ans 6 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
61	M	65 ans 3 mois	CONCERTO	FSP				52	M	75 ans 1 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
23	F	66 ans 9 mois	Concerto Flexsoft	FSP				53	F	48 ans 1 mois	CI24RECA	ACE	13	900	préformée
30	M	80 ans 2 mois	Concerto Flexsoft	FSP				54	F	74 ans 8 mois	CI24RECA	ACE	10	720	préformée
60	F	59 ans 7 mois	Concerto standard	FSP				55	F	67 ans 3 mois	CI24RECA	ACE	10	900	préformée
38	F	60 ans 10 mois	Sonata TI100	FSP											

Annexe III (a) : Résultats aux tests des sujets implantés cochléaires (résultats en gras = sous-groupe entraînement)

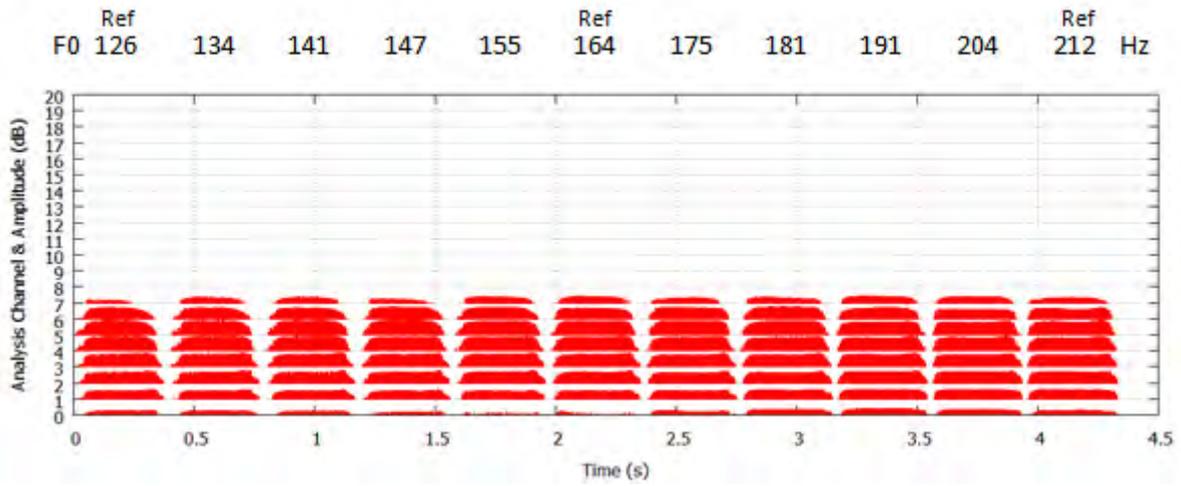
Numéro d'anonymat	Test de prosodie	Test de Pitch Rank	
	(d')	Fréquences basses	Fréquences hautes
	Prosodie	d'	d'
1	0,421	0,084	-0,514
2	0,885	1,010	1,308
3	2,326	0,000	-0,791
4	0,000	1,351	2,562
5	3,294	1,952	1,734
6	0,674	0,514	—
7	0,431	0,509	-0,085
8	0,431	—	—
9	2,057	-0,170	-0,896
10	-0,210	-0,253	—
11	-0,641	0,684	-0,599
12	-0,885	0,509	-0,253
13	2,766	1,465	1,054
14	0,641	-0,424	0,424
15	0,000	0,507	0,608
16	-0,431	-0,084	0,252
17	-0,674	0,252	0,507
18	0,210	0,168	0,000
19	-0,943	—	—
20	0,000	—	0,094
21	2,757	1,272	-2,087
22	0,421	-0,347	0,341
23	0,967	0,341	0,771
24	0,431	2,562	0,896
25	2,057	1,456	1,541
26	1,814	0,608	0,421
27	4,653	1,054	1,398
28	2,116	0,680	-0,085
29	3,001	-0,925	-1,182
30	1,349	-0,240	0,087

Numéro d'anonymat	Test de prosodie	Test de Pitch Rank	
	(d')	Fréquences basses	Fréquences hautes
	Prosodie	d'	d'
31	2,326	1,159	1,159
32	1,349	0,955	0,336
33	1,178	—	—
34	0,431	—	—
35	0,000	—	0,297
36	0,244	0,492	—
37	0,641	0,507	0,865
38	2,057	1,451	1,159
39	-0,220	-0,085	-0,552
40	0,885	1,734	2,175
41	0,885	0,507	0,173
42	0,464	1,272	-0,084
43	0,000	0,599	-0,441
44	0,674	1,904	1,364
45	-0,210	-0,087	-0,282
46	0,000	1,272	-0,967
47	1,105	0,507	-0,167
48	-0,220	0,000	-0,684
49	2,350	1,712	1,279
50	-0,464	—	—
51	0,641	0,168	0,514
52	2,350	0,692	0,167
53	3,709	0,707	1,069
54	0,220	0,000	-0,421
55	1,593	—	—
56	4,653	1,159	1,570
57	0,431	1,252	0,876
58	0,861	2,612	0,865
59	0,210	0,336	-0,253
60	1,642	1,754	2,801
61	-0,421	0,084	0,000

Annexe III (b) : Résultats aux tests des sujets normo-entendant

Sexe	Âge	Test de prosodie (d')	Test de Pitch Rank (d')	
			<i>Fréquences basses</i>	<i>Fréquences hautes</i>
F	18	3,294	1,095	0,347
F	23	4,653	4,653	4,653
F	28	4,653	2,783	4,160
F	29	4,653	4,160	4,653
F	30	4,653	1,147	3,668
F	31	4,653	1,351	2,249
F	35	4,653	4,653	2,123
F	38	4,653	4,653	3,054
F	39	4,653	1,986	4,653
F	41	3,709	-0,184	1,272
F	41	4,653	1,952	1,635
F	42	3,294	1,465	0,692
F	42	3,709	1,570	0,955
F	54	4,653	1,465	1,809
F	55	4,653	1,839	1,541
F	56	4,653	3,827	1,904
F	60	4,653	4,653	4,653
F	62	3,709	1,364	1,028
M	27	4,653	1,839	4,653
M	42	3,709	4,653	0,876
M	42	4,653	1,541	4,653
M	47	4,653	1,272	2,025
M	63	4,653	3,294	1,935
M	63	4,653	2,392	2,175

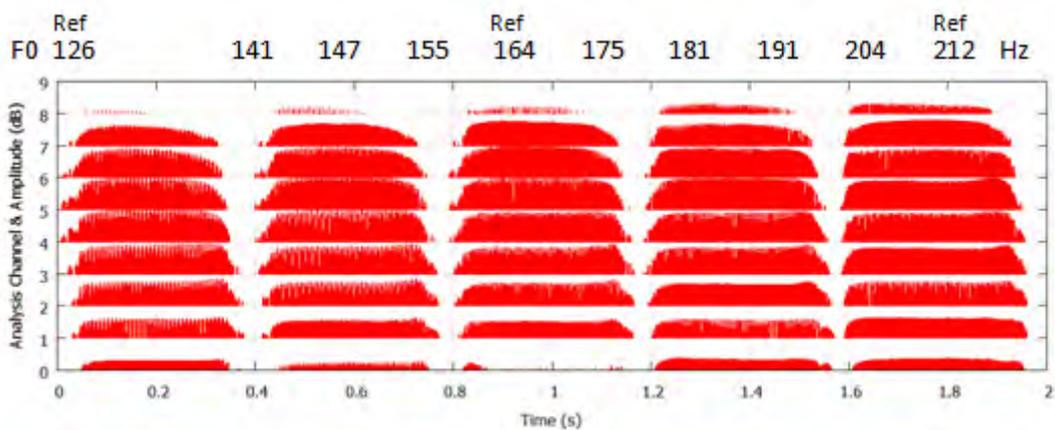
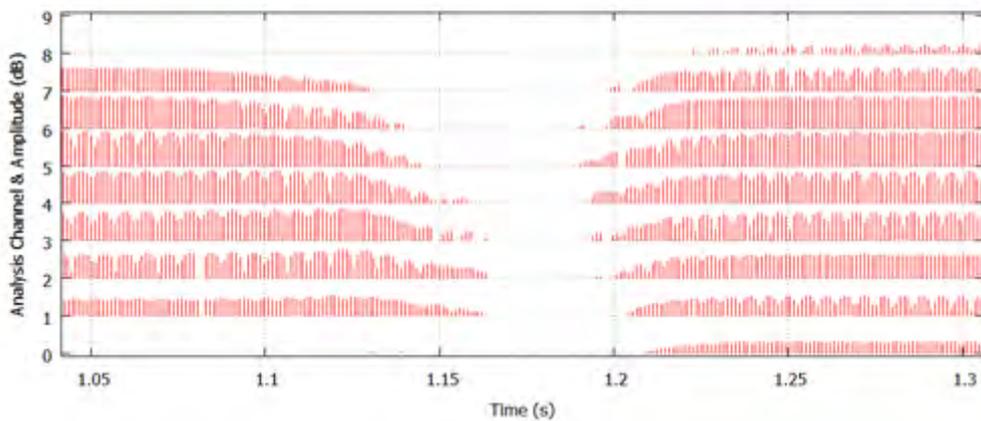
Annexe IV : Electrogrammes des sons complexes du test de fréquences (Pitch Rank)



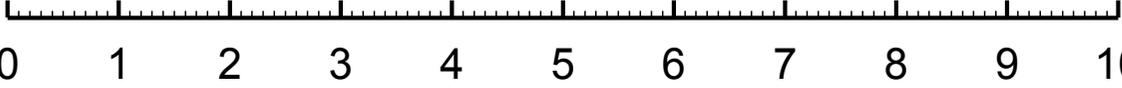
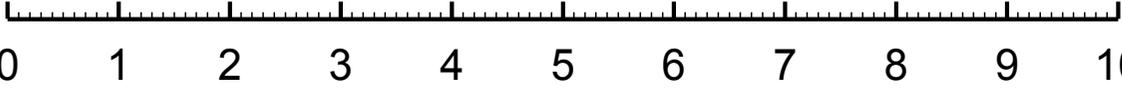
Détail Voyelles

F0 164 Hz

F0 181 Hz



Annexe V : Questionnaire d'auto-évaluation de la perception de la prosodie

1. Prenez-vous du plaisir à écouter de la musique ?	<p align="center">Pas du tout Parfaitement</p>  <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p align="center">Min Max</p>
2. Pouvez-vous facilement percevoir que votre interlocuteur utilise un ton ironique ?	<p align="center">Pas du tout Parfaitement</p>  <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p align="center">Min Max</p>
3. Percevez-vous les différentes intonations dans la voix d'une personne qui s'adresse à vous ?	<p align="center">Pas du tout Parfaitement</p>  <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p align="center">Min Max</p>
4. Eprenez-vous des difficultés à percevoir qu'on vous pose une question ?	<p align="center">Pas du tout Parfaitement</p>  <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p align="center">Min Max</p>
5. Vous arrive-t-il de ne pas percevoir qu'on vous a donné un ordre, qu'on vous a demandé de faire quelque chose ?	<p align="center">Pas du tout Souvent</p>  <p align="center">0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p> <p align="center">Min Max</p>

Annexe VI : Grille d'observation (page 1)

GRILLE D'OBSERVATION

Exercices de rééducation pour améliorer la perception de la prosodie chez l'adulte sourd implanté cochléaire

EXERCICES		OBSERVATIONS
SEANCE 1 : __ / __ / 2016		
CONTOURS MELODIQUES	Intervalles de hauteur <hr/> <i>Niveau atteint (octave, sexte, sixte, quinte, quarte, tierce, ton et demi-ton)</i>	
	Discrimination → contours montant/descendant <hr/> <i>Niveau atteint (I-II-III / grave-aigu)</i> <hr/> <i>Instrument facilitateur</i>	
PROSODIE	Apprentissage <hr/> <i>Remarques</i>	
	Exercice 1 : phrases <hr/> <i>(facultatif)</i>	
SEANCE 2 : __ / __ / 2016		
CONTOURS MELODIQUES	Intervalles de hauteur <hr/> <i>Niveau atteint</i> <hr/> <i>Instrument facilitateur</i>	
	Discrimination → contours montant/descendant <hr/> <i>Niveau atteint</i>	
	→ parmi tous les contours <hr/> <i>Niveau atteint</i>	
PROSODIE	Apprentissage <hr/> <i>(rappel)</i>	
	Exercice 1 : phrases <hr/> <i>Phrases travaillées</i> <hr/> <i>Modalités mieux perçues ?</i>	

Annexe VI : Grille d'observation (page 2)

EXERCICES		OBSERVATIONS
SEANCE 3 : __ / __ / 2016		
CONTOURS MELODIQUES	Apprentissage multimodal	
	<i>Difficultés ?</i> <i>Mode préféré</i> <i>(visuel, kinesthésique...) ?</i>	
CONTOURS MELODIQUES	Identification (support visuel)	
	→ contours montant/descendant <i>Difficultés ? Remarques ?</i> <i>Niveau atteint</i>	
PROSODIE	Exercice 1 : phrases	
	<i>Phrases travaillées</i> <i>Modalités mieux perçues ?</i>	
PROSODIE	Exercice 2 : phrases et images	
	<i>Apprentissage</i>	
SEANCE 4 : __ / __ / 2016 <i>Explications Angelsound</i>		
CONTOURS MELODIQUES	Apprentissage	
	<i>(Rappel)</i>	
CONTOURS MELODIQUES	Identification (support visuel)	
	→ contours montant/descendant <i>(Rappel)</i> → parmi tous les contours <i>Niveau atteint</i>	
PROSODIE	Exercice 2 : phrases et images	
	<i>(Rappel)</i>	
PROSODIE	Exercices 3	
	<i>Apprentissage</i>	

Annexe VI : Grille d'observation (page 3)

EXERCICES		OBSERVATIONS
SEANCE 5 : __ / __ / 2016		
CONTOURS MELODIQUES	Identification (support visuel) ----- (Rappel)	
	Identification (mémoire auditive) → tous les contours	
PROSODIE	Exercice 3 : dialogues -----	
	Exercice 4 : dialogues en images <i>Apprentissage/sensibilisation</i>	
SEANCE 6 : __ / __ / 2016		
CONTOURS MELODIQUES	Identification (mémoire auditive) ----- (Rappel)	
	Reconnaissance → tous les contours	
PROSODIE	Exercice 4 : dialogues en images -----	

Contour mélodique niveau I 5 demi-tons

IA. Registre grave

Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

4 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

7 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

IB. Registre aigu

10 Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

13 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

16 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

Annexe VII : partitions utilisées pour l'enregistrement des contours mélodiques instrumentaux (niveau II)

Contour mélodique niveau II

3-4 demi-tons

IIA Registre grave

Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

4 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

7 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

IIB Registre aigu

10 Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

13 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

16 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

Annexe VII : partitions utilisées pour l'enregistrement des contours mélodiques instrumentaux (niveau III)

Contour mélodique niveau III

1-2 demi-tons

IIIA Registre grave

Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

4 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

7 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

IIIB Registre aigu

10 Contour n° 1 Contour n° 2 Contour n° 3

13 Contour n° 4 Contour n° 5 Contour n° 6

16 Contour n° 7 Contour n° 8 Contour n° 9

LETTRE D'INFORMATION

Impact d'une rééducation orthophonique ciblée sur la perception de la prosodie chez les patients implantés cochléaires

Médecin porteur de l'étude

Pr Mathieu Marx, Service ORL, CHU Purpan
Tel : 05-61-77-77-04
Place du Dr Baylac, 31059 Toulouse

Autres participants

Mme Fanny Lambert
Mme Cécile Desgraves
M. Chris James
Mme Marie-Laurence Laborde
Mme Marjorie Tartayre

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une étude concernant la perception de la prosodie chez les patients implantés cochléaires. La prosodie est souvent assimilée à la mélodie de la voix et permet, par l'intonation mise dans le discours ou l'accentuation de certains mots, de moduler le sens du message que l'on cherche à communiquer. C'est la prosodie qui nous permet, par exemple, de déterminer si une phrase est prononcée de manière affirmative, interrogative ou exclamative.

Pourquoi cette recherche ?

Les résultats de l'implant cochléaire sont, en règle générale, très satisfaisants pour la compréhension des mots dans une phrase quand celle-ci est prononcée dans le silence. On estime ainsi que 80% des mots sont correctement reconnus par plus de 80% des patients. En revanche, les études sur la perception de la prosodie par les patients implantés cochléaires réalisées récemment font état de capacités limitées. Une étude récemment réalisée par le service ORL, CHU Purpan, souligne ainsi les difficultés rencontrées pour distinguer une question d'une affirmation.

La présente étude est réalisée dans le cadre d'un mémoire de fin d'études d'orthophonie (Fanny Lambert, Cécile Desgraves). Elle a pour objectif d'évaluer l'impact d'une rééducation orthophonique spécifique sur les performances pour la perception de la prosodie. Cette rééducation comprend 6 séances réalisées au sein de l'Unité d'implant Auditif, associées à un auto-entraînement auditif, réalisé au domicile au moyen d'un logiciel gratuit (*Angelsound*[®], <http://www.emilyfufondation.org>). Ces séances seront axées sur le travail de la hauteur des sons, grâce à l'écoute et à la comparaison de mélodies, dans le but de faire correspondre un contour mélodique à l'intonation d'une phrase.

Le logiciel *Angelsound*[®] permet de réaliser chez soi, devant son ordinateur, des exercices comparables.

Annexe VIII : (a) Lettre d'information à destination des patients (page 2)

Déroulement de la recherche

La première visite (V1) aura lieu au sein de l'Unité d'Implant Auditif du service ORL, CHU Purpan et nous permettra de vérifier que vous pouvez être inclus dans cette étude. Deux tests permettant d'évaluer votre perception de la prosodie seront réalisés. Le premier test nous permet de mesurer la plus petite différence de hauteur entre deux sons que vous arrivez à percevoir. Le second test évalue vos capacités de reconnaissance d'une phrase prononcée sous la forme interrogative ou sous la forme affirmative.

Suite à cette première visite, 6 séances de rééducation orthophonique spécifiques seront programmées au sein de l'Unité d'Implant Auditif du service ORL, CHU Purpan. Ces séances se dérouleront sur une période de janvier à mars, à raison d'une séance par semaine le premier mois, suivi de deux séances durant la phase d'auto-entraînement. Les instructions concernant le téléchargement et l'utilisation du logiciel *Angelsound*[®] vous seront expliquées et remises par écrit. L'utilisation de ce logiciel chez vous doit être la plus régulière possible : un entraînement de 2 à 3 séances par semaine est recommandé.

La seconde visite (V2) aura lieu à la fin de cette période d'entraînement (début avril) au sein de l'Unité d'Implant Auditif du service ORL, CHU Purpan. Les mêmes tests seront réalisés (perception de la hauteur, reconnaissance de phrases interrogatives ou affirmatives) afin d'évaluer l'impact de la rééducation orthophonique que vous aurez suivie.

Après avoir lu cette note d'information, n'hésitez pas à nous poser toutes les questions que vous désirez. Nous vous prions de croire, Madame, Monsieur, en notre considération distinguée.

M. Marx

Annexe VIII : (b) Exemple de lettre de convocation envoyée aux patients

HÔPITAL PURPAN

Place du Docteur Baylac
TSA 40031
31059 Toulouse Cedex 9



PÔLE CEPHALIQUE

SERVICE

D'O.R.L. ET OTONEUROLOGIE

Professeur Bernard FRAYSSE
Chef de Service
Secrétariat 05 61 77 24 01
Portable 06 03 44 18 53
fraysse.b@chu-toulouse.fr

Professeur O. DEGUINE
Secrétariat 05 61 77 22 11
Télécopie 05 61 77 21 49

Docteur M.-J. ESTEVE-FRAYSSE
Secrétariat 05 61 77 77 70
Docteur M.-N. CALMELS
Secrétariat 05 61 77 95 77
Docteur M. MARX
Secrétariat 05 61 77 77 04
Docteur A. HONEGGER
Secrétariat 05 61 77 95 77
Docteur B. BALADI
Secrétariat 05 61 77 22 11
Docteur M. DAHMANI
Secrétariat 05 61 77 77 70
Docteur N. MARTIN-DUPONT
Secrétariat 05 61 77 92 80
Docteur B. LESCURE
Secrétariat 05 61 77 24 01

CONSULTATIONS

Rendez-vous 05 61 77 21 19
Programmation RV Hospitalisation
Téléphone 05 61 77 77 68
Secrétariat 05 61 77 77 70
Télécopie 05 61 77 76 81
orlpu.consult@chu-toulouse.fr

HOSPITALISATION

Service 05 61 77 23 14
Secrétariat 05 61 77 77 04

EXPLORATIONS VERTIGES-ACQUPHÈNES

Secrétariat 05 61 77 77 70 - 05 61 77 21 19
Docteur M.-J. ESTEVE-FRAYSSE
Docteur M.-J. BOUNAIX

UNITÉ D'IMPLANT AUDITIF

Secrétariat 05 61 77 95 77
Orthophoniste
M.-L. LABORDE
Téléphone 05 61 77 77 92
orlpu.uia@chu-toulouse.fr

UNITÉ PÉDIATRIQUE

IMPLANTATION COCHLÉAIRE

N. COCHARD
Téléphone 05 62 25 56 93
Télécopie 05 62 25 56 93
upic31@chu-toulouse.fr

CONSULTATIONS SPÉCIALISÉES

Surdité de l'enfant

Docteur A. HONEGGER
honaggar.a@chu-toulouse.fr

O.R.L. Pédiatrique

Docteur M.-N. CALMELS
calmels.mn@chu-toulouse.fr

Cs pluridisciplinaire acouphène

Docteur M.-J. ESTEVE-FRAYSSE
fraysse.mj@chu-toulouse.fr

Génétique

Docteur D. DUPIN-DEGUINE
Secrétariat 05 61 77 92 89

O.R.L. Générale

Docteur F. BAUBY
Docteur B. LIBES
Docteur S. LAGLEYRE

ANESTHÉSISTES

Docteur B. JULIA
Docteur F. NOVES
Docteur C. DUPAS
Téléphone 05 61 77 95 80

A l'attention de [REDACTED]

A Toulouse, le 16/10/2015

Madame,

Dans le cadre de notre mémoire d'orthophonie nous réalisons une étude sur la perception de la **prosodie** chez les personnes porteuses d'un implant cochléaire. A ce titre nous avons rejoint cette année l'équipe du service ORL de l'hôpital PURPAN dirigée par le Pr. FRAYSSE.

Le Pr. Fraysse, le Pr. Marx et toute l'équipe du service ORL vous sollicitent pour participer à cette étude, dont vous trouverez l'explication détaillée dans la lettre d'information ci-jointe, et vous proposent un rendez-vous le :

20/11/2015 à 11h

Unité d'implant auditif Service ORL

Hôpital Pierre Paul Riquet

Durée : 45 min

Phase 1

➤ Evaluation de vos performances en perception de la prosodie

Tests d'une
durée de 30 min

Phase 2

Pour les patients dont les scores à la phase 1 justifieraient une prise en charge

➤ Evaluation de l'efficacité d'une rééducation orthophonique visant à améliorer la perception de la prosodie

Rééducation orthophonique
De janvier à mars
6 séances + auto-entraînement

Réévaluation de vos performances sur la perception de la prosodie
(tests de la phase 1)

Si toutefois la date que nous vous proposons ne vous convenait pas, merci de bien vouloir nous contacter :

Mlle DESGRAVES Cécile

Mlle LAMBERT Fanny

memoireprosodie.cecilefanny@hotmail.com

Vous remerciant par avance, nous vous prions d'agréer, Madame, l'expression de nos sentiments distingués.

Cécile DESGRAVES – Fanny LAMBERT

PROGRESSION DES SEANCES

CONTOURS MELODIQUES INSTRUMENTAUX	CONTOURS MELODIQUES PROSODIQUES
Séance 1	
<ul style="list-style-type: none"> - Intervalles de hauteur - Discrimination (contour montant, descendant et plat) niveau I puis II 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 1 : contours prosodiques (familiarisation et apprentissage)
Séance 2	
<ul style="list-style-type: none"> - Intervalles de hauteur (rappel) - Discrimination (contour montant, descendant et plat pour rappel, puis tous les contours) niveau I, II et III 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 1 : contours prosodiques (familiarisation et apprentissage + exercice)
Séance 3	
<ul style="list-style-type: none"> - Apprentissage des contours - Identification parmi deux contours (montant-descendant) niveau I, II et III (visuel) puis parmi toutes les courbes si réussite 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 1 : contours prosodiques - Exercice 2 : contours prosodiques et images
Séance 4	
<ul style="list-style-type: none"> - Apprentissage des contours (rappel) - Identification parmi tous les contours (visuel) niveau I, II et III = Angelsound 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 2 : contours prosodiques et images
Logiciel AngelSound™ (explications)	
Séance 5	
<ul style="list-style-type: none"> - Apprentissage des contours (rappel) - Identification parmi tous les contours (visuel) et identification en mémoire auditive niveau I, II et III 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 3 : contours prosodiques et situation de dialogue écrit
Séance 6	
<ul style="list-style-type: none"> - Apprentissage des contours (rappel) - Identification parmi tous les contours (visuel et mémoire auditive) niveau I, II et III - Reconnaissance niveau I, II et III 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice 4 : contours prosodiques et situation de dialogue en image

TELECHARGEMENT DU LOGICIEL ANGELSOUND®

Prévoir 30-40 min pour le téléchargement

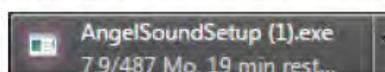
Sur Internet, entrez l'adresse suivante dans votre moteur de recherche pour atteindre la page de téléchargement :

http://angelsound.tigerspeech.com/angelsound_download.html

Faites défiler la page jusqu'à « **Option 1 : online downloading (for PC only)** » et cliquez sur la barre bleue suivante :



Le téléchargement d'AngelSound se lance. Une fenêtre de ce type va s'ouvrir :



Le temps restant de téléchargement y est indiqué. Le fichier est lourd, cela peut prendre quelques minutes.

Lorsque le téléchargement est terminé, cliquez sur la fenêtre. Une nouvelle fenêtre s'ouvre et vous demande :

« Voulez-vous autoriser le programme suivant
provenant d'un éditeur inconnu à apporter
des modifications à cet ordinateur »

→ Cliquez sur « oui »

- Une fenêtre AngelSound installation apparaît, cliquez sur « **next** »
- Puis « **I accept the terms of the license agreement** » et « **next** »
- Entrez le nom d'utilisation de votre choix, puis « **next** »
- Setup type : sélectionnez « **complete** » puis « **next** »
- Cliquez sur « **install** »

L'installation se lance.

Une dernière fenêtre apparaît, sélectionnez « **yes I want to restart my computer now** » (*Oui, je veux redémarrer mon ordinateur maintenant*) puis « **Finish** ».

L'ordinateur redémarre, vous avez terminé le téléchargement d'AngelSound. L'icône suivante est désormais disponible sur le bureau et vous permet de lancer l'application :



UTILISATION d'ANGEL SOUND®

Double-cliquez sur l'icône



puissur la barre

Please Click Here to Enter Angel Sound

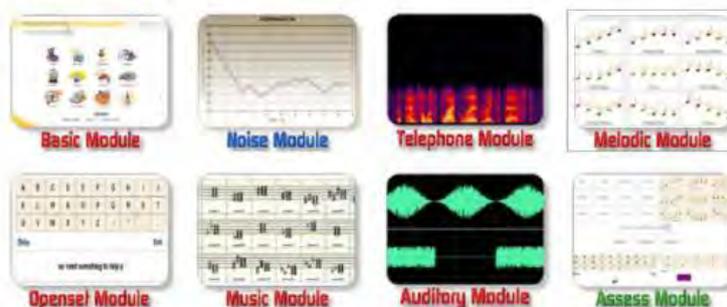
Une fenêtre s'ouvre :

- cliquez sur « **Session** » en haut à gauche,
- sélectionnez « **New** »,
- dans « **Session name** », écrivez votre nom, puis cliquez sur 

→ Vous avez créé une session à votre nom, qui permettra d'enregistrer vos résultats.

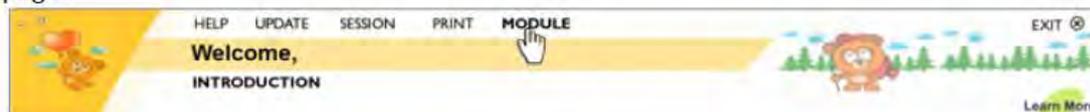
Double-cliquez sur votre nom : la session d'AngelSound est prête à démarrer.

Plusieurs modules vous sont proposés :



Pour choisir un module, cliquez dessus.

Pour revenir à la page d'accueil avec tous les modules, cliquer sur « **MODULE** » en haut de la page :



Pour chaque module :

- **Introduction** : explique le but de l'exercice
- **Preview** (*prévisualisation*) : permet de se familiariser avec l'exercice, par l'écoute des sons.
- **Training** (*entraînement*) : permet de s'entraîner à faire l'exercice
- **Test** : permet de faire l'exercice en enregistrant ses résultats
- **Result** : permet d'avoir accès à ses résultats, et au temps passé à faire l'entraînement

Il est donc conseillé de commencer par **Preview**, puis **Training** et enfin **Test**.

Il vous est recommandé d'utiliser ce logiciel **3 fois par semaine**, à raison de **30mn par jour**.

Pour toute question :

Cécile DESGRAVES - 06 64 85 04 66

Fanny LAMBERT - 06 72 09 81 46

memoireprosodie.cecilefanny@hotmail.com

CONSIGNES DE REEDUCATION

A chaque séance, nous vous recommandons de travailler au moins un des exercices de **Discrimination de notes** et au moins un exercice de **Reconnaissance des contours mélodiques**. De préférence, nous vous conseillons de commencer par l'exercice 1 de **Reconnaissance des contours mélodiques**. Il reprend ceux que nous avons vus en séance. Choisissez l'instrument que vous voulez au départ, puis entraînez-vous sur les autres.

Pour chaque exercice, notez sur le **livret de suivi** ce que vous avez fait :

- Le **temps passé** sur chaque exercice
- Les **difficultés** que vous avez rencontrées
- L'**instrument** que vous préférez : plus facile ? plus agréable ?

DISCRIMINATION DE NOTES

✓ Exercice 1

Allez dans :  A gauche, cliquez sur :  **Music Note Discrimination**

Dans **Preview**, vous pouvez écouter chaque note de musique séparément pour vous familiariser avec les notes.

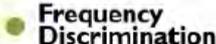
Dans **Training**, choisissez **level 1, 2...** selon votre niveau (commencez par le **level 1**).

Une fois le niveau choisi, il faut attendre que cette phrase apparaisse : Listen to the sound 

Vous allez alors entendre 3 sons : 2 sons sont identiques, un des sons est différent, cliquez sur celui que vous pensez être différent.

Dans **Test**, vous ne pouvez pas choisir le niveau et les réponses ne vous sont pas données au fur et à mesure.

✓ Exercice 2

Allez dans :  A gauche, cliquez sur :  **Frequency Discrimination**

Dans **Preview** et **Training**, vous pouvez choisir la gamme de fréquence dans laquelle vous voulez travailler :

- A3 = grave
- A4 = medium
- A5 = aigu

La consigne est la même que pour l'exercice 1 : vous allez entendre 3 sons : 2 sont identiques, l'un est différent, cliquez sur celui que vous pensez être différent.

RECONNAISSANCE DE CONTOURS MELODIQUES

✓ Exercice 1

Allez dans :



Ce module reprend les exercices vus en séance.

A gauche, choisir l'**instrument** en cliquant dessus.

Dans **Preview**, vous retrouverez tous les contours travaillés ensemble. Vous pouvez les réécouter en cliquant sur chacun d'eux.

Pour sortir, cliquer sur  à droite.

Dans **Training**, vous pouvez choisir le niveau (sur la ligne juste en dessous) :

- 5-6 semitones est le plus facile (l'intervalle entre chaque note est grand),
- 1 semitone est le plus difficile (intervalle réduit au demi-ton entre chaque note).

Une fois le niveau choisi, il faut attendre que cette phrase apparaisse : Listen to the sound 

Vous devez alors écouter le contour et cliquer sur celui que vous pensez avoir entendu.

Si vous n'êtes pas sûr de ce que vous avez entendu, vous pouvez à tout moment réécouter en cliquant sur :



Replay

Dans **Test**, vous ne pouvez pas choisir le niveau et les réponses ne vous sont pas données au fur et à mesure.

✓ Exercice 2

Allez dans :



A gauche, cliquez sur :  **Music Contour Segregation**

Cet exercice porte sur les mêmes contours que ceux du MELODIC MODULE (exercice 1), mais chaque contour est masqué par une note, qui est jouée en même temps que chaque note du contour mélodique. Vous pouvez choisir la note masquante (**A4 masker, A5 masker, A6 masker, A7 masker**).

Dans **Preview**, vous pouvez écouter et vous familiariser avec les contours mélodiques.

Dans **Training** et **Test**, vous choisissez la note masquante.

La consigne est la même que pour le MELODIC MODULE : vous allez écouter un contour, et cliquer sur celui que vous pensez avoir entendu.

Annexe XI : Livret de suivi du patient

Nom :

Date :

Séance n°

LIVRET DE SUIVI

Reconnaissance de contours mélodiques	Exercice 1	Instruments travaillés	Niveau	Temps passé	Commentaires <i>(instrument préféré, intérêt trouvé à l'exercice, difficultés rencontrées...)</i>
	Exercice 2	Nombre de questions faites <i>(/25)</i>	Note masquante <i>(A4, A5, A6, A7)</i>	Temps passé	Commentaires <i>(Note la plus perturbante, intérêt trouvé à l'exercice, difficultés...)</i>
Discrimination de notes	Exercice 1	Nombre de questions faites <i>(/25)</i>	Niveau	Temps passé	Commentaires
	Exercice 2	Nombre de questions faites <i>(/25)</i>	Gamme de fréquence choisie <i>(A3, A4, A5)</i>	Temps passé	Commentaires

Résumé

L'implant cochléaire permet actuellement une bonne discrimination de la parole dans le silence. Cependant, les difficultés restent importantes pour la perception de la prosodie. Cet élément suprasegmental du discours repose sur les variations des paramètres acoustiques de fréquence, d'intensité et de durée. La dégradation spectrale et temporelle du signal sonore par l'implant limite la perception de la fréquence. L'objectif de ce mémoire est d'étudier la perception de la prosodie linguistique grâce aux indices de fréquence chez l'adulte sourd post-lingual. Nos hypothèses portent sur la capacité à percevoir la fréquence fondamentale et la prosodie à partir des variations de fréquence, sur l'existence d'un lien entre ces deux perceptions et sur l'intérêt d'un entraînement à la perception de contours mélodiques pour améliorer les capacités perceptives du patient. Notre protocole comprend trois phases : un premier temps d'évaluation de la perception de la fréquence et de la prosodie chez 61 sujets, une phase d'entraînement chez 6 patients sélectionnés à l'issue des tests, un second temps d'évaluation des patients entraînés. Nos résultats confirment que la fréquence ainsi que la prosodie sont difficilement perceptibles par les sujets. La corrélation entre la perception de l'une et de l'autre est peu marquée et l'entraînement proposé n'a pas apporté d'amélioration significative. Ces conclusions, ainsi que la volonté des patients de continuer l'entraînement au-delà de cette étude, soulignent l'intérêt de poursuivre les recherches dans ce domaine, tant sur le plan de la technologie de l'implant que sur le plan thérapeutique, par un élargissement des axes de rééducation orthophonique.

Mots-clés : implant cochléaire, prosodie, fréquence, surdité post-linguale, entraînement, musique.

Abstract

Cochlear implants allow good recognition of speech in silence. Nevertheless, important difficulties in the perception of prosody still remain. This suprasegmental element of speech is based on variations of the acoustic parameters of frequency, intensity and duration. The spectral and temporal degradations of the sound signal by the implant limit the perception of frequency. The aim of our investigation was to study the perception of linguistic prosody based on frequency cues, in post-lingually deaf adults. Our hypotheses address the capacity to perceive the fundamental frequency and the prosody resulting from the variations of frequency, the existence of a link between these two perceptions and the effect of training the perception of melodic contours to improve the patient's perceptive abilities. Our protocol included three phases: a first evaluation of the perception of fundamental frequency and prosody in 61 subjects, a training phase for 6 patients selected after these tests, and a second evaluation of the 6 trained patients. Our results confirm that the perception of frequency and prosody is generally difficult for CI subjects. There was no strong correlation between the perception of frequency and prosody and training did not bring significant improvements. These conclusions, as well as the will of the patients to continue the training beyond this study, highlight the interest of pursuing research in this domain, with regards to both implant technology and therapeutic follow-up, with broadened rehabilitation approaches in speech therapy.

Key words : cochlear implant, prosody, frequency, post-lingual deafness, training, music.