HAL
open science

Perception des émotions non verbales dans la musique, les voix et les visages chez les adultes implantés cochléaires présentant une surdité évolutive

Emmanuèle Ambert-Dahan

To cite this version:

Emmanuèle Ambert-Dahan. Perception des émotions non verbales dans la musique, les voix et les visages chez les adultes implantés cochléaires présentant une surdité évolutive. Psychologie. Université Charles de Gaulle - Lille III, 2014. Français. NNT : 2014LIL30027 . tel-01176392

HAL Id: tel-01176392

https://theses.hal.science/tel-01176392

Submitted on 15 Jul 2015

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

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

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE LILLE - NORD DE FRANCE

Spécialité : Psychologie

Présentée par

Emmanuèle AMBERT-DAHAN

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ LILLE - NORD DE FRANCE

Perception des émotions non verbales dans la musique, les voix et les visages chez les adultes implantés cochléaires présentant une surdité évolutive

Soutenue le 11 Juillet 2014, devant le jury composé de :

Pr Séverine Samson, NCA, Université de Lille (Directeur de thèse)
Dr Daniel Pressnitzer, LPP, Ecole Normale Supérieure (Co-directeur de thèse)
Pr Sonja Kotz, University of Manchester (Royaume-Uni) et Max Planck Institute, Leipzig (Allemagne), (Rapporteur)
Dr Peggy Gatignol, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France (Rapporteur)
Dr Christine Moroni, NCA, Université de Lille (Examinateur)
Pr Olivier Sterkers, Université Pierre et Marie Curie (Président)

« Les mots manquent aux émotions. »
Victor Hugo

« C'est l'être humain qui m'intéresse. Son visage est la création suprême de la nature. »
Amedeo Modigliani

Remerciements

Je souhaite remercier très particulièrement ma directrice de thèse, Madame le Professeur Séverine Samson, dont la rencontre a rendue possible la réalisation de ces recherches dont le thème m'anime depuis de nombreuses années de pratique clinique. Je me souviens avec émotion de notre première discussion à ce sujet, de la qualité de son écoute et de sa pleine compréhension de mes intimes convictions. Je lui suis très reconnaissante de m'avoir acceptée avec mon parcours atypique et de m'avoir transmis avec autant de patience, de disponibilité et d'encouragements ses connaissances scientifiques. Je la remercie vivement pour les échanges passionnants au cours de nos séances de travail qui m'ont à chaque fois permis d'avancer dans ma réflexion et espère vivement qu'ils se poursuivront.

Je remercie très vivement Monsieur le Professeur Olivier Sterkers, dont la rencontre a été fondatrice dans mon parcours professionnel et scientifique, de mes débuts dans le service d'ORL de l'hôpital Beaujon à l'UF Otologie, Implants auditifs et Chirurgie de la base du crâne du Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière. Je le remercie de m'avoir permis de bénéficier de son envergure scientifique et de sa volonté d'excellence dans les domaines clinique et universitaire. Je lui suis très reconnaissante pour sa compréhension de l'intérêt que je porte aux Sciences Cognitives et des orientations qu'il m'a données depuis le début de mon travail dans son équipe. Son soutien attentif et bienveillant m'a permis de poursuivre mon cursus universitaire dans ce domaine. Je le remercie également pour son ouverture d'esprit et la confiance qu'il m'accorde.

Je remercie très affectueusement Madame Annie Dumont, Orthophoniste, enseignante et clinicienne exceptionnelle qui a éclairé mon parcours de ses connaissances pointues, de son esprit scientifique et de sa personnalité lumineuse. Une rencontre fondatrice, qui a marqué ma vie professionnelle de quelques mots : rigueur, professionnalisme et dépassement de soi. Son amitié est infiniment précieuse.

Je remercie le Dr Daniel Pressnitzer, mon co-directeur de thèse, d'avoir accepté de suivre ces travaux de recherche et de me faire partager ses connaissances dans le domaine de la Psychoacoustique. Je le remercie également pour ses conseils et ses enseignements.

Je remercie le Dr Isabelle Mosnier avec qui j'ai le plaisir de travailler dans le Centre Référent Implant Cochléaire Adulte d'Ile-de-France et Surdités Génétiques de l'Adulte du Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, pour l'intérêt et l'attention qu'elle a portés à ces travaux de thèse ainsi que pour l'élaboration de projets cliniques en rapport avec cette thématique de recherche. Je la remercie pour son esprit pragmatique et son soutien.

Je remercie le Dr Anne-Lise Giraud de m'avoir ouvert les portes du Laboratoire de Neurosciences Cognitives de l'ENS pour mon stage de Master de Sciences Cognitives et de m'avoir aidée dans l'élaboration de mon sujet de recherche. Je la remercie sincèrement pour la finesse d'analyse et l'expertise dans sa contribution à ces travaux de recherche.

Je remercie sincèrement Monsieur le Professeur Christian Lorenzi pour l'attention qu'il m'a portée, alors que ces travaux n'étaient qu'à l'état de projet, pour ses conseils éclairés et ses qualités pédagogiques dont j'ai bénéficié en suivant son enseignement dans le cadre du Cogmaster.

Je remercie sincèrement les membres de mon jury d'avoir accepté d'expertiser ce travail. J'en suis très honorée.

Je remercie particulièrement le Dr Didier Bouccara avec qui j'ai la chance de travailler au sein de l'équipe d'implantation cochléaire depuis de nombreuses années, ses qualités professionnelles et humaines sont exceptionnelles. Je le remercie pour ses précieux conseils et l'impulsion qu'il m'a donnée lors de l'élaboration de mon projet de recherche.

Je remercie très particulièrement Madame Martine Smadja, Directrice de l'Institut Francilien d'Implantation Cochléaire (IFIC), pour son amitié précieuse, son professionnalisme et le plaisir pris dans nos travaux communs. Nos chemins se sont croisés avec bonheur.

Je remercie chaleureusement mes consoeurs orthophonistes du Centre d'Implantation Cochléaire Adulte d'Ile-de-France, Mesdames Martine Smadja, Stéphanie Borel, Marion de Bergh et Amélie Liagre-Callies, pour nos échanges quotidiens et leurs encouragements pendant la réalisation de ma thèse. Je remercie aussi en particulier Véronique Pieters, pour son rire et ses attentions.

Je remercie, Madame Christel Carillo, psychologue du Centre d'Implantation Cochléaire Adultes d'Ile-de France, dont l'écoute toujours attentive et bienveillante ainsi que l'accueil toujours chaleureux sont très précieux.

Je remercie tous les patients et participants sains qui ont généreusement donné de leur temps pour la réalisation de ces études.

Je remercie les sociétés Med-El, Neurelec et Cochlear pour leur soutien logistique au cours de cette dernière année de thèse.

Je remercie spécialement mes parents dont l'histoire, personnelle et collective, et la personnalité hors du commun ont éclairé les choix les plus importants de ma vie. Je les remercie pour la confiance qu'ils m'ont toujours témoignée, leur regard bienveillant et leur soutien permanent. Je leur dédie cette thèse.

Je remercie très particulièrement ma mère dont l'intelligence si fine, la force de caractère, l'éclectisme et l'intuition exceptionnelle ont contribué à la construction de ma personnalité.

Je remercie Ariel, mon mari, pour son soutien indéfectible et l'intérêt qu'il a toujours porté à mon travail. Je le remercie pour sa capacité à développer une pensée contradictoire, pour sa finesse d'esprit et son humour que j'apprécie tant au fil de nos conversations … Ses conseils avisés sont aussi précieux que sa grandeur de cœur.

J'adresse des remerciements très particuliers à ma fille aînée, Bérénice dont l'esprit cartésien, l'intérêt pour mon travail et l'attention bienveillante m'ont encouragée au cours de ces années de thèse.
J'adresse des remerciements très personnels à ma fille cadette, Pénélope dont la façon si fine de manier la langue et l'imagination foisonnante donnent lieu à des discussions si agréables. Je les remercie vivement toutes les deux pour leurs grandes capacités d'adaptation et leur soutien toujours chaleureux et mêlé de fous rires.

A la mémoire d'Etka, ma grand-mère si exceptionnelle et tant aimée et à sa mère, Sarah, que je n'ai pas connue. Des femmes au courage exemplaire qui ont sauvé leurs enfants de l'anéantissement et permis à d'autres d'exister. Je leur dédie cette thèse.

Résumé

Le bénéfice de l'implant cochléaire pour la compréhension de la parole en milieu calme, et même dans certains cas pour des situations auditives complexes telles que les environnements bruyants ou l'écoute de la musique est aujourd'hui connu. Si la compréhension de la parole est nécessaire à la communication, la perception des informations non verbales transmises par la voix de même que des expressions faciales est fondamentale pour interpréter le message d'un interlocuteur. Les capacités de perception des émotions non verbales en cas de surdité neurosensorielle évolutive ont été très peu explorées. Les travaux menés dans cette thèse ont pour objectifs d'évaluer la reconnaissance des émotions non verbales dans les modalités auditive et visuelle afin de mettre en évidence d'éventuelles spécificités chez les adultes présentant une surdité évolutive. Pour cela, nous avons réalisé quatre études comportementales dans lesquelles nous avons comparé leurs performances à celles de sujets contrôles normo-entendants. Nous avons évalué le jugement des émotions portées par la musique, la voix et les visages à partir d'un paradigme expérimental impliquant la reconnaissance de catégories émotionnelles (i.e. joie, peur, tristesse...) et la perception des dimensions de valence et d'éveil de l'émotion exprimée. Les études 1 et 2 ont porté sur la reconnaissance des émotions auditives après implantation cochléaire en examinant tour à tour la reconnaissance des émotions portées par la musique et la reconnaissance de celles portées par la voix. Les études 3 et 4 ont porté sur la reconnaissance des émotions visuelles et, en particulier, des expressions faciales avant et après implantation cochléaire. Les résultats de ces études révèlent l'existence d'un déficit de reconnaissance des émotions plus marqué dans le domaine musical et vocal que facial. Il apparaît aussi une perturbation des jugements d'éveil, les stimuli étant perçus moins excitants par les patients que par les normo-entendants. Toutefois, la reconnaissance des voix et des musiques, bien que limitée, était supérieure au niveau du hasard démontrant les bénéfices de l'implant cochléaire pour le traitement des émotions auditives. En revanche, quelle que soit la modalité étudiée, les jugements de valence n'étaient pas altérés. De manière surprenante, les données de ces recherches suggèrent de plus que, chez une partie des patients testés, la reconnaissance des émotions faciales peut être affectée par la survenue d'une surdité évolutive suggérant les conséquences de la perte auditive sur le traitement des émotions présentées dans une autre modalité. En conclusion, il semblerait que la surdité, de même que l'insuffisance d'informations spectrales transmises par l'implant cochléaire, favorisent l'utilisation de la communication verbale au détriment de la communication non verbale.

Mots-clés : surdité évolutive, implant cochléaire, émotions non verbales, reconnaissance des émotions, éveil, valence.

Abstract

While cochlear implantation is quite successful in restoring speech comprehension in quiet environments other auditory tasks, such as communication in noisy environments or music perception remain very challenging for cochlear implant (CI) users. Communication involves multimodal perception since information is transmitted by vocal and facial expressions which are crucial to interpret speaker's emotional state. Indeed, very few studies have examined perception of non verbal emotions in case of progressive neurosensorial hearing loss in adults. The aim of this thesis was to test the influence of rehabilitation by CI after acquired deafness on emotional judgment of musical excerpts and in non verbal voices. We also examined the influence of acquired post-lingual progressive deafness on emotional judgment of faces. For this purpose, we conducted four experimental studies in which performances of deaf and cochlear implanted subjects were compared to those of normal hearing controls. To assess emotional judgment in music, voices and faces, we used a task that consisted of emotional categories identification (happiness, fear, anger or peacefulness for music and neutral) and dimensional judgment of valence and arousal. The first two studies evaluated emotional perception in auditory modality by successively examining recognition of emotions in music and voices. The two following studies focused on emotion recognition in visual modality, particularly on emotional facial expressions before and after cochlear implantation. Results of these studies revealed greater deficits in emotion recognition in the musical and vocal than visual domains as well as a disturbance of arousal judgments, stimuli being perceived less exciting by CI patients as compared to NH subjects. Yet, recognition of emotions in music and voices, although limited, was performed above chance level demonstrating CI benefits for auditory emotions processing. Conversely, valence judgments were not impaired in music, vocal and facial emotional tests. Surprisingly, results of these studies suggest that, at least for a sub-group of patients, recognition of facial emotions is affected by acquired deafness indicating the consequences of progressive hearing loss in processing emotion presented in another modality. Thus, it seems that progressive deafness as well as the lack of spectral cues transmitted by the cochlear implant might foster verbal communication to the detriment of the non verbal emotional communication.

Keywords : acquired deafness, cochlear implant, non verbal emotions, emotions recognition, arousal, valence.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE ……. 15

PARTIE THÉORIQUE …… 21

CHAPITRE 1 : L'IMPLANT COCHLEAIRE …….. 23

I. Principe ……... 24
II. Indications ……..... 28
III. Stratégies de codage …… 30
III.1 Les stratégies temporelles …… 31
III.2 Les stratégies spectrales ……... 32
III.3 Structure temporelle fine …….. 34
IV. Bénéfices de l'implantation cochléaire ……... 35
IV.1 Perception de la parole ……. 35
IV.2 Perception de la voix …… 36
IV.3 Implant cochléaire et audition résiduelle controlatérale …….. 38
V. Perception acoustique et implant cochléaire ……. 39
V.1 Intensité ……. 39
V.2 Durée ……. 42
V.3 Hauteur tonale …….. 43
V.4 Timbre ……... 45

CHAPITRE 2 : LES CONCEPTS DE BASE DES EMOTIONS ……. 47

I. La perspective évolutionniste des émotions ……50
II. Catégories et dimensions émotionnelles ……... 52
III. Emotion et cognition ……... 55
III.1 La théorie bifactorielle de Schachter & Singer (1962) …… 55
III.2 Le modèle d'intégration des voix et des visages (Belin & Campanella) …. 56

CHAPITRE 3 : CONSEQUENCES DE LA SURDITE SUR LA PERCEPTION ET LES EMOTIONS AUDITIVES 59

I. Perception des indices acoustiques 61

I.1 Sélectivité fréquentielle et intensité 61

I.2 Zones cochléaires inertes 63

I.3 Hauteur 64

I.4 Perception de la structure temporelle 65

II. Perception de la voix après implantation cochléaire 67

III. Perception et émotions musicales après implantation cochléaire 70

II.1 Perception musicale 71

II.1.1 Rythme 71

II .1.2 Mélodie 73

II .1.3 Timbre 74

II.2 Emotions musicales avec l'implant cochléaire 75

CHAPITRE 4 : CONSEQUENCES DE LA SURDITE SUR LE TRAITEMENT DES EMOTIONS FACIALES 77

I. Surdité et émotions faciales 79

II. Avec l'implant cochléaire 83

BILAN DES OBJECTIFS 85

PARTIE EXPÉRIMENTALE 91

CHAPITRE 1 : RECONNAISSANCE DES CATEGORIES ET DES DIMENSIONS EMOTIONNELLES MUSICALES APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE (ETUDE 1) 93

CHAPITRE 2 : PERCEPTION DES EMOTIONS NON VERBALES DANS LES VOIX APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE (ETUDE 2) 117

CHAPITRE 3 : PERCEPTION DES EMOTIONS NON VERBALES DANS LES VISAGES AVANT ET APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE (ETUDES 3 ET 4) …… 149

I. Reconnaissance des expressions faciales dynamiques avant et après implantation cochléaire chez des adultes présentant une surdité évolutive (Etude 3) …….. 149

II. Perception des émotions faciales chez des adultes présentant une surdité évolutive évalués avant et après implantation cochléaire (Etude 4) …… 179

PARTIE DISCUSSION …….. 197

DISCUSSION GENERALE …… 197

CONCLUSION ET PERSPECTIVES ……..... 208

Références bibliographiques ……. 213

Annexes ……. 227

Introduction générale

I- Introduction

Charles Darwin figure parmi les premiers à s'être intéressé à un domaine encore inexploré au 19ème siècle, celui de l'étude des expressions vocales et faciales. Dans *L'expression des émotions chez l'homme et l'animal* (1872), il a introduit l'idée que des émotions telles que la joie, la colère, la tristesse et la peur pouvaient être universellement partagées. Selon la perspective évolutionniste de Darwin, les émotions seraient héritées de nos ancêtres, innées et à visée essentiellement communicative. Elles pourraient donc être considérées comme des réponses adaptatives intégrées aux processus qui assurent aux organismes la régulation de leur survie et auraient alors une fonction biologique double en produisant d'une part, une réaction spécifique à la situation inductrice et d'autre part, en régulant l'état interne de l'organisme afin de le préparer pour une réaction spécifique. Dans la lignée de Darwin, Ekman (1976) a orienté ses recherches sur les expressions faciales et confirmé l'hypothèse de leur utilité pour la communication interpersonnelle. Selon lui, l'expression faciale serait le pivot de la communication entre les humains et savoir décrypter les émotions sur les visages faciliterait les relations sociales. La voix joue également un rôle important dans la communication. Si l'étude des émotions portées par les expressions vocales a été longtemps négligée, de récents travaux ont montré que les informations contenues dans les expressions vocales permettaient d'identifier l'état émotionnel d'un individu et de renseigner son interlocuteur sur son identité et son état mental (Belin et al., 2008).

L'émotion est une notion à la fois complexe, floue et propre à chaque individu. Il est très difficile de définir le concept d'*émotion* mais on peut évoquer le travail de Damasio (1999) qui relève son caractère public, pouvant parfois se traduire par une manifestation physiologique observable, par opposition au *sentiment* qui ferait référence à l'expérience mentale et privée d'une émotion. L'émotion correspondrait alors à la capacité dynamique d'adaptation et de changement qui permettrait à l'être humain de créer des relations et d'interagir avec autrui. La communication orale d'une émotion peut s'établir de façon verbale grâce au choix des mots ou de façon non verbale en modulant les caractéristiques suprasegmentales de la parole et les expressions vocales mais aussi faciales, ce qui renforce l'impact du message et rend la communication plus efficace.

La perception de la parole et du langage est bien évidemment nécessaire à la communication mais de nombreux travaux soulignent l'importance des émotions (Scherer, 1995). Qu'il

s'agisse de la perception des émotions visuelles transmises par les expressions faciales ou par les mouvements du corps ou encore des émotions auditives transmises par les expressions vocales soit la prosodie, les interjections ou encore portées par la musique, les émotions apparaissent être la clé de voûte des relations interpersonnelles. La perception des émotions met donc en jeu plusieurs modalités sensorielles. Elle bénéficie de la redondance d'indices variés comme c'est le cas pour la perception audiovisuelle de la parole. La notion d'intégration multimodale (Lee et al., 2007) jouerait alors un rôle essentiel dans la communication verbale et non verbale et, en particulier, dans le jugement des émotions.

La surdité modifie la communication tout comme la vie sociale, les personnes atteintes de surdité étant en effet très isolées. Au lieu de reposer sur le traitement des indices fournis par les différentes modalités sensorielles comme les normo-entendants, la communication des individus sourds va dépendre des modalités sensorielles disponibles, c'est-à-dire essentiellement de la vision. En effet, les modalités sensorielles préservées vont jouer un rôle important dans la communication, la lecture labiale devenant alors un support essentiel pour le traitement de l'information verbale.

Un grand nombre d'études a examiné l'importance du traitement visuel dans la surdité (voir revue Frasnelli et al., 2011) avec notamment, beaucoup de travaux sur la lecture labiale. En effet, les personnes sourdes utilisent la modalité visuelle pour remplacer ou compenser leur perte auditive. Ainsi, la lecture labiale, ou encore le langage gestuel dans le cas de surdités précoces sont très utilisés et apportent une aide précieuse pour percevoir un message verbal. Toutefois, l'utilisation de la modalité visuelle va dépendre de l'âge d'apparition de la surdité. En cas de surdité congénitale ou de survenue très précoce, la personne sourde qui n'aura jamais été ou peu exposée à la modalité auditive, va apprendre à communiquer avec les modalités qui lui restent. En revanche, lorsque la surdité est acquise plus tardivement (i.e. surdité dite post-linguale), la communication fondée sur l'intégration multimodale qui caractérise l'individu normo-entendants va être bouleversée par l'apparition de la surdité. La perte auditive qui survient chez un individu ayant bénéficié tout au long de son développement, ou du moins pendant toute la période critique d'acquisition du langage, d'un environnement sonore comparable à celui des normo-entendants, va donc avoir des conséquences différentes sur la communication. Dans ce contexte, une personne devenue sourde pourrait profiter de ses acquis antérieurs. Les difficultés de communication liées à une surdité d'apparition tardive ne seront, de ce fait, pas nécessairement comparables à celles rencontrées par les personnes présentant une surdité d'apparition précoce.

Il est bien connu que la privation sensorielle a pour conséquence d'entraîner des réorganisations corticales. Des études ont montré que la survenue d'une perte auditive progressive entraînait une réorganisation corticale. Les régions impliquées dans le traitement de la parole vont être mises à la disposition du traitement visuel des informations verbales (Lee et al., 2007). En cas de privation auditive, les propriétés dynamiques du réseau cérébral faciliteraient une réorganisation permettant aux aires corticales voisines d'étendre leur activité à des régions normalement dédiées à la fonction sensorielle atteinte. L'existence d'une telle plasticité permettrait ainsi le développement de réorganisations inter modales, les circuits neuronaux habituellement utilisés par la modalité sensorielle touchée pouvant être recrutés par une modalité intacte. De cette manière, des régions responsables du traitement auditif chez les sujets normo-entendants pourraient être recrutées pour le traitement d'informations visuelles chez les individus atteints de surdité (Finney et al., 2003, 2001; Pettito et al., 2000) tandis que des régions visuelles pourraient être recrutées pour le traitement d'informations auditives chez les personnes atteintes de cécité (Sadato et al., 1996; Wanet-Dafalque et al., 1998). Plusieurs auteurs ont mis en évidence des compétences visuelles spécifiques avec des temps de réaction plus rapides chez des sujets atteints de surdité que chez les sujets normo-entendants (Bottari et al., 2012) et de meilleures capacités de détection visuelle dans le champ périphérique (Bavelier et al;, 2006), d'attention spatiale (Dye and Bavelier, 2010) et de sensibilité tactile (Levänen & Harmdorf, 2001).

S'il existe une plasticité cérébrale possible tout au long de la vie (Rauschecker, 1995), une période critique a été mise en évidence au cours du développement neurobiologique au-delà de laquelle les réorganisations corticales ne peuvent plus opérer de façon optimale. En ce qui concerne le développement du réseau cortical impliqué dans la perception audiovisuelle de la parole en cas de surdité, cette période sensible durerait environ deux ans et demi. La fusion bimodale des informations auditive et visuelle serait optimale pendant cette période (Schorr et al., 2005). Dans une récente revue de littérature, Sharma et al., (2011) a confirmé que cette période sensible serait plus longue, pouvant alors se poursuivre jusqu'à l'âge de trois ans et demi, même si les deux premières années de vie semblent plus importantes. Elle correspondrait également à la période optimale de stimulation des voies auditives centrales par un implant cochléaire, permettant ainsi une maturation normale du cortex auditif.

Toutefois, dans le cas des surdités acquises tardivement, la question de la période critique ne se pose pas puisque la perte auditive est survenue bien plus tard. Dans ces circonstances, bien que les représentations mnésiques audiovisuelles des phonèmes puissent être altérées au cours

de la surdité, elles pourraient encore être exploitables lors de la réhabilitation avec l'implant cochléaire (Lyxell et al., 1994). Les capacités de compréhension de la parole dépendraient donc de la préservation de l'intégrité du réseau cortical impliqué dans le traitement phonologique audiovisuel durant la surdité et probablement de la connectivité inter modale latente développée depuis l'enfance (Lee et al., 2007). Cela pourrait expliquer les différences inter individuelles observées au niveau de la lecture labiale chez les individus présentant une surdité acquise progressivement. Selon une autre hypothèse proposée par Meredith & Stein (1996), le bénéfice multi sensoriel serait maximal lorsque l'une des modalités sensorielles (auditive ou visuelle) est la moins fonctionnelle. Ce principe, connu sous le nom d'efficacité inverse (*inverse effectiveness)*, suggère que la surdité aurait un impact sur la balance multimodale. Il serait donc possible que l'âge de sa survenue influence ce principe.

Dans le cadre de nos recherches de thèse, nous avons examiné la perception des émotions en présence d'une surdité neurosensorielle évolutive chez des sujets adultes. La surdité neurosensorielle (ou de perception cochléaire) désigne une atteinte d'une partie des cellules sensorielles de l'oreille interne (cellules ciliées internes) entraînant un dysfonctionnement des processus cochléaires. Ces derniers permettent la transformation des informations sonores provenant de l'oreille moyenne en impulsions nerveuses transmises par le nerf auditif jusqu'au cortex. Dans ce cas, une approche thérapeutique fréquemment utilisée est l'implantation cochléaire dont le principe est de stimuler électriquement, par l'intermédiaire d'électrodes placées dans la cochlée, les fibres nerveuses auditives préservées afin de rétablir des afférences vers le système nerveux central (Wilson & Dorman, 2008). La réhabilitation avec l'implant cochléaire (IC) améliore considérablement, souvent même de manière spectaculaire, les capacités de perception de la parole avec des performances supérieures à 80% pour la compréhension de phrases dans le calme sans lecture labiale pour la majorité des sujets implantés (Rouger et al., 2007; Wilson & Dorman, 2011). Cependant, la compréhension de la parole dans le bruit ou en présence de plusieurs interlocuteurs représente un enjeu délicat pour de nombreuses personnes implantées. Il existe dans ces circonstances une variabilité interpersonnelle importante qui reste difficile à expliquer.

Si la compréhension de la parole est nécessaire à la communication, les informations non verbales transmises par la voix sont également fondamentales pour interpréter le message d'un interlocuteur. La surdité affecte très certainement le traitement des émotions auditives comme c'est le cas pour la parole. Ainsi, bien que la perception des émotions transmises auditivement, comme les émotions vocales et musicales, soit très limitée chez les adultes

atteints de surdité, l'implant cochléaire devrait permettre, dans une certaine mesure, de les percevoir, c'est notamment ce que nous allons examiner dans les deux premières études de cette thèse. De même, les émotions visuelles transmises par les expressions faciales sont très importantes dans la communication. Nous avons vu qu'une privation sensorielle avait pour conséquence d'entraîner des réorganisations corticales. En particulier, la perte auditive pourrait être compensée par la modalité visuelle (Lee et al., 2007). Cette sollicitation intensive de la modalité visuelle se traduit par l'utilisation importante de la lecture labiale pour améliorer la compréhension verbale. Toutefois, il est difficile de se prononcer à l'heure actuelle sur l'efficacité de la modalité visuelle pour juger les expressions faciales chez les personnes sourdes. La perception des émotions dans la surdité a fait l'objet de très peu d'études. Seuls quelques travaux ont été réalisés chez des personnes présentant une surdité congénitale. Certains auteurs ont rapporté des déficits pour la perception des émotions faciales (Ludlow et al., 2010 ; Hopyan-Misakayan et al., 2009; Peterson & Siegal, 1995, 1998 ; Weisel & Bar-Lev, 1992), d'autres n'ont pas reproduit ces résultats (Most & Aviner, 2009 ; Weisel, 1985). Quant aux compétences des adultes atteints de surdité évolutive, aucune étude n'existe à notre connaissance.

Les travaux menés dans cette thèse ont pour objectifs d'évaluer la reconnaissance des émotions non verbales dans les modalités auditive et visuelle en présence d'une surdité acquise. Les deux premières études ont porté sur la reconnaissance des émotions auditives après implantation cochléaire en examinant tour à tour la reconnaissance des émotions portées par la voix et la reconnaissance de celles portées par la musique. Les études suivantes ont porté sur la reconnaissance des émotions visuelles et en particulier des expressions faciales, chez des personnes présentant une surdité de perception sévère à profonde évolutive, avant et après implantation cochléaire. Notre travail visait à examiner les conséquences de la surdité sur le traitement des émotions visuelles.

Dans ces recherches de thèse, nous avons évalué le jugement des émotions portées par la musique, la voix et les visages à partir d'un paradigme expérimental impliquant la reconnaissance de catégories émotionnelles (joie, peur, tristesse, colère ou apaisement pour la musique et neutralité) et la perception des dimensions de valence, correspondant au caractère agréable ou désagréable de l'émotion exprimée et d'éveil, faisant référence au degré d'excitation de l'émotion.

Partie théorique

Chapitre I

L’implant cochléaire

Après l'invention de l'implant mono-électrode (House, 1972) et le développement de l'implant 8-canaux par Chouard et al. (1976), les implants multi-canaux se sont développés dans les années 1980 grâce aux travaux d'Ingeborg et Erwin Hochmair en Autriche (fondateurs de la société Med-El) et de Graeme M. Clark en Australie (société Cochlear). En septembre 2013, ces derniers ont partagé avec Blake S. Wilson (Duke University, Etats-Unis) le prestigieux *Lasker-DeBakey Clinical Medical Research Award* pour avoir développé l'implant cochléaire dans sa version moderne. En 2010, le nombre de personnes ayant bénéficié d'un implant cochléaire était estimé à environ 220 000 personnes dans le monde. Ce chiffre est amené à augmenter dans les prochaines années compte tenu du bénéfice fonctionnel de l'implant cochléaire en termes de communication, des progrès chirurgicaux et technologiques ainsi que de l'extension des indications.

Nous nous intéresserons dans ce chapitre au principe de l'implant cochléaire et à ses indications puis au traitement des informations auditives par les principales stratégies de codage. Nous aborderons également la question du bénéfice de l'implantation cochléaire chez l'adulte atteint de surdité évolutive et examinerons la perception des différents paramètres acoustiques avec l'implant cochléaire (l'intensité, la durée, la hauteur tonale et le timbre) afin de mieux comprendre de quelle manière les informations sont perçues par les personnes implantées.

I. Principe

Depuis le début des années 1980, les avancées technologiques et médicales, notamment en termes de chirurgie, ont montré que restaurer la fonction auditive par un système artificiel utilisant la stimulation électrique des fibres nerveuses n'était pas un rêve mais une réalité. Il est aujourd'hui reconnu que l'implant cochléaire (illustré sur la figure I.1), au-delà de la restauration de la fonction d'alerte et de la perception des sons environnementaux, permet de restaurer une sensation auditive par la stimulation électrique des fibres du nerf auditif (Coez et al., 2008). Cette prothèse « implantée » comporte une partie externe et une partie interne : un microphone capte les sons qui sont ensuite transformés en signaux électriques par un microprocesseur. Ces signaux sont filtrés puis répartis en différents canaux correspondant à des bandes de fréquences avant d'être transmis à un récepteur implanté sous la peau, au niveau de la mastoïde. Ce récepteur traduit le signal reçu en une série d'impulsions électriques qu'il transmet au faisceau d'électrodes situé dans la cochlée. Celles-ci vont ensuite

directement stimuler les populations de fibres correspondantes du nerf auditif de telle sorte que les signaux électriques se propagent, en respectant la représentation tonotopique des fréquences au niveau de la cochlée, vers les régions du noyau cochléaire du tronc cérébral puis vers les aires cérébrales auditives.

Les informations verbales et non verbales contenues dans le signal de parole vont être transmises au nerf auditif après transformation par des stratégies de codage. Ces dernières vont permettre le codage d'indices temporels et spectraux à partir d'algorithmes privilégiant ou combinant ces deux types d'informations, comme c'est le cas actuellement. De plus, les progrès technologiques en matière de pré traitement du son, permettent aujourd'hui aux constructeurs d'implants cochléaires de proposer des options de programmation des processeurs orientées vers l'optimisation de la perception dans différentes situations d'écoute (milieu calme, environnements bruyants, conversations en groupe et écoute de la musique) de la vie quotidienne.

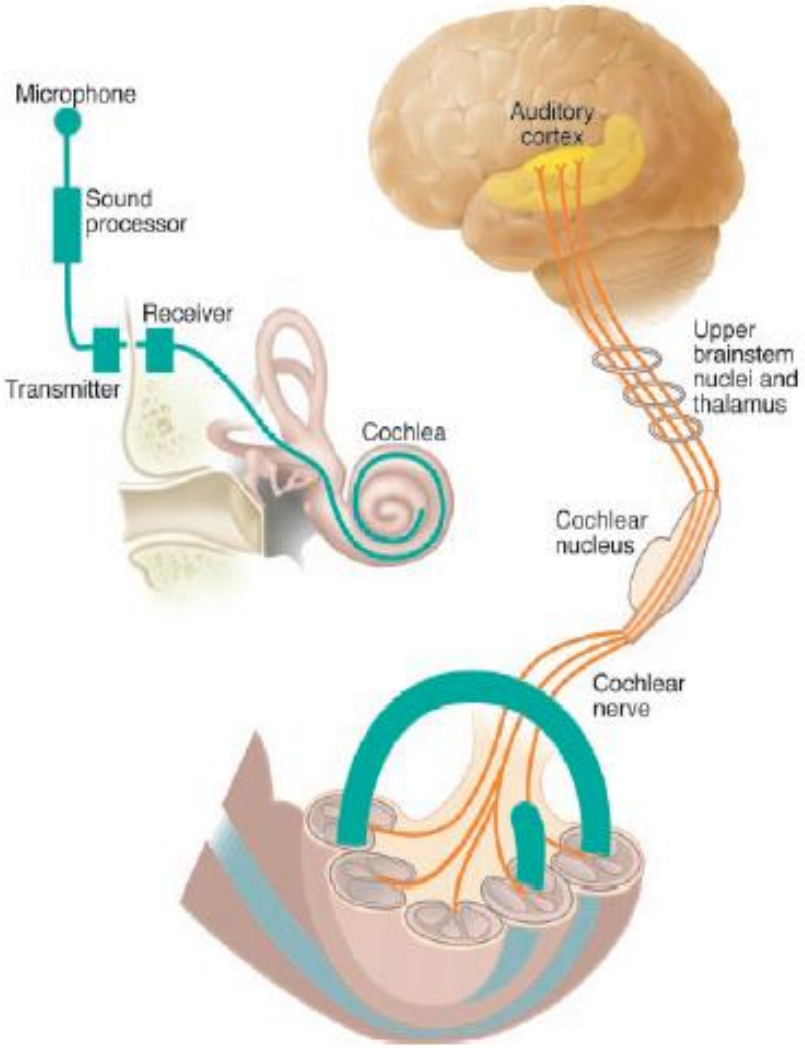


Figure I.1 : L'implant cochléaire (Rauschecker & Shannon, 2002).

Le système auditif est composé de l'oreille externe, de l'oreille moyenne comprenant la membrane tympanique et la chaîne ossiculaire et de l'oreille interne composée de la cochlée. Cette dernière contient les cellules ciliées internes qui activent les fibres du nerf cochléaire provenant des cellules du ganglion spiral et projetant vers le noyau cochléaire du tronc cérébral. Les informations sont ensuite transmises vers les centres de traitement auditifs supérieurs : le colliculus inférieur, le noyau géniculé médian et le cortex auditif primaire. L'implant cochléaire est composé d'un microphone externe qui capte les sons et d'un processeur vocal qui convertit les informations acoustiques en impulsions électriques transmises à un récepteur placé sous la peau. Ce récepteur envoie ensuite les impulsions électriques à un porte-électrodes implanté dans la cochlée. Les électrodes stimulent directement les différentes populations de neurones du nerf auditif en suivant la répartition tonotopique de la cochlée.

L'implant cochléaire permet d'accéder à la plupart des fréquences de la cochlée, à l'exception des plus basses représentées par les cellules ciliées situées dans la partie la plus fine, étroite et sinueuse de l'apex et donc inaccessibles aux électrodes. Ainsi, les systèmes implantés couvrent une étendue de fréquences allant de 250/350 à 8000 Hz. Cette étendue de fréquences reste toutefois bien inférieure à celle de l'audition normale qui s'étend de 20 à 16000 Hz. Cependant, dans une étude visant à isoler les propriétés acoustiques jouant un rôle spécifique dans le traitement des informations verbales et paraverbales au moyen d'une technique de filtrage des modulations spectro-temporelles, Elliott & Theunissen (2009) ont identifié des régions pertinentes dans le spectre. Les résultats de leur étude indiquent que les fréquences inférieures à 250 Hz ne sont pas indispensables pour le traitement de l'information verbale (voir figure I.2) et que la zone comprise entre 250 et 1000 Hz contribue à la transmission d'informations non verbales utiles pour l'identification du genre du locuteur.

Ainsi, la gamme fréquentielle entière n'est pas indispensable à la perception de la parole en raison d'un phénomène psychophysique appelé « résidu de hauteur », décrit par Helmholtz au 19ème siècle. En effet, si les sons ont suffisamment d'harmoniques, le cortex auditif, impliqué dans le traitement de haut niveau va pouvoir « reconstruire » la représentation de la fréquence fondamentale manquante en complétant les informations manquantes, comme le fait le cortex visuel pour la tâche aveugle ou les contours illusoires. Par conséquent, les sujets présentant une atteinte auditive survenue après l'acquisition du langage (surdité post linguale) peuvent bénéficier de cette capacité de « reconstruction » des informations souvent très rapidement après l'implantation cochléaire ce qui n'est pas le cas chez les individus présentant une surdité pré ou péri linguale, apparue avant ou pendant la période d'acquisition du langage (Rauschecker & Shannon, 2002).

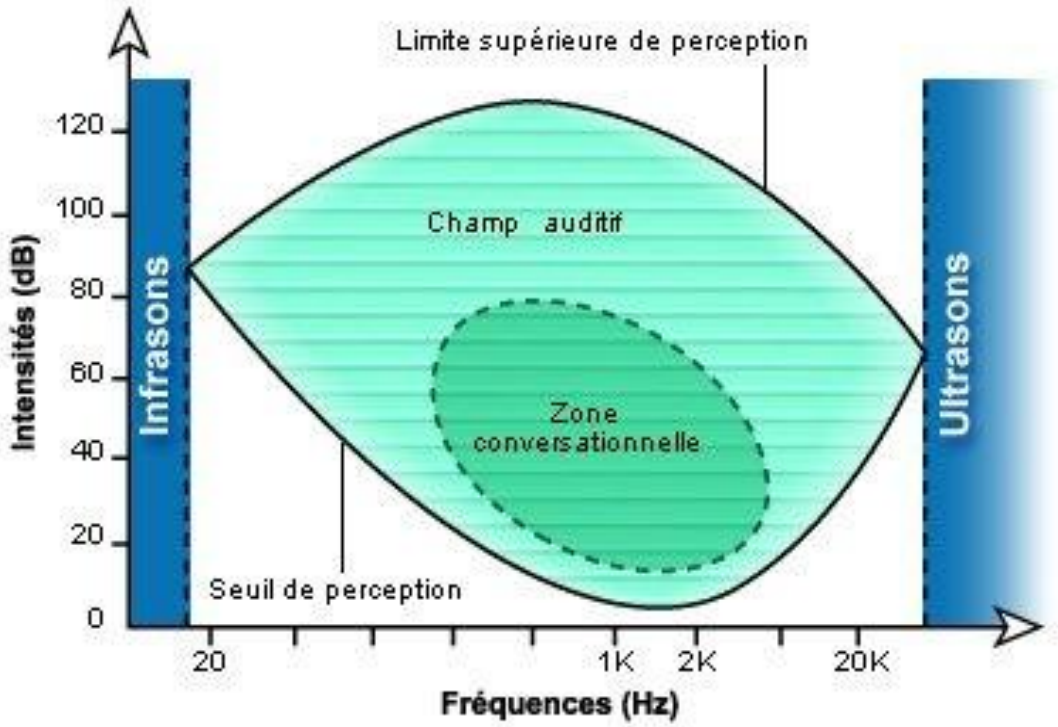


Figure I.2 : Vue schématisée de la zone de fréquence audible par l'oreille humaine (site INSERM, Montpellier)

II. Indications de l'implant cochléaire

Dans son rapport, la Haute Autorité de Santé (HAS, 2007) précise que « les implants cochléaires sont indiqués chez l'adulte dans le cas de surdités neurosensorielles sévères à profondes bilatérales, sans bénéfice d'un appareillage auditif conventionnel (numérique) optimal dont l'essai est nécessaire avant de proposer une chirurgie. La discrimination en audiométrie vocale doit être inférieure ou égale à 50% lors de la réalisation de tests d'audiométrie vocale avec la liste cochléaire de mots dissyllabiques de Fournier présentés à 60 dB HL, en champ libre avec des prothèses auditives adaptées ».

Ainsi, un grand nombre de patients ont bénéficié d'une implantation cochléaire unilatérale et portent conjointement une prothèse auditive controlatérale dont l'utilisation est indiquée tant qu'il persiste un bénéfice, même limité, pour la perception verbale et non verbale. Selon les données récemment publiées, la stimulation bimodale (implant cochléaire sur une oreille et prothèse auditive sur l'autre) présente un avantage évident pour la reconnaissance de la parole dans le bruit (Lunz et al., 2005), en présence de plusieurs interlocuteurs (Cullington & Zeng, 2010) et pour la perception de la musique (El Fata et al., 2009). Ce bénéfice s'explique vraisemblablement par la transmission d'informations dans les basses fréquences rendue

possible par la prothèse auditive conventionnelle (Kong et al, 2005;. Zeng, 2002, 2004). De même, il existe un bénéfice de l'audition bimodale par rapport à l'implant cochléaire seul pour la perception d'éléments supra segmentaux de la parole tels que la prosodie (Landwehr et al., 2007), l'intonation et l'accentuation (Most et al., 2012). Ce bénéfice semble lié à la transmission, via la prothèse auditive conventionnelle, d'indices temporels et spectraux contenus dans les basses fréquences, et en particulier ceux de la structure fine (Gnansia et al., 2010). En revanche, le codage des informations acoustiques par l'implant est adapté pour les fréquences moyennes et aigües (Kong et al., 2005). Ainsi, il apparaît que l'implant cochléaire et la prothèse auditive transmettent des indices acoustiques complémentaires.

Bien que la plupart des patients adultes ait bénéficié d'une implantation cochléaire unilatérale, l'implantation bilatérale s'est développée au cours de ces dix dernières années. Celle-ci est indiquée et réalisée de manière séquentielle dans le cas de surdités évolutives avec perte du bénéfice audio prothétique controlatéral entraînant une gêne fonctionnelle pouvant avoir des répercussions sur le maintien des activités socio professionnelles. Par ailleurs, l'implantation bilatérale simultanée est indiquée dans le cas de surdités d'apparition brusque présentant un risque d'ossification cochléaire rapide, comme c'est le cas à la suite de méningites ou de fractures bilatérales du rocher.

Enfin, des systèmes d'implants électro-acoustiques combinant une stimulation électrique et acoustique sur une même oreille ont également été développés au cours de ces huit dernières années. Ils s'adressent à des patients présentant une perte auditive prédominant sur les fréquences moyennes et aiguës avec une préservation de l'audition (audition résiduelle ou restes auditifs) sur les fréquences graves mais qui remplissent les mêmes critères audiométriques que ceux requis dans le cadre d'une implantation cochléaire sans préservation de l'audition résiduelle. Dans ce cas, le caractère évolutif de la perte auditive est pris en compte et évalué régulièrement afin de valider la préservation d'une audition résiduelle et l'efficacité du système.

III. Stratégies de codage

L'implant cochléaire permet aujourd'hui de restaurer une audition fonctionnelle chez les adultes présentant une surdité évolutive sévère à profonde et, pour la plupart d'entre eux, des performances très satisfaisantes pour la compréhension de la parole sont rapportées avec une moyenne de 70% [0-100%] pour la reconnaissance de mots dissyllabiques dans le calme un an après l'implantation (Lazard et al., 2010).

Les stratégies de traitement du signal ont été développées avec l'objectif de transmettre au nerf auditif le maximum d'informations pertinentes pour l'intégration du signal de parole. Elles ont d'abord permis optimiser la compréhension de la parole dans le calme. Elles visent également à améliorer la perception de la parole dans le bruit grâce à la transmission des indices supra segmentaux et de la musique. Classiquement, on distingue deux grandes catégories de stratégies de codage, celles privilégiant une analyse de l'information temporelle du signal acoustique et celles privilégiant une analyse de l'information spectrale. Cependant, les stratégies actuellement utilisées correspondent à une combinaison des deux approches afin d'extraire les indices nécessaires pour l'intégration des informations verbales (temporelles pour la perception consonantique et spectrales pour la perception vocalique) et non verbales (spectrales pour la reconnaissance du genre dans la voix et spectro-temporelles pour la perception de la prosodie) contenues dans le signal de parole. De plus, la transmission de ces informations par les différentes stratégies de codage pourra être modulée par le choix de certains paramètres tels que la vitesse de stimulation sur chaque électrode (nombre d'impulsions par seconde généralement comprises entre 250 et 900 Hz selon les stratégies), la largeur des impulsions électriques (comprises entre 25 et 100 impulsions par seconde), le nombre de canaux de stimulation actifs qui varie selon les systèmes d'implants mais couvrent la même étendue fréquentielle ou le nombre d'électrodes stimulées en même temps (de 8 à 12 en moyenne) de même que la détermination des seuils de perception et de confort pour chaque électrode qui vont définir la dynamique électrique avec l'implant. Nous allons donc préciser les principes de ces stratégies de codage en prenant en compte l'ordre chronologique selon lequel les stratégies analogiques privilégiant l'information temporelle (Continuous Interleaved Sampling ou CIS) ont été développées avant les stratégies privilégiant l'information spectrale (Spectral Peak ou SPEAK et Advanced Combination Encoder ou ACE) puis actuellement des stratégies mixtes.

III.1 Les stratégies temporelles

Les stratégies temporelles privilégient le traitement des informations temporelles contenues dans le signal acoustique. La principale est la stratégie Continuous Interleaved Sampling (CIS) qui transmet les informations relatives à l'enveloppe temporelle du signal auditif. Le signal de parole est filtré par plusieurs bandes de fréquence au sein desquelles est extraite l'enveloppe temporelle du signal. Celle-ci sera filtrée par un filtre passe-bas réglé autour de 200 Hz afin de pouvoir transmettre les variations de la fréquence fondamentale de la voix et compressée de manière logarithmique afin de pouvoir représenter la large amplitude acoustique des sons de parole et de l'environnement (jusqu'à 100 dB) dans une amplitude électrique plus étroite (autour de 10 dB) avec l'implant. L'information à la sortie de chaque filtre est ensuite transmise à une électrode spécifique selon une répartition similaire à la tonotopie cochléaire. La figure I.3 propose une représentation schématique du fonctionnement de la stratégie de traitement du signal CIS.

Le nombre d'électrodes potentiellement actives peut varier de 12 à 22 canaux selon les différents types d'implant et peut être modulé en fonction de données électro physiologiques propres à chaque patient. Les électrodes sont insérées dans la cochlée avec un codage des basses fréquences par les électrodes apicales et des hautes fréquences par les électrodes basales. Les trains d'impulsions dans les différents canaux et les électrodes correspondantes sont espacés dans le temps afin d'éviter le risque d'interférence entre deux électrodes et donc de sur-stimulation du nerf auditif. La vitesse de stimulation est déterminée en fonction du nombre d'électrodes pouvant potentiellement être activées et s'étend de 250 à 1200 impulsions par seconde selon les marques et les types d'implants. Il s'agit d'un paramètre appelé à être modifié en cas de difficultés d'adaptation à la perception auditive avec l'implant ou de détermination des seuils électriques sur plusieurs électrodes.

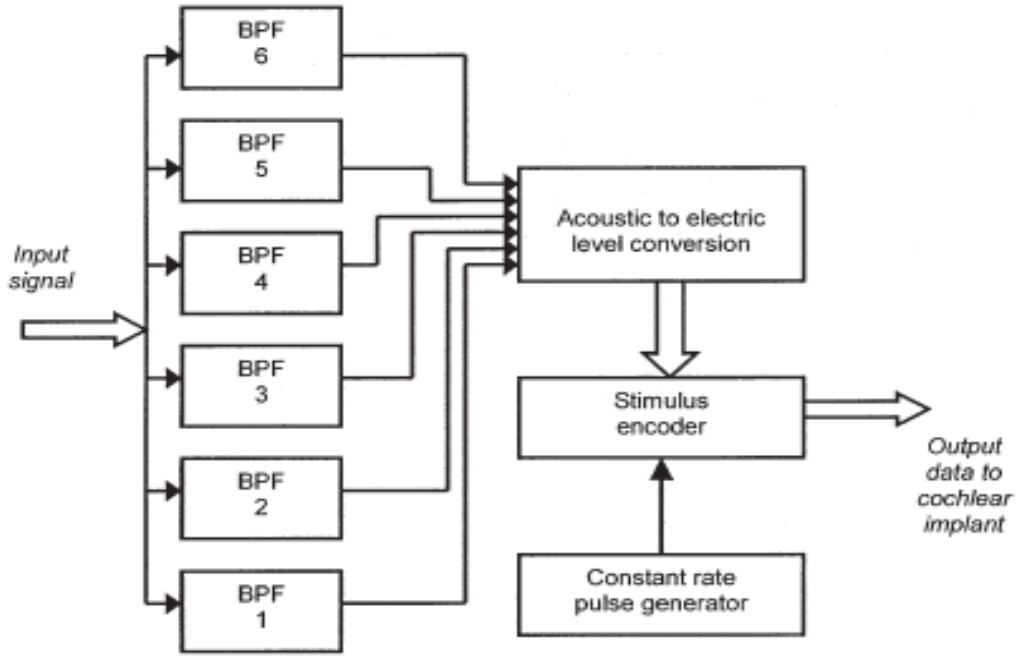


Figure I.3 : Représentation schématique fonctionnelle de la stratégie de traitement du signal CIS (Continuous Interleaved Sampling). Dans cet exemple, six filtres sont utilisés pour extraire les informations d'enveloppe dans chaque bande fréquentielle. Les filtres ont des fréquences centrales qui sont espacées régulièrement le long d'une échelle logarithmique. Les niveaux de stimulation à la sortie des filtres sont convertis en niveaux de courant électrique adaptés. Les données numériques transmises à l'implant contiennent des indications sur le niveau de courant qui doit être délivré sur chaque électrode. Ce modèle de stimulation est caractérisé par une série d'impulsions électriques délivrée à une vitesse constante (McDermott, 2004).

III.2 Les stratégies spectrales

Les stratégies spectrales ont été développées à partir du principe de sélection des canaux stimulés afin de limiter la quantité de stimulation délivrée. Il s'agit par exemple des stratégies Spectral Peak (SPEAK), Advanced Combination Encoder (ACE) et plus généralement de type « n of m ». Dans les stratégies de type « n of m », les enveloppes temporelles extraites des différentes bandes de fréquence sont d'abord analysées afin d'identifier les n canaux ayant le plus d'énergie (correspondant au nombre de maxima sur la carte de réglage) parmi les m disponibles. Les vitesses de stimulation varient entre 700 et 1000 impulsions par seconde dans les stratégies « n of m » et ACE et sont autour de 250 impulsions par seconde dans la stratégie

SPEAK avec une variation du n en fonction du niveau et de la composition spectrale du signal à la sortie du microphone. Le principe de sélection des canaux dans les stratégies de type « n of m » a l'intérêt de limiter la densité de stimulation et donc le risque d'interférence entre les électrodes tout en permettant la transmission des indices acoustiques pertinents du signal de parole (Wilson and Dorman, 2008).

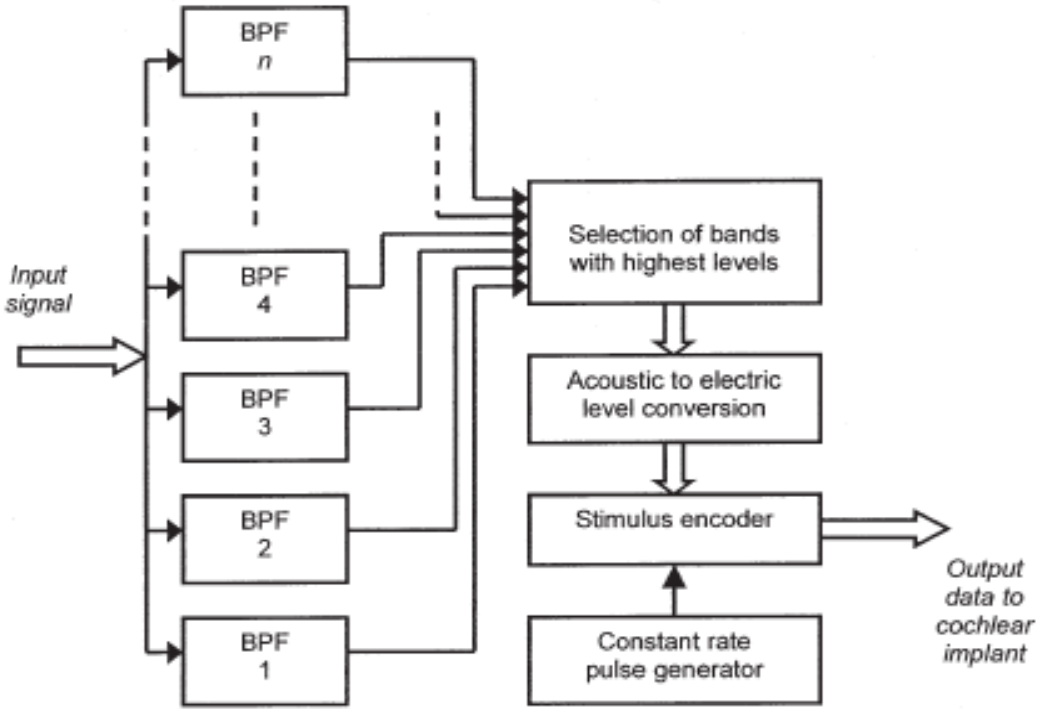


Figure I.4 : Schéma fonctionnel de la stratégie de traitement du signal Advanced Combinaison codeur (ACE). Un grand nombre de filtres passe-bande (en général 20) est utilisé pour couvrir le spectre du signal d'entrée. Les filtres se recouvrent partiellement en fréquence couvrant une large bande passante (par exemple, de 200 Hz à10 kHz). Les niveaux de stimulation à la sortie des filtres sont évalués de telle sorte que seuls les sous-ensembles comprenant les niveaux les plus élevés seront transmis à l'étape de traitement suivante. Les niveaux de stimulation à la sortie des filtres sont convertis en niveaux de courant électrique adaptés. Les données numériques transmises à l'implant contiennent des indications sur le niveau de courant qui doit être délivré sur chaque électrode active. Ce modèle de stimulation est caractérisé par une série d'impulsions électriques délivrée à une vitesse constante (McDermott, 2004).

III.3 Structure temporelle fine

Au cours de ces dix dernières années, de nombreux travaux ont mis en évidence la contribution de la structure temporelle fine pour l'intégration du signal de parole, notamment dans le bruit (Wilson et al., 2005; Zeng et al., 2005) et en présence de plusieurs interlocuteurs. Parallèlement, les constructeurs d'implants cochléaires ont montré un intérêt croissant pour le développement de stratégies permettant de transmettre les informations liées à cette structure temporelle fine. Il s'agit ont ainsi conçu les stratégies Fine Hearing et Hires 120 (développées respectivement par les firmes MED-EL en Autriche et Advanced Bionics aux Etats-Unis) dont le principe est de représenter l'information liée à la structure fine en appliquant un traitement particulier sur des canaux présélectionnés, généralement dans les basses fréquences. De cette manière, le principe de la stratégie Fine Hearing est de représenter l'information de structure fine au moyen de trains d'impulsions plus courts délivrés dans les bandes de fréquences concernées lorsque l'onde du signal acoustique franchit le zéro dans cette bande. Dans la même perspective, la stratégie Hires 120 a pour objectif d'augmenter la résolution spatiale de la stimulation et d'améliorer la perception en utilisant une technique de courant continu favorisant la transmission de la structure fine du signal.

En pratique, les systèmes d'implants cochléaires permettant actuellement de bénéficier de stratégies intégrant le codage de la structure temporelle fine du signal sont les processeurs développés par Advanced Bionics avec la stratégie Hires 120 et MED-EL avec les stratégies Fine Hearing, comme la stratégie Fine Structure Processing (FSP). Dans une récente étude, Müller et al. (2012) ont comparé les performances de 46 sujets adultes implantés cochléaires utilisant les stratégies de type « n of m » Continuous-Interleaved-Sampling (CIS+) ou High Definition CIS (HDCIS) par rapport à la stratégie FSP pour la compréhension de la parole dans le bruit et la perception de la hauteur tonale avec un délai minimum de six mois post-implantation. Les résultats de cette étude ont montré que les performances des sujets implantés étaient meilleures pour la reconnaissance des voyelles et des mots monosyllabiques dans le bruit avec la stratégie FSP par rapport à la stratégie CIS+ mais pas pour la compréhension de phrases dans le bruit tandis qu'aucune différence significative n'a été observée pour le jugement de la hauteur tonale entre les stratégies FSP et HDCIS. Le bénéfice le plus important de la stratégie FSP semble concerner l'aspect qualitatif de la perception auditive avec l'implant cochléaire. En effet, les questionnaires proposés aux sujets implantés cochléaires concernant l'écoute de la musique et la comparaison rétrospective entre les stratégies FSP et HDCIS ont mis en évidence une préférence pour la stratégie FSP.

Cependant, le bénéfice pour la compréhension de la parole dans le bruit est envisagé à long terme avec une amélioration observée jusqu'à 24 mois d'expérience avec la stratégie FSP (Kleine et al., 2014) chez adultes implantés cochléaires utilisant auparavant la stratégie HDCIS.

IV. Bénéfices de l'implantation cochléaire

Depuis le développement de l'implantation cochléaire au cours des années 1990, de nombreuses études ont porté sur l'évaluation des capacités de perception de la parole. Le bénéfice de l'implant cochléaire n'étant plus à démontrer dans ce domaine chez les adultes atteints de surdité évolutive, les études se sont également intéressées à la perception des aspects para verbaux de la parole, et notamment, à la voix. Ces deux points seront abordés dans ce chapitre.

IV.1 Perception de la parole

Les systèmes d'implants cochléaires ainsi que les stratégies de codage proposées par les fabricants permettent aux patients implantés d'atteindre des performances de reconnaissance de la parole satisfaisantes dans le silence avec des scores atteignant dans la majorité des cas 50-60% pour la reconnaissance de mots monosyllabiques en liste ouverte (Wilson B.S, 2006). De même, un grand nombre de patients implantés présentant une surdité post-linguale atteignent en moyenne un score de 97% pour la compréhension de phrases en liste ouverte. Cependant, les performances sont moindres avec un score moyen de 70% pour la compréhension de phrases en présence de plusieurs interlocuteurs et en milieu bruyant avec un score moyen de 42% pour une différence entre le signal et le bruit de 10 dB et de 27% pour une différence de 5 dB (Wilson & Dorman, 2008).

A noter qu'il existe une importante variabilité inter individuelle encore difficile à expliquer (Lazard et al., 2010a) avec des performances pouvant être dans certains cas très limitées et atteignant pour d'autres patients implantés 100% de reconnaissance de la parole. Les capacités d'identification des mots et des phrases après implantation cochléaire sont extrêmement variables, comme en témoignent les « boîtes » sur la figure I.5. dans lesquelles sont indiqués la valeur minimale, les quartiles inférieur, médian et supérieur ainsi que la valeur maximale des performances en reconnaissance de mots dissyllabiques et de phrases en listes ouvertes à 3, 6 et 12 mois après l'implantation cochléaire (Lazard et al., 2010)

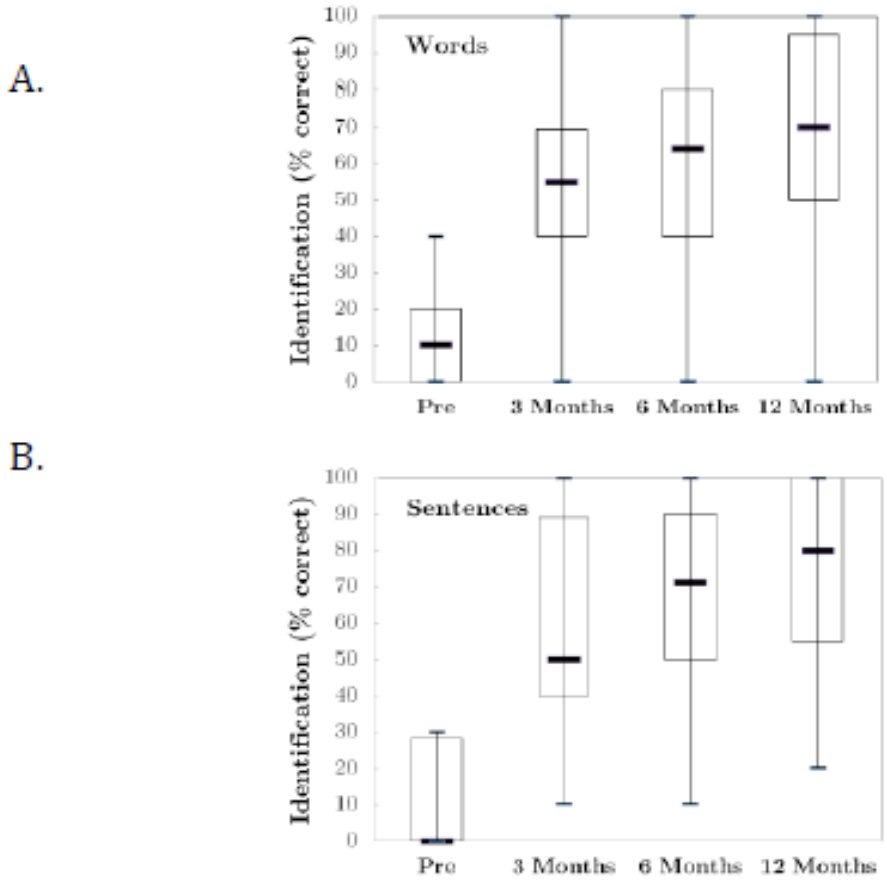


Figure I.5 : Pourcentages de reconnaissance de mots et phrases correctement identifiés chez des adultes présentant une surdité post linguale (n=55) examinés avant et après implantation (3, 6 et 12 mois). Les barres correspondent aux intervalles de confiance. (Lazard et al., 2010) A : reconnaissance de listes de mots dissyllabiques de Fournier et B : reconnaissance de phrases en liste ouverte).

IV.2 Perception de la voix

Un certain nombre d'études ont porté sur la perception de la voix par les sujets implantés cochléaires, utilisant des stimuli verbaux tels que des mots, des syllabes, des phonèmes ou des bruits (Massida et al., 2013, Fu et al., 2004, Massida et al., 2011). Afin d'étudier le rôle des indices temporels et spectraux dans les capacités de discrimination du genre dans la voix, Fu et al., (2004) ont comparé les performances de 11 sujets adultes implantés cochléaires à celles de 6 sujets normo-entendants exposés à des stimuli simulant la perception avec un implant

cochléaire (vocoders) dans une tâche de reconnaissance de voyelles (contexte /h/ - /voyelle/ - /d/) prononcées par des locuteurs féminins et masculins. Afin d'évaluer la contribution relative des informations d'amplitude, de pitch et de durée, la résolution fréquentielle a été modifiée en faisant varier le nombre de canaux dans les vocoders tandis que la transmission d'indices temporels a été modulée, en déplaçant les fréquences de coupure des filtres d'enveloppe de 20 à 320 Hz. Les résultats de cette étude ont montré que les performances pour la reconnaissance des voyelles et la discrimination du genre du locuteur étaient positivement corrélées au nombre de canaux. Ils confirment l'existence de capacités d'identification du genre du locuteur chez les sujets implantés cochléaires ainsi que le rôle fondamental des indices spectraux et temporels pour la discrimination du genre dans la voix, les indices temporels étant particulièrement importants lorsque la résolution spectrale est limitée.

Dans une récente étude, Massida et al. (2013) se sont intéressés à la capacité des sujets implantés cochléaires à discriminer le genre dans la voix et à l'évolution de cette compétence au cours du temps. Pour cela, ils ont comparé les performances de 42 participants adultes implantés cochléaires (dont 32 ont été inclus dans une étude transversale et 10 dans le suivi longitudinal) à celles de 14 participants contrôles normo-entendants. Ils ont présenté aux participants un continuum vocal, allant d'une voix masculine à une voix féminine prononçant la même syllabe /had/, les deux extrémités du continuum correspondant à un moyennage de 16 voix du même genre. Une tâche de catégorisation consistant à choisir le genre de la voix (féminin ou masculin) le long d'un continuum a été proposée à tous les participants. Le pourcentage de réponses « voix féminines » pour chaque élément du continuum allant des voix masculines aux voix féminines a été utilisé comme valeur de référence permettant d'établir un profil de réponses pour l'ensemble du continuum. La méthode choisie pour analyser les réponses des participants est une estimation consistant à appliquer une fonction sigmoïde de Boltzmann permettant d'obtenir une courbe psychométrique de type sigmoïde représentant le pourcentage de réponses « voix féminine » en fonction de la position sur le continuum. Les résultats de cette étude confirment l'existence de performances déficitaires chez les sujets implantés cochléaires pour la catégorisation des voix par rapport aux contrôles normo-entendants. Ainsi, les scores moyens des sujets implantés étaient inférieurs de 19% à ceux des sujets normo-entendants pour la catégorisation des voix féminines versus masculines tandis qu'une majoration du déficit a été observée pour les voix ambiguës avec des scores moyens inférieurs de 58%. Au total, ces résultats soulignent l'existence d'une dissociation

entre les capacités de compréhension verbale et de perception des éléments non verbaux contenus dans le message verbal avec l'implant cochléaire. Cependant, selon les auteurs, les performances au-dessus du niveau du hasard des sujets implantés cochléaires pour les stimuli non ambigus traduiraient le développement de stratégies adaptatives permettant de compenser la faible résolution spectrale de l'implant cochléaire.
Cette étude a confirmé les résultats de précédents travaux (Massida et al., 2011) portant sur les capacités de discrimination de la voix et ayant mis en évidence les difficultés des sujets implantés cochléaires à isoler la voix de l'environnement sonore et ce, particulièrement lorsque des informations verbales pertinentes telles que l'enveloppe temporelle ne sont pas disponibles.

La plupart des études se sont donc intéressées à la perception de la voix et des éléments suprasegmentaux (prosodie, intonation et accentuation) de la parole par les sujets implantés cochléaires. Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a évalué les capacités de jugement catégoriel et dimensionnel des émotions vocales non verbales.

IV.3 Implant cochléaire et audition résiduelle controlatérale

Aujourd'hui, un grand nombre de patients implantés cochléaires bénéficient, sous diverses formes, de l'existence d'une audition résiduelle avec différentes configuration possibles. En effet, le terme d'audition résiduelle fait référence à des situations cliniques variées selon le côté (ispsi ou controlatéral à l'implant), sa fonctionnalité et sa localisation sur toute ou une partie des fréquences. L'évolution des critères d'indication de l'implantation cochléaire depuis ces dernières années aux surdités sévères permet à de nombreux patients implantés de bénéficier d'une stimulation dite bimodale car elle combine la stimulation électrique via l'implant cochléaire à la stimulation acoustique via l'amplification par une prothèse auditive conventionnelle. Il existe d'autres configurations dont la principale est la stimulation électro acoustique qui concerne les patients ayant bénéficié d'une implantation cochléaire unilatérale ayant conservé une audition résiduelle ipsilatérale (voir même controlatérale) amplifiée par une prothèse auditive conventionnelle.
Une très grande variabilité interindividuelle est observée en termes quantitatifs et qualitatifs relativement aux informations acoustiques transmises par l'audition résiduelle. L'expérience clinique montre également que l'utilisation d'une prothèse auditive controlatérale à l'implant cochléaire n'est pas corrélée à l'existence d'une amélioration significative des performances pour le traitement des informations verbales. Le principal avantage de l'audition bimodale est

la complémentarité entre les informations électriques correspondant aux fréquences moyennes à élevées via l'implant cochléaire et les informations acoustiques correspondant aux basses fréquences via la prothèse auditive. De cette manière, le traitement des informations verbales est assuré par l'implant cochléaire tandis que l'amplification acoustique représente un repère pour la transmission de la fréquence fondamentale et partiellement du timbre. Les résultats de plusieurs études ont mis en évidence le bénéfice de cette configuration pour la perception des caractéristiques suprasegmentales de la parole (Meister et al., 2009; Carroll & Zeng, 2007). Peu d'études se sont intéressées à la perception des informations émotionnelles prosodiques avec un implant cochléaire et une prothèse auditive controlatérale (Cullington & Zeng, 2011; Most et al., 2011) mais les résultats sont consensuels avec l'émergence d'un bénéfice significatif de la prothèse auditive controlatérale par rapport aux sujets implantés cochléaires bilatéraux (Cullington & Zeng, 2011) ou unilatéraux sans prothèse auditive (Most et al., 2011).

V. Perception acoustique et implant cochléaire

Dans cette section, nous allons présenter les différents paramètres du son (intensité, durée, hauteur et timbre) et les modifications perceptives de ces paramètres apportées par l'implantation cochléaire.

V.1 Intensité

L'intensité, ou amplitude, correspond à la puissance acoustique émise dans une région donnée d'un champ sonore et se traduit sur le plan perceptif par une sensation sonore appelée sonie. La sensation subjective de sonie croît de manière non linéaire avec l'augmentation d'intensité et suit une progression logarithmique selon une échelle graduée en décibels (dB). La perception de l'intensité sonore est définie par la formule : $NI = 10 \log (I/I0)$ où I est l'intensité acoustique de l'onde et I0 une intensité acoustique de référence correspondant au seuil de l'audition, fixée à 10-12 W/m².

Le seuil auditif est déterminé par la plus faible intensité pouvant provoquer une sensation de sonie (figure I.6). L'aire d'audition est définie comme la plage auditive située entre les deux limites qui sont en bas le seuil d'audition normal et en haut le seuil intolérable normal.

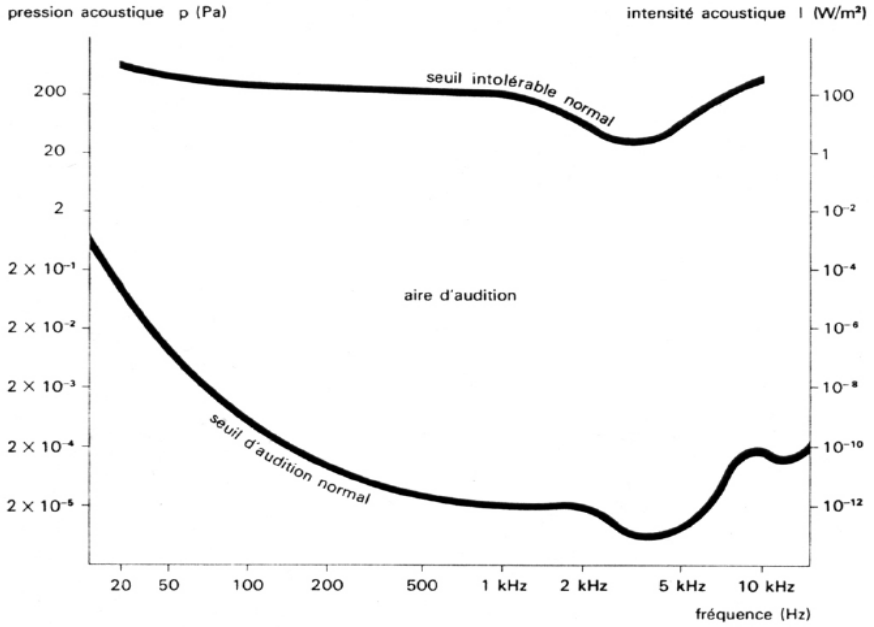


Figure I.6 : Courbes des seuils d'audition chez le sujet normo-entendant (Galifret, 1991)

De plus, il faut noter que la sonie dépend de l'intensité du stimulus sonore mais également de sa fréquence avec une sensation subjective d'intensité et des seuils auditifs qui varient selon la fréquence. De cette manière, Fletcher et Munson (1993) ont défini des courbes isosoniques représentant le niveau d'intensité évoquant la même sonie pour chaque fréquence (figure I.7).

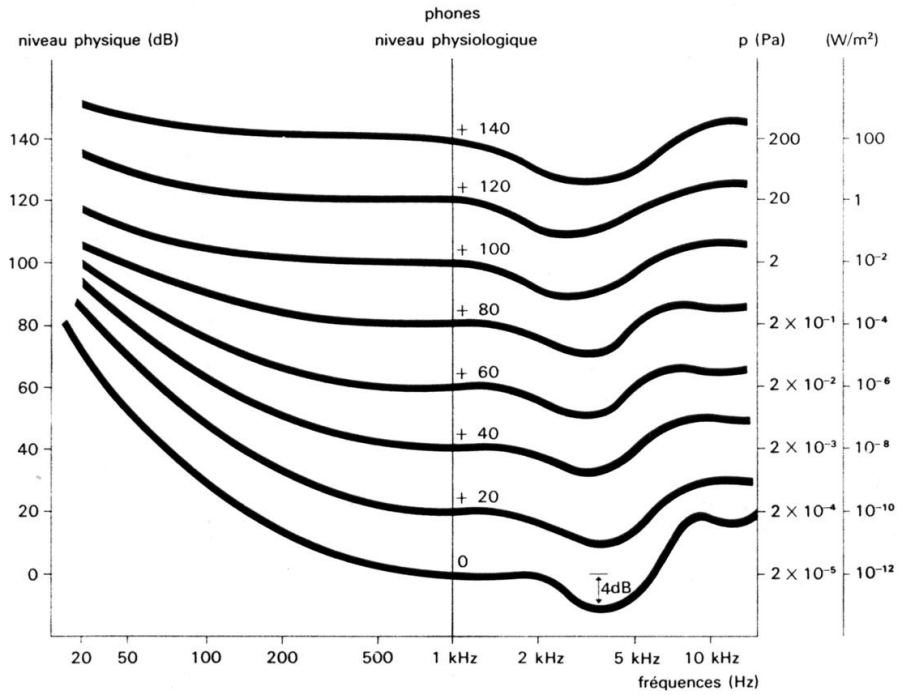


Figure I.7 : Courbes isosoniques normalisées de l'audition humaine (Galifret, 1991).

Il apparaît donc que la perception d'intensité varie selon la zone fréquentielle concernée et pour une intensité donnée, on sait que le seuil d'audition est plus faible pour les basses fréquences que pour les fréquences moyennes. Ce phénomène diminue avec l'augmentation de l'intensité acoustique.
De plus, des études dans le domaine de la psycho acoustique ont mis en évidence les mécanismes impliqués dans le traitement spectral des sons complexes tels que la voix humaine. De cette manière, le système auditif périphérique pourrait être considéré comme un ensemble de filtres passe-bande spécifiques d'une bande fréquentielle donnée. Ces filtres auditifs ont été décrits par Fletcher (1940) à travers une expérience de masquage d'un son pur par un bruit blanc dont la fréquence centrale (Fc) est identique à celle du son pur. Ainsi, un filtre est défini par sa fréquence centrale et sa largeur de bande critique qui augmente avec la fréquence centrale du filtre (Moore, 1998). Selon Fletcher, chaque point de la membrane basilaire à l'intérieur de la cochlée répondrait à une étendue de fréquences et correspondrait ainsi à un filtre avec une Fc spécifique.

Avec l'implantation cochléaire, la perception de l'intensité sonore est liée à l'amplitude du courant et à la durée des impulsions dont l'augmentation accroît le taux de pics neuraux dans le nerf auditif. Des variations de courant ou de largeur d'impulsion de faible amplitude peuvent entraîner des changements d'intensité importants pour les patients implantés. La dynamique sonore entre le seuil de détection et le seuil de confort se situe entre 3 et 20 dB tandis que la dynamique acoustique est d'environ 120 dB pour l'audition naturelle. Cela suppose que les processeurs des implants cochléaires intègrent des systèmes de compression afin de transposer la dynamique acoustique prenant en compte une large gamme d'intensité en dynamique électrique avec l'implant.
La compression est effectuée en deux étapes dans les implants cochléaires. Dans un premier temps, il existe des systèmes de contrôle automatique du gain qui compressent le signal avant qu'il soit filtré en bandes fréquentielles et dont la vitesse de réaction peut varier de rapide à lente afin de compenser les variations d'intensité sonore dans l'environnement. La seconde étape de la compression consiste en une transformation de l'amplitude du signal analogique en largeur d'impulsion et se fait rapidement, pratiquement en temps réel, afin de se rapprocher du fonctionnement normal de la cochlée et du mécanisme de compression au niveau de la membrane basilaire. Cependant, un taux de compression trop élevé peut avoir des effets délétères sur la compréhension de la parole et une compression trop rapide appliquée avant le

découpage du signal en bandes fréquentielles peut induire des difficultés de ségrégation des informations verbales dans les environnements bruyants (Moore, 2003).

V.2 Durée

On peut définir la durée d'un stimulus comme le délai compris entre son début et sa fin mais la durée fait surtout référence à la notion dynamique des sons qui changent en permanence. Ainsi les informations relatives à la durée sont contenues dans ces changements plus que dans la partie stable des sons (Coady et al., 2003). Dans le système auditif périphérique, l'analyse temporelle est liée au principe de filtrage et résulte à la fois de l'analyse temporelle dans chaque bande fréquentielle et de la comparaison des patterns temporels entre les bandes.

L'évaluation de la perception de la durée d'un stimulus sonore se fait généralement au moyen d'une tâche de détection de silence (gap detection) dans un stimulus sonore continu. Le seuil de détection d'un silence dans un bruit à large bande présenté à une intensité confortable est de 2-3 ms (Plomp, 1964b in Moore, 2003). Ce seuil augmente pour des intensités faibles lorsque le niveau sonore est proche du seuil d'audition et il est relativement stable pour des intensités moyennes à élevées (Moore, 2003).

Des études portant sur la perception musicale avec l'implant cochléaire ont montré que les sujets implantés avaient des capacités de perception des changements temporels (gap) et des modulations d'amplitude comparables à celles des normo-entendants (McDermott, 2004) ce qui leur permettait de développer des capacités de perception du rythme dans la musique. Pour percevoir le rythme de la plupart des styles musicaux, la résolution temporelle pour les durées ou les intervalles doit se situer autour de 10 ms. Dans ses travaux, Shannon (1983, 1992) a montré que les patients implantés cochléaires avaient des capacités perceptives suffisantes pour résoudre des changements temporels dans le signal et donc pour percevoir des rythmes dans la musique. Le seuil de détection d'un intervalle pour des signaux d'intensité moyenne est inférieur à 10 ms et dépasse 50 ms lorsque l'intensité est faible. Ainsi, Shannon (1992) a confirmé que les différences de rythme sont codées comme des silences ou des modulations d'amplitude ou les deux par l'implant cochléaire. Ces résultats confirment la capacité des sujets implantés à discriminer le rythme et le tempo de manière comparable aux sujets normo-entendants (Kong et al., 2004). Ces capacités d'analyse des informations temporelles sont particulièrement importantes pour la perception des informations émotionnelles non verbales contenues dans l'organisation prosodique et suprasegmentale du message verbal.

V.3 Hauteur tonale

La fréquence de reproduction du phénomène périodique de vibration des cordes vocales est à l'origine de la fréquence fondamentale (F0) de la voix qui détermine la hauteur et dont les fréquences multiples contenues dans le spectre sont les harmoniques. L'ANSI (1994) définit la hauteur tonale comme « l'attribut de la sensation auditive permettant de classer les sons sur une échelle s'étendant des graves vers les aigus ». La voix est caractérisée par sa fréquence fondamentale mais aussi par ses harmoniques qui lui donnent une identité particulière. La fréquence fondamentale est liée à la vibration des cordes vocales au niveau de l'espace laryngé tandis que le timbre de la voix dépend de la façon dont les harmoniques vont être modulées dans les cavités de résonance (larynx, bouche, etc …) au niveau de l'espace supralaryngé.

La notion de hauteur tonale (pitch en anglais) a donné au concept physique de hauteur une dimension qualitative et a été définie par l'American National Standards Institute (ANSI, comme « cet attribut de la sensation auditive selon lequel les sons peuvent être ordonnés sur une échelle musicale » et non seulement sur une échelle allant des sons graves aux aigus.

Du point de vue acoustique, le pitch est défini par la fréquence fondamentale, c'est à dire la fréquence de base émise par une source et dont les harmoniques seront des multiples. Lorsque la fréquence fondamentale basse il s'agira d'un son grave et lorsque la fréquence est élevée, il s'agira d'un son aigu.

Bien que la hauteur tonale d'un son complexe corresponde généralement à sa fréquence fondamentale, un son peut donc être déterminé par les harmoniques autres que la fréquence fondamentale. Ainsi, Schouten (1970) a parlé de « low pitch » pour désigner la perception d'une hauteur tonale résiduelle associée à des harmoniques élevées. Même lorsque la composante fondamentale d'un son complexe est présente, la hauteur tonale résiduelle du son ou *low pitch* est déterminée par les harmoniques. Ce phénomène se produit fréquemment comme, par exemple lors d'une conversation téléphonique avec un interlocuteur masculin dont la hauteur tonale (pitch) de la voix est perçue alors que la fréquence fondamentale qui se situe autour de 120 Hz est inaudible compte tenu de la bande passante comprise entre 300 et 3400 Hz. Dans la mesure où l'on identifie facilement la voix de son interlocuteur ainsi que son état émotionnel, il est donc possible de retrouver la fréquence fondamentale produite par l'interlocuteur grâce aux indices présents dans les autres fréquences qui sont des multiples de la fréquence fondamentale. Ainsi, la perception du pitch peut donner des informations sur l'identité (Rosen & Fourcin, 1986) ainsi que sur l'état émotionnel du locuteur.

La question de l'identification des composants les plus pertinents pour la détermination de la hauteur tonale des sons complexes a fait l'objet de nombreux travaux. Dans une expérience, Ritsma (1967), a utilisé des sons complexes dans lesquels les fréquences d'un petit groupe d'harmoniques étaient des multiples d'une fréquence fondamentale qui était sensiblement plus faible ou plus élevée que la F0 de la fréquence résiduelle. Une tâche de jugement de hauteur a permis de déterminer si le changement d'un nombre restreint d'harmoniques affectait la hauteur tonale du son complexe dans son ensemble. Les résultats de cette étude ont permis à Ritsma de montrer que les troisième, quatrième et cinquième harmoniques étaient prédominantes dans la détermination de la sensation de hauteur tonale pour des sons complexes ayant une fréquence fondamentale comprise entre 100 et 400 Hz et pour des niveau d'intensité sonore au moins égaux à 50 dB au-dessus du seuil de détection. D'autres travaux ont permis de relever d'importantes différences interindividuelles (Plomp, 1967 ; Moore et al., 1985) et de confirmer, dans certains cas, l'importance des deux premiers harmoniques ou la fréquence absolue et non le nombre d'harmoniques pour identifier la région dominante (Plomp, 1967).
De plus, la perception de la hauteur tonale est également liée à la capacité du système auditif à analyser les harmoniques de manière optimale. On parle alors de résolution des harmoniques lorsque, dans certains sons, ceux-ci sont assez espacés pour être analysés par un filtre auditif spécifique comme c'est le cas lorsque la F0 est élevée. Il existe plus souvent des harmoniques non résolus dans des sons ayant une F0 plus basse car ils ne sont pas assez espacés pour être traités par des filtres spécifiques (Shera et al., 2002).

Dans les implants cochléaires, la transmission de la périodicité et du pitch ne tient pas compte de l'un des principaux mécanismes de codage du système auditif, la dérivation du pitch à partir des informations relatives aux fréquences des harmoniques résolus. Par conséquent, les harmoniques de plus basse fréquence dans les sons complexes, comme ceux contenus dans la voix, ne peuvent être résolus par des filtres dans les implants cochléaires hormis pour ceux ayant une F0 élevée comme dans les voix aiguës. Même si ces informations sont présentes dans le signal, les stratégies de codage des implants cochléaires ne permettent pas d'extraire des informations précises concernant la fréquence des harmoniques en raison des limitations relatives au codage temporel et spectral du signal. Ce constat fait référence aux processus impliqués dans le traitement du signal par le système auditif. Selon la théorie de la place (Helmholtz HLF, 1863 ; von Békésy G., 1962) la hauteur tonale subjective d'une onde sonore est déterminée par sa fréquence qui est elle-même codée à l'endroit le plus stimulé de la

membrane basilaire. Cependant, ce codage n'est pas très fiable car la position du pic d'excitation induit par une fréquence donnée dépend aussi de l'intensité sonore (Moore et al., 2002) et donne lieu à une importante variabilité interindividuelle (Moore, 2003). Il existe donc une modalité de traitement complémentaire liée au mécanisme de synchronisation neurale ou *phase locking*. Au-delà de 5 kHz, les pics neuraux tendent à être synchronisés sur une phase spécifique de l'onde sonore et l'intervalle de temps entre les pics diminue pour permettre l'intégration des multiples de la période du stimulus. Ce mécanisme permet ainsi un codage des informations relatives à la fréquence et à la hauteur tonale. Avec l'implant, l'information fréquentielle peut être en partie codée par l'amplitude du signal électrique sur tous les canaux ce qui permet un codage de place. Cependant, celui-ci est peu élaboré en raison du nombre restreint d'électrodes et de leur proximité et ne fonctionne pas de manière optimale pour les sons de fréquences élevées (Moore, 2003). De plus, il semblerait que les sujets implantés cochléaires présentent des difficultés à percevoir des changements fréquentiels sur la base de l'analyse temporelle du signal. Ceci semble lié d'une part au fait que le mécanisme de synchronisation neurale (*phase locking*) soit peu précis pour les niveaux de stimulation utilisés dans les systèmes d'implants cochléaires (plus de précision serait obtenue avec des niveaux de stimulation plus élevés) et d'autre part à un décalage entre l'information temporelle et fréquentielle (Francart & McDermott, 2013).

V.4 Timbre

L'ANSI (1994) définit le timbre comme « l'attribut de la sensation auditive permettant à un auditeur de juger de la dissimilarité de deux sons présentés de manière similaire et ayant la même intensité sonore et la même hauteur tonale ». Ainsi, une même note jouée par un piano et une flûte aura un timbre différent. La qualité du timbre des sons complexes est liée à leur forme spectrale et à l'analyse fréquentielle effectuée dans la cochlée. Ainsi, chaque point de la membrane basilaire se comporte comme un système de filtres passe-bandes avec des fréquences centrales allant de 50 à 15000 Hz et l'on considère qu'il y aurait approximativement 28 filtres indépendants dans la zone de perception de la parole (ANSI, 1994). La distribution d'énergie dans les différentes régions fréquentielles représente un indice pertinent pour la détermination du timbre mais ce sont essentiellement ses aspects qualitatif et multidimensionnel qui doivent être pris en compte. En effet, le timbre relève de l'appréciation subjective des interactions entre les trois indices acoustiques fondamentaux que sont l'intensité, la durée et la fréquence d'un stimulus sonore provenant d'une voix ou d'un

instrument. Watkins (1991) a suggéré l'identification d'un « objet auditif » tel qu'un instrument de musique ou un son de parole ne pouvait pas entièrement reposer sur des différences de formes spectrales en raison de l'altération potentielle de l'ampleur et du spectre du son par les phénomènes de réverbération du son liés à la configuration spatiale. La reconnaissance d'un timbre spécifique pourrait donc dépendre de facteurs (Schouten, 1968) tels que la régularité avec un taux de répétition compris entre 20 et 20000 périodes/s ou l'irrégularité l'apparentant à du bruit, le caractère constant ou fluctuant dans le temps de l'enveloppe, des variations spectrales ou périodiques et la nature des sons précédant et suivant le stimulus cible.

En ce qui concerne la voix, on différencie le timbre vocalique lié aux aspects articulatoires de la parole dans l'espace supralaryngé du timbre extra-vocalique lié à l'identité de la voix. Le premier concerne donc la production de consonnes et surtout de voyelles qui se caractérisent par leur deux premiers formants F1 et F2 déterminés par la configuration du pharynx et de la cavité buccale. Le second est déterminé par les informations de contour fréquentiel ou d'enveloppe contenues dans la voix. Associés à des variations de hauteur tonale et de timbre, ces informations, transmises dans la zone de fréquences correspondant au maximum de sensibilité de l'oreille humaine (figure I.2) peuvent porter des informations sur l'identité et l'état émotionnel du locuteur.

Comme précisé plus haut, le timbre est un concept multidimensionnel et la perception du timbre par les sujets porteurs d'un implant cochléaire a été étudiée à travers la perception de la voix et de la musique. Cette question sera développée dans le chapitre 4.

Chapitre II

Les concepts de base des émotions

Le concept d'émotion correspond à une expérience partagée par tous. Les évènements et les expériences de notre vie quotidienne nous exposent en permanence au ressenti de la joie en partageant des moments agréables avec nos proches, de la colère lorsque l'on est bloqué dans la circulation, de la peur dans l'attente d'un résultat important et d'autres émotions telles que l'amour ou la culpabilité.

Dans son traité philosophique *Les Passions de l'âme* (1649), René Descartes fût le premier à aborder la question des liens mystérieux entre la pensée (res cogitans) et le corps qui ressent (res extensa), à travers le prisme du dualisme cartésien. Il s'agit d'une réflexion sur les passions, qui correspondraient à ce que l'on nomme aujourd'hui émotions, intégrant une approche physiologique novatrice concernant la question de l'interaction entre le corps et l'esprit. Au XIXème siècle, des théories se sont développées à partir de l'observation de l'expression émotionnelle chez l'animal et chez l'homme ainsi que de l'expérience émotionnelle chez les humains. Des théories se sont développées à partir de ces travaux et de l'idée qu'une émotion pouvait être considérée comme une réaction psychologique et physique à une situation. Une émotion correspondrait à une réponse à un stimulus externe se traduisant simultanément par une cascade de changements internes et par une réaction externe dépendante de l'interprétation personnelle de la situation. De cette manière, on peut différencier classiquement l'émotion d'une sensation qui est une réaction physiologique liée à une perception sensorielle. Mais on peut aussi distinguer une émotion d'un sentiment qui ne se traduit pas par une manifestation réactionnelle. Selon Damasio (2001): « *Les émotions sont des actions. Certaines se traduisent par des mouvements des muscles du visage, comme des expressions faciales de colère ou de joie, etc …, ou du corps, la fuite ou la posture agressive. D'autres se traduisent par des actions internes, comme celle des hormones, du coeur ou des poumons. Les émotions sont donc, d'une certaine façon, publiques, on peut les mesurer, les étudier. Les sentiments, par contre, sont privés, subjectifs. Ils sont ressentis par l'individu et lui seul. Il ne s'agit pas de comportements mais de pensées* ». Dans son ouvrage *Spinoza avait raison* (2003), Damasio a également développé l'idée que les émotions précèderaient les sentiments et seraient en fait *l'ombre de l'apparence des émotions.* La vision selon laquelle les sentiments apparaîtraient en premier puis s'exprimeraient à travers des émotions pourrait être invalidée par la pensée évolutionniste selon laquelle les émotions auraient émergé avant les sentiments. L'émotion correspondrait alors à la capacité dynamique d'adaptation et de changement qui permet de créer des relations et d'interagir avec autrui, de manière verbale ou non verbale. Les émotions se traduisent le plus souvent par des actions ou des mouvements visibles par autrui à travers des expressions faciales, vocales et corporelles qui ont pour

objectif de renforcer l'impact du discours. L'émotion est donc une notion à la fois complexe, floue et propre à chaque individu.

I. La perspective évolutionniste des émotions

Dans *L'expression des émotions chez l'homme et l'animal* (1872), Darwin pose les fondements de l'expression des émotions en expliquant l'expression émotionnelle et les comportements expressifs chez l'homme à partir de ceux des animaux. Il a décrit les émotions comme étant innées, universelles et communicatives ce qui, par la suite, a donné naissance à un courant évolutionniste en psychologie des émotions. Ainsi, les émotions seraient un héritage de nos ancêtres (Orians et Heerwagen, 1992) car, à l'époque des chasseurs-cueilleurs, les Hommes devaient se déplacer pour trouver de quoi se nourrir. Ces déplacements les confrontaient à des phénomènes imprévisibles comme des changements climatiques brusques ou des rencontres avec des prédateurs qui nécessitaient une réponse adaptative rapide. En accord avec ce qu'a montré Darwin, une réaction tout d'abord volontaire va, au fil de l'évolution, devenir innée et réflexe avec une fonction biologique spécifique. Comme l'a expliqué Damasio dans *Le sentiment même de soi* (1999), celle-ci est double avec d'une part la production d'une réaction spécifique à la situation inductrice mettant en jeu ces capacités dites supérieures chez l'homme et d'autre part la régulation de l'état interne de l'organisme afin de le préparer à cette réaction spécifique.

Cependant, ce sont les travaux du neurologue et photographe Duchenne de Boulogne pendant la seconde moitié du XIXe siècle qui ont ouvert la voie de l'étude des expressions émotionnelles avec des expériences sur l'expression faciale de l'émotion. Ses travaux reposent sur l'utilisation conjointe de la photographie et de la stimulation électrique des muscles du visage pour mettre en évidence les mouvements associés à l'expression des émotions. Après avoir décrit de manière très précise les muscles responsables de la mobilité des différentes parties du visage, il a mis en évidence les muscles directement impliqués dans les expressions faciales émotionnelles en utilisant le courant alternatif pour stimuler avec précision un seul faisceau musculaire à la fois (figure II.1). Il a ainsi établi une cartographie des faisceaux musculaires responsables de chaque expression du visage en provoquant la contraction des muscles d'un patient paralysé. Par exemple, il a montré que les sourires exprimant une joie sincère se différenciaient des sourires volontaires par la contraction du muscle orbiculaire de l'œil (*orbicularis oculi*) en supplément des muscles buccaux.

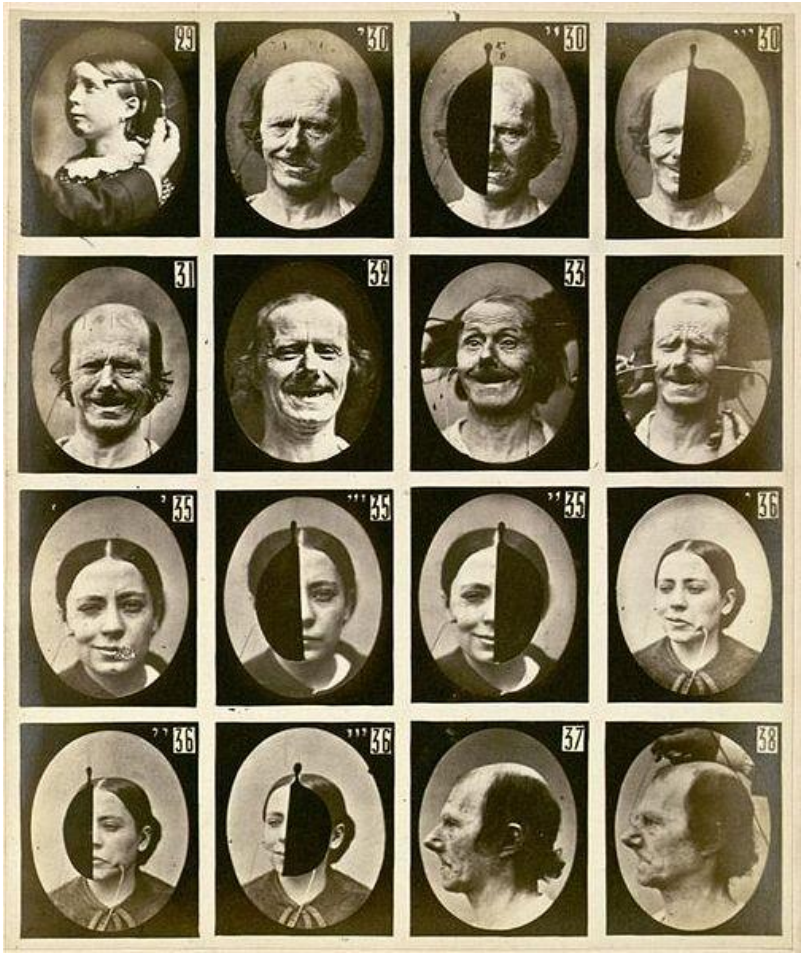


Figure II.1 : Photographies d'expressions faciales déclenchées par la stimulation électrique des muscles du visage. *Mécanisme de la Physionomie Humaine* de Guillaume Duchenne (1876).

Dans les années 1980, Ekman et son équipe ont complété ces observations en réalisant des études auprès de populations appartenant à différentes cultures. Les résultats de ces travaux indiquent que l'expression faciale des émotions serait partagée quelle que soit l'origine ethnique et l'appartenance culturelle ou sociale. A travers ce concept d'universalité, il a proposé l'idée qu'il existe six émotions "primaires" (la joie, la colère, la surprise, la tristesse, le dégoût et la peur) ayant une base biologique commune. Ekman (1973) a aussi insisté sur le rôle fondamental des expressions faciales dans la communication, l'expression faciale serait le pivot de la communication entre hommes (Rimé et Scherer, 1989). Ainsi, décoder les expressions sur le visage d'autrui faciliterait les relations interpersonnelles en permettant d'analyser ses états mentaux, de lui attribuer des intentions et donc d'ajuster son comportement.

Les expressions émotionnelles, qu'elles soient faciales ou vocales, auraient donc également une fonction de premier ordre dans la communication interpersonnelle ce qui met en lumière leur dimension sociale. Les expressions vocales interagiraient avec les expressions faciales selon une logique de complémentarité et de renforcement mutuel.

II. Catégories et dimensions émotionnelles

La question de la représentation des émotions est centrale dans la littérature avec l'émergence de deux approches principales. La première considère que les émotions se déclinent sur la base de six états qui sont : la joie, le dégoût, la peur, la colère, la tristesse et la surprise (Ekman, 1992). D'après cette approche catégorielle des émotions, un nombre d'émotions discrètes serait commun à divers individus et cultures. Selon Plutchik (1980), il existerait également des émotions dites secondaires qui correspondraient à des combinaisons d'émotions primaires et il existerait huit émotions de base pouvant s'opposer par paires: la joie, la peur, le dégoût, la colère, la tristesse, la surprise, la confiance et l'anticipation. Ainsi, le nombre de catégories d'émotions fondamentales n'est pas consensuel et la classification varie selon les auteurs comme le montre le tableau qui suit (Table II.2).

Référence	Emotion fondamentale	Critère d'inclusion
Arnold (1960)	Colère, aversion, courage, abattement, désir, désespoir, peur, haine, espoir, amour, tristesse	En relation avec la tendance à agir
Ekman, Friesen & Ellsworth (1982)	Colère, dégoût, peur, plaisir, tristesse, surprise	Expressions faciales universelles
Frijda (1986)	Désir, bonheur, intérêt, surprise, émerveillement, chagrin	Formes de préparation à l'action
Gray (1982)	Rage, terreur, anxiété et désir	Programmé
Izard (1971)	Colère, mépris, dégoût, désarroi, peur, culpabilité, intérêt, désir, honte, surprise	Programmé
James (1884)	Peur, chagrin, amour, rage	Implication physiologique

McDougall (1926)	Colère, dégoût, exaltation, peur, sujétion, tendresse, émerveillement	En relation avec l'instinct
Mowrer (1960)	Douleur, plaisir	Etats émotionnels non appris
Oatley & Johnsonlaird (1987)	Colère, dégoût, anxiété, bonheur, tristesse	Ne nécessite pas un contenu propositionnel
Plutchik (1980)	Acceptation, colère, anticipation, dégoût, désir, peur, tristesse, surprise	En relation avec les processus biologiques adaptatifs
Tomkins (1984)	Colère, intérêt, mépris, dégoût, désarroi, peur, désir, honte, surprise	Densité d'excitation neurale
Watson (1930)	Peur, amour, rage	Programmé
Weiner & Graham (1984)	Bonheur, tristesse	Attribution indépendante

Table II.2 : Classification des émotions selon Ortony (1990)

Cette approche discrète des émotions dont on perçoit les limites à travers l'existence d'émotions mixtes dans le domaine des émotions faciales et vocales, l'est encore plus pour les émotions musicales. En effet, il est reconnu que la musique pouvait induire des émotions de base telles que la joie, la tristesse, la colère ou la peur. Cependant, l'approche discrète semble insuffisante pour traduire la richesse du ressenti émotionnel lié à l'expérience musicale (Bigand et al., 2005).

Une seconde approche s'est développée dans le domaine des émotions en s'inspirant de la démarche introspective de Wundt (1896). L'étude des émotions est dans ce cas centrée sur le ressenti émotionnel des individus plutôt que sur l'observation de leurs comportements. Cette approche décrit les émotions dans un espace à deux dimensions orthogonales avec d'une part, la valence émotionnelle opposant les émotions désagréables ou négatives aux émotions agréables ou positives et d'autre part, l'éveil (arousal en anglais) ou excitation émotionnelle variant du calme au stimulant. Dans cette perspective, les catégories émotionnelles peuvent varier à travers ces dimensions. Ainsi, deux stimuli appartenant à une même catégorie

émotionnelle peuvent donner lieu à des jugements de valence identiques et d'éveil différents. Par exemple, deux stimuli de joie ont une valence positive mais leur degré d'éveil peut varier de calme à excité. De même, des stimuli appartenant à des catégories émotionnelles différentes peuvent avoir la même valence et donner lieu à des jugements d'éveil identiques ou différents. Ainsi, la tristesse et la peur appartiennent à des catégories émotionnelles différentes et ont toutes deux une valence négative. Cependant, le degré d'éveil de stimuli appartenant à ces deux catégories peut varier, la tristesse ou la peur pouvant être plus ou moins intenses. Il est également à noter que, transmise dans des œuvres musicales, la tristesse peut induire un jugement de valence plus positive car la recherche du sentiment de mélancolie peut faire partie du plaisir lié à l'écoute de la musique. On peut donc considérer que les émotions musicales, comme les émotions faciales ou vocales, évolueraient de façon continue le long de différentes dimensions comme on peut le voir sur la figure suivante (figure II.2).

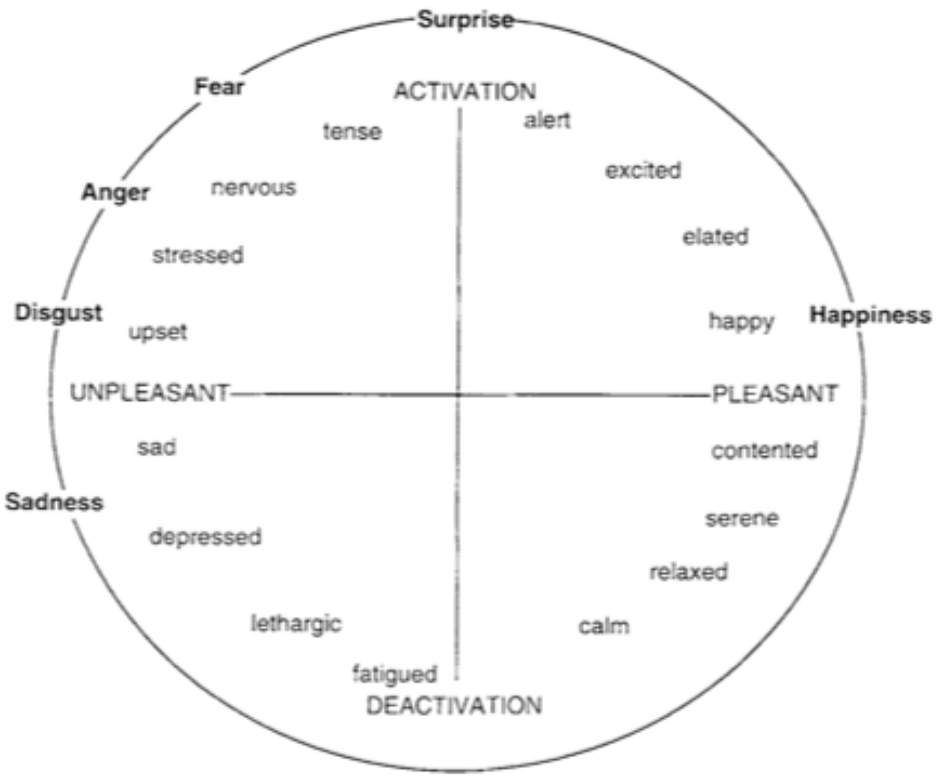


Figure II.2 : Modèle « circomplexe » de Russell & Barrett (1999) : cette structure dimensionnelle permet de représenter l'émotion centrale et des épisodes émotionnels prototypiques se situant seulement dans certaines régions du circomplexe.

III. Emotion et Cognition

L'émotion est définie dans le dictionnaire comme un « trouble subit, agitation passagère causés par un sentiment vif de peur, de surprise, de joie, etc … ou réaction affective transitoire d'assez grande intensité, habituellement provoquée par une stimulation venue de l'environnement ». Cette définition rend bien compte du fait que les émotions sont des réactions complexes associant un ressenti émotionnel à une expression émotionnelle s'exprimant elle-même par des réponses comportementales (comme une expression vocale ou faciale) et physiologiques (comme l'accélération du rythme cardiaque ou l'apparition de rougeurs).

L'approche cognitiviste s'est éloignée des premières théories (James-Lange, 1884; Cannon-Bard, 1929) selon lesquelles les modifications physiologiques pourraient avoir un impact sur l'intensité de l'expérience émotionnelle pour développer une théorie selon laquelle l'excitation physiologique interviendrait en même temps que l'expérience émotionnelle. De cette manière, la réaction physiologique serait liée à l'activation de mécanismes cérébraux déclenchés par la situation à laquelle l'organisme se trouve confronté (Dellacherie D., 2010).

III.1 La théorie bifactorielle de Schachter et Singer (1962)

Dans les années 1960, une nouvelle approche a émergé avec les travaux de Schachter et Singer (1962). Ces auteurs ont été les premiers à envisager les émotions sous un angle cognitif. L'expérience émotionnelle résulterait de l'interaction entre l'excitation physiologique (*arousal*) et la mise en jeu de facteurs cognitifs impliqués dans l'analyse de la situation. De cette manière, lorsqu'une émotion est ressentie, l'individu recherche immédiatement des indices pertinents pour analyser les modifications physiologiques induites par cette expérience émotionnelle. Le modèle proposé par les auteurs (figure II.4) met en évidence le rôle de processus de haut niveau dans l'analyse des émotions, contrairement à ce qui avait été proposé précédemment (James, 1884). Ce modèle souligne que les modifications physiologiques seules ne peuvent suffire pour catégoriser les émotions Ainsi les émotions résulteraient d'un processus d'activation physiologique (excitation ou arousal) et d'un processus cognitif d'interprétation de ce changement physiologique. Cette interprétation de l'excitation physiologique pourrait mettre en jeu la mémoire émotionnelle lorsqu'une situation similaire a été vécue ou des facteurs socio-culturels propres à chaque individu lorsqu'il s'agit d'une expérience nouvelle.

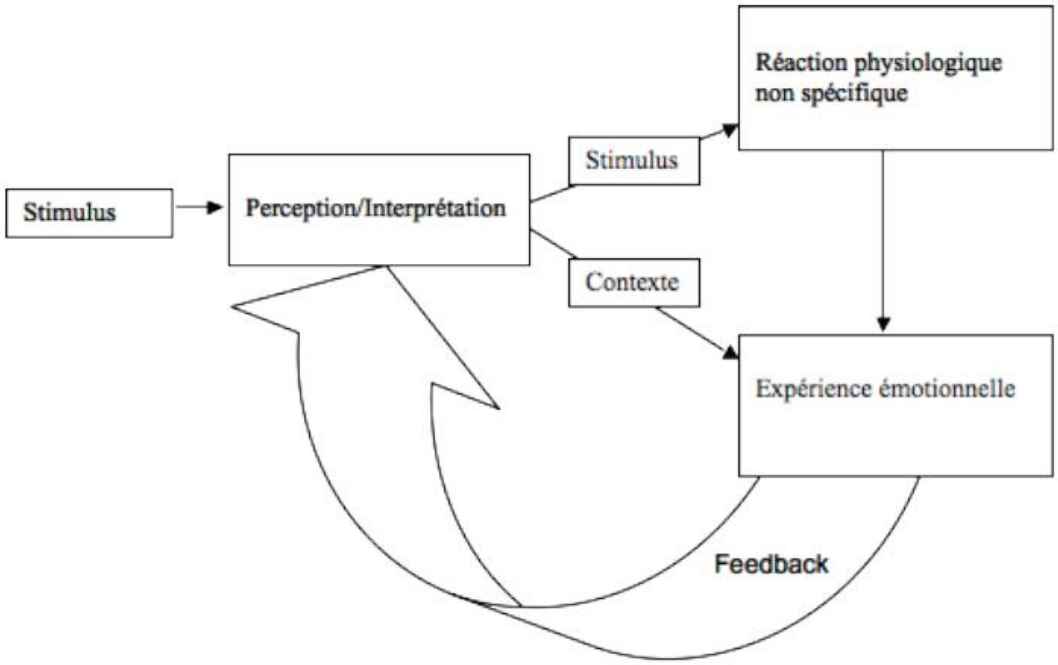


Figure II.4 : Schéma représentatif du modèle bifactoriel de Schachter & Singer (adapté par Dellacherie D., 2010). L'émotion résulterait de l'interaction entre des manifestations physiologiques et une interprétation de l'expérience vécue réalisée par le système nerveux central.

Les travaux de Öhman & Wiens (2004) confirment l'implication de processus cognitifs dans l'expérience émotionnelle et le rôle des mécanismes attentionnels dans la perception des états physiologiques internes. Par conséquent, l'expérience émotionnelle pourrait dépendre de l'interaction entre des processus de type « bottom-up »liés à la perception du stimulus inducteur et « top-down » orientés vers l'analyse conceptuelle du stimulus.

III.2 Le modèle d'intégration des voix et des visages (Belin & Campanella)

Les expériences émotionnelles vécues au travers des interactions sociales impliquent l'intégration d'informations non verbales provenant à la fois des voix et des visages des protagonistes. L'intégration simultanée de ces deux sources d'informations permet d'exploiter à la fois la redondance et la complémentarité des indices sensoriels pertinents pour l'analyse émotionnelle. Ainsi, la voix est le vecteur de la parole mais elle transmet également des

informations importantes sur l'identité (par exemple le genre et l'âge) et l'état émotionnel du locuteur. C'est ce qui a conduit Belin à considérer la voix comme l'équivalent auditif du visage ou « auditory face » avant d'élaborer un modèle neurocognitif de l'intégration voix/visages pour la perception de l'identité (Belin et al., 2004). Comme illustré sur la figure II.5, l'intégration des voix et des visages est effectuée en trois étapes dans des voies fonctionnelles partiellement dissociées. Après une analyse de bas-niveau, les informations vocales (ou faciales) font l'objet d'un encodage structurel faisant intervenir trois systèmes fonctionnellement indépendants et spécialisés selon le type d'informations qu'ils vont traiter (analyse des informations vocales relatives à la parole, au contenu émotionnel et à l'identité). La dernière étape correspond au niveau supra-modal d'identification d'une personne grâce à l'intégration de l'ensemble des informations vocales et faciales dans chaque voie fonctionnelle mais aussi aux interactions entre chaque voie spécialisée au niveau de l'encodage structurel. Ce modèle permet de rendre compte de l'intégration audiovisuelle voix/visage non seulement pour la parole mais aussi pour les émotions. Campanella & Belin (2007) rapportent les résultats d'une étude en imagerie fonctionnelle (Kreifelts et al., 2007) mettant en évidence l'augmentation de la connectivité fonctionnelle entre les aires cérébrales spécialisées dans l'intégration audiovisuelle et les aires associatives auditives et visuelles lors de la présentation d'expressions émotionnelles dans des vidéos. Ainsi, l'intégration voix/visage relèverait de processus complexes impliquant un vaste réseau neuronal et mettrait en jeu des effets inter modaux pour l'intégration des informations verbales mais aussi émotionnelles.

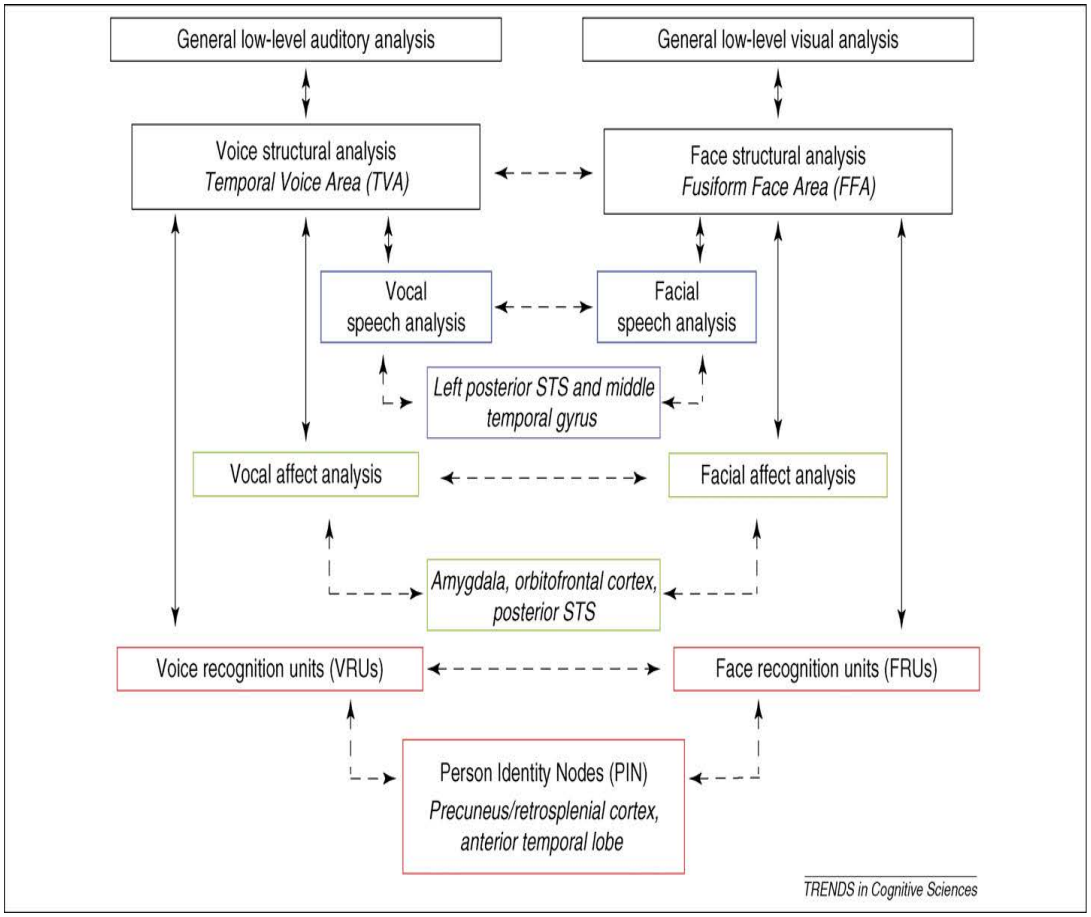


Figure II.5 : Modèle de l'intégration voix/visage (Belin et al., 2004). L'intégration voix/visage est représentée par les flèches en pointillés et est réalisée dans des voies partiellement dissociée et dans des systèmes spécialisés selon la nature des informations intégrées : parole (modules bleus), émotions (modules verts) ou identité (modules rouges). L'intégration de ces informations se fait au travers d'interactions entre les modules spécialisés de chaque voie fonctionnelle (flèches à double sens) et entre le niveau d'analyse structurelle des informations et le plus haut niveau, celui d l'intégration supra modale (flèches en « L »)

Chapitre III

Conséquences de la surdité sur la perception et les émotions auditives

La perception des caractéristiques psychophysiques des sons décrites dans le chapitre I (l'intensité, la durée, la hauteur et le timbre) est modifiée par la survenue d'une surdité neurosensorielle principalement en raison de la perte des mécanismes assurant un traitement fonctionnel des informations verbales et non verbales dans la cochlée. De cette manière, l'atteinte cochléaire entraîne la perte du mécanisme de non-linéarité de la compression du signal sonore protégeant l'oreille saine du phénomène de recrutement d'intensité. Sur le plan fréquentiel, la surdité peut également entraîner une détérioration des cellules ciliées internes spécifiquement dans certaines régions de la cochlée donnant ainsi des zones dites inertes. Enfin, l'atteinte cochléaire peut avoir pour conséquence une altération de la perception temporelle avec l'impossibilité de percevoir des séries de sons séparés par des transitions rapides. Nous allons aborder dans ce chapitre les effets de l'atteinte cochléaire sur la sensation d'intensité, la sélectivité fréquentielle et la perception des aspects temporels du signal de parole en cas d'atteinte auditive. Nous parlerons ensuite des conséquences de la surdité sur la perception vocale et musicale tout en discutant les quelques études portant sur la reconnaissance des émotions auditives qui ont été évaluées essentiellement à travers la prosodie du langage.

I. Perception des indices acoustiques

I.1 Sélectivité fréquentielle et intensité

L'altération des mécanismes dans la cochlée a un impact sur le fonctionnement des cellules ciliées internes (CCI) et externes (CCE). Par leur mécanisme actif, les CCE jouent un rôle déterminant dans la sensibilité de la membrane basilaire aux sons faibles et dans la sélectivité fréquentielle. Ainsi, en amplifiant la vibration de la membrane d'environ 50 dB pour un son de fréquence pure sur une portion très étroite, les CCE augmentent la sensibilité de la cochlée : deux fréquences très proches peuvent donc activer deux zones distinctes de la cochlée permettant ainsi de les distinguer l'une de l'autre, ce qui correspond à la sélectivité en fréquences. En cas d'atteinte auditive, l'efficacité de ces phénomènes actifs et la sensibilité aux sons faibles sont réduites. Ce phénomène est visible si on regarde les courbes d'accord qui représentent l'intensité nécessaire au déplacement d'un point particulier de la membrane basilaire à une vitesse constante et pour une fréquence donnée. Ces courbes s'élargissent et entrainent une diminution de la sélectivité fréquentielle (figure III.1).

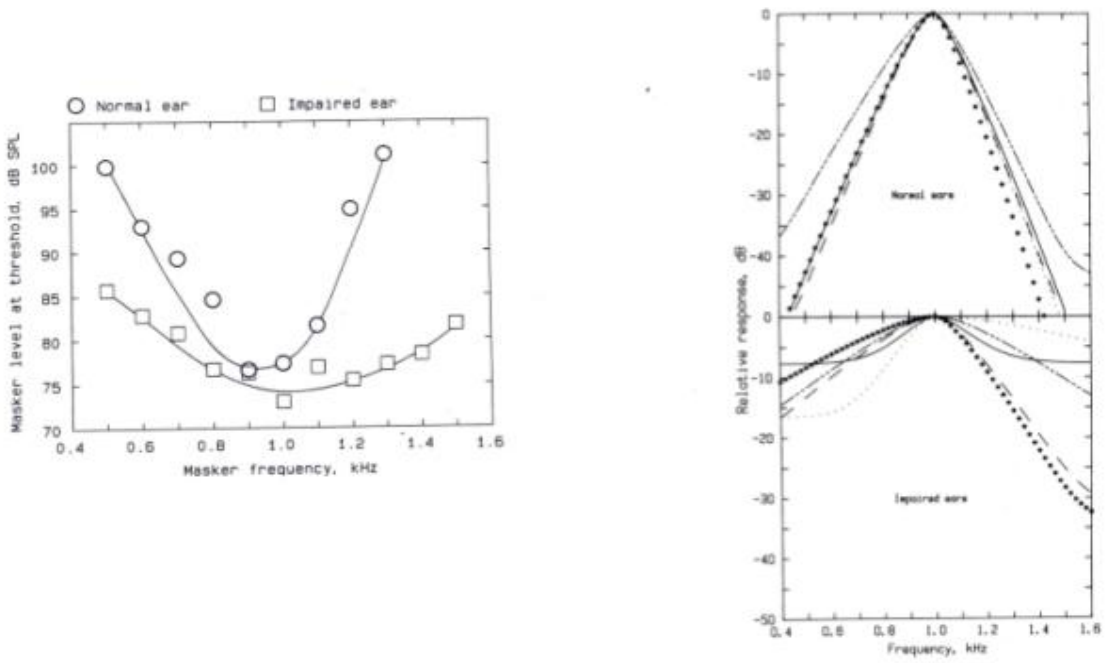


Figure III.1 : Dégradation de la sélectivité fréquentielle en cas de perte auditive et élargissement des courbes d'accord (Moore, 2007).

Le degré d'élargissement des courbes d'accord augmente avec l'importance de la perte auditive, ce qui explique l'altération de la sélectivité fréquentielle et la susceptibilité accrue aux effets de masquage (Moore, 1998). Par conséquent, les sujets présentant une atteinte auditive rencontrent des difficultés pour exploiter la différence spectrale entre deux sons en raison d'un effet de «lissage/brouillage» fréquentiel et de la dégradation de la résolvabilité des composantes fréquentielles. Ces phénomènes ont des répercussions sur l'identification des voyelles (analyse des formants), des consonnes (lieu d'articulation) et probablement sur le traitement de la hauteur qui joue un rôle fondamental dans la perception des caractéristiques suprasegmentales de la parole telle que la prosodie émotionnelle.

De même, la perte du mécanisme actif de compression non linéaire dans la cochlée entraîne un phénomène de recrutement d'intensité altérant de manière significative la perception auditive. La compression peut être représentée par l'amplitude de la réponse à un endroit de la membrane basilaire en fonction de l'amplitude du signal d'entrée. Pour des niveaux d'intensité moyenne, le signal de sortie augmente de seulement 2,5 dB tous les 10 dB d'augmentation du signal d'entrée. A ce stade, le mécanisme de compression non linéaire est fonctionnel mais la linéarité intervient pour des niveaux d'intensité sonore très faibles ou très élevés avec une augmentation de 10 dB de la réponse pour une augmentation de 10 dB à l'entrée (Moore, 2002). Ce mécanisme de compression de la membrane basilaire est lié à la

motilité des CCE et permet au système auditif de traiter des niveaux d'intensité sonore allant jusqu'à 120 dB chez un sujet normo-entendants. La compression joue un rôle important dans la discrimination de l'intensité sonore, l'effet de masquage, la perception de la sonie et du timbre. En cas de surdité, les CCE ne sont plus fonctionnelles ce qui entraîne la perte du mécanisme actif de compression qui est à l'origine de la réduction de la dynamique auditive et du phénomène de recrutement d'intensité généralement associés à la perte auditive.

I.2 Zones cochléaires inertes

L'atteinte cochléaire a souvent pour conséquence la destruction complète ou un dysfonctionnement majeur des CCI ce qui empêche la conversion des vibrations de la membrane basilaire en potentiels d'action dans le nerf auditif dans la région concernée (Moore, 2001). Une zone cochléaire inerte (ou morte) est définie par les fréquences centrales des CCI et/ou des neurones adjacents à cette région. Par exemple, s'il existe une zone morte dans la partie basale de la cochlée et que la fréquence centrale des neurones voisins de cette région est de 2 kHz, la zone morte s'étend au-delà de 2 kHz. Selon Moore (2002), lorsqu'un son a une fréquence comprise dans la zone cochléaire morte, il sera détecté grâce à la propagation de la vibration vers la partie apicale ou basale de la cochlée selon l'endroit où subsistent des CCI et des neurones fonctionnels. La présence de zones cochléaires mortes a des conséquences sur le bénéfice potentiel et l'optimisation du réglage des aides auditives conventionnelles de même que sur la perception de la parole. L'expérience clinique montre que des zones cochléaires mortes sont fréquemment observées dans les hautes fréquences. Tandis que le bénéfice d'une prothèse auditive conventionnelle est limité dans le cas d'une perte moyenne à sévère sur les fréquences aiguës avec des répercussions sur la compréhension de la parole, il est recommandé d'appliquer une amplification pour les fréquences allant jusqu'à une octave au-dessus de la fréquence limite estimée de la zone morte. De cette manière, il est possible de réduire les distorsions avec la prothèse auditive et d'améliorer les capacités de traitement des informations verbales et non verbales, notamment en milieu bruyant. Les indices acoustiques correspondant à certaines catégories émotionnelles telles que la joie ou la surprise peuvent se situer dans des zones fréquentielles concernées par ce processus ce qui peut entraver la qualité de leur perception.

I.3 Hauteur

En plus de l'information donnée par l'organisation spatiale fréquentielle, appelée tonotopie, la hauteur d'un son est aussi déterminée par le rythme des impulsions neurales, ou verrouillage de phase, c'est-à-dire par la corrélation étroite entre la décharge d'un neurone du nerf auditif et les différentes phases de l'onde sonore. De cette manière, la fréquence d'un son est codée par l'intervalle de temps dominant entre les décharges de la population de neurones concernés. Ce mécanisme n'est valable que pour les fréquences basses et intermédiaires, porteuses de la prosodie, et non pour les très hautes fréquences pour lesquelles seule la tonotopie est informative. Ceci suggère que les personnes présentant une atteinte auditive pourraient utiliser préférentiellement l'information temporelle et non spectrale par rapport aux sujets normo-entendants pour analyser les caractéristiques prosodiques de la parole et, donc probablement les émotions prosodiques.
A cet égard, on observe des variations interindividuelles importantes pour des seuils audiométriques identiques en raison de différences individuelles en termes de filtres auditifs et de perte de synchronisation neurale. Ainsi, une personne bénéficiant d'une préservation de la synchronisation neurale peut conserver de bonnes capacités de discrimination de la hauteur malgré un élargissement des filtres auditifs tandis qu'une personne présentant une dégradation de la synchronisation neurale peut subir une dégradation de ses capacités de discrimination fréquentielle, indépendamment du degré d'élargissement des filtres auditifs (Rose and Moore, 1997).

En cas de surdité profonde, la perte de synchronisation neurale peut donc avoir un retentissement variable sur le traitement de la hauteur et des différences d'harmoniques entre deux voix. Néanmoins, la résolution des harmoniques est généralement déficitaire du fait de l'altération de la sélectivité fréquentielle dans des régions correspondantes de la membrane basilaire et d'anomalies du codage temporel. Cela peut entraîner une dégradation de la représentation du fondamental ayant pour conséquence une altération de la discrimination des attributs vocaux (Moore, 2007) et donc des émotions transmises par les voix.

I.4 Perception de la structure temporelle

La perception de la structure temporelle du signal acoustique est liée au mécanisme permettant la synchronisation entre les impulsions du nerf auditif et les fluctuations d'amplitude plus ou moins rapides dans le signal sonore (Moore, 2003). Les propriétés temporelles du signal de parole, relatives à la structure fine et à l'enveloppe du signal, jouent un rôle important dans la transmission des informations verbales et non verbales. Scherer (1995) a souligné l'importance de ces indices acoustiques pour identifier les émotions portées par les voix et rapporté l'importance des travaux de Tischer (1991) qui fût l'un des premiers à étudier précisément les effets de micro changements dans les expressions vocales de courte durée sur le jugement émotionnel de l'auditeur. Pour plusieurs émotions, il a montré que la contribution des caractéristiques acoustiques était modulée selon leur place dans l'expression vocale émotionnelle.

Afin de mieux comprendre ces caractéristiques temporelles, Rosen (1992) a proposé de définir le signal de parole selon trois caractéristiques temporelles liées aux fluctuations d'amplitude : l'enveloppe, la périodicité et la structure temporelle fine comme il est indiqué sur la figure III.2. L'enveloppe fait référence aux fluctuations d'amplitude lentes pour des basses fréquences comprises entre 2 et 50 Hz et renvoient à la notion d'information temporelle au sens strict. Elle est principalement définie par l'intensité, la durée ainsi que les temps d'attaque et de chute. Les variations d'enveloppe à basse fréquence transmettent des informations concernant l'articulation, le voisement et la prosodie mais aussi le rythme et le tempo.

La périodicité du signal de parole correspond aux fluctuations d'amplitude au cours du temps, cmprises entre 50 et 500 Hz pour les sons périodiques et entre quelques kHz et 5 à 10 kHz pour les sons apériodiques (Rosen, 1992). La caractéristique acoustique de périodicité ou d'apériodicité d'un son se traduit sur le plan de l'information temporelle par la régularité ou l'irrégularité du signal de parole et sur le plan fréquentiel par un spectre comprenant des harmoniques ou au contraire continu. Les fluctuations du taux de périodicité se traduisent par une modification de la fréquence fondamentale de la voix et peuvent donc modifier la perception de la hauteur tonale (Rosen, 1992). Les informations de périodicité du signal transmettent également des informations concernant le voisement, ce qui facilite la reconnaissance de certains phonèmes et de l'intonation permettant ainsi de changer le sens des phrases ou d'en lever l'ambiguïté. Quant à la structure temporelle fine, elle correspond aux fluctuations rapides de l'amplitude du signal de parole de 100 Hz à 10 kHz (Shamma &

Lorenzi, 2013). Les informations relatives à la structure fine sont principalement en lien avec le timbre et donc l'aspect qualitatif du signal de parole. Elles transmettent des indices segmentaux relatifs à la place de l'articulation ainsi qu'à la perception des formants et des transitions formantiques pour les voyelles.

Tandis que le système auditif normal décompose le signal de parole en plusieurs ondes via le mécanisme de filtres cochléaires, chaque onde possédant les trois types d'informations temporelles. Celles-ci, notamment celles relatives à la périodicité et à la structure fine, vont être transformées en informations de place par le filtrage auditif périphérique. En cas d'atteinte auditive, les mécanismes responsables de l'analyse des informations de place et de fréquence peuvent être altérés de manière plus ou moins importante mais cette altération ne semble pas corrélée au degré de sévérité de la surdité (Rosen, 1992). Cependant, plus l'atteinte de la sélectivité fréquentielle est importante, plus les indices temporels ont un rôle prépondérant dans l'analyse du signal de parole provoquant alors un déséquilibre dans l'importance de ces différents indices.

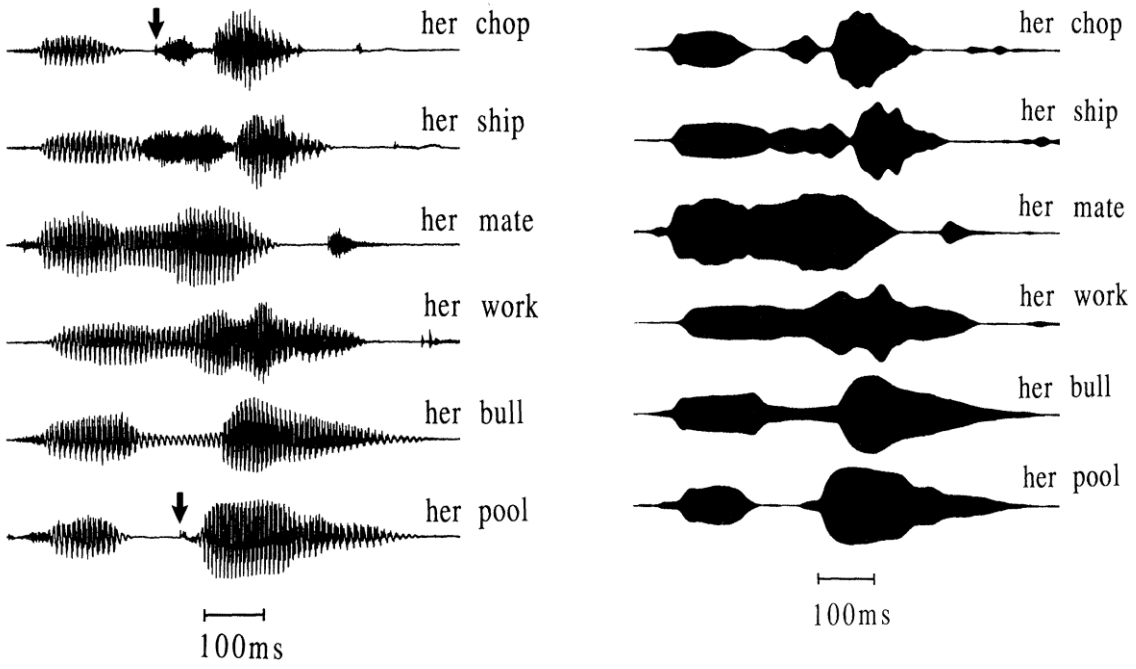


Figure III.2 : Signaux de parole correspondant à 6 locutions prononcées par un homme (à gauche) et même signaux de parole modifiés par des filtres passe-bas à 20 Hz (à droite). La plupart des informations d'enveloppe sont préservées mais pas celles correspondant à la périodicité et à la structure fine. (Rosen, 1992).

II. Perception de la voix après implantation cochléaire

Les recherches réalisées sur la communication vocale des émotions chez les sujets normo-entendants peuvent être classées en deux catégories selon qu'elles étudient les processus liés à l'expression ou la perception de l'émotion dans la voix. Les premières tentent de décrire l'effet de différents états affectifs sur certains paramètres acoustiques lors de la production d'une expression vocale tandis que les secondes cherchent à mettre en évidence les capacités de reconnaissance des émotions dans des expressions vocales en l'absence d'indices verbaux ou contextuels (Bänziger et al., 2002).

De nombreuses études se sont intéressées à l'identification des caractéristiques vocales spécifiques aux émotions de base (joie, peur, tristesse et colère) à partir d'enregistrements réalisés par des acteurs dans des contextes d'induction émotionnelle à partir d'un contenu linguistique. Ces travaux concernent la prosodie, définie comme la variation des paramètres acoustiques pertinents pour l'expression et la perception des intonations linguistiques (prosodie linguistique) et des émotions vocales (prosodie affective). Il s'agit de la fréquence fondamentale (F0) de la voix, de l'intensité (ou amplitude) et de la durée des différents segments des expressions. Ainsi, les émotions incluant une activation forte comme la colère, la peur ou la joie présentent un accroissement des valeurs de F0 et d'intensité mais une diminution de la durée correspondant à une accélération de la parole. Inversement, les états émotionnels incluant un degré d'activation faible comme la tristesse se caractérisent par une diminution des valeurs de F0 et d'intensité ainsi qu'une augmentation de la durée des différents segments. Le modèle auditif de Davitz (1964) décrit dans le tableau suivant (table III.3) est le premier qui intègre les émotions dans un système de traits prosodiques et paralinguistiques. Dans cette classification, on peut noter que le terme de sonorité est utilisé pour qualifier le timbre faisant référence à la brillance (en anglais « brightness ») qui est un concept développé selon une approche dimensionnelle de représentation des sons (McAdams et al.,1995).

	Intensité	Hauteur	Timbre	Tempo	Articulation	Rythme	Contour
Affection	Faible	Basse	Sonore	Lent	Indistincte	Régulier	Plat et légèrement
Tristesse	Faible	Basse	Sonore	Lent	Indistincte	Pauses irrégulières	Descendant
Ennui	Moyenne à faible	Moyenne à basse	Un peu sonore	Modéré	Assez indistincte	Régulier	Monotone ou descendant
Satisfaction	Normale	Normale	Assez sonore	Normale	Assez indistincte	Régulier	Légèrement montant
Impatience	Normale	Normale à assez haute	Un peu retentissant	Assez rapide	Un peu hachée	Régulier	Légèrement montant
Allégresse	Peu forte	Assez haute	Assez retentissant	Assez rapide	Hâchée	Irrégulier	En dents de scie
Joie	Forte	Haute	Assez retentissant	Rapide	Dure	Irrégulier	Montant
Colère	Forte	Haute	Retentissant	Rapide	Dure	Irrégulier	Dents de scie irrégulières

Table III.3 : Caractéristiques des expressions vocales selon Davitz (1964).

La perception de la parole par les sujets ayant bénéficié d'un implant cochléaire a été très largement étudiée depuis de nombreuses années ce qui n'est, pour l'instant, pas le cas de la perception de la prosodie. Quelques études se sont intéressées aux capacités de perception chez des sujets implantés cochléaires des attributs vocaux porteurs d'informations prosodiques verbales (Most et al., 2011 ; Meister et al., 2009 ; Luo et al., 2007). Les résultats de ces études ont mis en évidence des performances déficitaires dans la reconnaissance des émotions vocales prosodiques par rapport aux sujets normo-entendants mais avec des variations selon les études.

Dans leur étude, Luo et al. (2007) ont évalué les capacités de reconnaissance des émotions vocales en comparant les performances de 8 adultes implantés cochléaires présentant une surdité acquise à celles de 8 sujets normo-entendants appariés en termes d'âge et de genre. Les capacités de reconnaissance émotionnelle ont été évaluées au moyen d'une tâche d'identification d'émotion cible dans une phrase sémantiquement neutre exprimant une émotion de base (colère, anxiété, joie, tristesse et neutralité) et énoncée par une voix féminine ou masculine. Les résultats de cette étude ont mis en évidence des performances déficitaires chez les patients implantés cochléaires pour la reconnaissance de ces émotions dans une tâche d'identification en liste fermée (cinq propositions pour chaque stimulus) avec un score de 45% tandis que les sujets normo-entendants obtenaient un score de 90%. Bien que les capacités de reconnaissance des émotions soient limitées pour les sujets implantés cochléaires, il est important de noter qu'elles ne sont pas au niveau du hasard. En supprimant les indices d'amplitude du signal, en faisant varier le nombre de canaux actifs de 1 à 8 et en

modifiant la fréquence de coupure des filtres d'enveloppe (50 au lieu de 400 Hz), Luo et al. ont également mis en évidence la contribution significative des informations spectrales, temporelles et des indices d'amplitude pour la perception des émotions portées par les voix. Plus précisément, les informations relatives à la hauteur et à la structure temporelle fine, relativement mal transmises par l'implant, restent les indices les plus pertinents. Ainsi, les implantés reconnaissaient mieux l'émotion neutre et la tristesse dont l'amplitude, la valeur et la variation du F0 est faible, ce qui permettait de les différencier de la colère, de la joie et de l'anxiété dont l'amplitude est plus élevée. Les plus mauvaises performances ont été retrouvées pour la joie et l'anxiété qui étaient souvent confondues entre elles et avec la colère. Ces trois émotions diffèrent essentiellement par la valeur moyenne du F0 et leur confusion s'expliquerait par un accès limité aux indices spectraux et de hauteur. Par conséquent, les sujets implantés pouvaient identifier des émotions sur la base d'indices d'amplitudes opposées (élevée pour la colère, la joie et l'anxiété contrairement à faible pour la tristesse et la neutralité) ce qui confirme l'utilisation d'indices d'intensité relative. Ces résultats confirment les premières observations de House (1994) suggérant que les émotions vocales étaient essentiellement perçues par les sujets implantés cochléaires sur la base d'indices d'intensité tandis que la fréquence fondamentale de la voix, le profil spectral et les caractéristiques vocales représentaient des indices secondaires peu perçus.

Meister et al. (2009) ont évalué le rôle de la fréquence fondamentale dans la perception de la prosodie et du genre en comparant les performances de 12 adultes implantés cochléaires à celles de 12 participants normo-entendants. Ces performances ont été évaluées au moyen d'un test de reconnaissance d'intonation (affirmation/question), d'un test d'identification de l'accentuation sur l'un des cinq mots de phrases de type « pronom – sujet – verbe – pronom – objet » et d'un test d'identification du genre du locuteur dans ces mêmes phrases enregistrées par trois locuteurs non professionnels de sexe féminin et trois autres de sexe masculin. Les auteurs ont appliqué des modifications concernant le contour de la fréquence fondamentale d'une locutrice féminine dont la F0 se situait autour de 180 Hz et dont le débit de parole était relativement lent avec 5,1 syllabe/seconde. Aucune modification n'a été apportée aux paramètres relatifs aux informations temporelles et d'amplitude. Au total, les résultats de cette étude mettent en évidence des performances déficitaires pour l'identification de l'intonation, du genre du locuteur et particulièrement de l'accentuation chez les sujets implantés cochléaires par rapport aux contrôles normo-entendants. De plus, d'importantes variations inter individuelles ont été observées chez les sujets implantés cochléaires dans l'utilisation des indices prosodiques liés aux modifications de la fréquence fondamentale.

Par ailleurs, la contribution des indices de F0 dans la perception de la prosodie verbale émotionnelle a été évaluée par Most et al. (2012) dans une étude comparant les performances de 25 sujets adultes utilisant un implant cochléaire et une prothèse auditive controlatérale en condition unimodale (implant cochléaire seul ou prothèse auditive seule) et bimodale (implant cochléaire et prothèse auditive). Une tâche d'identification des émotions (joie, colère, peur ou tristesse) exprimées dans un groupe de trois mots sans contenu sémantique (''bado minu gana'') a permis de mettre en évidence des capacités de reconnaissance émotionnelle dans les trois conditions chez ces sujets implantés. Malgré l'existence de variations interindividuelles, les résultats de cette étude ont également souligné le bénéfice de la prothèse controlatérale pour l'identification des émotions avec des différences significatives entre la condition unimodale (implant seul) et bimodale (implant et prothèse controlatérale).

Dans l'ensemble, la plupart des études se sont donc intéressées à la perception de la prosodie verbale émotionnelle mais, à notre connaissance, la perception de la voix et des émotions vocales non verbales, c'est-à-dire des expressions vocales émotionnelles a été peu étudiée.

III. Perception et émotions musicales après implantation cochléaire

La plupart des gens considère la musique comme une source de plaisir à travers les liens intimes qu'elle entretient avec l'expérience émotionnelle. L'écoute de la musique peut moduler notre ressenti émotionnel et, de ce fait nos sentiments, et initier des actions comme chanter, danser ou vouloir jouer d'un instrument. La musique peut provoquer des sentiments affectifs très forts, de caractère agréable ou désagréable, dont l'intensité peut se traduire par des réactions physiologiques telles que des frissons le long du corps et laisser ainsi une trace à long terme dans notre mémoire (Salimpoor et al., 2009). Décrite comme le « langage des émotions » (Kant E., 1848), la musique semble pouvoir être considérée comme un vecteur particulier ayant la capacité d'induire une expérience émotionnelle unique (Juslin & Västfjäll, 2008).

En cas de surdité sévère à profonde, le plaisir et la dimension sociale liés à l'écoute de la musique diminuent (Gfeller & Knutson, 2003) du fait de l'altération des capacités de perception des principaux attributs musicaux que sont le rythme, la mélodie et le timbre. Selon une récente étude, un tiers des sujets candidats à l'implantation cochléaire désirent pouvoir bénéficier de la réhabilitation auditive avec l'implant pour pouvoir de nouveau écouter de la musique (Kohlberg et al., 2013). En effet, les patients implantés cochléaires

considèrent que l'amélioration des capacités de perception de la musique pourrait améliorer leur qualité de vie de manière significative (Drennan and Rubinstein, 2008). Cependant, malgré les récentes évolutions technologiques en termes de processeurs vocaux et de stratégies de traitement du signal, l'amélioration des capacités de la parole dans le bruit et de la musique ainsi que du plaisir induit par la musique représentent toujours un défi particulièrement difficile à surmonter dans la prise en charge de la surdité (Brockmeier et al., 2011) avec d'importantes variations interindividuelles (Galvin et al., 2009).

Dans cette partie, nous allons décrire les principales caractéristiques spectrales et temporelles des sons musicaux (rythme, mélodie et timbre) et faire l'état des travaux réalisés dans le domaine de la perception ou du jugement des émotions induites par l'écoute de la musique chez les sujets implantés cochléaires.

III.1 Perception musicale

II.1.1 Rythme

Dans le domaine musical, le rythme correspond à la durée des notes les unes par rapport aux autres. Dans la musique occidentale, il est quantifié par des notes de durées différentes (rondes, blanches, noires, croches, double croches, etc …) séparées par des silences ayant également des durées différentes (pauses, demi-pauses, soupirs, demi-soupirs, etc …). La perception du rythme est donc liée aux capacités de traitement des informations temporelles, notamment de la durée. Comme nous l'avons décrit (voir plus haut partie I.1.2), l'analyse des informations relatives à la structure temporelle du signal est altérée du fait de l'atteinte auditive et, notamment, la perception de la structure temporelle fine du signal particulièrement importante dans la perception de la musique.

Dans leur revue de littérature sur la perception de la musique par les sujets implantés cochléaires, Hsiao & Gfeller (2012) ont montré qu'un grand nombre de travaux a été mené au cours de ces dernières années sur cette question de manière aussi large que précise. Ainsi, les capacités perceptives des sujets implantés cochléaires ont été évaluées au moyen de tâches de discrimination de changement de tempo, d'identification de rythmes et de différentes métriques (Gfeller et al., 2000a; Kong et al., 2004; Leal et al., 2003; Looi, 2008; Schultz & Kerber, 1994) en utilisant également des procédures adaptatives (Gfeller et al., 1997) permettant de déterminer un seuil d'identification du rythme. Les résultats de ces différentes études ont montré que les capacités des sujets implantés cochléaires étaient comparables à

celles des sujets normo-entendants pour la perception des aspects rythmiques de la musique. En particulier, Drennan & Rubinstein (2008) rapportent que les sujets implantés cochléaires semblent exploiter les informations temporelles de manière plus importante que les sujets normo-entendants (Van den Honert & Stypulkowski, 1984) et percevoir les changements liés aux variations des indices temporels comme des pauses et des modulations d'amplitude à l'instar des normo-entendants (Shannon, 1983). Cooper et al. (2008) ont utilisé la Montreal Battery for Evaluation of Amusia (MBEA) élaborée par Peretz et al. (2003) pour évaluer les capacités de perception de différent aspects de la musique par des sujets implantés cochléaires. Les performances des sujets implantés aux tests de perception de la mélodie (gamme, contour et intervalle), du rythme et de la mémoire mélodique ont été comparées à celles de sujets contrôles normo-entendants. Bien que déficitaires par rapport aux normo-entendants, les sujets implantés ont obtenu de meilleurs résultats (voir la figure III.3) aux tests évaluant la perception des aspects temporels (rythme et métrique) qu'aux tests basés sur les aspects fréquentiels, et notamment la discrimination mélodique (gamme, contour et intervalle), ce qui est compatible avec la relative préservation de la perception des indices rythmiques par rapport aux indices fréquentiels. De même, Kong et al. (2004) avaient souligné l'existence de capacités de discrimination du tempo dans les limites de la normale chez les sujets implantés cochléaires jusqu'à des changements de 4 à 6 pulsations par minute. Cependant, la discrimination de rythmes complexes n'était pas aussi bonne que celle des normo-entendants.

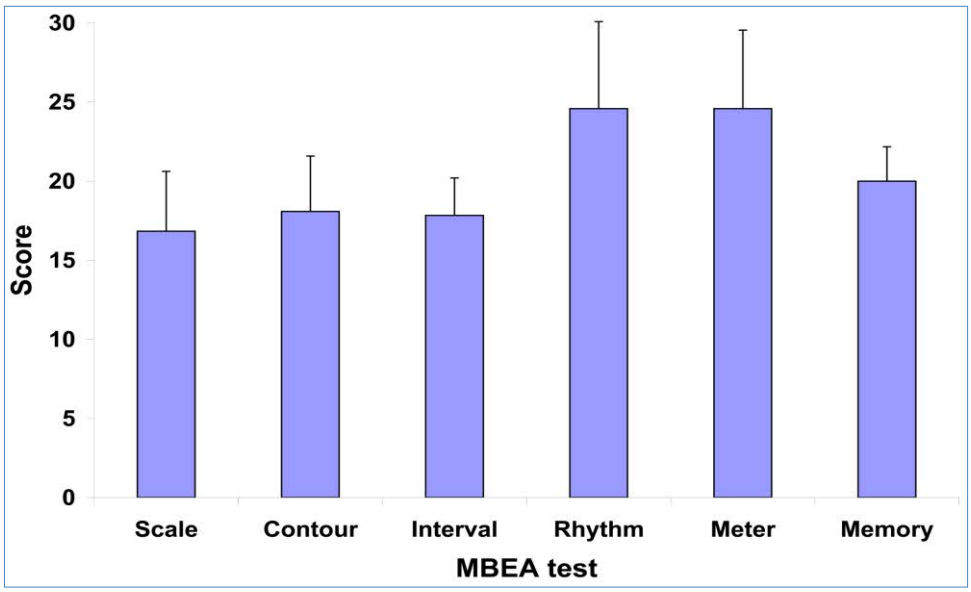


Figure III.3 : scores moyens des 12 sujets implantés cochléaires pour les tests de la *Montreal Battery for Evaluation of Amusia*. Le niveau du hasard est approximativement de 15% et les barres d'erreurs représentent les déviations standards.

II .1.2 Mélodie

La mélodie est définie par une succession de notes de différentes fréquences (ou d'intervalles) qui représentent le thème d'une pièce musicale.
De nombreuses études se sont intéressées à la perception de l'aspect mélodique de la musique par les sujets implantés cochléaires présentant une surdité acquise à l'âge adulte, et donc à la perception des indices spectraux (pitch) qui contribuent à la reconnaissance de la mélodie. Les résultats de ces études ont révélé un déficit chez les patients implantés cochléaires pour la reconnaissance des mélodies familières (Gfeller et al.,2002; Kong et al., 2004; Leal et al., 2003; Looi et al., 2008) et la discrimination de la hauteur (Gfeller & Lansing,1991; Leal et al., 2003; Looi et al., 2008 ; Cooper et al., 2008).

Dans leur étude portant sur la validation d'un test pour l'évaluation des capacités de perception de la musique avec l'implant cochléaire, Kang et al. (2009) ont évalué les performances de discrimination de la hauteur, de reconnaissance de la mélodie et du timbre chez 42 sujets adultes implantés cochléaires avec un test d'évaluation clinique pour la perception de la musique (Clinical Assessment of Music Perception, CAMP). Ce test est basé sur une procédure adaptative permettant de déterminer la plus petite différence de hauteur perceptible (de 1 à 12 demi-tons) entre deux sons. Les résultats de cette étude confirment l'existence de difficultés de perception des indices spectraux avec un score moyen de 3 demi-tons pour la discrimination de changement de hauteur chez les sujets implantés. Conformément aux résultats de précédentes études, ils trouvent également une grande variabilité interindividuelle dans les études avec des scores variant de 1 à 8 demi-tons tandis que les scores obtenus pour la reconnaissance de la mélodie allaient de 0 à 95% avec une moyenne de 25%. Galvin et al. (2007) ont évalué les capacités de perception de la mélodie avec l'implant au moyen d'un test d'identification du contour mélodique en liste fermée (Melodic Contour Identification, MCI) ainsi que le bénéfice potentiel d'un entraînement spécifique pour la reconnaissance de mélodies familières. Les auteurs ont proposé une tâche d'identification de neuf contours mélodiques différents puis une tâche de reconnaissance de 12 mélodies familières, contenant ou non des indices rythmiques, à 11 adultes implantés cochléaires. Les résultats de cette étude ont révélé à nouveau une importante variabilité interindividuelle entre les sujets implantés cochléaires, avec des performances comprises entre 14% et 91%. De plus, tandis que certains participants pouvaient identifier des contours mélodiques à partir de différences de seulement deux demi-tons entre deux notes voisines,

l'augmentation des performances au test de MCI était positivement corrélée à l'augmentation du nombre de demi-tons entre deux notes voisines. Par ailleurs, les résultats montrent que la reconnaissance de mélodies familières dépend principalement des informations rythmiques avec un score moyen pour la reconnaissance de mélodies familières de 58% lorsque ceux-ci étaient disponibles et de 28% seulement lorsqu'ils ne l'étaient pas. Enfin, l'intérêt d'un entraînement régulier et spécifique à l'identification du contour mélodique a été démontré dans cette étude avec une amélioration des capacités de reconnaissance des mélodies familières et ce, même après l'arrêt de l'entraînement.

Dans leur revue de littérature, Hsiao & Gfeller (2012) soulignent que la perception, de même que la production, de la hauteur et de la mélodie représentent une difficulté importante pour un grand nombre de patients implantés cochléaires. Cependant, une grande variabilité interindividuelle est observée dans les études s'intéressant à la perception de la musique chez les adultes implantés cochléaires avec des performances pouvant atteindre la détection d'un demi-ton (Gfeller et al., 2007).

II .1.3 Timbre

Le timbre désigne l'ensemble des caractéristiques sonores qui permettent d'identifier un instrument. Il contribue de manière essentielle à la dimension esthétique de la musique. Le timbre est transmis à la fois par l'enveloppe temporelle du signal et par les informations spectrales dont la restitution est plus limitée avec l'implant cochléaire.

Gfeller et al. (2002) ont comparé les performances de 51 patients adultes implantés cochléaires à celles de 20 sujets contrôles normo-entendants dans une tâche de reconnaissance du timbre de huit instruments de musique représentant trois gammes fréquentielles et quatre familles d'instruments. Les résultats de cette étude ont mis en évidence des capacités déficitaires pour l'identification du timbre chez les sujets implantés (47% de réponses correctes) par comparaison aux sujets contrôles normo-entendants (90%). Dans leur étude, menée chez 15 adultes ayant bénéficié d'un implant cochléaire et 15 adultes porteurs de prothèses auditives conventionnelles, Looi et al. (2008) ont évalué l'identification d'instruments. Les résultats ont montré que la discrimination du timbre était possible pour des instruments n'appartenant pas à la même famille (par exemple la flûte et le piano) et plus facile pour des instruments isolés qu'en formation chez les sujets implantés cochléaires. McDermott (2004) a présenté une matrice de confusions à partir des performances de 10 sujets implantés cochléaires dans une tâche d'identification d'instruments. Parmi les 16

instruments proposés, les instruments percussifs, dont l'enveloppe temporelle est plus nette, étaient également plus facilement identifiés que les instruments à vent ou à cordes. Cette matrice met également en évidence des confusions plus fréquentes entre des instruments de familles différentes (par exemple la flûte avec le violon) que de mêmes familles (bois, cuivres ou instruments à cordes) contrairement aux résultats présentés dans l'étude de Looi (2008).

Dans l'ensemble, ces données confirment une nouvelle fois les difficultés d'accès à la perception et à l'appréciation de la musique pour les personnes implantées cochléaires. Cependant, Hsiao et Gfeller (2012) précisent que les capacités de reconnaissance du timbre dans la musique sont sensibles à l'effet d'un entraînement spécifique comme l'ont montré dans leurs études Driscoll (2012) et Gfeller et al. (2002b). L'exposition préalable à la musique chez des adultes ayant bénéficié d'un implant cochléaire à la suite d'une surdité évolutive pourrait les aider à retrouver des capacités d'écoute avec l'implant.

II.2 Emotions musicales avec l'implant cochléaire

Comme nous venons de le voir, plusieurs études ont examiné la perception des différents attributs de la musique par les sujets implantés cochléaires au cours de ces dernières années. Ce n'est pas le cas de la perception des émotions transmises par la musique. Cette lacune peut être attribuée d'une part aux capacités d'appréciation de la musique limitées chez les sujets implantés et d'autre part à l'absence de tests adaptés à l'évaluation de la perception émotionnelle musicale. A l'exception d'une étude très préliminaire menée par Rosslau et al. (2012) comparant les capacités de jugement émotionnel dans la musique de 6 sujets adultes implantés cochléaires par rapport à 6 sujets normo-entendants. Dans cette étude, les sujets devaient juger le degré d'éveil (arousal) d'extraits de musiques de films sélectionnés pour leur structure musicale peu complexe et leur facilité de reconnaissance. Ces stimuli avaient tous une valence positive et se différenciaient par leur degré d'éveil (trois niveaux différents). Les réponses des participants implantés indiquaient qu'ils étaient capables de percevoir l'aspect émotionnellement excitant de la musique avec une évaluation d'arousal toujours plus élevée que celle des normo-entendants.

Dans leurs récents travaux, Hopyan et al. (2012) ont évalué les capacités de perception de la musique de 23 enfants implantés cochléaires unilatéraux en comparant leurs performances à

celles de 22 enfants normo-entendants aux épreuves de perception de hauteur et de rythme ainsi que de mémoire de la version pour enfant de la MBEA. Les résultats de cette étude ont mis en évidence des différences significatives avec des performances plus faibles chez les enfants implantés par rapport à celles des enfants normo-entendants. Les enfants implantés avaient des capacités plus développées pour différencier des changements de rythmes et mémoriser des morceaux de musique que pour discriminer des changements de tonalité. Par ailleurs, contrairement à l'hypothèse initiale, les capacités de perception des indices acoustiques dans la musique étaient d'autant plus développées que l'âge d'implantation était élevé ce qui suggère l'existence d'un bénéfice lié à une expérience précoce de l'audition acoustique au profit de la perception de la musique via la stimulation électrique avec l'implant. L'accès à une stimulation acoustique précoce de l'audition dans les basses fréquences pourrait ainsi servir de base à la perception de la musique avec l'implant cochléaire.

A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à l'évaluation des capacités de jugement des émotions portées par la musique chez les adultes porteurs d'un implant cochléaire.

Chapitre IV

Conséquences de la surdité sur le traitement des émotions faciales

La communication entre les êtres humains met en jeu des processus de perception des informations verbales et non verbales afin d'interpréter les états mentaux de son interlocuteur et de déduire ses intentions. Dans le domaine émotionnel, ces informations sont multimodales et proviennent des indices suprasegmentaux contenus dans la voix ainsi que des expressions faciales et corporelles. Chez l'individu sourd, la perte auditive va avoir des conséquences importantes sur la communication. Les indices visuels seront d'autant plus importants pour comprendre les messages verbaux et communiquer avec autrui, notamment avec l'utilisation de la lecture labiale. Dans ce chapitre, nous examinerons dans quelle mesure la lecture labiale, développée depuis la survenue de la surdité, doit être envisagée comme une compétence *spécifique* au domaine verbal ou comme une compétence *globale* permettant de traiter les émotions faciales non verbales. Nous verrons également dans quelle mesure la réhabilitation auditive avec l'implant cochléaire peut avoir un impact sur l'intégration d'informations visuelles et non verbales.

I. Surdité et émotions faciales

La perte ou l'altération d'une modalité sensorielle entraîne des remaniements corticaux importants au profit des modalités intactes (Levanen & Hamdorf, 2001). Dans une étude en imagerie cérébrale fonctionnelle (IRM fonctionnelle), Lee et al. (2007) ont mis en évidence des réponses plus importantes dans les régions spécialisées dans le traitement auditif du langage (gyrus temporal et sillon temporal supérieurs gauches) lors d'une tâche de lecture labiale de chiffres, chez les participants atteints de surdité acquise par rapport aux sujets normo-entendants. Des régions traitant habituellement des informations auditives se mettent ainsi à analyser des données visuelles contenant des informations verbales et ce, de manière précoce, dès quatre mois après la survenue de la surdité. Selon les auteurs, une connectivité neuronale potentielle sous-jacente serait activée par la sollicitation accrue de la modalité visuelle au cours de l'installation de la surdité et reflèterait un mécanisme de compensation. La réorganisation cérébrale consécutive à la perte auditive comporte des spécificités selon la période de survenue de la surdité, avant ou après l'acquisition du langage. Cependant, la majorité des études portent sur la plasticité cérébrale en cas de surdité congénitale précoce. Dans ce cas, le caractère dynamique du réseau cortical a été démontré. Diverses situations de privation sensorielle ont été étudiées pour comprendre les mécanismes adaptatifs utilisés pour maintenir un niveau satisfaisant de communication avec l'environnement. Ainsi, il existe des

réorganisations inter modales correspondant au recrutement de circuits corticaux normalement dédiés à une modalité sensorielle par une ou plusieurs autres modalités, comme c'est le cas pour les régions auditives recrutées pour le traitement d'informations non auditives, et notamment visuelles, en cas de surdité (Bavelier et al., 2001; Finney et al.,2001). Ces modifications du réseau cortical soutiennent le développement de compétences perceptives dans la modalité sensorielle préservée et témoignent de l'existence de mécanismes compensatoire de la plasticité cérébrale permettant d'envisager les déficits sensoriels sous un angle différent (Bavelier et al., 2000, 2006; Collignon et al., 2006, 2009b; Gougoux et al., 2005).

La perte sensorielle se traduisant par l'utilisation accrue de la vision chez les sourds induit un changement comportemental. Ainsi, les sujets présentant une surdité congénitale développent des compétences spécifiques dans le traitement visuel périphérique au niveau de la réactivité à un stimulus visuel (Bottari et al., 2012), de l'analyse du mouvement (Bavelier et al., 2006) et de l'attention spatiale (Dye & Bavelier, 2010). Le développement de ces capacités s'accompagne également de réorganisation de l'intégration visuo-auditive avec l'activation des cortex auditifs (primaires et associatifs) chez des sujets sourds congénitaux lors d'une tâche de poursuite visuelle de points (Armstrong et al., 2002; Finney et al., 2001). De telles modifications sont également observées au niveau de l'intégration multimodale de la parole au travers de la lecture labiale (Kaiser et al., 2003; Tyler et al., 1997) et de la langue des signes qui associe la perception visuelle et somato sensorielle à la perception visuelle pour communiquer avec des gestes (Brozinsky and Bavelier, 2004; Neville et al., 1997; Proksch & Bavelier, 2002).

En cas de surdité neurosensorielle acquise à l'âge adulte, la plasticité cérébrale dans le réseau cortical permet de compenser la perte ou l'altération de la modalité auditive en ajustant les processus impliqués dans l'intégration audio-visuelle de la parole utilisés avant l'apparition de la surdité. De cette manière, la lecture labiale va être sollicitée et se développer afin de permettre le maintien de la communication verbale. Dans une étude incluant 97 sujets adultes présentant une surdité profonde acquise progressivement (perte auditive supérieure ou égale à 90 dB), Rouger et al. (2007) ont mis en évidence une augmentation rapide des capacités d'intégration audio-visuelle de la parole dès les premiers mois après la survenue de la surdité, bien supérieure à celles des sujets contrôles normo-entendants avec des scores atteignant 35% au lieu de 10% pour les sujets contrôles, comme l'indique la figure III.1.

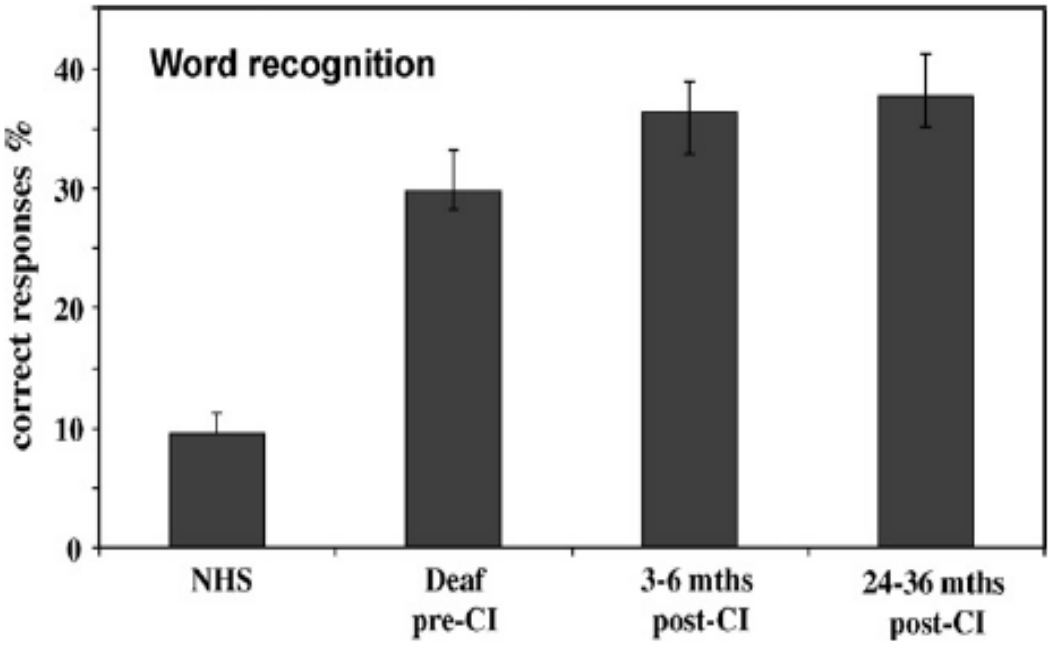


Figure IV.1 : Performances en lecture labiale pour la reconnaissance de mots dissyllabiques chez des sujets normo-entendants (NHS) et sourds testés avant (deaf pre-CI) et après (3-6 mths post-CI) puis (24-36 mths post-CI) l'implantation cochléaire (Strelnikov et al., 2009).

Comme nous venons de le voir, la compensation pour faire face à la surdité est particulièrement développée dans le domaine verbal. Mais qu'en est-il de l'efficacité du traitement visuel de ces personnes sourdes pour décoder les expressions émotionnelles sur les visages ? En effet, les travaux réalisés dans le domaine de la surdité ont porté, en grande partie, sur la communication verbale. Beaucoup moins d'études ont examiné les compétences des individus sourds dans le domaine émotionnel mais il existe toutefois quelques études réalisées auprès de sujets sourds atteints de surdité précoce apparues avant (surdité pré linguale) ou au cours de la période d'acquisition du langage (surdité péri linguale), que nous allons exposer ci-dessous.

Les résultats des principaux travaux réalisés dans ce domaine (Ludlow et al., 2010 ; Peterson & Siegal, 1995,1998) mettent en évidence l'existence d'un déficit dans le traitement visuel des émotions chez les enfants sourds congénitaux par rapport aux sujets contrôles appariés en termes d'âge mental et chronologique. Dans leur étude, Ludlow et al. (2010) ont évalué les capacités d'identification des émotions faciales d'un groupe de 26 enfants âgés de 6 à 17 ans présentant une surdité pré linguale sévère à profonde en proposant une tâche d'identification de trois émotions (la joie, la tristesse et la colère) dans des photographies et des dessins de visages. Les auteurs ont montré que les enfants sourds congénitaux avaient des difficultés de

reconnaissance des émotions faciales, et ce, sans qu'il existe de lien avec leur niveau de surdité ni d'expertise en langue des signes. Les auteurs ont ainsi posé la question de l'impact des limitations d'accès à un langage oral fonctionnel, et à des habiletés de communication développées, sur les capacités de traitement des émotions dans la modalité visuelle. Par ailleurs, des retards significatifs dans l'acquisition des compétences sociales ont été observés chez les enfants sourds congénitaux et des liens semblent exister entre les difficultés de jugement émotionnel et les retards d'acquisition du langage liés au manque d'interactions sociales (Peterson & Siegal, 1995, 1998). Dans une étude visant à examiner les capacités d'accès à la théorie de l'esprit chez 26 enfants âgés de 8 à 13 ans présentant une surdité pré linguale et pratiquant la langue des signes, Peterson & Siegal (1995) ont rapporté des difficultés d'élaboration et d'interprétation des pensées, actions et émotions d'autrui. Les résultats ont révélé des difficultés significatives chez 65% de ces enfants lors de la réalisation d'une tâche d'attribution de fausse croyance, réussie normalement par des enfants de 4 à 5 ans d'âge mental ou par des enfants présentant d'autres handicaps. Les résultats des enfants sourds étaient comparables à ceux d'enfants autistes testés avec la même tâche dans de précédentes études. Ces déficits ont été observés chez des enfants sourds avec des parents entendant ne pratiquant pas la langue des signes et de manière moins évidente lorsque les parents pratiquaient la langue des signes, offrant ainsi des potentialités d'interactions supplémentaires. D'autres travaux visant également à évaluer les capacités de perception des informations visuelles émotionnelles en lien avec l'accès à la théorie de l'esprit, ont confirmé que ces capacités ne pouvaient se développer au moment attendu qu'en situation d'exposition à des interactions verbales fréquentes (Weisel & Bar-Lev, 1992). Ces difficultés de reconnaissance des émotions dans un contexte de déficit d'exposition à des interactions sociales ont également été confirmées par Dyck et al. (2004) dans une étude comparant les performances d'un groupe d'enfants et d'adolescents sourds à des sujets contrôles présentant une cécité et à des sujets normo-entendants appariés en âge. L'évaluation des capacités de reconnaissance des émotions et de compréhension d'une situation émotionnelle en contexte a mis en évidence des difficultés qui diminueraient avec l'âge, les performances des sujets sourds restant toujours inférieures à celles des normo-entendants.

Dans son étude, Weisel (1985) a comparé les capacités de perception des expressions émotionnelles chez 45 hommes sourds pratiquant la langue des signes par rapport à celles de 60 sujets normo-entendants. Dans une tâche d'appariement entre des vidéos exprimant des émotions en langue des signes et des photos de visages exprimant six émotions primaires

(joie, peur, colère, tristesse, dégoût et surprise), les sujets sourds ont mieux reconnu l'expression de dégoût et les sujets normo-entendants la joie. Cependant, aucune sensibilité spécifique n'a pu être mise en évidence dans le groupe de sujets adultes sourds.

L'ensemble de ces données soulève la question de savoir si ce déficit de reconnaissance des émotions est lié au manque de stimulations sociales, reflétant ainsi l'expérience atypique des sujets sourds dans le domaine de la cognition sociale, ou bien à un déficit spécifique du traitement des informations visuelles.

II. Avec l'implant cochléaire

Comme nous l'avons déjà souligné, peu d'études se sont intéressées à l'évaluation de la perception des émotions portées par les visages chez les sujets implantés cochléaires. Les quelques études réalisées dans ce domaine ont été réalisées auprès d'enfants présentant des surdités pré ou péri linguales mais pas auprès d'adultes présentant une surdité évolutive.

Dans l'étude réalisée par Most & Aviner (2009), la perception des émotions a été évaluée au moyen de vidéos exprimant six émotions faciales de base (colère, peur, tristesse, joie, dégoût et surprise) énoncées sur une phrase émotionnellement neutre (« Je vais sortir et je reviendrai bientôt ») en modalité auditive seule, visuelle seule et audio-visuelle. Les capacités d'identification des émotions ont été évaluées auprès de 40 participants répartis en quatre groupes : 10 sujets implantés avant l'âge de 6 ans, 10 sujets implantés après l'âge de 6 ans, 10 sujets présentant une surdité bilatérale sévère à profonde et 10 sujets normo-entendants. En particulier, l'analyse des performances dans la tâche d'identification des expressions faciales en modalité visuelle seule (vidéos présentées sans le son) n'a pas révélé de différences significatives entre les quatre groupes de participants. Ces résultats sont en accord avec ceux de précédentes études ne rapportant pas de déficits significatifs pour la perception visuelle des émotions chez les sujets sourds par rapport aux normo-entendants (Dyck et al., 2004; Hosie et al., 1998; McCullough et al., 2005; Rollman & Harrison, 1996; Weisel, 1985).

Dans une étude incluant 18 enfants présentant une surdité pré linguale et ayant bénéficié d'une implantation cochléaire du côté droit avant l'âge de 3 ans, Hopyan-Misakayan et al. (2009) ont évalué la perception des émotions faciales au moyen d'une mesure standardisée consistant en une série de 24 dessins de visages d'enfants (Diagnostic Analysis of Nonverbal Behavior-2) exprimant quatre émotions basiques (joie, tristesse, colère et peur). Contrairement aux études citées précédemment, les résultats de cette étude n'ont pas révélé de

différences significatives pour l'identification des émotions faciales entre les enfants implantés et les sujets contrôles normo-entendants, soulignant ainsi l'existence de capacités de reconnaissance des émotions faciales.

Au contraire, dans une récente étude, Wiefferink et al. (2013) ont mis en évidence des performances déficitaires pour la reconnaissance des émotions faciales et l'attribution d'émotions dans des situations prototypiques contextuelles chez 57 enfants implantés cochléaires âgés de 2 ans et demi à 5 ans ayant des parents entendant et appariés en âge et en sexe à des contrôles normo-entendants. Une tâche de discrimination puis d'identification portant sur quatre émotions de base (joie, peur, colère et tristesse) ont été utilisées pour évaluer les capacités de reconnaissance émotionnelle dans les expressions faciales tandis qu'une tâche d'attribution émotionnelle à partir de vignettes (deux pour chaque catégorie émotionnelle) a été proposée pour évaluer la reconnaissance émotionnelle en contexte à travers des situations prototypiques de la vie quotidienne. Les résultats de cette étude mettent en évidence des performances déficitaires non seulement pour la reconnaissance des émotions faciales chez les enfants implantés cochléaires par rapport aux sujets contrôles normo-entendants mais également pour l'interprétation de la valence émotionnelle présente dans l'évaluation en situation contextuelle. La difficulté à distinguer les catégories de colère et de tristesse, toutes les deux de valence négative, semble s'apparenter aux difficultés rencontrées par les enfants plus jeunes normo-entendants (Vicari et al., 2000). Les résultats des sourds reflèteraient plus un retard d'acquisition qu'un déficit. Ce retard dans l'acquisition des compétences de traitement des émotions faciales serait lié aux carences en termes d'interactions sociales des personnes sourdes.

A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée à ce jour sur les capacités de traitement des émotions faciales non verbales par les adultes présentant une surdité acquise avant ou après avoir bénéficié d'un implant cochléaire. Comme c'est le cas pour les enfants présentant une surdité dès la naissance ou d'apparition précoce, le déficit d'interactions sociales lié à la survenue d'une perte auditive évolutive chez l'adulte pourrait avoir un impact sur le jugement des émotions exprimées sur les visages. C'est ce que nous proposons d'étudier dans nos études 3 et 4.

Bilan des objectifs

L'objectif de cette thèse est d'évaluer les capacités de reconnaissance des émotions auditives et visuelles dans le domaine non verbal chez des adultes présentant une surdité acquise de manière progressive. Nous avons tout d'abord étudié la reconnaissance des émotions auditives après implantation cochléaire en examinant la reconnaissance des émotions portées par la musique puis de celles portées par la voix. Compte tenu de l'importance de la modalité visuelle en cas de surdité, nous avons ensuite orienté notre réflexion sur la reconnaissance des émotions visuelles et, plus particulièrement, des expressions faciales avant et après l'implantation cochléaire. Nous avons choisi de prendre en compte la composante dynamique du traitement visuel, avec des visages dynamiques plutôt que statiques, car ils représentent des expressions émotionnelles en mouvement. Cette condition nous a semblée plus proche de l'émotion véhiculée par les stimuli auditifs qui prennent sens, par définition, dans leur réalisation temporelle.

Pour cela, 23 patients présentant une surdité post-linguale bilatérale évolutive sévère à profonde ont participé à ces recherches. Dix d'entre eux ont été évalués avant l'IC et 13 ont été testés après l'IC. Leurs résultats ont été comparés à ceux de 13 sujets normo-entendants appariés en termes d'âge, de sexe et de niveau d'éducation.

Les émotions ont été évaluées à partir d'une procédure initiale développée par Heberlein et al. (2004) pour la reconnaissance des catégories émotionnelles. Selon cette méthode, une cotation a été appliquée à chacune des réponses des participants avant et après l'IC, en prenant en compte la proportion de sujets contrôles normo-entendants ayant choisi cette même réponse pour un stimulus donné. Par exemple, si un stimulus a été identifié comme de la joie par 50% des contrôles normo-entendants, de la colère par 40% et de la neutralité par 10%, alors un score de 1.0 (.5/.5) sera attribué à la réponse « joie » tandis que la réponse « colère » sera notée .8 (.4/.5) et la réponse « neutre» sera notée .2 (.1/.5). Toutes les autres réponses, soit la tristesse et la peur, seraient cotées 0. Les scores de réponses correctes les plus élevés obtenus à partir des réponses des participants contrôles normo-entendants correspondent alors aux réponses les plus fréquemment données par ces derniers.

Afin de mesurer le ressenti émotionnel, nous avons également examiné la perception de la valence et de l'éveil. La valence émotionnelle oppose les émotions désagréables ou négatives aux émotions agréables ou positives tandis que l'éveil (arousal en anglais) ou excitation émotionnelle varie du calme au stimulant. Dans cette perspective, les catégories émotionnelles peuvent varier à travers ces deux dimensions (Russell, 1980).

L'humeur des participants a été évaluée avant les tâches de reconnaissance et de jugement émotionnels au moyen d'un questionnaire comportant une évaluation du niveau d'anxiété général et actuel (State and Trait Anxiety Inventory, Spielberger, 1983). Un second questionnaire dans lequel les participants devaient qualifier leur humeur au moyen d'adjectifs émotionnels a également été proposé (Profile of Mood Scale, Mc Nair et al., 1992).

Le premier article rapporte les résultats d'une étude sur le jugement des émotions portées par la musique chez des sujets implantés cochléaires et normo-entendant. Nous avons proposé des extraits musicaux (Vieillard et al., 2008 ; Gosselin et al., 2005) exprimant quatre catégories émotionnelles (joie, tristesse, peur et apaisement) dans des tâches de jugement catégoriel et dimensionnel des émotions induites par la musique. L'objectif de cette étude était de préciser les capacités de perception et de jugement des émotions dans la musique avec l'implant cochléaire ainsi que la préservation des habiletés émotionnelles. En dépit des difficultés reconnues pour la perception des informations musicales, nous avons émis l'hypothèse que les sujets implantés pouvaient de nouveau apprécier l'écoute de la musique et retrouver une certaine sensibilité musicale représentant une source d'interactions sociales.

Le second article rapporte les résultats d'une étude sur la perception des émotions portées par les voix chez des sujets implantés cochléaires et normo-entendant. Dans cette étude, nous avons utilisé le test des voix affectives de Montréal (Montreal Affective Voice ; Belin et al., 2008). Malgré un déficit de perception des indices acoustiques spectro-temporels contenus dans les voix, des capacités de jugement émotionnel pourraient être préservées chez les sujets implantés cochléaires.

Le troisième article rapporte les résultats d'une étude portant sur le jugement catégoriel et dimensionnel des émotions faciales permettant de préciser l'impact de la perte auditive puis de la réhabilitation avec l'implant cochléaire sur les habiletés émotionnelles visuelles. Pour cela nous avons comparé les performances des sujets sourds candidats à l'implantation cochléaire et de sujets implantés cochléaires à celles de sujets normo-entendant dans des tâches utilisant les visages dynamiques issus de la batterie d'expressions faciales émotionnelles dynamiques (STOIC Dynamic Facial Emotional Expressions Database ; Simon et al., 2008). Selon notre hypothèse, l'impact de la surdité évolutive pourrait être étendu au domaine non verbal visuel avec l'existence de capacités de perception et de jugement émotionnel déficitaires par rapport aux normo-entendant.

Le quatrième article rapporte les résultats d'une étude complémentaire visant à préciser l'effet de la réhabilitation auditive avec l'implant cochléaire sur les capacités de perception et de jugement des émotions transmises par les visages. Pour cela, les mêmes tâches ont été proposées aux participants sourds candidats à l'implantation cochléaire de la première étude, dix mois après l'activation de l'implant. Nous avons évalué le bénéfice de l'implantation cochléaire dans le domaine émotionnel non verbal pour la perception des émotions sur les visages en comparant les performances de ces patients avant et après l'implantation.

Partie expérimentale

CHAPITRE 1 : RECONNAISSANCE DES CATEGORIES ET DES DIMENSIONS EMOTIONNELLES MUSICALES APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE (ETUDE 1)

Cet article a été soumis.

Judgment of musical emotions after cochlear implantation in adults with progressive deafness.

Emmanuèle Ambert-Dahan[1,2], Anne-Lise Giraud[4], Olivier Sterkers[1], Séverine Samson[2,3]

[1] Unité Otologie, Implants auditifs et Chirurgie de la base du crâne, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[2] Laboratoire de neuroscience fonctionnelle et pathologie (EA 4559), Université de Lille-Nord de France, France

[3] Unité d'épilepsie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[4] Neuroscience Department, University of Geneva, Geneva, Switzerland.

Correspondence concerning this article should be addressed to:

Pr Séverine Samson

Department of psychology

University of Lille 3

BP 60 149

59653 Villeneuve d'Ascq Cedex

France

severine.samson@univ-lille3.fr

Tel : +33 3 20 41 64 43

Fax : +33 3 20 41 63 24

Abstract

While cochlear implantation is quite successful in restoring speech comprehension in quiet environments (Nimmons et al., 2008), other auditory tasks, such as emotional processing of musical information, remain very challenging for cochlear implant (CI) users. Here we tested how patients who received a CI following post-lingual progressive deafness perceive emotions in music. For this purpose, we used a task that consisted of 40 short musical excerpts chosen to express fear, happiness, sadness, and peacefulness (Vieillard et al, 2008). Participants were asked to rate (from 0 to 100) how much the presented musical excerpt expressed the four cardinal emotions, and to judge their emotional valence (unpleasant-pleasant) and arousal (relaxing-stimulating). The results of 13 adult CI patients with good verbal comprehension (dissyllabic words ≥ 70% except for one patient) were compared to those of 13 normal hearing participants matched for age, gender and education. Although CI users performed above chance level, their emotional judgments (mean correctness scores) were generally impaired for happy, scary, and sad, but not for peaceful, excerpts. CI users also demonstrated deficits in perceiving arousal of musical excerpts, whereas rating of valence remained unaffected. These findings are discussed in relation to the relatively spared abilities of CI users in perceiving temporal (rhythm and metric) as compared to spectral (pitch and timbre) cues that predominate in musical information (Cooper et al., 2008). The current results indicate that emotional judgment of musical excerpts are not uniformly impaired after cochlear implantation, suggesting that emotion processing of music might be trained.

Keywords : acquired deafness, cochlear implant, music, emotion, cochlear implant.

Most hearing people consider music as a source of pleasure, which certainly constitutes the main motivation for producing and listening to music. Musical pleasure is obviously compromised in persons who become deaf who miss the social enjoyment of music (Gfeller et al., 2002). In profound or severe hearing loss, when conventional hearing aids no longer provide the expected benefit, and when audiometric data are appropriate, cochlear implantation can be proposed. In this case, an array of electrodes is positioned inside the cochlea, and directly stimulates auditory nerve fibers, after the acoustical information from environmental sounds has been converted into electrical pulses.. The temporally and spectrally coded information contained in the CI signal is then transmitted and processed by the auditory cortex.

While CI is rather successful with respect to restoring speech understanding in quiet (Nimmons et al., 2008), music perception and enjoyment remains a challenge for cochlear implantees (Brockmeier et al., 2011; Migirov et al., 2009; Mirza et al., 2003), who tend to reduce their exposure to music (Lassaletta et al., 2008).

Over the last decade, several authors examined musical processing in CI users. Most studies report poor performance in musical processing, even though the tempo can still be well perceived. The only case, to our knowledge, who displayed excellent musical perception abilities after CI (Maarefvand et al., 2013) is a 30-year-old non professional musician who had undergone a simultaneous bilateral cochlear implantation after three years of deafness resulting of an inner ear autoimmune disease. This person presented no deficit in pitch direction discrimination with a threshold to 1/2 semitone and no impairment in melody and timbre recognition using the Clinical Assessment of Music Perception tests (CAMP, Kang et al. (2009). In addition, the patient's scores in more complex tasks such as consonance rating, relative and absolute pitch perception were not impaired as compared to five matched normal hearing (NH) participants. However, such exceptional musical performances might result from her previous musical experience and/or from the use of a combination of electric stimulation and residual hearing, as the patient is equipped with a right electro acoustic system in addition to a bilateral cochlear implant.

With this notable exception, most post-lingual deafened CI adults present severe difficulties in discriminating pitch (Kang et al., 2009; Looi et al., 2008), recognizing musical timbre (Gfeller et al., 2002; Kang et al., 2009; Looi et al., 2008; McDermott, 2004) and familiar melodies (Gfeller et al., 2002a; Kong et al., 2004; Looi et al., 2008) as compared to NH persons. Using the Montreal Battery for Evaluation of Amusia (Peretz, et al., 2003), it has been shown that CI users performed near chance level on pitch-based tests (Scale, Contour, and Interval), yet

obtained higher scores on temporal-based tests (Rhythm and Meter).. confirming that they do not show a deficit in rhythm-based (Gfeller et al., 2000a; Looi, 2008) or tempo discrimination tasks (Kong et al., 2004) relative to NH subjects (with rate discrimination difference limens obtained at 4–6 beats per minute). Despite continuous technical development (such as multichannel sound processors and signal processing strategies), CI devices transmit coarse spectral cues but not the fine structural key aspects of musical sounds necessary for adequate music processing through pitch, timbre and melody recognition (Gfeller et al., 2008).

Paradoxically, deaf persons indicate music enjoyment as a major motivation for getting an implant, beyond the expected benefit on speech perception and communication (Gfeller et al., 2002). One third of CI candidates resort to cochlear implantation for the mere purpose of being able to listen again to music (Kohlberg et al., 2013). Most of them consider that improving music perception abilities will enhance their quality of life (Drennan and Rubinstein, 2008). According to two surveys, post-lingual deafened CI users continue to listen to music (Lassaletta et al., 2008, n=65; Migirov et al., 2009, n=53) even if their exposure to music generally decreases. Musical listening seems to remain a pleasant experience for these listeners even if music transmission is poor through such devices. These comments suggest that CI users can recognize some of the emotions conveyed by music. Yet, there are still very few objective data about the capacity of CI users to perceive emotions from music.

Music appreciation in CI patients has essentially been explored using self-reported questionnaires, characterizing listening habits and enjoyment of music before and after cochlear implantation. A single study reports emotional judgments in addition to music perception in six post-lingual CI adult users and six NH subjects (Rosslau et al., 2012). CI participants were able to perceive various degrees of arousal in famous movie soundtracks, and did not show the typical difficulties in pitch, rhythm and harmony perception using the standard test battery MedEl MUSIC test (Brockmeier et al., 2011). Although these findings suggest that perception of arousal conveyed by music is still possible in CI users, we should remain cautious about the interpretation of these results given that the music excerpts were familiar to the participants.

By listening to music, NH listeners can to some extend recognize emotional categories such as fear, peacefulness, happiness and sadness. They can also perceive arousal (from ‘relaxing’ to ‘stimulating’) and valence (from ‘unpleasant’ to ‘pleasant’). According to Gingras et al.

(2013), the manipulation of acoustic cues does not have the same effect on music-induced subjective arousal and pleasantness. To validate their hypothesis, ratings of subjective arousal and pleasantness (valence) were obtained in non-musician participants who listened either to original or amplitude-normalized loudness matched musical excerpts. Although the manipulation of intensity did not affect the subjective rating of arousal and pleasantness, spectral features (spectral flux and spectral entropy) played modulated the perception of arousal in both original and amplitude-normalized loudness matched musical excerpts. This suggests that arousal judgment depends on spectral properties rather than on intensity features. In addition, the authors found that the proportion of variance explained by basic acoustic features is higher for arousal than for valence ratings of musical excerpts. Based on these findings, the authors concluded that arousal induction could correspond to a bottom-up process related to the physical characteristics of the stimulus (spectral information) whereas valence induction may be more culturally determined in the context of musical emotions. We can therefore propose that difficulties in processing spectral properties of sounds observed after cochlear implantation in post-lingual deafened persons will have more deleterious impact on arousal than on valence ratings.

To address the perception of emotions conveyed by music in CI users, we examined how post-lingual deafened patients with CI judge musical excerpts composed with the intention of inducing fear, peacefulness, happiness and sadness, and compared the results with those obtained in a group of normal-hearing subjects. Participants performed three different emotional tasks: an emotion classification task requiring to assess the amount of threat, peacefulness, happiness and sadness in musical excerpts, and two general arousal and valence tasks where participants judged the quality of music excerpts from 'relaxing' to 'stimulating', and from 'pleasant' to 'unpleasant', Finally, to distinguish between emotion perception deficit and mood disturbance, we administered anxiety and mood questionnaires (STAI: Spielberger, 1983 and POMS: McNair, Lorr, & Droppleman, 1992). Given music perception disturbances in CI users (i.e. Cooper et al., 2008; Kang et al., 2009), we predicted that these persons would show deficits in the recognizing of the four cardinal emotions (happiness, peacefulness, fear and sadness). Furthermore, we predicted that CI users would be more impaired in judging emotional arousal than valence in musical excerpts, given that study in NH subjects showed that arousal judgments rely mainly on spectral cues that are badly transmitted by CI. Finally, considering that implant patients continue to listen to music, we figured out that they would

still experience pleasure and appreciate music. Therefore, they might be able to perceive, to some extent, emotional valence.

2. Methods

2.1 Participants

Thirteen French-speaking patients with severe to profound post-lingual progressive sensori-neural hearing loss were tested at least one year after unilateral cochlear implantation. Most cases had a controlateral hearing aid (HA; n=11) and the remaining participants (n=2) had no controlateral HA. They all used oral communication rather than sign language and obtained good speech perception performances (dissyllabic words recognition ≥ 50%) after CI at the time of testing. None of them had neurological or psychiatric history. They were all tested at the ENT department (Beaujon hospital, Paris). A group of 13 normal-hearing (NH: 9 F / 4 M; mean age= 57.0; SD= 11.1 ; mean year of education= 17.1, SD= 3.0) controls matched to the CI patients in terms of sex, age and education (CI: 9 F / 4 M; mean age= 57.8; SD= 11.5 ; mean year of education=15.2; SD=1.8) were also tested. None of the participants were musician except one CI patient (CI 13). Demographic, clinical and language data of the CI users are presented in Table 1. All participants gave their informed consent before testing in accordance with the Declaration of Helsinki.

Insert Table 1

2.2 Stimuli

The musical material consists of 40 excerpts that conveyed four intended emotions (happiness, n=10; sadness, n=10; threat, n=10 and peacefulness, n=10). The intended emotion, valence and arousal of each selected musical excerpts have been validated in a study by Vieillard et al. (2008). As specified in Gosselin et al., (2005), excerpts were composed following the rules of the Western tonal system, and were based on a melody with an accompaniment. The stimuli had a regular temporal structure with the exception of a few scary excerpts. The happy excerpts were written in a major mode at an average rapid tempo, the melodic line lying in the medium–high pitch range, and the pedal was not used. In contrast, the sad excerpts were written in a minor mode at an average slow tempo with the pedal. The peaceful music was composed in a major mode, had an intermediate tempo and was played with pedal and arpeggio accompaniment. Most scary excerpts were regular and

consonant, with various tempos ranging from slow to rapid and composed with minor chords on the third and sixth degrees, implying the use of accidentals. Only few excerpts had irregular rhythms and were dissonant. All excerpts were computer-generated and recorded in a piano timbre with a mean duration of 12 s. Examples can be heard at www.brams.umontreal.ca/peretz.

2.3 Procedure

The musical excerpts were presented in a pseudo-randomized order using Presentation software (Neurobehavioural Systems Inc., San Pablo, CA) and at a comfortable listening level of 70 dB via two loudspeakers (Logitech X-140, RMS total power of 5 W, bandwidth 80 Hz-18 kHz) positioned on each side of the video monitor. After the presentation of each musical excerpt, the participants had to perform three different emotional tasks. The first one required participants to judge to what extent the music expressed each labeled emotion (threat, peacefulness, happiness and sadness) on four rating scales where 0 corresponded to 'absent' and 100 to 'present'. The second and third task required participants to judge each music excerpt for its arousal (from 'relaxing' to 'stimulating') and its valence (from 'unpleasant' or 'negative' to 'pleasant' or 'positive').

Participants were explicitly required not to judge their own felt emotion but to rate the emotion conveyed by the musical excerpt. The stimuli were presented only once and no feedback was given. Ratings along the visual analogue scale were displayed on a computer screen with identical unmarked horizontal lines and numerical labels at each extremity (0-100).

Before the experiment, a training session was carried out to ensure that each participant understood the meaning of each targeted emotional category (fear, sadness, happiness and peacefulness) by associating short sentences to the most appropriate emotional label (e.g., for happiness: "Eric had just won the lottery"). The comprehension of the terms, valence and arousal, was also verified by rating four situations (e.g., "Sophie has just received a wonderful travel for her wedding" was supposed to be extremely positive and extremely arousing). Feedback was presented to insure the appropriate use of the two scales.

2.4 Mood questionnaires

The State and Trait Anxiety Inventory (STAI : Spielberger, 1983) and the Profile of Mood Scale (POMS : Mc Nair et al;, 1992) were administrated before the emotional rating task. The

STAI is composed of two scales: the trait STAI to assess the general level of anxiety which is presumed to be stable over time and the state STAI to assess the present level of anxiety. The POMS is composed of 30 emotional adjectives and the participants had to rate how they describe their current mood (from 0 *not at all* to 4 *extremely*). Six emotional scales can be derived: Tension, Depression, Anger, Vigor, Fatigue and Confusion. As reported in Table 2, there is no difference between the two groups of participants on none of these scores.

Insert Table 2

3. Results

3.1. Categorical judgments

Since participants were free to select simultaneously as many of the four emotion labels as they wished among the four emotions (happiness, fear, sadness and peacefulness) by providing a graded judgment for each, we first derived the best label attributed to each musical excerpt by each participant by selecting the rating scale that had received the maximal rating. When the highest rating was given for more than one label, e.g., when a participant judged a musical excerpt to express both surprise and fear to the same degree, it was considered ambivalent and was not included in the analysis.

To compare emotion labels given by CI patients and by NH participants, we calculated for each participant correctness scores using a proportional approach as proposed by Heberlein et al. (2004) : each response was given a correctness score based on the proportion of subjects in the NH group giving that response (minimum of the correctness score=0; maximum=1). Higher correctness scores corresponded to answers that were chosen a large number of times by NH participants whereas lower correctness scores corresponded to answers that were less frequently chosen by NH participants. A correctness score of “zero” corresponded to responses that had never been given by NH participants. When two labels received the highest rating (e.g., when a participant judged a musical excerpt to express both fear and sadness to the same degree) it was considered ambivalent. Correctness scores are useful because a same emotional musical excerpt can be perceived as expressing more than one single emotion, inducing variability in the labeling by normal listeners. In other words, such a proportional method takes into account the type of errors, considering that some errors are more acceptable than others. For example, a peaceful musical excerpt can also express some sadness in

addition to peacefulness and it is less inaccurate to judge this excerpt as expressing sadness than happiness even if sadness is not the intended emotion. Considering such a graduation among the type of errors using correctness scores permitted refinement of the analysis.

Insert Figure 1

As can be seen in Figure 1, CI patients' judgments differed from those of NH participants, especially for happiness, fear and sadness. Happy, scary and sad music were indeed less well recognized by CI (happy=.73; scary=.53; sad=.58) patients than by NH participants (happy=.99; scary=.78; sad=.78). Since the criteria for variance homogeneity were not met, we used non-parametric analyses to compare average correctness scores in CI and NH groups as a function of the intended emotion. Mann–Whitney U tests revealed that CI participants were less accurate in recognizing happiness (z= -2.54; P <.05), fear (z= - 3.36; P <.001) and sadness (z=- 2.59; P <.01) than NH participants but there was no difference for peacefulness (p>.05). However, all CI participants performed well above chance level (25%).

3.2. Judgments of valence and arousal

The ratings of valence and arousal for each emotional category obtained by each group of participants are presented in Figure 2. Mann-Whitney U tests revealed no group difference between the valence scores for happy (z = - 1.31; P >.05), peaceful (z= - 1.72; P >.05), fearful (z = - 0.44; P >.05) and sad excerpts (z = - 0.90; P >.05). However, we found group differences between the ratings of arousal for happy (z=- 2.07; P <.05), peaceful (z=-2.28; P <.05), fear (z=- 3.31; P <.001) and sad musical excerpts (z=- 3.00; P <.01), CI users judging musical excerpts as being less arousing than NH participants.

Insert Figure 2

3.3. Individual analyses

To further explore the results for musical emotions, we compared individual correctness scores between CI and NH participants (Crawford and Garthwaite, 2007), using the mean score of the four intended musical emotions. The results showed that 7 CI participants (CI 1, 6, 7, 8, 9, 11 and 12) out of 13 were significantly impaired in musical emotions categorical judgment (all ps<.05). These impaired patients were on average 57 years [50-68] and the

mean cochlear implant duration was 28 months [12-57]. By contrast, the 6 CI participants (CI 2, 3, 4, 5, 10 and 13) that did not show any deficit were on average 58 years [39-76] and the mean cochlear implant duration was 44 months [12-120].

3.4. Emotional judgments of music and language performances

Spearman correlation between language performance in noise (global score of sentences recognition with a signal to noise ratio of 10 dB) with CI and emotional judgments of musical excerpts was computed for CI users. Language performance in noise was correlated with the global mean correctness score of the four intended musical emotions (Rho = 0.60, $p<.05$) but not with the perception of arousal (Rho = -0.29, $p>.05$).

4. Discussion

The aim of our study was to test how CI users with acquired post-lingual progressive deafness, perceive emotions conveyed by music. We used an emotional rating task in which participants had to judge the extent to which musical excerpts expressed four cardinal emotions (peaceful, happiness, sadness and fear) on visual analog rating scales using the same stimuli as Gosselin et al. (2005) and Vieillard et al. (2008). We further assessed the perception of arousal and valence of the same musical excerpts to specify the ability of patients with CI to experience emotional dimensions.

We show that CI participants were less accurate than NH participants in recognizing happy, scary and sad but not peaceful musical excerpts. Yet, the scores obtained by CI users were well above chance level, suggesting that emotional judgments of musical excerpts are not uniformly affected by auditory restoration with cochlear implants. We also found a deficit in perceiving emotional arousal, CI users being less excited by music than NH listeners. Conversely, rating of emotional valence was not impaired after cochlear implantation. Given that none of the participants were able to perform such judgment before cochlear implantation because of profound deafness, these results demonstrated the benefit of CI in recovering some auditory abilities that allow adults with progressive deafness to recognize to some extent musical emotions and to discriminate pleasant and unpleasant musical stimuli. These findings might explain why CI users are still attracted by music and can enjoy music listening (Kohlberg et al., 2013), even if judgments of musical emotions remain impaired.

Progressive hearing loss has been identified as factor of vulnerability to depression (Hallam et al., 2006) with a prevalence rate of depressed mood almost 5 times higher than in the general population (Garnefski and Kraaij, 2012). To verify the existence of a possible trend of *affective blunting* related to acquired hearing loss in patients with CI, mood of all participants was assessed with mood questionnaires (STAI: Spielberger, 1983 and POMS: McNair et al., 1992). The results revealed no difference between CI and NH participants suggesting that none of the participant present depression or anxiety disturbances that might have interfere with judgment of musical emotion. It is also important to point out that all patients were able to understand the emotional labels used in this task. Therefore, deficits in recognizing happy, sad and scary music seen here cannot be explained by difficulties in language comprehension or by a general emotional deficit, as recognition of peaceful music and valence perception remain intact.

The deficits in emotional judgments shown in the present study can presumably be attributed to the poor transmission of pitch cues and particularly fundamental frequency (F0) by the device. CIs are less effective in transmitting the fine structural key aspects of musical sounds, and conveys coarse spectral cues. Limitations of CI transmission that produce impairments in pitch, timbre and melody perception (i.e. Gfeller et al., 2002a; 2008; Mc Dermott, 2004) can also affect recognition of happy, sad and scary music by CI users. Yet, pitch perception is possible for CI users only with large frequency differences (Gfeller et al; 2002a; Kong et al., 2004; Looi et al., 2004; Mc Dermott, 2004) allowing some contrasted emotional stimuli such as happiness, whose melodic line is in the medium–high pitch range, to be differentiated from peacefulness or sadness, whose melodic line is in the medium–low pitch range.

Such abilities can also be explained by the use of timing and rhythmic cues that CI users appear to be able to process. Perception of rhythm in music is related to the perception of the duration of sounds and gaps between sounds that CI users perceive (McDermott, 2004). Then, rhythmic differences could be encoded as temporal gaps or amplitude modulations or both (Shannon, 1983; 1993). According to several studies, CI recipients do not differ from NH adults in rhythm-based tasks (Gfeller et al., 2000a; Kong et al., 2004; Looi et al., 2008) or in tempo discrimination tasks (Kong et al., 2004). The use of this temporal information can also provide relevant cues to distinguish happy excerpts characterized by rapid tempo from sad and peaceful excerpts associated to slow and intermediate tempo, or from fear which sometimes had irregular rhythms.

Given that a rapid tempo could be associated with a positive but also arousing emotion such as happiness while a slower tempo could be judge as a more negative and less arousing emotion such as sadness, such temporal cues could also play a role in perceiving emotional valence and arousal judgments. However, it remains difficult to explain why CI listeners can rate emotional valence whereas they are less sensitive to arousing stimuli than NH participants. In 2013, Gingras et al. proposed that emotions in music are conveyed by two types of underlying cues comprising universal acoustic cues (i.e. intensity, pitch and tempo) and culturally determined cues associated with a specific musical system such as the western-common-practice tonality. Before their hearing loss, CI users have experienced music listening in their everyday life, and have been exposed to the use of both types of cues. Thus, because of deafness, CI listeners might continue to rely on cultural cues to compensate difficulties in acoustic cues processing being therefore able to perceive emotional valence in musical excerpts. Moreover, we may suppose that the ability to judge emotional valence in musical excerpts in CI listeners could be partly explained by their strong motivation to be able to feel pleasantness in music. A direct relation could be established between the search of reward in being able to detect pleasantness in musical excerpts, music appraisal abilities and valence judgment abilities in CI users. The ability to perceive the pleasantness of music is all the more important that pleasure can come from musical excerpts with positive or negative valence, as for instance melancholy in music is pleasant for some listeners. Then, valence judgment belongs to everyday emotional life and, to some extent, contributes to social abilities and interactions. Considering that CI users continue to listen to music, we conjecture that they are still experiencing pleasure and appreciating music. Therefore, they might be able to judge musical pleasantness by rating emotional valence, even though the exact cues they use remain to be clarified.

In agreement with our predictions but in contradiction with Rosslau et al.'s data (2012), we found that CI listeners were impaired in arousal judgments, which seem to rely mainly on spectral cues that are coarsely transmitted by CI. The apparent discrepancy between the studies can however be explained by methodological differences. These authors used a simple task where subjects rated three levels of arousal of familiar musical excerpts that all had positive valence. Moreover, the lack of significant results could be attributed to the small number of participants included in their study (6 CI users). To interpret the deficit in perceiving arousal, some authors have discussed the crucial role of intensity cues as musical emotions conveyors, positive association between sound intensity and arousal induction in subjective ratings being well documented (Ilie & Thompson, 2006; Scherer, 1989). However,

recent evidence suggests that spectral features (spectral flux and spectral entropy) are more important than intensity cues in arousal rating (Gingras et al., 2013). By controlling the effect of amplitude normalization on music-induced subjective arousal in NH non-musicians, these authors found that spectral cues accounted for a large part of the variance in arousal ratings in both original and amplitude-normalized loudness matched musical excerpts. Based on these results, arousal judgment was proposed to rely on other acoustic features than intensity. In agreement with Brunswik's (1957) concept assuming that a listener can infer arousal levels from the available intercorrelated cues (rhythmic, tonal and spectral features) when a more efficient cue is not available, the poor transmission of spectro-temporal redundancy cues by the CI could again be responsible for the impairments of CI users in rating arousal of musical excerpts.

Furthermore, we found that emotional recognition of musical excerpts, but not perception of arousal, is correlated with sentence recognition with a signal to noise ratio of 10 dB. This finding suggests that recognition of emotional categories and ratings of arousal do not depend on the same variables. Like perception of emotional features of music, speech perception in noise requires the ability to use pitch cues to separate information from the background, as shown by Qin & Oxenham (2003). Then, poor pitch perception abilities in CI patients with small benefit for speech perception in noise could partly explain their impairment in recognizing emotional categories of musical excerpts. This impairment could then be explained by the lack of pitch coding in CI speech processing strategies conveying more efficiently envelope information than fine (spectral and temporal) structure information (Cullington and Zeng, 2011). Inspection of individual data also showed CI users that present difficulties in recognizing emotion also had shorter post-CI duration and less practice with CI than non impaired CI users suggesting that patients with CI need time to recover auditory functions required for recognition of musical emotions. Therefore, emotional judgment in music could be assimilated to a complex task requiring good pitch perception as for speech perception in noise, with competitive talkers or tone of voice identification and time to be adapted to the device.

5. Conclusion

This study examined for the first time emotional judgments music in CI adult recipients with progressive sensori-neural hearing loss. We tested recognition of emotion and perception of arousal and valence, and show that CI listeners were impaired in judging emotions conveyed by music, although they still remain able to perform above chance level. This finding suggests that CI does partially allow for for musical emotions processing, and that despite their sensory impairment, CI users can appreciate music listening and perceive the valence of music. The relatively spared abilities of CI listeners to judge emotional valence, as compared to arousal, and to recognize peacefulness in musical excerpts confirm previously reported observations indicating that CI users can use temporal acoustic cues to process music (Kong et al., 2004). We can therefore propose that the larger improvement in processing temporal (rhythm and metric) rather than spectral (pitch and timbre) cues reported after cochlear implantation (Cooper et al., 2008) might benefit to the processing of musical emotions. Taken together, these results demonstrate the benefit of cochlear implantation for emotional perception in music. Although CI users remain impaired as compared to NH in judging emotional categories and rating of arousal in musical excerpts, they can enjoy listening to music. Music appraisal with a cochlear implant seems related to the ability to judge emotional valence induced by music, which could, to some extent, represent a sort of gratification and contribute to restore social interactions.

References

Brockmeier SJ, Fitzgerald D, Searle O, Fitzgerald H, Grasmeder M, Hilbig S, Vermiere K, Peterreins M, Heydner S, Arnold W. (2011) The MuSIC perception test: a novel battery for testing music perception of cochlear implant users. Cochlear Implants Int.;12(1):10-20.

Brockmeier SJ, Nopp P, Vischer M, Baumgartner W, Stark T, Schoen F, Mueller J,

Brunswik, E. (1957). Scope and aspects of the cognitive problem. In H. Gruber, K. R. Hammond, & R. Jessor (Eds.), Contemporary approaches to cognition (pp. 5–31). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Crawford JR, Garthwaite PH. (2007). Comparison of a single case to a control or normative sample in neuropsychology: development of a Bayesian approach. Cogn Neuropsychol. Jun;24(4):343-72

Cullington HE, Zeng FG. (2011). Comparison of bimodal and bilateral cochlear implant users on speech recognition with competing talker, music perception, affective prosody discrimination, and talker identification. Ear Hear.;32(1):16-30.

Drennan WR. & Rubinstein JT.(2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. J Rehabil Res Dev., 45(5):779-89.

Garnefski N, Kraaij V. (2012). Effects of a Cognitive Behavioral Self-help program on emotional problems for people with acquired hearing loss: a randomized controlled trial. J Deaf Stud Deaf Educ.;17(1):75-84.

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. J Am Acad Audiol. 19(2):120-34.

Gfeller K, Turner C, Woodworth G, Mehr M, Fearn R, Witt S, Stordahl J. (2002a) Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. Cochlear Implants Int.;3:31–55.

Gfeller K, Witt S, Adamek M, Mehr M, Rogers J, Stordahl J. (2002b) The effects of training on timbre recognition and appraisal by postlingually deafened cochlear implant recipients. J Am Acad Audiol; 13:132–145.

Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr M, Knutson JF. (2002c) Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. Ann Otol Rhinol Laryngol; 111:349–356.

Gfeller K, Witt S, Stordahl J, Mehr M, Woodworth G. (2000a). The effects of training on melody recognition and appraisal by adult cochlear implant recipients. Journal of the Academy of Rehabilitative Audiology; 33:115–138.

Gfeller K, Christ A, Knutson JF, Witt S, Murray KT, Tyler RS. (2000b). Musical backgrounds, listening habits, and aesthetic enjoyment of adult cochlear implant recipients. Journal of the American Academy of Audiology;11:390–406.

Gingras B, Marin MM, Fitch WT. (2013). Beyond intensity: Spectral features effectively predict music-induced subjective arousal. Q J Exp Psychol (Hove).

Gosselin N, Peretz I, Noulhiane M, Hasboun D, Beckett C, Baulac M, Samson S. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. Brain.;128:628-40.

Hallam, R., Ashton, P., Sherbourne, K., & Gailey, L. (2006). Acquired profound hearing loss: Mental health and other characteristics of a large sample. International Journal of Audiology, 45, 715–723.

Heberlein AS, Adolphs R, Tranel D, Damasio H. (2004). Cortical regions for judgments of emotions and personality traits from point-light walkers. J Cogn Neurosci., (7):1143-58.

Ilie, G., & Thompson, W. F. (2006). A comparison of acoustic cues in music and speech for three dimensions of affect. Music Perception, 23, 319–330.

Kang R, Nimmons GL, Drennan W, Longnion J, Ruffin C, Nie K, Won JH, Worman T, Yueh B, Rubinstein J. (2009) Development and validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception test. Ear Hear. 2009 Aug;30(4):411-8.

Kohlberg G, Spitzer JB, Mancuso D, Lalwani AK. (2013) Does cochlear implantation restore music appreciation? Laryngoscope. 2013 May 21.

Kong YY, Cruz R, Jones JA, et al. Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. (2004). Ear Hear. 2004; 25:173–185. Kreutz G, Ott U, Teichmann D, Osawa

Lassaletta L, Castro A, Bastarrica M, et al. (2008). Changes in listening habits and quality of musical sound after cochlear implantation. Otolaryngol Head Neck Surg.,138:363–367.

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. Int J Audiol., 47(5):257-68.

Looi V., McDermott H., McKay C. & Hickson L. (2004). Pitch discrimination and melody recognition by cochlear implant users. In: R.T. Miyamoto (ed.) Cochlear Implants: Proceedings of the VIII International Cochlear Implant Conference. Amsterdam: Elsevier, pp. 197-200.

Maarefvand M., Marozeau J. & Peter J. Blamey P.J. (2013). A cochlear implant user with exceptional musical hearing ability. International Journal of Audiology 2013; 52: 424–432

McDermott,H.J.(2004). Music perception with cochlear implants : a review. *Trends Amplif.* 8, 49–82.

McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). *Profile of mood States (Revised)*. San Diego, CA: Edits: Educational and Industrial Testing Service.

Migirov L, Kronenberg J, Henkin Y. (2009). Self-reported listening habits and enjoyment of music among adult cochlear implant recipients. Ann Otol Rhinol Laryngol.;118(5):350-5

Mirza S, Douglas SA, Lindsey P, Hildreth T, Hawthorne M. Appreciation of music in adult patients with cochlear implants: A patient questionnaire. (2003). Cochlear Implants Int.; 4:85–95.

Nimmons GL, Kang RS, Drennan WR, Longnion J, Ruffin C, Worman T, Yueh B, Rubenstien JT. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners.Otol Neurotol.;29(2):149-55.

Peretz, I., Champod, S. & Hyde, K. (2003) Varieties of Musical Disorders: The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences* , vol. 999, pp. 58-75

Qin, M. K., Oxenham, A. J. (2003). Effects of simulated cochlearimplant processing on speech reception in fluctuating maskers. *Journal of the Acoustical Society of America*, *114*, 446–454.

Rosslau K, Spreckelmeyer KN, Saalfeld H, Westhofen M. (2012). Emotional and analytic music perception in cochlear implant users afteroptimizing the speech processor. Acta Oto-Laryngologica,132: 64–71.

Shannon RV. Detection of gaps in sinusoids and pulse trains by patients with cochlear implants. (1989) J Acoust Soc Am. 1989; 85:2587–2592.

Shannon RV. Temporal modulation transfer functions in patients with cochlear implants. (1992). J Acoust. Soc Am.; 91:2156–2164.

Spielberger, C. D. (1983). *Manuel for the State-Trait Anxiety*. Palo Alto: Ed. Consulting Psychologists Press Inc.

Vieillard S., Peretz I., Gosselin N., Khalfa S., Gagnon L.,Bouchard B. (2008) Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cogn. Emot,* 22, 720-752.

Participant	Sex	Age	Educ. (years)	Cause of deafness	Degree of loss (dB)	Prof. deafness duration (years)	Side of CI	CI sound processor	CI Dur. (mths)	Disyll. words with HA (%)	Disyll. words with CI alone (%)	Sentences with CI S/N=10 dB (%)	Music. Exper.
Post-CI 1	F	68	20	Otosclerosis	Left = 112 Right = 89	10 - 20	L	Freedom (Cochlear)	12	60	90	53	No
Post-CI 2	F	74	15	Hereditary	Left = 120 Right = 120	>20	L	Freedom (Cochlear)	36	50	80	62	No
Post-CI 3	H	39	16	Unknown	Left = 120 Right = 102	0-10	R	Freedom (Cochlear)	12	0	90	93	No
Post-CI 4	F	76	15	Unknown	Left = 74 Right = 93	>20	R	Freedom (Cochlear)	24	70	90	88	No
Post-CI 5	H	59	14	Traumatic	Left = 95 Right = 120	0-10	L	Harmony (Ad.Bion.)	51	100	100	78	No
Post-CI 6	F	63	15	Schwanomma	Left = 120 Right = 81	0-10	R	Freedom (Cochlear)	20	0	70	64	No
Post-CI 7	F	59	12	Otosclerosis	Left = 88 Right = 53	10 - 20	R	Freedom (Cochlear)	18	90	100	40	No
Post-CI 8	F	55	14	Neuropathy	Left = 80 Right = 107	0-10	R	Freedom (Cochlear)	24	10	100	97	No
Post-CI 9	F	52	14	Unknown	Left = 77 Right = 85	0-10	L	Opus 2 (Medel)	18	50	80	77	No

Post-CI 10	F	39	15	Unknown	Left = 120 Right = NA	0-10	L	Freedom (Cochlear)	120	20	90	81	No
Post-CI 11	F	54	16	Crohn disease	Left = 62 Right = 120	0-10	R	Freedom (Cochlear)	57	60	80	100	No
Post-CI 12	H	50	16	Menière	Left = 120 Right = 48	0-10	L	Freedom (Cochlear)	48	50	90	60	No
Post-CI 13	H	63	16	Menière	Left = 45 Right = 85	0-10	R	Harmony (Ad.Bion.)	18	100	60	0	Yes
Mean	-	57.8	15.2	-	-	-	-	-	35.2	50.8	83.8	68.7	-
SD	-	11.5	1.8	-	-	-	-	-	29.6	35.0	11.9	27.4	-

Table 1. Demographic, clinical and language data for each patient of the CI group (CI : cochlear implant; HA : hearing aid; LR : lip reading; S/N : signal to noise ratio).

Table 2. Results for mood questionnaire for CI and NH participants.

	Groups		Mann-Whitney
STAI	**NH**	**CI**	
Trait anxiety	31.69±1.58	36±1.79	U=71.5, p>.05
State anxiety	37.38±1.67	34±2,60	U=81.5, p>.05
POMS			
Anger	3.23±0.85	3.54±0.98	U=81.5, p>.05
Anxiety	3.62±0.58	3±0.74	U=65, p>.05
Depression	3.08±0.56	2.62±0.84	U=65.5, p>.05
Confusion	5.15±0.62	4.77±0.82	U=68.5, p>.05
Vigor	12.77±0.61	13.77±1.28	U=61, p>.05
Fatigue	3.31±0.52	3.85±1.01	U=83.5, p>.05

Figure 1. Mean correctness scores of the normal hearing controls (NH) and cochlear implanted patients (CI) as a function of the four i ntended emotions (bars represent the standard error of the mean).

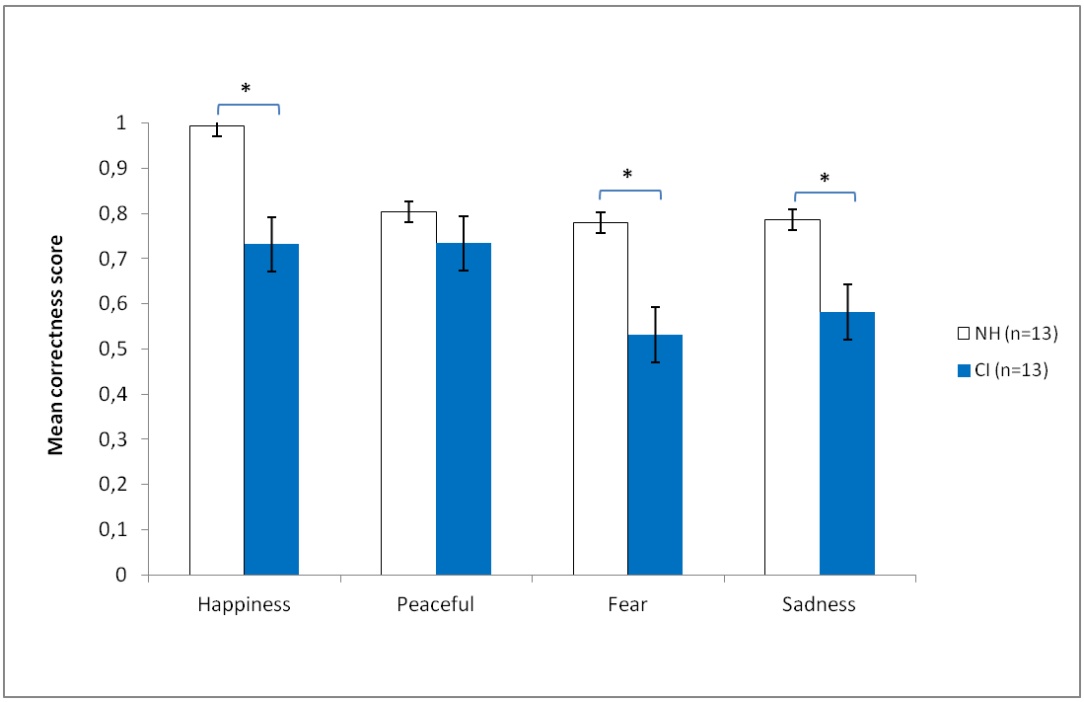
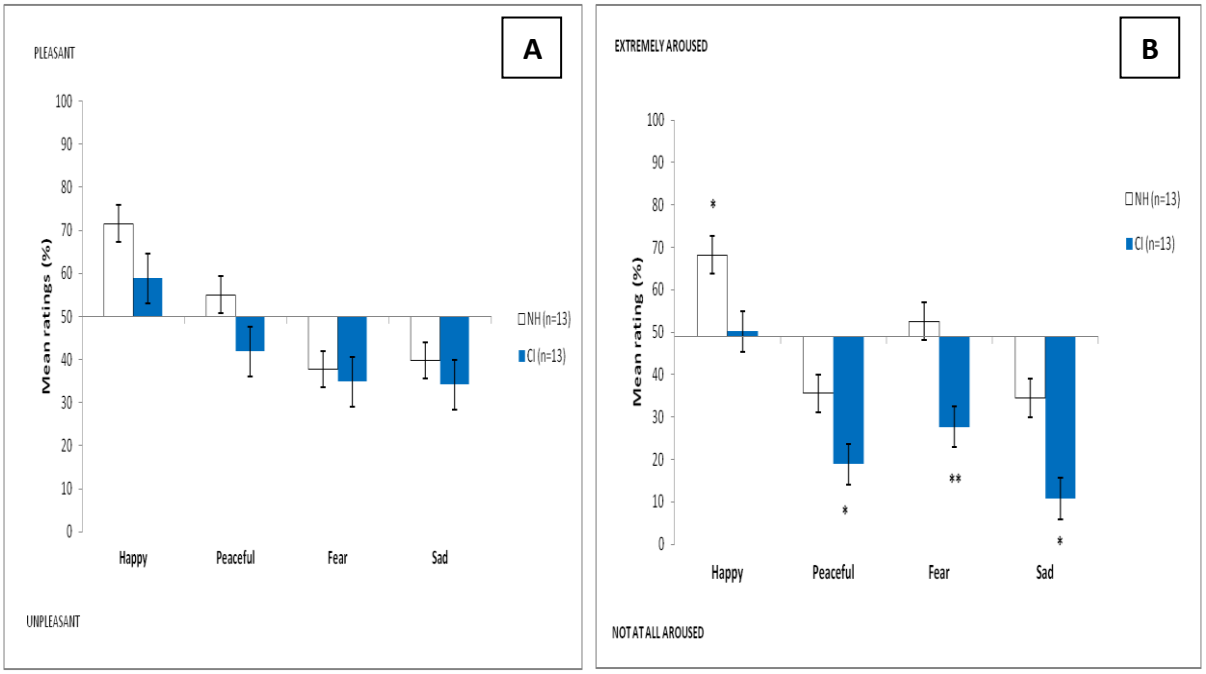


Figure 2. Mean ratings of the two groups of participants in judging valence (A) and arousal (B) of musical excerpts as a function of the four intended emotions and groups; NH = normal hearing controls ; CI = cochlear implanted patients (bars represent the standard error of the mean).



CHAPITRE 2 : PERCEPTION DES EMOTIONS NON VERBALES DANS LES VOIX APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE
(ETUDE 2)

Cet article sera prochainement soumis.

Judgments of emotions in voices after cochlear implantation in postlingually deafened adults.

Emmanuèle Ambert-Dahan[1,2], Anne-Lise Giraud[4], Halima Mecheri[1], Daniel Pressnitzer[5], Olivier Sterkers[2], Séverine Samson[1,3]

[1] Université de Lille-Nord de France, EA 4559, France

[2] Unité Otologie, Implants auditifs et Chirurgie de la base du crâne , Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[3] Unité d'épilepsie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[4] Neuroscience Dept., University of Geneva, Geneva, Switzerland.

Université catholique de Lille

[5] Ecole Normale Supérieure, Laboratoire Psychologie de la Perception, CNRS UMR 8158, Paris.

Correspondence concerning this article should be addressed to:
Pr Séverine Samson
Department of Psychology
University of Lille 3
BP 60 149
59653 Villeneuve d'Ascq Cedex
France
severine.samson@univ-lille3.fr
Tel : +33 3 20 41 64 43
Fax : +33 3 20 41 63 24

Abstract

While cochlear implantation is quite successful in restoring speech comprehension in quiet environments (Nimmons et al., 2008), other auditory tasks, such as emotional processing of emotions conveyed by voices, remain very challenging for cochlear implant (CI) users. Indeed, many studies have examined perception of verbal emotional prosody but non verbal emotional processing of voices has not been examined. Recent data suggested that CI users were strongly impaired in voice-non voice discrimination (Massida et al., 2011) whereas perception of suprasegmental features, although variable, was possible above chance level and enhanced with a CI and a controlateral hearing aid (Landwehr et al., 2007; Meister et al., 2009). The aim of our study was to test the influence of rehabilitation by CI after acquired deafness on emotional judgment in non verbal voices. For this purpose, we used a task that consisted of 50 affective voices chosen to express fear, happiness, sadness, anger and neutral (Belin et al, 2008). Participants were asked to rate (from 0 to 10) the extent to which each affective voice expressed each of these four emotions and also to judge emotional valence (unpleasant-pleasant) and arousal (relaxing-stimulating). The results of 13 adult CI patients with good verbal comprehension (dissyllabic words ≥ 70% except for one patient) were compared to those of 13 normal hearing participants matched in terms of age, gender and education. The data showed that mean correctness scores of emotional judgments were generally impaired in CI users for happy, scary, sad and angry voices, although they performed above chance level. In line with literature (Massida., 2013), we found no correlation between speech perception performances and emotional judgments. Moreover, CI users also demonstrated deficits in rating arousal for happy, angry, scary, and sad voices while in contrast rating of valence was not disturbed. These findings are discussed in relation to the relatively spared abilities of CI users in perceiving temporal and intensity as compared to spectral (F0 and pitch) acoustic features of voices (Agrawal et al., 2012; Pereira et al., 2000; Luo & Fu, 2007). The current results indicate that emotional judgment of non verbal voices can be restored to some extent after auditory rehabilitation by cochlear implantation. Future developments will consist of proposing specific training programs to enhance non-verbal emotion processing.

Keywords : acquired deafness, cochlear implant, non verbal emotions, vocal emotions recognition, arousal, valence.

1. Introduction

Communication between humans is mainly supported by verbal language and speech. Then, verbal signal conveys explicit information through its semantic and syntactic content but also transmits implicit information via non verbal cues which are of specific importance in human relationships. These non verbal emotional cues can be delivered by variations in intonation, stress or accentuation parameters which represent the prosody. More particularly, Scherer (2003) described the emotional prosody as the ability to express emotions through pitch, intensity and duration variations which are fundamental frequency (F0) supported parameters. Yet, in case of severe to profound hearing loss, the limited dynamic range of these frequency, temporal and intensity parameters resolution affect prosody recognition (Hopyan et al., 2011).

When hearing aids are insufficient providing little or no benefit on oral comprehension and when audiometric data are appropriate, a surgical procedure known as cochlear implantation can be proposed consisting of electrodes insertion inside the cochlea. Cochlear implant (CI) converts acoustical information from environmental sounds into coded electrical stimulations in the auditory nerve fibers. Then, temporally and spectrally coded information contained in the CI signal is transmitted to the auditory cortex improving therefore the processing of auditory information by deaf people.

Whereas cochlear implant (CI) is a very successful neural prosthesis to restore speech understanding in quiet with scores above 80% correct on high-context sentences without visual cues for the majority of CI recipients (Rouger et al., 2007; Wilson & Dorman, 2011), other auditory tasks remain very challenging for them, specifically for non verbal auditory processing such as prosody or emotional voice. Several lines of evidence showed important difficulties and inter-individual variability for these aspects of speech perception, including speech understanding in noise (Wilson & Dorman, 2008; Fu et al., 1998), prosody recognition (Luo & Fu, 2007), voice-nonvoice discrimination (Massida et al.2011), gender categorization (Massida et al., 2013), and music perception (El Fata et al., 2009; Kong et al., 2004; Leal et al., 2003; Gfeller et al., 2002). The difficulties of cochlear implanted (CI) recipients in supra linguistic information (intonation, word emphasis, syllable stress) recognition seems to be related to the limitations of CI devices, which provide spectrally impoverished signal after electric-to-acoustic-coding. Indeed, spectral degradation is linked to the spectral repartition into a limited number of frequency bands that corresponds to the number of activated cochlear electrodes, which are alternately stimulated depending on the sound coding strategy. In

addition, CI technology does not allow to maintain the two essential mechanisms for F0 processing which are the place coding (corresponding to the excitation patterns on the basilar membrane including low order harmonics) and the temporal coding (synchronization activity of corresponding neurons) allowing harmonics resolution (Moore, 2003; Rubinstein, 2004). Further, advanced CI sound coding strategies (ACE/Cochlear, Hires120/Advanced Bionics, FSP/MED-EL) which are expected to better transmit than default current strategies the temporal fine structure, involved in certain aspects of verbal and non verbal speech recognition (Lorenzi et al., 2006; Zeng et al., 2005), do not allow an explicit temporal coding of F0 periodicity cues (Meister et al., 2009).

However, Shannon (1992) and Zeng (2002) demonstrated that some pitch information can be derived from temporal pitch cues conveyed by amplitude envelope modulation, although this cue is only usable up to around 300 Hz, allowing the perception of voice fundamental frequency (F0). Yet, F0 modulations perception may still be difficult for CI users due to several factors hindering F0 transmission such as the envelope- filter characteristics or an insufficient pulse rate (McKay et al., 1994). Previous studies on prosody perception in CI adults focused more specifically on affective verbal prosody using a common paradigm based on emotion recognition among several emotional labels (happiness, sadness, fear and anger) in neutral sentences. Then, happy or angry emotional prosody in sentences could be identified by contrast to neutral affective prosody on the basis of an accelerated speech rate, larger F0 variations, higher F0 mean and amplitude or to sadness which is characterized by a slower rhythm, narrow F0 variations and a globally lower F0 (Scherer, 2003). In their study, Green et al (2005) found significantly improved performances in both simulation listeners and CI users with a modified processing strategy that enhanced temporal cues to voice pitch in a question/statement in sentences discrimination task. Luo et al. (2007) investigated the ability of NH listeners (n=8) and CI users (n=8) to recognize vocal emotions (angry, anxious, happy, sad, and neutral) expressed in sentences spoken by a male and a female talker. In line with results of other studies (House, 1994; Pereira et al., 2000) they found that CI recipients were significantly impaired in recognizing verbal vocal emotions as compared to NH listeners with 50% of mean correctness scores instead of 70 to 90% for NH listeners. House (1994) concluded that vocal emotions are perceived by CI recipients on the basis of loudness cues whereas F0 voice, spectral profile and voice characteristics only represent secondary misperceived cues. In addition, Pereira et al. (2000) confirmed that vocal emotions recognition could rely on amplitude variations by demonstrating a significant CI patients'

performance's decrease with a correctness score of 38% instead of 51% when this acoustic cue was suppressed in a recognition task of four target emotions (angry, happy, sad and neutral) in semantically neutral sentences.

Despite CI users impairment in vocal emotions recognition within sentences demonstrated in Luo et al. study (2007), confirming the limited access to pitch, voice quality, vowel articulation, and spectral envelope cues, their mean performance was well above chance performance level with 45% of correct responses with originally recorded speech. This result suggest that CI users may perceive intensity and speaking rate cues coded in emotionally produced speech and, at least, some of the emotional information contained in voices despite the reduced spectral and temporal resolution provided by the implant device. Most of these researches on auditory affective processing in CI users, as described above, have been conducted in the context of verbal speech prosody using materials consisting of speech (words, sentences) expressing various emotional labels spoken by actors. Then, they focused on segmental and supra segmental features of speech perception assessment but neglected paralinguistic information perception which are directly related to the emotional state of the speaker, representing a crucial aspect of oral communication between humans. Yet, difficulties in perceiving non verbal information about the speaker's emotional state may have an impact on the ability to perceive and interpret others' state of mind and intentions, thus leading to a possible lack of empathy, and failure to adapt social skills to specific situations (Mellon, 2000). In this sense, both suprasegmental and paralinguistic features of speech involved in non verbal vocal emotions processing and nonverbal interjections, also called *affect bursts* (Schröder, 2003), are considered as an equally major way of expressing vocal and facial emotions (Belin et al., 2008).

Nonverbal affect bursts, such as laughter or screams of fear, are vocal expressions that usually accompany intense emotional feelings, along with the corresponding facial expressions. Schröder (2003) defined affect bursts as "short, emotional non speech expressions, comprising both clear non speech sounds (e.g., laughter) and interjections with a phonemic structure (e.g., 'Wow!'), but excluding 'verbal' interjections that can occur as a different part of speech (like 'Heaven!,' 'No!,' etc.)". Since the ability to perceive, analyze and categorize information contained in voices plays a key role in human social interactions, vocalizations, as a part of non verbal emotional communication, are of special interest to study non verbal vocal emotion processing in CI users. The other advantage is also that vocalizations are a mean to avoid potential interactions between the affective value carried by prosody and the

one that may be carried by the semantic content, underlying the importance of studying affective processing with minimal interactions with linguistic processing (Scherer et al., 1984). Furthermore, in a recent model of voice processing, Belin et al. (2004) suggested that face-voice integration could be processed along partially independent functional pathways, as it has been proposed for faces (Bruce & Young, 1986). Then, facial and vocal speech, affective and identity information would be processed into three independent systems in each pathway which would interact at a supramodal stage of information processing for the person recognition ('person identity nodes'). Therefore, this model underlines multimodal effects in face-voice integration not only for speech perception but also for emotional processing, confirming the importance of nonverbal emotional cues carried by faces and voices in the recognition of emotions. This model raised the question of the effect of progressive neurosensorial hearing loss and of consecutive cochlear implantation on non verbal emotional processing in voices.

In addition, we chose a dimensional pleasure-arousal approach (Russell, 1980) to evaluate emotional judgment in voices, with a model describing emotions not only by categories (e.g., happiness, sadness, fear and anger) but also by two bipolar and continuous dimensions, known as valence and arousal. In this model, valence is considered as the emotional value (from unpleasant to pleasant) and arousal refers to the excitation level (from very calm to very excited) elicited by a vocal stimulus. Studies on vocal expressions (Bachorowski et al., 1994, 1995) provided support for Russell's dimensional model by finding significant acoustic correlates of affective dimensions (arousal, valence, and intensity) in emotionally inflected speech (Laukka et al., 2005). In case of deafness, valence and arousal judgment abilities could be specifically impaired. In their study, Sauter et al. (2010) first established a relation between the acoustic properties of nonverbal emotional vocalizations and dimensional judgment of arousal and valence. By contrast with the idea that vocal communication in speech sounds primarily signals the sender's arousal state and only to a small degree their valence state (Bachorowski, 1999), results of Sauter et al.'s study suggested that, of the two dimensions, valence was the dominant feature conveyed by nonverbal emotional vocalizations. Rather, positive or negative valence may represent a conceptual distinction between emotional categories whereas arousal may correspond to combinations of specific perceptual cues among emotional labels. Then, valence ratings may be derived from the knowledge that certain emotions are positive whereas others are negative and be culturally dependant. Therefore, CI patients could demonstrate better abilities in valence than arousal judgment of emotional voices since valence judgment has been shown to be independent from consistent

acoustic mapping (Sauter et al., 2010). Furthermore, it is possible that anhedonia depression, frequently reported in case of deafness (Woodcock & Pole, 2007; Garnefski and Kraaij, 2012,) could lead to a potential affective blunt resulting in difficulties in arousal judgment. No study, to our knowledge, had investigated categorical and dimensional judgments of non verbal vocal emotions in CI recipients.

To test the recognition of emotion conveyed by voices in CI users, we examined how post-lingual deafened patients with CI recognize emotional expression in voices. These patients were presented with affect bursts recorded with the intention of inducing happiness, fear, anger and sadness. The patients' task was to perform three different emotional judgments. The first judgment was an emotion classification task which required each participant to judge to what extent the affect burst expressed each labeled emotion (happiness, fear, anger and sadness). The second and third judgments were more general and required participants to judge each affect bursts excerpt for its arousal (from 'relaxing' to 'stimulating') and its valence (from 'unpleasant' to 'pleasant'). Finally, in order to be able to distinguish between an emotional deficit and a mood disturbance, we then administered anxiety and mood questionnaires (STAI: Spielberger, 1983 and POMS: McNair, Lorr, & Droppleman, 1992).
In line with the previously published literature reporting impairments in vocal cues perception in CI users (i.e. Luo et al., 2007; House, 1994), we predicted that these persons would show deficits in recognizing discrete basic emotions in affective bursts (happiness, fear, anger and sadness). We also assumed that CI users would be more impaired in judging emotional arousal than valence, given that arousal judgments rely on specific spectral cues which are badly transmitted by CI. Finally, considering that CI allow them to recover social communication opportunities and that they perceive voices during verbal interactions, we figure out that they will retrieve some vocal emotional experience. Therefore, they might be able to perceive, to some extent, emotional valence.

2. Method

2.1 Participants

Thirteen French-speaking patients with severe to profound post-lingual progressive sensori-neural hearing loss were tested at least one year after unilateral cochlear implantation. Most cases had a controlateral hearing aid (HA; n=11) and the remaining participants (n=2) had no controlateral HA. They all use oral communication rather than sign language and obtained

good speech perception performances (dissyllabic words recognition ≥ 50%) after CI at the time of testing. None of them had neurological or psychiatric history. They were all tested at the ENT department (Beaujon hospital, Paris). A group of 13 normal-hearing (NH: 9 F / 4 M; mean age= 57.0; SD= 11.1; mean year of education = 17.1, SD= 3.0) controls matched to the CI patients in terms of sex, age and education (CI: 9 F / 4 M; mean age= 57.8; SD= 11.5; mean year of education=15.2; SD=1.8) were also tested. Demographic, clinical and language data of the CI users are presented in Table 1. All participants gave their informed consent before testing in accordance with the Declaration of Helsinki.

Insert Table 1

2.2 Stimuli

The auditory stimuli consisted of 50 nonverbal vocalizations that conveyed four intended emotions (happiness, n=10; sadness, n=10; fear, n=10 and anger, n=10). The intended emotion, valence and arousal of each selected vocalization have been validated in a study by Belin et al. (2008). As specified, vocalizations were recorded by 5 male and 5 female actors instructed to produce short emotional interjections using the French vowel /a/ (as in *apple*) in order to minimize the variability in segmental structure. These vocalizations were expressing happiness, sadness, fear and anger as well as a neutral expression with an average duration of 1245,2 ms. This set of vocalizations was validated on the basis of ratings of valence, arousal, and perceived intensity along the discrete emotional category provided by a group of 30 decoders (participants). The Montreal Affective Voices can be downloaded at: http://vnl.psy.gla.ac.uk/resources_main.php.

2.3 Procedure

The nonverbal vocalizations were presented in a pseudo-randomized order using Presentation software (Neurobehavioural Systems Inc., San Pablo, CA) and at a comfortable listening level of 70 dB via two loudspeakers (Logitech X-140, RMS total power of 5 W, bandwidth 80 Hz-18 kHz) positioned on each side of the video monitor. After the presentation of each vocalization, the participants had to perform three different emotional judgments. The first judgment requires the participant to judge to what extent the vocalization expressed each labeled emotion (happiness, fear, anger and sadness) on four rating scales where 0 corresponded to ‘absent’ and 100 to ‘present’. The second and third judgments required

participants to judge each vocalization for its arousal (from ‘relaxing’ to ‘stimulating’) and its valence (from ‘unpleasant’ or 'negative' to ‘pleasant’ or 'positive').

Participants were explicitly required not to judge their own felt emotion but to rate the emotion conveyed by each vocalization. The stimuli were presented only once and no feedback was given. Ratings along the visual analogue scale were displayed on a computer screen with identical unmarked horizontal lines and numerical labels at each extremity (0-100).

Before the experiment, a training session was presented to ensure that each participant understood the meaning of each targeted emotional category (happiness, fear, anger and sadness) by associating short sentences to the most appropriate emotional label (e.g., for happiness: “Eric had just won the lottery“). The comprehension of the terms, valence and arousal, was also verified by rating four situations (e.g., “Sophie has just received a wonderful travel for her wedding” was supposed to be extremely positive and extremely arousing). Feedback was presented to insure the appropriate use of the two scales.

2.4 Mood questionnaires

The State and Trait Anxiety Inventory (STAI : Spielberger, 1983) and the Profile of Mood Scale (POMS : Mc Nair et al;, 1992) were administrated before the emotional rating task. The STAI is composed of two scales: the trait STAI to assess the general level of anxiety which is presumed to be stable over time and the state STAI to assess the present level of anxiety. The POMS is composed of 30 emotional adjectives and the participants had to rate how they describe their current mood (from 0 *not at all* to 4 *extremely*). Six emotional scales can be derived : Tension, Depression, Anger, Vigor, Fatigue and Confusion. As reported in Table 2, there is no difference between the two groups of participants on none of these scores.

2.5 Voice discrimination control tasks

After the emotional tasks, perceptual abilities were assessed using a discrimination task consisting of 10 pairs of neutral voices used in the emotional task with an equal number of same and different pairs. The participants had to judge if the two voices were identical or different and no feedback was provided.

Participants were tested individually in a 40 minutes session.

3. Results

3.1. Preliminary analyses

3.1.1. Discrimination tasks

The results of the voice discrimination task were analyzed with non parametric tests since the conditions of homogeneity of variance were not respected. Mann-Whitney U tests demonstrated an effect of Group on the discrimination scores (z = -2; P <.05), the percentage of correct responses corresponded of CI participants (90.8%) being lower than the one of NH participants (100%).

3.1.2. Mood responses

Scores of the STAI and POMS questionnaires are reported in Table 2. Mann-Whitney analysis revealed no group difference between NH and CI participants for the two scores of anxiety. We also found no group difference for the different scales of the POMS.

Insert Table 2

3.2. Vocal emotional tasks

3.2.1. Categorical responses

We examined average correctness scores as a function of the intended emotion. As we can see in Fig.1, patients' judgments differed from those of healthy controls participants.

Insert Figure 1

CI participants can recognize vocal emotions above the chance level but their judgments differed from those of NH participants. Mann–Whitney U tests revealed that CI participants were less accurate in recognizing vocal happiness (z=-2,05; P <.05), vocal fear (z=-2,54 ; P <.05), vocal anger (z=-2,85; P <.01) and vocal sadness (z=-4,08; P <.001) than NH participants.

3.2.2. Dimensional responses

Insert Figure 2

We compared the scores corresponding to valence and arousal ratings for each emotional category as a function of group (NH and CI) as can be seen in Figure 2. Mann-Whitney U tests revealed no group difference between the valence scores for happy (z = - 0,9; *P* >.05), angry (z= - 0,33; *P* >.05), fearful (z= - 0,23; *P* >.05) and sad voices (z = - 1,2.; *P* >.05). Nethertheless, CI participants judged neutral voices less pleasant than NH participants (z = - 2,9; *P* <.01).

Mann-Whitney U tests revealed a significant group difference between the arousal scores for each emotional category. Then post-CI participants judged happy (z=-2,23; *P* <.05), angry (z=-2,85; *P* <.01), fear (z=-3,05; *P* <.01) and sad voices (z=-2.28; *P* <.05) but not neutral (z=-1,26; *P* >.05) as being less aroused than NH participants.

3.3. Analysis of correlation

Spearman correlation between language performances in noise (global score of sentences recognition with a signal to noise ratio of 10 dB) with CI and emotional recognition of vocal interjections has been computed for CI users. Language performance in noise was not correlated with the global mean correctness score of the four intended vocal emotions (Rho = -0.11, p>.05) and with the mean correctness score for each of the four intended emotions (all *p*s>.05). Language performance in noise was not correlated with the perception of arousal (Rho = -0.32, p >.05) or of valence (Rho = - 0,24, p >.05).

However, Spearman's correlation between performances in vocal discrimination control task and in vocal emotion recognition (global correctness score for the four intended emotions) was significant for CI participants (Rho = 0, 71, p <.05).

Spearman's correlation between age and performances in vocal emotion recognition (global correctness score for the four intended emotions) was significant for CI participants (Rho = - 0,59, p <.05).

Spearman's correlation between deafness duration and performances in vocal emotion recognition (global correctness score for the four intended emotions) was significant for CI participants (Rho = -0,64, p <.05).

Spearman's correlation between CI duration and performances in vocal emotion recognition (global correctness score for the four intended emotions) was not significant for CI participants (Rho = -0,13, p >.05).

Spearman's correlation between age, deafness and CI duration and valence judgments (mean ratings in judging vocal expressions valence as a function of the four intended emotions) was not significant for CI participants (all *ps* >.05).

Spearman's correlation between age, deafness and CI duration and arousal judgments (mean ratings in judging vocal expressions arousal as a function of the four intended emotions) was not significant for CI participants (all *ps* >.05).

4. Discussion

The aim of our study was to test the influence of rehabilitation by CI, after acquired post-lingual progressive deafness, on emotional judgments of non verbal affective voices. For this purpose, we tested the recognition of emotions conveyed by voices with an emotional rating task in which participants had to judge to what extent each affect burst expressed each labeled emotion (anger, happiness, sadness and fear) on visual analog rating scales using the same stimuli as Belin et al. (2008). We also assessed the perception of arousal and valence of the same affect bursts to specify the ability of patients with CI to experience emotional dimensions.

The main results of our study showed that CI participants were impaired in recognizing happy, angry, scary and sad affective voices as compared to NH participants. However, the scores obtained by CI users were well above chance level, suggesting that emotional judgments of vocal interjections can be partially restored after auditory rehabilitation by cochlear implantation. We also found that a deficit in perceiving emotional arousal, CI users being less excited by voices than NH listeners. Conversely, rating of emotional valence was not impaired after cochlear implantation. Given that none of the participants were able to do the task before cochlear implantation, these results demonstrated the benefit of CI in recovering some auditory abilities that allow adults with progressive deafness to recognize to some extent non verbal vocal emotions and to discriminate pleasant and unpleasant vocal stimuli. However, the correlation found between vocal emotion recognition and performance

in the discrimination of voice suggests that difficulties in recognizing emotion can be related to perceptual difficulties and poor transmission of CI.

Progressive hearing loss has been identified as a cause of vulnerability to depression (Hallam et al., 2006) with a prevalence rate of depressed mood almost 5 times higher than in the general population (Garnefski and Kraaij, 2012). To verify the existence of a possible trend of *affective blunting* related to acquired hearing loss in patients with CI, mood of all participants was assessed with mood questionnaires (STAI: Spielberger, 1983 and POMS: McNair et al., 1992). The results revealed no difference between CI and NH participants suggesting that depression or anxiety disturbances are not responsible for the deficits of CI users in judging vocal emotion. It is also important to point out that all patients were able to understand the emotional labels used in this task. Therefore, deficits in recognizing happy, angry, sad and scary voices obtained in the present study cannot be explained by difficulties in language comprehension or by a general emotional deficit since perception of valence was unimpaired.

4.1. Categorical emotional judgment abilities in non verbal affective voices in CI adult users

Benefit of cochlear implantation is high for speech comprehension in quiet, despite the lack of spectral information delivered by the device (Friesen et al., 2005). Regardless of inter individual differences among patients, some of them have developed abilities to process verbal information in more complex auditory tasks such as noisy environments (Caroll and Zeng, 2007) and to enjoy listening to music (Migirov et al., 2009) although performances remain weaker as compared to NH participants (UK Cochlear Implant Study Group, 2004). Results of studies assessing abilities in perception of paralinguisitic aspects of speech (Massida et al., 2011) suggested the existence of a dissociation in the dynamic of functional rehabilitation between globally good speech perception performances and weaker performances in non speech processing with limited voice perception abilities. Other non verbal information transmitted by the human voice such as talker's identity, familiarity or emotional state are weakly recognized by CI recipients (Vongphoe & Zeng, 2005; Fu et al., 2004). Yet some CI users could have developed specific adaptive auditory strategies to recognize some aspects of paralinguistic information such as speech prosody processing or gender categorization with performance above chance level for non androgynous voices (Massida et al., 2013).

According to our hypothesis, results found in the present study showed that CI participants were impaired in categorical judgment of emotional voices although they were able to recognize emotional categories above chance level. Results of the emotional categories judgment task showed that Happiness and Sadness were better recognized than Anger and Fear. Acoustic features of the stimuli were different as described in Belin et al. (2008) and emotional categories in voices could have been recognized by CI participants on the basis of their contrasted properties. Happiness was characterized by faster speech rate, moderate intensity (60 dB), wide pitch range, upward pitch changes and a low median F0 (278 Hz) whereas Sadness is characterized by slower speech rate, slightly narrower pitch range, moderate intensity (63 dB), downward pitch changes and also low median F0 (323 Hz). By contrast, Fear was characterized by faster speech rate, wider pitch range, high intensity (81 dB) and higher median F0 (508 Hz) whereas Angry, often confused with Fear, has slightly faster speech rate, comparable high intensity (78 dB), wide pitch range and lower median F0 (317 Hz). These data suggest that, despite the lack of spectro-temporal cues delivered by the device and without precise coding of the F0 contour, patients seemed to have abilities to process certain acoustic features in affective emotional bursts mostly on the basis of temporal and intensity cues and partly on pitch direction changes detection. These results are in line with previous studies demonstrating that CI recipients may rely on intensity properties such as intensity variation or pitch cues extraction on the base of modulation rates of the temporal envelope in low frequency ranges (Luo et al., 2008) to manage auditory analysis and improve voice cue discrimination. Whereas the F0 is an important cue in the perception of voicing (Rosen, 1992), CI recipients may also use other temporal and intensity cues for voicing perception (Raphael et al., 2007) notably intensity cues which are transmitted efficiently by the CI (Spack et al., 2014).

However, it is possible that CI participants could process some F0 cues in emotional voices. Indeed, results of previous studies demonstrated that CI users could qualitatively process prosodic cues (F0) as well as NH participants in verbal prosody, although they quantitatively performed worse than NH listeners, especially when alterations of the F0 occur only over a short period of time (Meister et al., 2009; Rogers et al., 2006). In addition, Agrawal et al. (2012) tested emotional prosody perception abilities in NH listeners in an electrophysiological study using ERP measurements in response to emotional prosody of happiness, anger and neutral in simulated (vocoded) semantically neutral sentences. The presence of the P200 positive peak, known as reflecting general emotional significance (Kotz & Paulmann, 2007; Schapkin et al., 2000), in response to happy versus neutral vocoded sentences, demonstrated

the capacity to differentiate emotional prosody as early as 200 ms after the sentence onset. The authors inferred from their findings that CI patients could, to some extent, process as well to perceive emotions conveyed by the signal. These findings confirm emotional judgment abilities in CI recipients in non verbal domain and suggest the participation of auditory adaptive strategies to compensate for the low spectral resolution provided by the CI as it has been demonstrated for the role of pitch in voice gender discrimination (Massida et al., 2010).
At last, the correlation found between vocal emotion recognition and deafness duration suggests that difficulties in recognizing emotions in voices could also be related to a possible effect of time with a degradation of vocal emotional expression representations in auditory memory.

Taken together results of our study suggests that CI allows restoration of some auditory functions, demonstrating for the first time its efficiency in recognizing non verbal vocal emotions. Unlike previous studies that addressed the perception of vocal emotions through verbal prosody, using verbal stimuli such as words or sentences, we used affective voices but never without associated verbal content. The originality of our work was to eliminate potential interaction between affective and linguistic functions of prosody (Scherer et al., 1984). It is also in line with a recent model of voice processing (Belin et al., 2004) suggesting that speech and affective processing can be processed along partially independent functional pathways and underlines the interest of studying affective processing with minimal interactions with linguistic processing. Moreover, it could be possible that CI recipients use cognitive adaptive strategies for emotional voices recognition as it has been shown in a recent study (Bhargava et al., 2014) for perception of degraded speech perception, both corresponding a complex auditory tasks. Like NH subjects, CI users can develop top-down repair strategies to perform restoration of degraded speech in noisy environment by extracting the appropriate speech features from the transmitted bottom-up speech cues. Such cognitive repair mechanisms could be developed by CI users for non verbal vocal emotional processing on the basis of Belin et al.'s model (2004) for face-voice integration. In this model, after an initial low-level auditory and structural analysis, vocal information processing is dealt with by three independent modules dedicated to higher-level processing of speech, vocal identity and affect information in a dedicated functional pathway for vocal affect analysis. These mechanisms could be considered as counterparts of top-down perceptual restoration in the domain of non verbal affective sounds that are still functional in post lingual deafness.

4.2. Emotional judgment of arousal and valence in non verbal affective voices in CI adult users

In this study, we used the Russell's (1980) circumplex approach of affect, according to which emotions can be understood as points in a two-dimensional emotional space defined by energy arousal (ranging from very calm to very exciting) and valence (unpleasant versus pleasant); Russell's circumplex model has the particularity of being widely applicable to emotional judgment study because it represents the multidimensional aspect of emotions more reliably than the discrete emotion model (Eerola & Vuoskoski, 2011). According to this model, arousal refers to the excitation elicited by the stimuli and valence to its emotional value on a continuum from negative/unpleasant to positive/pleasant. As for emotional categories processing, a relationship between judgment of emotional dimensions and acoustic cues of voices can be established. According to our hypothesis, results of the present study demonstrated CI recipients' impairment in rating emotional arousal as compared to NH listeners. Although CI patients judged all voices less arousing than NH listeners, we assume that they could have abilities to use some intensity and temporal cues of the affect bursts. CI listeners' arousal judgment of angry voices was higher than happy, scary and sad voices, suggesting an easier use of relative intensity cues (Luo et al., 2007) for emotions with higher amplitude and intensity (i.e. Angry and Happy) than those with lower amplitude and intensity (i.e. neutral and sad). A positive association between sound intensity and energy arousal has been documented in the literature (Ilie & Thompson, 2006; Scherer, 1989) even if the effect of the intensity control on arousal induction, for instance by amplitude normalization, remain unclear. In a recent study, Marozeau et al. (2013) demonstrated that the loudness growth function was steeper in adult CI users than in NH listeners at very high levels and progressively becomes shallower and close to the slope for NH at mid-levels. Therefore, CI users might experience more change in loudness than NH subject for a given physical change because of the steeper loudness growth function with electric stimuli. Yet, impairments in judging emotional arousal in sad and scary voices could be explained by a limited access to pitch discrimination as it has been demonstrated for verbal emotional prosody (Luo et al., 2007) and for voice gender categorization (Massida et al., 2013). It is therefore possible that perception of pitch direction change (upward for happy, scary and angry voices and downward for sad voices) in affective voices is limited.

In addition, in a recent neuroimaging study, Lazard et al. (2011) surprisingly found a disengagement of the right amygdala and an absence of activation of the anterior superior

temporal gyrus in a sound imagery task in deaf subjects with increasing engagement during visual (color) imagery. The amygdala is implicated in the multisensory processing of emotions (Koelsch et al., 2006; Spreng, 2000; Mesulam, 1998) and interacts with the anterior superior temporal gyrus via direct connections (Pandya, 1995). It is therefore possible that the modification of its activation reflect a neural reorganization in deaf patients to extract emotional content from their now predominant visual inputs (Dye & Bavelier, 2010). The implication of amygdala in arousal perception has also been demonstrated in a study (Glascher & Adolphs, 2003) comparing results of patients with unilateral and bilateral amygdala damage with those from normal controls in a perception task using emotional visual stimuli of varying arousal. Results of this study demonstrated that the left and right amygdalae have different functions in emotion processing with a specialization of the left to process arousal signaled by a specific stimulus and of the right for a global perception of arousal regardless the stimulus.

We also found that CI listeners were not impaired in rating valence in emotional voices as compared to NH listeners and had relatively spared abilities to judge this emotional dimension. Studies on vocal expressions (Bachorowski et al., 1995, 1994) provided support for Russell's dimensional model by finding significant acoustic correlates of affective dimensions in emotionally inflected speech (Laukka et al., 2005). In their study, Sauter et al. (2010) first established a relation between the acoustic properties of nonverbal emotional vocalizations and dimensional judgment of arousal and valence. By contrast with the idea that vocal communication in speech sounds primarily signals the sender's arousal state and only to a small degree their valence state (Bachorowski, 1999), results of Sauter et al.'s study suggested that, of the two dimensions, valence was the dominant feature conveyed by nonverbal emotional vocalizations. Rather, positive or negative valence may represent a conceptual distinction between emotional categories whereas arousal may correspond to combinations of specific perceptual cues among emotional labels. Then, valence ratings may be derived from the knowledge that certain emotions are positive whereas others are negative and be culturally dependant which could partly explain the absence of significant differences in valence judgment of emotional voices for CI patients as compared to NH participants. In the same way, Gingras et al. (2013) suggested that arousal induction may be mostly linked to a bottom-up process, directly linked to the psychophysical characteristics of the stimulus whereas valence judgment may be more culturally determined and independent from consistent acoustic mapping (Sauter et al., 2010).

5. Conclusion

The goal of our study was to assess the ability of CI adult users with progressive sensori-neural hearing loss to judge emotional categories and dimensions (arousal and valence) in non verbal voices. The originality of our study was to explore the judgments of non verbal emotions in voices after auditory rehabilitation with CI, a domain not much documented but nonetheless essential to human communication. For this purpose, we used an emotional judgment task with affective voices from the Montreal Affective Voices (Belin et al., 2008) expressing happy, sad, angry, scary and neutral target emotions. Deficits in non verbal vocal emotions recognition were found in CI recipients as compared to NH listeners, however, their scores were above chance level, suggesting that CI can partly restore auditory functions for non verbal emotions identification in voices. Our results also demonstrated that CI listeners are impaired in rating emotional arousal but not valence vocally expressed. Despite the limitations of spectro-temporal information transmitted by the sound coding strategies through the device, CI users seem to be able to judge emotional categories and emotional arousal on the basis of some F0 (pitch variation and pitch direction change), intensity and overall amplitude acoustic cues. Whereas arousal judgment may be related to the perception of combinations of multiple perceptual cues among emotional labels, valence emotional judgment could be derived from conceptual distinction between emotional categories, referring from the knowledge that certain emotions are positive whereas others are negative, and culturally dependant. Altogether, results of this study demonstrate the role of CI to restore, in some extent, emotional experience in voices, although CI users remain impaired as compared to NH participants. The clinical impact of this study will be to create tools for the evaluation of vocal emotional processing in deaf people and cochlear implantees.

References

Agrawal D., Timm L., Campos Viola F., Debener S, Büchner A., Dengler R. & Matthias Wittfoth M. (2012). ERP evidence for the recognition of emotional prosody through simulated cochlear implant strategies. BMC Neuroscience, 13:113.

Bachorowski, J. A. (1999). Vocal expression and perception of emotion. Current Directions in Psychological Science, 8, 53–57.

Bachorowski, J. A., & Owren, M. J. (1995). Vocal expression of emotion: Acoustic properties of speech are associated with emotional intensity and context. Psychological Science, 6, 219–224.

Bachorowski, J. A., & Braaten, E. B. (1994). Emotional intensity: Measurement and theoretical implications. Personality and Individual Differences, 17, 191–199.

Banse R, Scherer KR. (1996).Acoustic profiles in vocal emotion expression. J Pers Soc Psychol., 70(3):614-36.

Belin P., Fillion-Bilodeau S. & Gosselin F. (2008). The Montreal Affective Voices: A validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. Behavior Research Methods, 40 (2), 531-539.

Belin, P., Fecteau, S., & Bedard, C. (2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Trends Cogn Sci, 8*(3), 129-135.

Bhargava P., Gaudrain E., Başkent D. (2014). Top-down restoration of speech in cochlear-implant users. Hear Res.,309:113-23.

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. British Journal of Psychology, 77, 305-327.

Carroll, J., & Zeng, F. G. (2007). Fundamental frequency discrimination and speech perception in noise in cochlear implant simulations. Hearing Research, 231, 42–53.

Dye M.W. & Bavelier D. (2010).Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. Restorative Neurology and Neuroscience, 28, 181–192.

Eerola, T., & Vuoskoski, J. K. (2011). A comparison of the discrete and dimensional models of emotion in music. Psychology of Music, 39, 18–49.

El Fata F., James CJ, Laborde ML, Fraysse B. (2009). How much residual hearing is 'useful' for music perception with cochlear implants ? Audiol Neurootol. 2009;14 Suppl 1:14-21.

Friesen LM, Shannon RV, Cruz RJ. Effects of stimulation rate on speech recognition with cochlear implants. (2005) Audiol Neurootol., (3):169-84.

Fu QJ, Chinchilla S, Galvin JJ. (2004). The role of spectral and temporal cues in voice gender discrimination by normal-hearing listeners and cochlear implant users. J Assoc Res Otolaryngol., 5:253–260.

Fu, Q.-J., Zeng, F.-G., Shannon, R.V., Soli, S.D. (1998). Importance of tonal envelope cues in Chinese speech recognition. J. Acoust. Soc. Am. 104 (1), 505–510.

Garnefski N, Kraaij V. (2012). Effects of a Cognitive Behavioral Self-help program on emotional problems for people with acquired hearing loss: a randomized controlled trial. J Deaf Stud Deaf Educ.;17(1):75-84.

Gfeller K, Turner C, Woodworth G, Mehr M, Fearn R, Witt S, Stordahl J. (2002a) Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. Cochlear Implants Int.;3:31–55.

Gfeller K, Witt S, Adamek M, Mehr M, Rogers J, Stordahl J. (2002b) The effects of training on timbre recognition and appraisal by postlingually deafened cochlear implant recipients. J Am Acad Audiol; 13:132–145.

Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr M, Knutson JF. (2002c) Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. Ann Otol Rhinol Laryngol; 111:349–356.

Gingras B, Marin MM, Fitch WT. (2013). Beyond intensity: Spectral features effectively predict music-induced subjective arousal. Q J Exp Psychol (Hove).

Gläscher J., Adolphs R. (2003). Processing of the arousal of subliminal and supraliminal emotional stimuli by the human amygdala. J Neurosci., 23(32):10274-82.

Green, T., Faulkner, A., Rosen, S., Macherey, O. (2005). Enhancement of temporal periodicity cues in cochlear implants: effects on prosodic perception and vowel identification. J. Acoust. Soc. Am. 118 (1), 375–385.

Hallam, R., Ashton, P., Sherbourne, K., & Gailey, L. (2006). Acquired profound hearing loss: Mental health and other characteristics of a large sample. International Journal of Audiology, 45, 715–723.

Hopyan T, Gordon KA, Papsin BC. (2011). Identifying emotions in music through electrical hearing in deaf children using cochlear implants. Cochlear Implants Int.;12(1):21-6.

House D. Perception and production of mood in speech by cochlear implant users. (1994) In: Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing., 2051-
2054. Online archive of International Speech Communication Association proceedings available at: http://www. isca-speech.org.

Ilie, G., & Thompson, W. F. (2006). A comparison of acoustic cues in music and speech for three dimensions of affect. Music Perception, 23, 319–330.

Koelsch S., Fritz,T.D.Y., Muller,V.C., & Friederici,K.A.D.(2006).Investigating emotion with music : An fMRI study. Human BrainMapping, 27, 239–250.

Kong YY, Cruz R, Jones JA, et al. Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. (2004). Ear Hear., 25:173–185. Kreutz G, Ott U, Teichmann D, Osawa

Kotz SA, Paulmann S. (2007). When emotional prosody and semantics dance cheek to cheek: ERP evidence. Brain Res., 1151:107–118.

Landwehr, M., Pyschny, V., Walger, M., Von Wedel, H., & Meister, H. (2007, June). Prosody perception in cochlear implant recipients wearing a hearing aid in the contralateral ear. 8th EFAS Congress/10th Congress of the German Society of Audiology, Heidelberg, Germany.

Laukka, P., Juslin, P., & Bresin, R. (2005). A dimensional approach to vocal expression of emotion. Cognition & Emotion, 19, 633–653.

Lazard DS, Giraud AL, Truy E, Lee HJ. (2011). Evolution of non-speech sound memory in postlingual deafness: implications for cochlear implant rehabilitation. Neuropsychologia., 49(9):2475-82.

Leal, M. C., Shin, Y. J., Laborde,M. L., Calmels, M. N., Verges, S., Lugardon, S., Fraysse, B. (2003). Music perception in adult cochlear implant recipients. Acta Oto-Laryngologica, 123, 826–835.

Lorenzi, C., Gilbert, G., Carn, H., Garnier, S., Moore, B.C., (2006). Speech perception problems of the hearing impaired reflect inability to use temporal fine structure. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 103, 18866e18869

Luo X, Fu QJ, Wei CG, Cao KL. (2008). Speech recognition and temporal amplitude modulation processing by Mandarin-speaking cochlear implant users. Ear Hear.,29(6):957-70.

Luo X, Fu QJ. (2007). Frequency modulation detection with simultaneous amplitude modulation by cochlear implant users. J Acoust Soc Am.,122(2):1046-54

Marozeau J, Innes-Brown H, Blamey PJ. (2013). The acoustic and perceptual cues affecting melody segregation for listeners with a cochlear implant. Front Psychol.;4:790.

Massida Z, Marx M, Belin P, James C, Fraysse B, Barone P, Deguine O. (2013). Gender categorization in cochlear implant users. J Speech Lang Hear Res. 2013 Oct;56(5):1389-401

Massida, Z., Belin, P., James, C., Rouger, J., Fraysse, B., Barone, P.,& Deguine, O. (2011). Voice discrimination in cochlear implanted deaf subjects. Hearing Research, 275, 120–129.

Massida, Z. (2010). Étude de la perception de la voix chez le patient sourd postlingual implanté cochléaire, unilatéral et le normoentendant en condition de stimulation d'implant.

Psychophysique et image [Study of voice perception in postlingually deaf unilaterally cochlear-implanted patients and normal-hearing subjects in cochlear implant simulation: Psychophysics and imagery]. Université Paul Sabatier, Toulouse, France. (OAI 00803654)

McKay, C.M., McDermott, H.J., Clark, G.M. (1994). Pitch percepts associated with amplitude-modulated current pulse trains in cochlear implantees. J. Acoust. Soc. Am. 96 (5 Part 1), 2664–2673.

McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). *Profile of mood States (Revised)*. San Diego, CA: Edits: Educational and Industrial Testing Service.

Meister, H., Landwehr, M., Pyschny, V., et al. (2009). The perception of prosody and speaker gender in normal-hearing listeners and cochlear implant recipients. *Int J Audiol*, *48*, 38–48.

Mellon, N. K. (2000). Psychosocial development of children indeafness. In J. K. Niparko (Ed.), Cochlear implants: Principles and practices (pp. 319–321). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Mesulam, M.M.(1998).From sensation to cognition. Brain, 121(Pt 6),1013–1052.

Migirov L, Kronenberg J, Henkin Y. (2009). Self-reported listening habits and enjoyment of music among adult cochlear implant recipients. Ann Otol Rhinol Laryngol.;118(5):350-5.

Moore, B.C.J. (2003). Coding of sounds in the auditory system and its relevance to signal processing and coding in cochlear implants. Otol. Neurotol. 24, 243–254.

Nimmons GL, Kang RS, Drennan WR, Longnion J, Ruffin C, Worman T, Yueh B, Rubenstien JT. (2008). Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. Otol Neurotol., 29(2):149-55.

Pandya, D.N.(1995).Anatomy of the auditory cortex. Revue Neurologique, 151, 486–494.

Pereira C. (2000). The perception of vocal affect by cochlear implantees. In: Waltzman SB, Cohen NL, Eds. Cochlear Implants. New York, NY: Thieme Medical., 343-345.

Raphael, L. J., Borden, G. J., & Harris, K. S. (Ed.) (2007). Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech (pp. 213–235). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Rogers, C. F., Healy, E. W., & Montgomery, A. A. (2006). Sensitivity to isolated and concurrent intensity and fundamental frequency increments by cochlear implant users under natural listening conditions. The Journal of the Acoustical Society of America, 119, 2276–2287.

Rosen, S. (1992). Temporal information in speech: Acoustic, auditory and linguistics aspects. Philos Trans R Soc Lond. B Biol Sci, 336, 367–373.

Rouger J., Lagleyre S., Fraysse B., Deneve S., Deguine O., Barone P. (2007). Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. *PNAS*, 104 (17): 7295-7300.

Rubinstein, J. T. (2004). How cochlear implants encode speech. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg, 12, 444–448.

Russell JA. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39:1161–78.

Sauter DA, Eisner F, Calder AJ, Scott SK. (2010). Perceptual cues in nonverbal vocal expressions of emotion. Q J Exp Psychol (Hove), 63(11):2251-72.

Schapkin SA, Gusev AN, Kuhl J. (2000). Categorization of unilaterally presented emotional words: an ERP analysis. Acta Neurobiol Exp (Wars), 60(1):17–28.

Scherer, K. R., Johnstone, T., & Klasmeyer, G. (2003). Vocal expression of emotion. In R. J. Davidson, H. H. Goldsmith, & K. R. Scherer (Eds.), Handbook of affective sciences (pp. 433–456). New York: Oxford University Press.

Scherer, K. R. (1989). Vocal correlates of emotional arousal and affective disturbance. In H. Wagner & A. Manstead (Eds.), Handbook of social psychophysiology: Emotion and social behavior (pp. 165–197). New York: Wiley.

Scherer, K. R., Ladd, D. R., & Silverman, K. E. A. (1984). Vocal cues to speaker affect: Testing two models. Journal of the Acoustical Society of America, 76, 1346-1356.

Schröder, M. (2003). Experimental study of affect bursts. Speech Communication, 40, 99-116. Simon, D., Craig, K. D.,

Shannon RV. Temporal modulation transfer functions in patients with cochlear implants. (1992). J Acoust. Soc Am.; 91:2156–2164.

Shpak T, Most T, Luntz M. (2014). Fundamental frequency information for speech recognition via bimodal stimulation: cochlear implant in one ear and hearing aid in the other. Ear Hear.,35(1):97-109.

Spielberger, C. D. (1983). Manuel for the State-Trait Anxiety. Palo Alto: Ed. Consulting Psychologists Press Inc.

Spreng, M.(2000).Central nervous system activation by noise. Noise Health, 2, 49–58.

UK Cochlear Implant Study Group. (2004). Criteria of candidacy for unilateral cochlear implantation in postlingually deafened adults III: prospective evaluation of an actuarial approach to defining a criterion. Ear Hear., 25(4):361-74.

Vongphoe M, Zeng FG. (2005). Speaker recognition with temporal cues in acoustic and electric hearing. J.Acoust Soc Am., 118:1055–1061.

Wilson BS, Dorman MF, Woldorff MG, Tucci DL. (2011). Cochlear implants matching the prosthesis to the brain and facilitating desired plastic changes in brain function. Prog Brain Res.,194:117-29. Review.

Wilson,B. S.& Dorman,M.F. (2008).Cochlear implants : A remarkable past and a brilliant future. Hearing Research, 242, 3–21.

Woodcock K, Pole JD. (2007). Health profile of deaf Canadians: analysis of the Canada Community Health Survey. Can Fam Physician., 53(12):2140-1.

Zeng, F.-G., Nie, K., Stickney, G. S., Kong, Y.-Y., Vongphoe, M., Bhargave, A., Cao, K. (2005). Speech recognition with amplitude and frequency modulations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 2293–2298.

Zeng, F. G. (2002). Temporal pitch in electric hearing. Hearing Research, 174, 101–106.

Participant	Sex	Age	Education (years)	Cause of deafness	Degree of loss (dB)	Profound deafness duration (years)	Side of CI	CI sound processor	CI duration (months)	Disyllabic words with HA (%) before CI	Disyllabic words with CI alone (%)	Sentences with CI S/N=10 dB (%)
Post-CI 1	F	68	20	Otosclerosis	Left = 112 Right = 89	10 - 20	L	Freedom (Cochlear)	12	60	90	53
Post-CI 2	F	74	15	Hereditary	Left = 120 Right = 120	>20	L	Freedom (Cochlear)	36	50	80	62
Post-CI 3	H	39	16	Unknown	Left = 120 Right = 102	0-10	R	Freedom (Cochlear)	12	0	90	93
Post-CI 4	F	76	15	Unknown	Left = 74 Right = 93	>20	R	Freedom (Cochlear)	24	70	90	88
Post-CI 5	H	59	14	Traumatic	Left = 95 Right = 120	0-10	L	Harmony (Ad.Bionics)	51	100	100	78
Post-CI 6	F	63	15	Schwanomma	Left = 120 Right = 81	0-10	R	Freedom (Cochlear)	20	0	70	64
Post-CI 7	F	59	12	Otosclerosis	Left = 88 Right = 53	10 - 20	R	Freedom (Cochlear)	18	90	100	40
Post-CI 8	F	55	14	Neuropathy	Left = 80 Right = 107	0-10	R	Freedom (Cochlear)	24	10	100	97
Post-CI 9	F	52	14	Unknown	Left = 77 Right = 85	0-10	L	Opus 2 (Medel)	18	50	80	77
Post-CI 10	F	39	15	Unknown	Left = 120 Right = NA	0-10	L	Freedom (Cochlear)	120	20	90	81
Post-CI 11	F	54	16	Crohn disease	Left = 62 Right = 120	0-10	R	Freedom (Cochlear)	57	60	80	100

Post-CI 12	H	50	16	Menière	Left = 120 Right = 48	0-10	L	Freedom (Cochlear)	48	50	90	60
Post-CI 13	H	63	16	Menière	Left = 45 Right = 85	0-10	R	Harmony (Ad.Bionics)	18	100	60	0
Mean	-	57.8	15.2	-	-	-	-	-	35.2	50.8	83.8	68.7
SD	-	11.5	1.8	-	-	-	-	-	29.6	35.0	11.9	27.4

Table 1. Demographic clinical, and language data for each patients of the CI group. (CI : cochlear implant; HA : hearing aid; LR : lip reading; S/N : signal to noise ratio). Note : mean +/- standard deviation (SD)

Table 2. Inter-groups comparisons of the mean (±SE) ratings on the mood questionnaires.

	Groups		Mann-Whitney
STAI	**NH**	**CI**	
Trait anxiety	31.69±1.58	36±1.79	U=71.5, p>.05
State anxiety	37.38±1.67	34±2,60	U=81.5, p>.05
POMS			
Anger	3.23±0.85	3.54±0.98	U=81.5, p>.05
Anxiety	3.62±0.58	3±0.74	U=65, p>.05
Depression	3.08±0.56	2.62±0.84	U=65.5, p>.05
Confusion	5.15±0.62	4.77±0.82	U=68.5, p>.05
Vigor	12.77±0.61	13.77±1.28	U=61, p>.05
Fatigue	3.31±0.52	3.85±1.01	U=83.5, p>.05

Table 3. Acoustic Characteristics for Each Affective Category of the Montreal Affective Voices (Belin et al., 2008).

	*f*0 (Hz)				Duration	Power (dB)	
Category	Minimum	Maximum	Median	*SD*	(msec)	Median	*SD*
Angry	150	413	317	80	924	78	14
Disgusted	108	295	200	58	977	75	12
Fearful	266	642	508	97	603	81	12
Happy	181	421	278	58	1,446	60	14
Neutral	149	184	168	4	1,024	81	6
Painful	134	435	351	87	839	77	13
Pleased	120	261	192	43	1,350	70	13
Sad	185	508	323	73	2,229	63	13
Surprised	228	453	373	69	385	76	13

Note—Values are averaged across the 10 actors.

Table 4. Main acoustic cues variations as function to the intended emotion in voices. Murray & Arnott (1993).

Intention	Anger	Happiness	Sadness	Fear	Disgust
Speech rate	Slightly faster	Faster or slower	Slightly slower	Much faster	Very much slower
Pitch average	Very much higher	Much higher	Slightly lower	Very much higher	Very much lower
Pitch range	Much wider	Much wider	Slightly narrower	Much wider	Slightly wider
Intensity	Higher	Higher	Lower	Normal	Lower
Voice quality	Breathy, chest tone	Breathy, blaring	Resonant	Irregular voicing	Grumbled, chest tone
Pitch changes	Abrupt on stress syllables	Smooth, upward inflections	Downward inflections	Normal	Wide, downward terminal inflections
Articulation	Tense	Normal	Slurring	Precise	Normal

Figure 1. Mean correctness scores of the two groups of participants (NH = normal hearing controls and CI = cochlear implanted patients) as a function of the four intended facial emotions (bars represent the standard error of the mean).

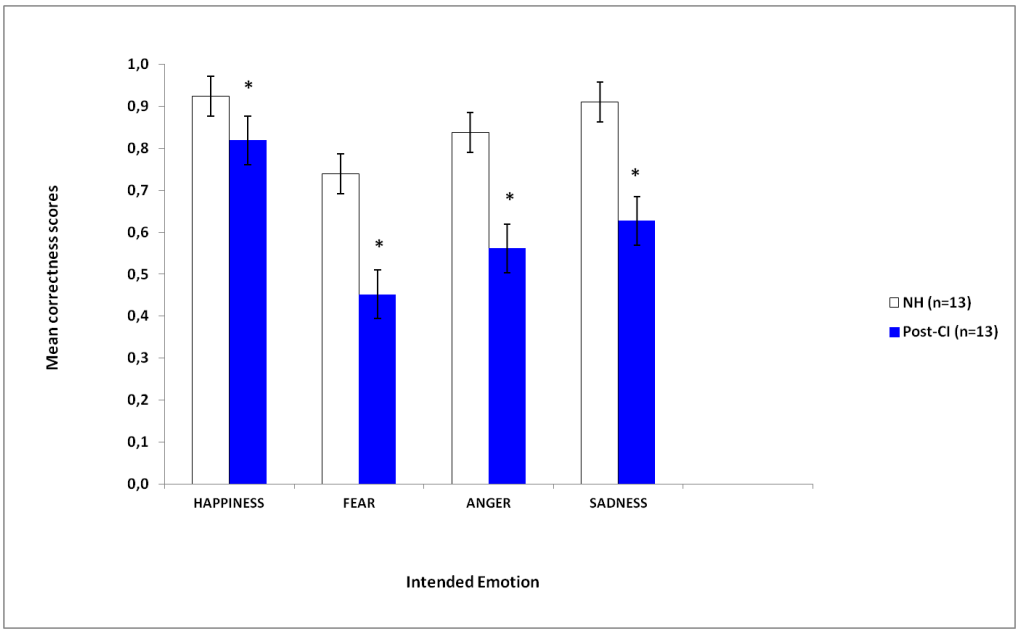
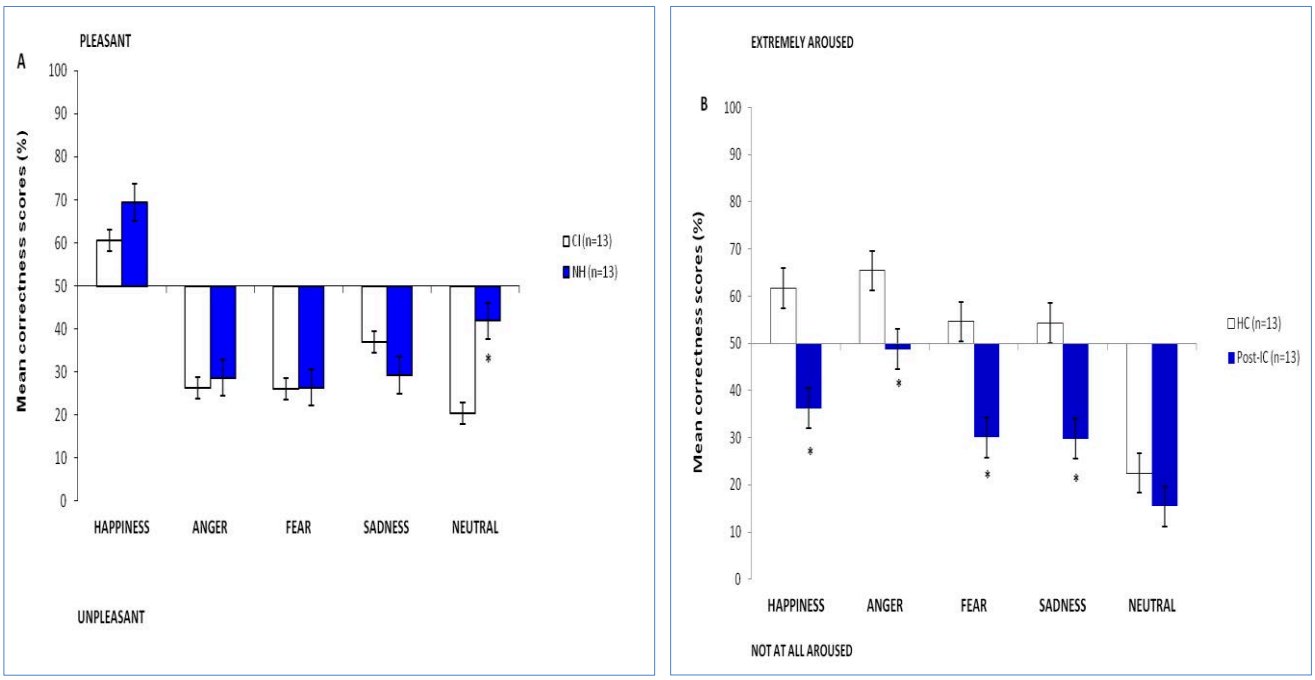


Figure 2. Mean correctness scores of the two groups of participants (NH = hearing controls, pre and post-implant) in judging vocal expressions'valence (A) and arousal (B) as a function of the five intended emotions (bars represent the standard error of the mean).



CHAPITRE 3 : PERCEPTION DES EMOTIONS NON VERBALES DANS LES VISAGES AVANT ET APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE.
(ETUDES 3 ET 4)

1. Reconnaissance des expressions faciales dynamiques avant et après implantation cochléaire chez des adultes présentant une surdité évolutive. (Etude 3).

Cet article sera prochainement soumis.

Emotional recognition of dynamic facial expressions before and after cochlear implantation in adults with progressive deafness.

Emmanuèle Ambert-Dahan[1,2], Anne-Lise Giraud[4], Halima Mecheri[2], Olivier Sterkers[1], Isabelle Mosnier[1], Séverine Samson[2,3]

[1] Unité Otologie, Implants auditifs et Chirurgie de la base du crâne, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[2] Laboratoire de neuroscience fonctionnelle et pathologie (EA 4559), Université de Lille-Nord de France, France

[3] Unité d'épilepsie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[4] Neuroscience Dept., University of Geneva, Geneva, Switzerland.

Correspondence concerning this article should be addressed to:

Séverine Samson

Department of psychology

University of Lille 3

BP 60 149

59653 Villeneuve d'Ascq Cedex

France

severine.samson@univ-lille3.fr

Tel : +33 3 20 41 64 43

Fax : +33 3 20 41 63 24

Abstract

Visual processing has been extensively explored in deaf subjects for verbal integration through the assessment of specific abilities in speech reading and sign language. Yet, we still know very little about emotional processing of visual information in the case of deafness and after cochlear implantation in adults. The aim of our study was to test the influence of acquired post-lingual progressive deafness on emotional judgment of faces. For this purpose, we used a task that consisted of dynamic faces chosen to express fear, happiness, sadness, and anger (Simon et al, 2007). Twenty-three post-lingual deaf adults assessed before (n=10) or after (n=13) cochlear implantation (CI) as well as 13 normal hearing participants were asked to rate (from 0 to 100) the extent to which each face expressed each of these four emotions and also to judge emotional valence (unpleasant-pleasant) and arousal (relaxing-stimulating). The results showed that patients with CI were impaired in recognizing happy, fear, and sad (but not angry) faces while patients tested before CI were only impaired in recognizing sad faces. Moreover, both patient groups showed a deficit in perceiving arousal expressed in faces while in contrast, rating of valence was not disturbed. The difficulties of deaf individuals in recognizing emotion in facial expressions as well as in perceiving arousal can be surprising given their efficient abilities in speech reading. The current results, which reveal a degradation of emotional sensitivity to visual stimulus, documented for the first time the effect of acquired and progressive deafness on the processing visual facial expressions. The impact of progressive deafness in recognizing visual cues involved in emotional judgments of facial movements contrasted with the abilities of decoding visual cues required for speech reading (Lee et al., 2007). These findings are discussed in relation to the contribution of an early binding of face and voice information before perceptual integration enhancing the processing of each individual modality in progressive deafness (Giraud et al., 2001; von Kriegstein & Giraud, 2006).

Keywords : acquired deafness, cochlear implant, facial emotions, emotional categories, arousal, valence, cross-modal reorganization.

Introduction

Communication between humans requires perception and interpretation of other's feelings, intentions and states of mind on the basis of subtle sensory cues. According to the evolutionary theory, Darwin (1872) demonstrated the critical importance of facial expressions as adaptive responses allowing communication and behavioral adjustment between peers. The communicative value of facial expressions is therefore considered as the pivot of human communication, the ability to analyze facial emotions being essential for social interactions. In acquired deafness, visual information processing is used to compensate auditory loss. Consequently, deaf persons rely mainly on visual cues to communicate through lip or speech reading.

Visual processing of verbal information has been extensively explored in deaf subjects through the assessment of specific abilities in speech reading and sign language. It is well know that subjects with acquired deafness (Rouger et al., 2007) or early-onset deafness (Auer & Bernstein, 2007) improved their lip and speech reading abilities. Deaf people become rapidly better than normal hearing subjects. According to the literature, it seems that such abilities develop in the first years of life in relation to an optimal plasticity in the audio-visual speech network. Some authors have proposed the existence of a sensitive period (around 2.5 years) after which the auditory input could no longer be fused with the visual input (Schorr et al., 2005). This finding confers to the established network a capacity of resilience in case of sensory deprivation. Speech reading ability is therefore grounded in audio-visual binding that helps disambiguating the phonological visual forms (Giraud and Lee, 2007).

If acquired deafness occurs after the critical period, audio-visual phonological memory representations might progressively deteriorate explaining therefore inter-individuals differences in speech reading performances. In other words, speech understanding seems to rely on latent inter-modal connectivity developed during childhood as well as on the functionality of the audio-visual phonological network. Then, cross-modal reorganization seems to correspond to the underlying potential of speech regions to process visual speech rapidly after the onset of deafness (Lee et al., 2007).

In the case of profound or severe hearing loss and when conventional hearing aids provide little or no benefit, systems such as cochlear implant (CI) devices can be surgically implanted

to restore some auditory abilities. This surgical procedure consists of electrodes insertion inside the cochlea. Cochlear implant converts acoustical information from environmental sounds into coded electrical stimulations in the auditory nerve fibers. Then, temporally and spectrally coded information contained in the CI signal is transmitted to the auditory cortex. Even if CI clearly improved the processing of auditory information by deaf people restoring so some extend audio-visual matching (Lyxell et al., 1994) and oral comprehension in quiet environment, the transmission of auditory information through such devises remains unsatisfactory for understanding speech in noise or for other complex auditory tasks. To compensate these difficulties, deaf individuals must continue to rely on their remaining senses to maintain social interactions in their everyday life activities. Lip and speech reading is therefore generally the major communication strategy in case of acquired severe to profound deafness, even after CI. Such an unbalance between different modalities created by severe hearing loss strongly impact language comprehension raising the question of the use of facial expressions to improve communicative skills.

Several lines of evidence also suggest that the dynamic nature of facial expressions is contributing to the identification of facial movements mediating verbal information (Harwood et al., 1999; O'Toole et al., 2002; Roark et al., 2003). It emphasizes the role of facial movements in verbal communication suggesting the importance of dynamic processing in audio-visual speech network. In normal hearing participants, verbal discrimination is clearly improved when dynamic properties are available (Ambadar et al., 2005). The exploration of eye gaze strategies also demonstrated the relevance of such dynamic mechanisms in deafness. For example, Muir and Richardson (2005) demonstrated that profoundly deaf-from-birth people (using British Sign Language as first and oral English as second language) used small details movements associated with facial expressions and mouth shapes of the signer to decode verbal information. By fixating mostly facial region, deaf participants are particularly sensitive to dynamic expressions of faces, at least for verbal communication. However, the ability of deaf individuals in visual processing of emotional processing conveyed by facial expressions is still matter of debate. To clarify this issue, we examined emotional processing of visual information in patients with progressive and acquired deafness. Given the importance of facial movements in speech reading and in sign language, we used dynamic instead of static facial expressions to examine the emotional processing in deaf participants.

In the literature, several studies examined the recognition of facial emotions in pre-lingual deaf children. By testing abilities in identifying or understanding static facial expressions, the authors found impairment in deaf children as compared to both chronological and mental age matched normal hearing children (Ludlow et al., 2010; Dick et al., 2004; Dick et al., 2003; Weisel, 1985). Such deficits in emotion recognition abilities seem to persist even after a psycho educational program designed to enhance the ability of deaf children to understand the emotional experience (Dick & Denver, 2003; Dick et al., 2004). By using Emotion Recognition Scales (ERS; Dyck et al., 2001) assessing recognition of facial emotional cues in static facial expressions recognition task, these authors explored the abilities to understand emotion-context relationships with a short emotional sentences comprehension task in children or adolescents with severe to profound hearing loss as well as in normal hearing children matched for verbal ability. These authors reported global deficits in emotion recognition and understanding abilities in deaf children. These findings also indicate a direct link between emotional recognition deficits and delayed language acquisition and communication skills that could contribute to the lack of social interactions and the difficulties of deaf children to share experience with peers. Similarly, Ludlow et al. (2010) assessed emotion recognition abilities of deaf children with severe or profound pre-lingual hearing loss using upright or inverted human and cartoon faces expressing happiness, sadness and angry. Results of this study revealed one again deficits in emotion identification skills in deaf children as compared to both chronological and mental age matched normal hearing children. More recently, Wiefferink et al. (2013) investigated 2.5 to 5 years deaf children with CI as well as chronological age- and sex-matched normal-hearing children in emotion facial discrimination and identification tasks using drawings of happiness, sadness, fear and anger faces. The authors also assessed the ability to match vignettes depicting prototypical emotion-eliciting situations with the correct facial expression. Results of this study revealed impairment in discriminating and identifying facial expressions and in attributing emotions to a protagonist in prototypical situations in young children with CI. Taken together, all these results suggest a strong impact of hearing loss in processing facial expressions in deaf children. The findings also demonstrated that the deficit is still present after CI in children. However, no study, to our knowledge, examined emotional processing of facial expressions in adults with progressive and post-lingual rather than pre-lingual deafness.

To explore this issue, we examined the emotional processing of facial expressions in 23 adults with acquired deafness assessed before (Pre-CI, n=10) or after cochlear implantation (Post-CI,

n=13). We compared the scores of deaf participants to those of matched normal hearing controls (NH, n=13). Given the relevance of dynamic facial movements in real-life everyday communication, we used dynamic emotional facial expressions instead of static facial expressions. The three groups of participants were tested with an emotional recognition task in which participants had to judge to what extent each face expressed each labeled emotion of happiness, fear, anger, sadness and neutral (from the STOIC Dynamic Facial Emotional Expressions Database, Simon et al., 2007). Then, a second and third perception tasks were more general and required participants to judge each dynamic face for its arousal (from 'relaxing' to 'stimulating') and its valence (from 'unpleasant' to 'pleasant'). Finally, in order to be able to distinguish between an emotional deficit and a mood disturbance, we then administered anxiety and mood questionnaires (STAI: Spielberger, 1983 and POMS: McNair, Lorr, & Droppleman, 1992). In line with the previously published literature that reports a negative impact of deafness on emotional facial processing in pre-lingual deaf children even after CI (e.g. Wiefferink et al., 2013), we predicted that post-lingual Pre-CI and Post-CI deaf adults would show deficits in recognizing discrete basic emotions and in judging emotional arousal and valence conveyed by dynamic facial expressions of happiness, anger, fear and sadness.

2. Method

2.1 Participants

Twenty-three French-speaking patients with severe to profound post-lingual progressive sensori-neural hearing loss were tested either before (Pre-CI, n=10) or after cochlear implantation (Post-CI, n=13) with a post-CI duration of 35.2 (+/- 29,6) months. None of them used sign language and they all used oral communication with an average score of speech reading performances (score of dissyllabic words recognition) of 46% for the Pre-CI and 50% for Post-CI groups. Except for two Post-CI patients, they all had a controlateral hearing aid (n=11) and obtained good auditory speech performances after CI with a mean score of 84% (+/- 12%) for dissyllabic words recognition and of 69% (+/-27%) for sentences understanding in open-set lists with a signal to noise ratio of 10 (Table 1). None of them had neurological or psychiatric history. They were all tested at Beaujon hospital (Paris). A group of 13 normal hearing participants (NH; 9 F 4 M; mean age=57.0; SD= 3.07; mean year of education= 17.08; SD=3.01) matched to the patients in terms of sex, age and education were also tested in

this study. Demographic, clinical and language data of the CI users are presented in Table 1. All participants gave their informed consent before testing in accordance with the Declaration of Helsinki.

Insert Table 1

2.2 Stimuli

The visual stimuli consisted of 40 dynamic faces taken from the STOIC Dynamic Facial Emotional Expressions Database (Simon et al., 2007). The facial expressions of 5 male and 5 female actors instructed to produce short emotional expressions of anger, fear, sadness and happiness as well as a neutral expression were videotaped. The duration of each stimulus was 500 ms.

2.3 Procedure

The visual stimuli (dynamic faces) were presented on a monitor screen positioned at the participant's eye level in a pseudo-randomized order using Presentation software (Neurobehavioural Systems Inc., San Pablo, CA). After the presentation of each dynamic face, the participants had to perform three different emotional judgments. The first judgment requires the participant to judge to what extent the face expressed each labeled emotion (happiness, fear, anger and sadness) on four rating scales where 0 corresponded to 'absent' and 100 to 'present'. The second and third judgments required participants to judge each dynamic face for its arousal (from 'relaxing' to 'stimulating') and its valence (from 'unpleasant' or 'negative' to 'pleasant' or 'positive').

Participants were explicitly required not to judge their own felt emotion but to rate the emotion conveyed by each dynamic face. The stimuli were presented only once and no feedback was given. Ratings along the visual analogue scale were displayed on a computer screen with identical unmarked horizontal lines and numerical labels at each extremity (0-100).

Before the experiment, a training session was presented to ensure that each participant understood the meaning of each targeted emotional category (happiness, fear, anger and sadness) by associating short sentences to the most appropriate emotional label (e.g., for happiness: "Eric had just won the lottery"). The comprehension of the terms, valence and arousal, was also verified by rating four situations (e.g., "Sophie has just received a wonderful

travel for her wedding" was supposed to be extremely positive and extremely arousing). Feedback was presented to insure the appropriate use of the two scales.

2.4 Mood questionnaires

We explored anxiety state of all the participants by the mean of mood questionnaires (STAI : Spielberger, 1983 and POMS : Mc Nair et al., 1992) to eliminate a potential impact of mood or affective disorder on emotion's processing. The State and Trait Anxiety Inventory (STAI : Spielberger, 1983) and the Profile of Mood Scale (POMS : Mc Nair et al, 1992) were administrated before the emotional rating task. The STAI is composed of two scales: the trait STAI to assess the general level of anxiety which is presumed to be stable over time and the state STAI to assess the present level of anxiety. The POMS is composed of 30 emotional adjectives and the participants had to rate how they describe their current mood (from 0 *not at all* to 4 *extremely*). Six emotional scales can be derived : Tension, Depression, Anger, Vigor, Fatigue and Confusion. As reported in Table 2, there is no difference between the two groups of participants on none of these scores.

Insert Table 2

2.5 Face discrimination control tasks

To ensure that emotional deficit do not result from a perceptual disturbance to process faces, the patient's ability to perceive the same facial stimuli was assessed by a discrimination task in which the participants had to judge if photos of static neutral faces were identical or different. After the emotional tasks, perceptual abilities were assessed using a discrimination task consisting of 10 pairs of neutral faces used in the emotional task with an equal number of same and different pairs. The participants had to judge if the two faces were identical or different and no feedback was provided. They were tested individually in a 30 min session.

3. Results

3.1. Discrimination task

Since the conditions of homogeneity of variance were not respected, we used non-parametric analyses. The Kruskall-Wallis analysis demonstrated no Group effect on percentage of correct

responses (K (2) = .10; *P* >.05), the scores being 97.7%, 97% and 97.7% for the NH, Pre-IC and post-CI groups, respectively.

3.2. Facial emotional tasks

3.2.1. Categorical responses

Since participants were free to select simultaneously many emotion labels among the four emotions (happiness, fear, anger and sadness), we first derived the best label attributed to each stimulus by each participant by selecting the rating scale that had received maximal rating. When two labels received the highest rating (e.g., when a participant judged a face to express both fear and sadness to the same degree) it was considered as ambivalent.

To compare emotion labels given by NH with those of Pre and Post-CI participants, we calculated for each participant the correctness scores using a proportional approach as proposed by Heberlein, Adolphs, Tranel and Damasio (2004) : each response was given a correctness score based on the proportion of subjects in the NH group giving that response (minimum of the correctness score=0; maximum=1). Higher correctness scores corresponded to answers that were chosen a large number of times by NH participants whereas lower correctness scores corresponded to answers that were less frequently chosen by NH participants. A correctness score of "zero" corresponded to responses that had never been given by NH participants. These correctness scores are useful because a same emotional vocalization can be perceived as expressing more than one single emotion, inducing variability in the labeling by normal listeners (Belin et al., 2008). In other words, such a proportional method takes into account the type of errors, considering that some errors are more acceptable than others. For example, an angry voice can also express some fear in addition to anger and it is less inaccurate to judge this voice as expressing fear than happiness even if fear is not the intended emotion.

Insert Figure 1

We examined average correctness scores as a function of the intended emotion. As can be seen in Figure 1, judgments of Pre-IC and Post-CI patients differed from those of NH participants, especially for Fear, Sadness and Happiness. Since the conditions of homogeneity of variance were not respected, we used non-parametric analyses. For each emotional category, the correctness scores of the intended emotion were submitted to Kruskall–Wallis

analyses. A group effect was obtained for the sad faces (K(2) = 11.21, *P* < .005), the Pre-CI (U=24; *P*=.01) and post-CI (U=24.5; *P*=.001) patients being less accurate than NH participants whereas the two patient groups did not differ. Similarly, we found a group effect for happy faces (K(2)=6.72; p<.05), NH participants being different from Post-CI patients (U=45; *P*<.05) but not from Pre-CI patients (U=46; *P*>.05). The scores obtained for the fearful faces by the three groups of participants were significantly different (K (2) = 6.75; *P* < .05). Mann–Whitney U tests revealed that Post-CI participants were less accurate than NH participants (U=33.0; *P* <.01) but there was no difference between Pre-CI and NH participants (U=42.0; *P* >.05)..However, no group effect was found for angry (K(2)= 3.56; p>.05) faces.

3.2.2. Dimensional responses

We compared the scores corresponding to valence and arousal ratings for each emotional category as a function of group (NH, Pre-CI and Post-CI) as can be seen in Figure 2. Kruskall-Wallis analysis revealed no group difference between the valence scores for happiness (K(2) = 5.56; *P* >.05), angry (K(2) = 5.39; *P* >.05), fear (K(2) = 0.95; *P* >.05), sadness (K(2) = 3.69.; *P* >.05) and neutral (K(2) = 1.32. *P* >.05).

By contrast, we found group differences between the arousal scores for happiness (K(2) = 9.6; *P* <.008), fear (K(2) = 10.28; *P* <.006), sadness (K(2) = 9.73; *P* <.008), angry (K(2) = 10.15; *P* <.006) and neutral (K(2) = 7.67; *P* <.022). Mann-Whitney U tests showed that HC participants differed from Pre-CI for happy (z=-1.98; *P* <.05), fear (z=-2.42; p<.05), sad (z=-2.42; *P* <.05) and from Post-CI for happy (z=- 2.95; *P* <.01), fear (z=- 2.90; p<.01), sad (z=-2.42; *P* <.05; z=-2.85; *P* <.01), angry (z=-3; *P* <.01) and neutral (z=-2.70; P <.01). In all these cases, Pre-CI and Post-CI patients judged faces less arousing than NH participants.

Insert Figure 2

3.2.3. Individual analyses

To further explore the results for the dynamic faces, we examined correctness scores for each deaf Pre-CI participant for the recognition of Sadness in comparison to the mean score of NH participants (Crawford and Garthwaite, 2007). Significant differences have been observed for

the recognition of Sadness in Pre-CI as compared to NH participants but not for other emotional categories.

Results showed that 4 Pre-CI participants (Pre-CI 4, 5, 9 and 10) out of 10 were significantly impaired in Sadness recognition ($p<.05$) as compared to NH participants. Mean age of impaired Pre-CI participants was 66.0 years old while the mean age is 49.8 years for the 6 non impaired Pre-CI participants. Mean deafness duration for impaired Pre-CI participants was 23.75 years and 28.7 years for non impaired Pre-CI participants.

3.2.4. Analysis of correlations

3.2.4.1. Categorical responses

Spearman's correlation revealed that categorical judgments of emotion (mean correctness score for the four intended emotions) were correlated with deafness duration for Post-CI participants (Rho = -0.71, $P<.05$) and Pre-CI participants (Rho = -0.72, $P<.05$).

Spearman's correlation revealed that categorical judgments of emotion (mean correctness score for the four intended emotions) were correlated with age for Pre-CI participants (Rho = -0,80, $P<.05$) but not for Post-CI participants (Rho = -0,37, $P>.05$).

For Post-CI participants, we tested the correlation between categorical judgments of emotion (mean correctness score for the four intended emotions) and post-CI duration (months) and found no correlation (Rho = 0.7, $P>.05$).

Finally, we found no correlation between categorical judgments of emotion (mean correctness score for the four intended emotions) and speech reading performances (score of dissyllabic words) for Pre-CI (Rho = 0.37, $P>.05$) and for Post-CI participants (Rho = 0.13, $P>.05$).

3.2.4.2. Arousal and valence responses

The same analysis have been carried out between arousal and valence judgments (mean ratings in judging facial expressions arousal or valence as a function of the four intended emotions) and deafness duration, age, speech reading performances (score of dissyllabic words) for Pre and Post-CI participants as well as post-CI duration. None of these correlations were significant.

4. Discussion

The goal of the present study was to evaluate the impact of progressive deafness and the effect of cochlear implantation in emotional processing of dynamic facial expressions. Before to further discuss the results, it is important to point out that all patients were able to understand the emotional labels used in our task which suggests that the deficit in emotions' recognition tasks cannot be attributed to difficulties in understanding emotional concepts. Moreover, it cannot be explained by impairments in visual perception since no deaf Pre-CI or Post-CI participants were impaired in the face discrimination control task. It should also be noted that this result cannot be attributed to mood disturbances since no difference has been found between Pre-CI, Post-CI and NH participants in anxiety state and mood profile.

4.1. Effect of acquired deafness on categorical judgment in emotional faces

The main result of this study is that post-lingual progressive deafness seems to have a negative impact on emotional recognition in faces. However, deafness does not seem to similarly affect recognition of all emotional categories. Moreover, we found that whereas Pre-CI were only impaired in recognizing sadness as compared to NH participants, Post-CI participants were impaired in recognizing all emotional categories, except anger faces. This finding suggests an important heterogeneity in emotional processing after post-lingual progressive sensori-neural hearing loss.

As previously mentioned, visually expressed emotions have essentially been explored in children with early pre- or peri- lingual deafness. These studies generally highlighted difficulties in emotional processing of facial expressions in deaf children. Whereas some studies reported deficits in all tested emotional categories (Dyck et al., 2004; Ludlow et al., 2010), other studies found deficits in only some categories (Wiefferink et al., 2013; Weisel's study 1985). For instance, Wiefferink et al. (2013) found that sad and fearful faces were better recognized than happy and angry faces in CI children as compared to NH children. Results of Weisel's study (1985) revealed that deaf subjects were better with Disgust faces whereas normal hearing subjects obtained better scores with Happiness. Finally, other authors found no differences between 10 to 17 years aged pre-lingual hearing impaired and cochlear implanted subjects and normal hearing subjects in recognition of emotions in faces with

regard to each category (Most & Aviner, 2009). These data underlined an important variability in deaf children, as we found in deaf adults.

In the present study, adults with progressive acquired deafness have some difficulties to judge emotional expressions in faces, particularly after CI. The lack of low-level sensory binding entailed by progressive hearing loss (Giraud & Von Kriegstein, 2006) could be responsible for the deficit in facial emotion judgments. As reported by these authors, an early binding of face and voice information is taking place before perceptual integration at the supramodal stage. It is also compatible with former findings demonstrating the impact of audio-visual coupling in enhancing the processing of each individual modality, such as visual or auditory modalities (Giraud et al., 2001). In line with this hypothesis, the present finding can be explained by the fact that adequate audio-visual coupling is necessary to judge emotional faces, multisensory integration being considered as a prerequisite for efficient emotional processing. By affecting this multisensory integration, progressive hearing loss might impact unimodal visual processing explaining therefore difficulties in recognizing emotional facial expressions.

According to recent neuroimaging results, it has been shown that auditory deprivation induces intermodal cortical reorganization and compensatory plasticity. As opposed to NH participants, looking at moving visual stimuli induces cerebral activation of primary, secondary and association auditory areas in congenitally deaf individuals (Finney et al., 2001; Finney et al., 2003; Bavelier et al., 2009) as well as in progressive deafness (Lee et al., 2007). These findings demonstrate that regions normally devoted to auditory functions in NH individuals are recruited to process visual information in deaf persons. According to some authors, this cortical reorganization might be useful to analyze visual cues containing verbal information (Lee et al., 2007). In this context, the efficiency of lip and speech-reading noted in deaf persons seem to express cortical reorganization. It is possible that such changes might be specific to the verbal domain in order to maintain interpersonal communication. However, we do not know if it can be used to process emotional information in non-verbal domain. In our study, Post-CI participants had globally functional speech reading abilities but were impaired in recognizing emotional expressions in faces. In addition, no significant correlation has been found between emotional recognition of facial expressions and speech reading performances for Pre-CI and Post-CI participants. All these results seem to indicate that these

verbal and emotional abilities depend on different processing, the sensori-motor coupling allowing speech reading does not seem to similarly benefit to emotional processing.

Nonetheless, significant differences have been observed in the two groups of deaf participants, the one tested before CI being less affected in emotional recognition than deaf individual assessed after CI. Indeed, Pre-CI participants were only impaired in recognizing sad faces while Post-CI participants were impaired for all categories except anger. These results can be attributed to uncontrolled variable differences between the groups. Future studies will be carried out to try to understand the inter-individual variability. However, group differences also raise the question of the strategy used to extract relevant visual information from different regions of the face that might be different in deaf with progressive hearing loss and in NH individuals. Some emotions such as anger and fear are better expressed in the upper part of the face whereas others such as happiness, sadness are better characterized in both lower and upper parts of the face. In a recent study, Watanabe et al. (2010) recorded eye-movements of Japanese adults with congenitally deafness when evaluating emotional valence of static faces expressing different emotions (neutral, fear, happiness with the mouth opened or closed, sadness, surprise, anger with the mouth opened or closed, disgust and contempt). Results of this study revealed different visual strategies in eye movements during facial observations in deaf and in NH participants. Deaf subjects looked more frequently and for longer duration at the eyes than at the nose. Conversely, NH subjects focused on the nose (or the central region of face) more than on the eyes. It seems therefore that deaf individual used specific strategies to extract visual information. However, we have to be cautious about the interpretation of these findings obtained with East Asian observers that are known to fixate more on the central region of the face and to avoid eye contact to extract information from faces. By contrast, Western Caucasian normal hearing observers fixate more the eye region and the mouth to extract relevant information from faces (Blais et al., 2008). Nonetheless, we can suggest that the ability of deaf participants to recognize faces expressing anger can be related to the tendency of these people to look at the upper part of the faces, which provides relevant cues to process anger. However, it remains difficult to explain why the recognition of fear, that used also cues from upper part of the faces, will not similarly benefit from this strategy. Eye fixation patterns involved in emotional recognition of happy, sad, fearful, angry, surprised, disgusted, and neutral facial expressions and identity judgment of expressive faces have also been explored in early-users prelingually deaf adults of American Sign Language (ASL) (Letourneau & Mitchell, 2011). As opposed to the previously reported study,

these deaf adults recognized emotional expressions more accurately from bottom than top halves and often split fixations between the top and bottom halves, regardless of task demands. Whereas hearing adults fixated the bottom half more often when judging emotion than identity, this finding confirmed the existence of specific fixation's strategies impacting facial emotions processing. Results of this study underline the effect of deafness and/or ASL experience on gaze patterns suggesting that specific skills acquired with a visual language could enhance the use of facial expressions for affective as well as linguistic information. All together, results of these two studies suggest that deafness and use of ASL can affect attention toward faces differently according to the culture. Deaf signers in the current study showed reduced attention to the eye region compared to American hearing adults, and Japanese deaf signers showed enhanced attention to the eye region compared to Japanese hearing adults. Therefore, results of our study are not directly in line with these data since Anger, which is more expressed in the top of the face, was well recognized by both Pre and Post-CI subjects while Post-CI participants were impaired in recognizing Sadness and Happiness which are expressed in both bottom and top parts of the face. However, several methodological differences could explain discrepancies between the results. Whereas previous studies examined static faces in pre-lingual deaf individuals, we used dynamic faces in post-lingual deaf persons. It remains to be clarified if the visual strategies used to extract non-verbal information from faces during interpersonal communication is changing with the type of stimulus (static vs dynamic) and/or the age of hearing loss.

Our results obtained in Post-CI participants also revealed no correlation between emotional categories recognition and speech performances with CI. It is possible that the sensorial auditory reorganization resulting from hearing loss and CI could essentially benefit to the verbal domain with a generally proficient increase of speech perception abilities (Rouger et al., 2007). In a recent neuroimaging study involving the follow-up of postlingually deaf adult CI users engaged in a visual speech reading task, Rouger et al. (2011) suggested that cortical functional reorganization after cochlear implantation seem focused on speech perception abilities enhancement with the occurrence of a global mechanism of "reversed" pattern of crossmodal plasticity. The authors confirmed the existence of highly synergic audiovisual speech integration in CI patients (Rouger et al., 2007; Strelnikov et al., 2009a) and a progressive restoration of the visuo-audio-motor speech-processing loop including Broca's area. More recently, by exploring emotions' understanding in children with CI and NH peers

in non-verbal task requiring no language skills, Wiefferink et al. (2013) found impairments in emotion recognition abilities. Results of this study indicated that deaf children with a CI were impaired in emotion recognition in facial expressions as well as in emotion attribution in situational context, suggesting a strong impact of hearing loss in general emotion understanding and particularly in nonverbal emotion understanding abilities. Taken together, these data suggest that non verbal perception, and more particularly visual emotions processing, could represent a difficult outcome for cochlear implanted individuals. The recovery of verbal comprehension abilities would be the main challenge, confirming the tendency to focus on verbal information focusing in deafness (Bettger et al., 2007).

Results of this study revealed that recognition of emotions in faces was affected by progressive deafness, but the pattern of results was rather different in the two patient groups. Yet, it is not possible to determine if this impairment was due to the combined effect of deafness on functional reorganization following cochlear implantation or if it resulted of inter individual differences between groups.

4.2 Effect of acquired deafness on perception of arousal and valence in emotional faces

The main result of our study was that deafness seems to affect arousal but not valence judgment in dynamic emotional faces. Post-CI participants were impaired in judging arousal in dynamic faces for all emotional categories while Pre-CI participants were only impaired in very arousing stimuli such as happy and fear faces.

Acquired hearing loss has been identified as a cause of communication dysfunctions inducing a degradation of social activities, professional relationships and mental health (Fusick, 2008; Hallam et al., 2006). Jones & White (1990) showed that people with a hearing impairment were more vulnerable to depression than people from the general population whereas more recent studies confirmed these results for people with profound deafness (Hallam et al., 2006) with a prevalence rate of clinical levels of depressed mood 4.8 times higher than in the general population (Garnefski and Kraaij, 2012). Therefore, it is possible that facially induced flat judgments of arousal in Pre-CI participants for Happiness and Fear and for the four emotional categories in Post-CI participants as compared to NH participants could reflect a possible affective blunt in relation to the acquired deafness. Yet, in our study Pre and Post-CI participants did no differ from NH participants in anxiety and mood profiles and no correlation has been found between arousal judgment of facial stimuli (mean ratings for the

four intended emotional categories) and scores for the POMS and STAI mood questionnaires. It is therefore difficult to know whether or not this deficit in arousal judgments is related to mood disorders. Emotional judgment abilities are developed and preserved all along life in the context of social interactions and shared peer experiences. It is possible that the progressive decrease of social interactions and communication induced by deafness could have an impact on the difficulties in judging emotional faces reported in our study. The relative social isolation resulting from deafness could have an impact on mental and/or cognitive mechanisms allowing social agents to attribute mental states to each other (Pichon & de Gelder, 2008). Tendency to social isolation clinically observed in people with progressive acquired hearing loss could progressively lead them to turn away from others and, in some extent, affect their capacity to interpret other people's emotions (Schild & Dalenberg., 2012).

Lack of difficulties in perceiving emotional valence conveyed by faces in Pre and Post-CI participants suggest that pleasantness might rely on some preserved associative and declarative forms of emotional memory (Adolphs et al., 1999). This result is not in line with Wiefferink's study (2013) demonstrating difficulties in CI as compared to NH children in discriminating emotional valence (positive versus negative). We assume that arousal might reflect the emotional experience as such or the "feeling" which might be presumably affected by progressive deafness according to the impoverishment of social interactions. However, deficit in judging arousal but not valence has been noted in two other studies involving the processing of musical and vocal emotions (Ambert-Dahan et al., submitted; in preparation) suggesting the existence of a specific profile of emotional abilities of persons with progressive hearing loss.

5. Conclusion

The goal of our study was to assess the ability in recognizing emotional categories and in perceiving arousal and valence conveyed by faces in adults with progressive deafness before and after cochlear implantation. For this purpose, we used dynamic faces (Simon et al., 2008) and found that acquired deafness can affect emotional judgment of visual information. Cortical reorganizations induced by progressive deafness might benefit to the verbal domain through speech processing enhancement but might be less efficient to the non-verbal emotional domain. We assume that CI users focused more on verbal than non-verbal cues and paid less attention to non-verbal information. This compensatory strategy developed in the context of acquired deafness could contribute, to some extent, to the degradation of emotional

sensitivity and social skills, which are essential for human communication. The results of this study also reveal an important variability. In particular, we found that Post-CI individuals were more affected than Pre-CI participants in emotional tasks. It seems difficult to attribute this finding to the deleterious effect of CI on visual emotional processing. We can suggest that this result reflects group differences resulting from inter-individual variability. To clarify this later point, we carried out a subsequent study by testing again the Pre-CI participants several months after CI (Study 4).

References

Adolphs R, Russell J.A, Tranel D. (1999). A role for the human amygdale in recognizing emotional arousal from unpleasant stimuli. Psychological Science.,10(2):167-171.

Ambadar Z1, Schooler JW, Cohn JF. (2005). Deciphering the enigmatic face: the importance of facial dynamics in interpreting subtle facial expressions. Psychol Sci.,16(5):403-10.

Auer, E.T. & Jr, Bernstein, L.E. (2007). Enhanced Visual Speech Perception in Individuals with Early-Onset Hearing Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research,* 50, n° 5, 1157-1165.

Bavelier, D., Dye, M. W., & Hauser, P. C. (2006). Do deaf individuals see better? Trends in Cognitive Sciences, 10, 512–518.

Bavelier, D., & Neville, H. J. (2002). Cross-modal plasticity: Where and how? Nature Reviews. Neuroscience, 3, 443–452.

Bavelier, D., Tomann, A., Hutton, C., Mitchell, T., Corina, D., Liu, G., et al. (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. The Journal of Neuroscience, 20, RC93.

Bettger, J., Emmorey, K., McCullough, S., & Bellugi, U. (1997). Enhanced facial discrimination: Effects of experience with American Sign Language. Journal of Deaf Studies and Deaf Education, *2*(4), 223–233.

Blais C, Jack RE, Scheepers C, Fiset D, Caldara R (2008) Culture shapes how we look at faces. PLoS One 3: e3022.

Bottari D, Caclin A, Giard MH, Pavani F. (2012). Changes in early cortical visual processing predict enhanced reactivity in deaf individuals. PLoS One., 6(9):e25607.

Collignon O, Champoux F, Voss P, Lepore F. (2011). Sensory rehabilitation in the plastic brain. Prog Brain Res., 191:211-31.

Dyck M.J., Denver E. (2003). Can the Emotion Recognition Ability of Deaf Children be Enhanced ? A Pilot Study. J Deaf Stud Deaf Educ., 8(3):348-56.

Dyck, M., Ferguson, K., & Shochet, I. (2001). Do autism spectrum disorders differ from each other and from nonspectrum disorders on emotion recognition tests? European Child and Adolescent Psychiatry, 10, 105–116.

Dye, M.W., & Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. Restorative Neurology and Neuroscience, 28, 181–192.

Finney EM, Fine I, Dobkins KR.(2001).Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. Nat Neurosci.,4(12):1171-3.

Finney EM, Clementz BA, Hickok G, Dobkins KR. (2003).Visual stimuli activate auditory cortex in deaf subjects: evidence from MEG. Neuroreport. ,14(11):1425-7.

Garnefski N, Kraaij V. (2012). Effects of a Cognitive Behavioral Self-help program on emotional problems for people with acquired hearing loss: a randomized controlled trial. J Deaf Stud Deaf Educ.;17(1):75-84.

Giraud AL, Price CJ, Graham JM, Truy E, Frackowiak RS. (2001). Crossmodal plasticity underpins language recovery after cochlear implantation. Neuron 30:657-663.

Hallam, R., Ashton, P., Sherbourne, K., & Gailey, L. (2006). Acquired profound hearing loss: Mental health and other characteristics of a large sample. International Journal of Audiology, 45, 715–723.

Harwood NK, Hall LJ, Shinkfield AJ. (1999). Recognition of facial emotional expressions from moving and static displays by individuals with mental retardation. Am J Ment Retard. 1999 May;104(3):270-8.

Jones, E. M., & White, A. J. (1990). Mental health and acquired hearing impairment: A review. British Journal of audiology, 24, 3–9.

Lee HJ, Truy E, Mamou G, Sappey-Marinier D, Giraud AL. (2007). Visual speech circuits in profound acquired deafness: a possible role for latent multimodal connectivity. Brain, 130 (11) : 2929-41.

Letourneau S.M, Mitchell T.V. (2011). Gaze patterns during identity and emotion judgments in hearing adults and deaf users of American Sign Language. Perception.,40(5):563-75.

Levänen S, Hamdorf D. (2001). Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. Neurosci Lett., 301(1):75-7.

Ludlow A, Heaton P, Rosset D, Hills P, Deruelle C. (2010). Emotion recognition in children with profound and severe deafness: do they have a deficit in perceptual processing ? J Clin Exp Neuropsychol., 32(9):923-8.

Lyxell B, Rönnberg J, Samuelsson S. (1994). Internal speech functioning and speechreading in deafened and normal hearing adults. Scand Audiol., 23(3):179-85.

Matsumoto, D., & Ekman, P. (1995). Japanese And Caucasian Facial Expressions of Emotion (JACFEE) And Neutral Faces (JACNeuF). San Francisco State University, San Francisco.

McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). Profile of mood States (Revised). San Diego, CA: Edits: Educational and Industrial Testing Service.

Merabet LB, Pascual-Leone A. (2010). Neural reorganization following sensory loss: the opportunity of change. Nat Rev Neurosci.,11(1):44-52

Most T, Aviner C. (2009). Auditory, visual, and auditory-visual perception of emotions by individuals with cochlear implants, hearing aids, and normal hearing. J Deaf Stud Deaf Educ.,14(4):449-64.

Most T, Rothem H, Luntz M. (2009). Auditory, visual, and auditory-visual speech perception by individuals with cochlear implants versus individuals with hearing aids. Am Ann Deaf., 154(3):284-92.

Most, T., Weisel, A., & Zaychik, A. (1993). Auditory, visual and auditory-visual identification of emotions by hearing and hearing-impaired adolescents. British Journal of Audiology, 27, 247–253.

Muir LJ, Richardson IE. (2005).Perception of sign language and its application to visual communications for deaf people. J Deaf Stud Deaf Educ.,10(4):390-401.

O'Toole AJ1, Roark DA, Abdi H. (2002). Recognizing moving faces: a psychological and neural synthesis. Trends Cogn Sci. 1;6(6):261-266.

Petitto, L. A., Zatorre, R. J., Gauna, K., Nikelski, E. J., Dostie, D., & Evans, A. C. (2000). Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: Implications for the neural basis of human language. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97, 13961–13966.

Peterson CC, Siegal M. (1995). Deafness, conversation and theory of mind. J Child Psychol Psychiatry., 36(3):459-74.

Pichon S, de Gelder B, Grezes J. (2008). Emotional modulation of visual and motor areas by dynamic body expressions of anger. Soc Neurosci., 3(3-4):199-212.

Roark DA, Barrett SE, Spence MJ, Abdi H, O'Toole AJ. (2003). Psychological and neural perspectives on the role of motion in face recognition. Behav Cogn Neurosci Rev. 2003 Mar;2(1):15-46. Review.

Rouger J, Lagleyre S, Démonet JF, Fraysse B, Deguine O, Barone P. (2011). Evolution of crossmodal reorganization of the voice area in cochlear-implanted deaf patients. Hum Brain Mapp.; 10.1002/hbm.21331.

Schild S., Dalenberg CJ. (2012). Psychoform and somatoform dissociation and PTSD in deaf adults. J Trauma Dissociation. 2012;13(3):361-76.

Schorr EA, Fox NA, van Wassenhove V, Knudsen EI. (2005). Auditory-visual fusion in speech perception in children with cochlear implants. Proc Natl Acad Sci USA. 20; 102(51):18748-50.

Simon D., Craig K.D., Gosselin F., Belin P., Rainville P. (2008). Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and émotions. Pain, 135(1-2):55-64.

Spielberger, C. D. (1983). Manuel for the State-Trait Anxiety. Palo Alto: Ed. Consulting Psychologists Press Inc.

Strelnikov K, Rouger J, Demonet JF, Lagleyre S, Fraysse B, Deguine O, Barone P. (2009). Does brain activity at rest reflect adaptive strategies ? Evidence from speech processing after cochlear implantation. Cereb Cortex.; 20(5):1217-22.

Summerfield Q. (1992). Lipreading and audio-visual speech perception. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 1992, 335(1273):71-8. Review.

von Kriegstein K, Kleinschmidt A, Giraud AL.(2006).Voice recognition and cross-modal responses to familiar speakers' voices in prosopagnosia.Cereb Cortex.,16(9):1314-22.

Watanabe K, Matsuda T, Nishioka T, Namatame M. (2011). Eye gaze during observation of static faces in deaf people. PLoS One.,6(2):e16919.

Weisel A. (1985). Deafness and perception of nonverbal expression of emotion. Percept Mot Skills.,61(2):515-22.

Wiefferink CH, Rieffe C, Ketelaar L, De Raeve L, Frijns JH. (2013). Emotion understanding in deaf children with a cochlear implant. J Deaf Stud Deaf Educ., 18(2):175-86.

Table 1. Demographic clinical, and language data for each patient of the Pre CI and Post CI groups. (CI : cochlear implant; HA : hearing aid; LR : lip reading; S/N : signal to noise ratio). Note : mean +/- standard deviation (SD).

Participant	Age	Sex	Educ (years).	Deafness duration (years)	Cause of deafness	CI duration (years)	Dissyll. words LR (%)	Control. HA	Dissyll. words HA before CI(%)	Dissyll. words CI (%)	Sentences quiet CI (%)	Sentences S/B=10 dB CI (%)
Pre-CI 1	43	M	14	39	Hereditary	-	60	Yes	0	-	-	-
Pre-CI 2	76	F	17	34	Unknown	-	0	Yes	70	-	-	-
Pre-CI 3	53	F	14	20	Otosclerosis	-	10	No	0	-	-	-
Pre-CI 4	60	F	12	37	Otosclerosis	-	80	Yes	50	-	-	-
Pre-CI 5	53	F	17	20	Ototoxic	-	70	Yes	40	-	-	-
Pre-CI 6	23	F	13	19	Unknown	-	30	Yes	40	-	-	-
Pre-CI 7	44	F	14	25	Unknown	-	70	Yes	20	-	-	-
Pre-CI 8	60	F	15	35	Otosclerosis	-	70	Yes	0	-	-	-
Pre-CI 9	75	F	12	11	Vascular	-	50	Yes	90	-	-	-
Pre-CI 10	76	F	12	27	Unknown	-	20	Yes	80	-	-	-
Mean	56.3		14	26.5	-	-	46	-	39	-	-	-
SD	17.04		1.89	9.07	-	-	28.75	-	33.81	-	-	-

Post-CI 1	68	F	20	16	Otosclerosis	12	20	Yes	60	90	93	53
Post-CI 2	74	F	15	54	Hereditary	36	80	Yes	50	80	62	62
Post-CI 3	39	H	16	19	Unknown	10	60	No	0	90	100	93
Post-CI 4	76	F	15	33	Unknown	24	80	Yes	70	90	92	88
Post-CI 5	59	H	14	7	Traumatic	51	10	Yes	100	100	91	78
Post-CI 6	63	F	15	7	Neuroma	20	80	No	0	70	50	64
Post-CI 7	59	F	12	20	Otosclerosis	18	70	Yes	90	100	100	40
Post-CI 8	55	F	14	9	Neuropathy	24	50	Yes	10	100	99	97
Post-CI 9	52	F	14	10	Unknown	18	80	Yes	50	80	91	77
Post-CI 10	39	F	15	10	Unknown	120	60	Yes	20	90	100	81
Post-CI 11	54	F	16	1	Unknown	57	10	Yes	60	80	100	100
Post-CI 12	50	H	16	12	Menière	48	30	Yes	50	90	100	60
Post-CI 13	63	H	16	10	Unknown	18	20	Yes	100	60	29	0
Mean	57.77	-	15.23	15.77	-	35.23	50	-	50.77	83.85	85.23	68.69
SD	11.47	-	1.83	13.68	-	29.62	28.28	-	34.99	11.93	23.14	27.36

Table 2. Demographic information for pre (Pre-CI) and post-implanted (Post-CI) patients and normal hearing controls (NH).

	NH	Pre-CI	Post-CI
Sex			
Male	4	1	4
Female	9	9	9
Age (years)	57.00± 3,07	56.30±6.39	57.77 ±3.18
Education (years)	17.08±3.01	14.00±1.89	15.23±1.83
Deafness duration (years)	-	26.70±2.94	15.96±3.87

Table 3. Inter-groups comparisons of the mean (±SE) ratings on the mood questionnaires.

	Groups			Kruskal-Wallis
STAI	**NH**	**Pre-CI**	**Post-CI**	
Trait anxiety	31.69±1.58	38.3±2.79	36±1.79	K(2) = .55; p>.05
State anxiety	37.38±1.67	38.2±2.89	34±2.60	K(2) = 2.57; p>.05
POMS				
Anger	3.23±0.85	3.50±1.31	3.54±0.98	K(2) = .02; p>.05
Anxiety	3.62±0.58	4.80±0.96	3.0±0.74	K(2) = 3.72; p>.05
Depression	3.08±0.56	3.50±1.23	2.62±0.84	K(2) = .83; p>.05
Confusion	5.15±0.62	5.40±1.06	4.77±0.82	K(2) = .70; p>.05
Vigor	12.77±0.61	11.80±1.24	13.77±1.28	K(2) = 2.25; p>.05
Fatigue	3.31±0.52	4.60±1.53	3.85±1.01	K(2) = .23; p>.05

Figure 1. Mean correctness scores of the three groups of participants (NH = normal hearing controls, Pre-CI= pre-implanted and Post-CI = post-implanted patients) as a function of the four intended facial emotions (bars represent the standard error of the mean).

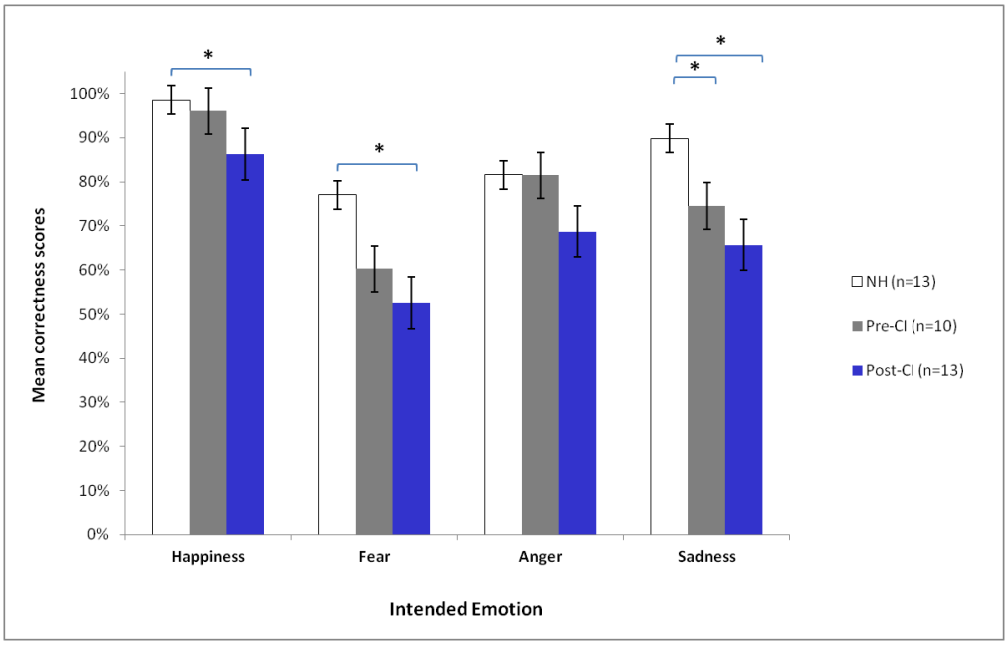
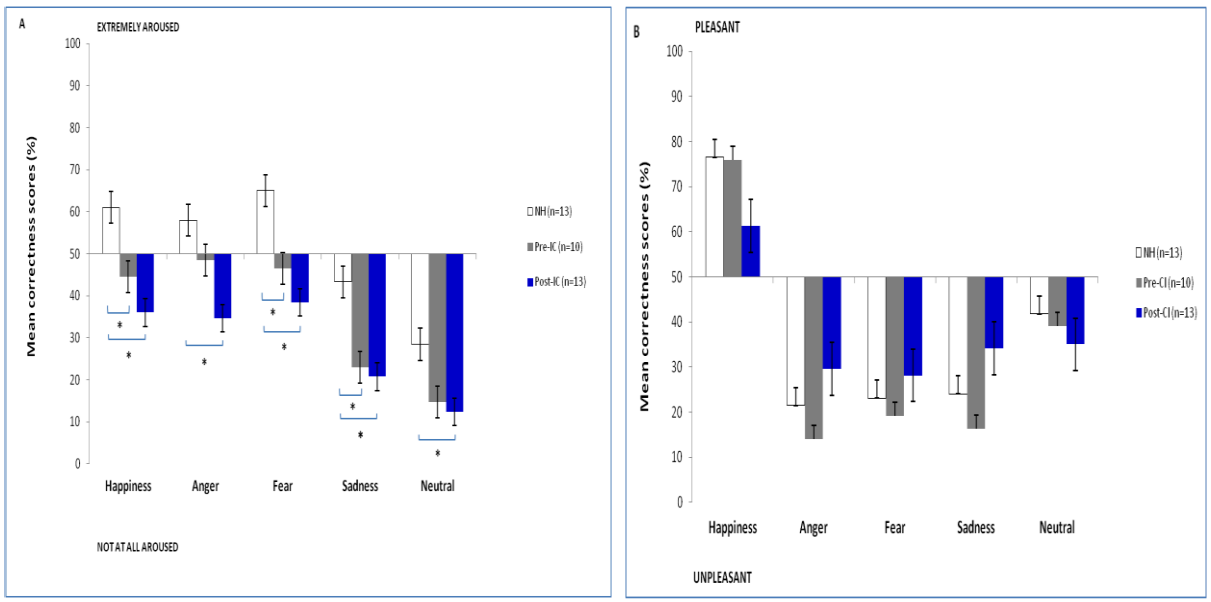


Fig.2. Mean ratings of the three groups of participants (NH = hearing controls, Pre-CI= pre and Post-CI= post-cochlear implanted) in judging facial expressions'arousal (A) and valence (B) as a function of the five intended emotions (bars represent the standard error of the mean).



2. Perception des émotions faciales chez des adultes présentant une surdité évolutive évalués avant et après implantation cochléaire.

(Etude 4)

Cet article sera prochainement soumis.

Perception des émotions faciales chez des adultes présentant une surdité évolutive évalués avant et après implantation cochléaire.

Emmanuèle Ambert-Dahan[1,2], Anne-Lise Giraud[4], Olivier Sterkers[1], Isabelle Mosnier[1], Séverine Samson[2,3]

[1] Unité Otologie, Implants auditifs et Chirurgie de la base du crâne, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[2] Laboratoire de neuroscience fonctionnelle et pathologie (EA 4559), Université de Lille-Nord de France, France

[3] Unité d'épilepsie, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, Paris, France

[4] Neuroscience Dept., University of Geneva, Geneva, Switzerland.

Correspondence concerning this article should be addressed to:

Séverine Samson

Department of psychology

University of Lille 3

BP 60 149

59653 Villeneuve d'Ascq Cedex

France

severine.samson@univ-lille3.fr

Tel : +33 3 20 41 64 43

Fax : +33 3 20 41 63 24

1. Introduction

En présence d'une surdité, les personnes utilisent au maximum les informations visuelles pour compenser la perte auditive. Ce phénomène joue un rôle particulièrement important dans le domaine verbal, la lecture labiale devenant essentielle pour maintenir des capacités de communication. Selon plusieurs auteurs, le développement de telles compétences reposerait sur la perception audio-visuelle de la parole qui semble bien meilleure chez les personnes atteintes de surdité évolutive que chez les normo-entendants (Rouger et al., 2007). Dans le domaine émotionnel, il est bien connu que les émotions transmises par les visages jouent un rôle fondamental dans la communication entre les humains (Ekman, 1976), la capacité à analyser les émotions portées par les visages étant nécessaire aux interactions sociales. Outre les particularités des expressions faciales statiques, bien étudiées dans la littérature, des études plus récentes ont souligné l'importance de la dynamique des expressions faciales pour identifier ces dernières (Harwood et al., 1999; Roark et al., 2003). Les mouvements du visage seraient particulièrement utiles aux personnes sourdes, celles-ci ayant développé des stratégies visuelles et notamment d'orientation du regard à travers l'utilisation de la lecture labiale (Watanabe et al., 2011) et de la langue des signes (Muir & Richardson, 2005).

Comme nous l'avons déjà mentionné dans l'étude précédente, peu de recherches ont porté sur l'évaluation de la perception des émotions faciales chez les sujets ayant bénéficié d'un implant cochléaire et encore moins se sont intéressées au traitement des émotions faciales dynamiques. Tandis que l'objectif de notre précédente étude était d'évaluer l'impact de la surdité évolutive sur la perception des émotions faciales dynamiques chez deux groupes différents de personnes sourdes, l'un évalué avant et l'autre évalué après l'implantation cochléaire par comparaison à un groupe de participants normo-entendants appariés en terme d'âge, de sexe et de niveau d'études, la présente étude porte sur les sujets évalués avant mais également après l'implantation cochléaire. Les résultats de notre précédente étude ont révélé l'existence de troubles de la reconnaissance des émotions faciales (pour la joie, la peur et la tristesse mais pas pour la colère) plus importants chez les sujets implantés cochléaires que chez les sujets sourds évalués avant l'implantation (perturbés uniquement avec les visages tristes) par rapport aux sujets normo-entendants. Ces résultats suggèrent, de manière tout à fait surprenante, une aggravation des difficultés de reconnaissance des émotions faciales mais également des jugements d'éveil plus faibles après l'implantation. En revanche, aucun déficit dans la capacité à juger la valence émotionnelle n'a été observé chez les personnes sourdes avant et après l'implantation.

A la vue des résultats de notre précédente étude, il semble que le bénéfice incontestable de l'implant cochléaire sur les performances verbales, avec des scores atteignant fréquemment 80% pour la compréhension de phrases en milieu calme (Rouger et al., 2007; Wilson & Dorman, 2011), ne se généraliserait pas au domaine non verbal et à la reconnaissance des émotions faciales. Cette hypothèse apparaît contre-intuitive. Cependant, nombreuses sont les études qui soulignent l'existence de différences inter individuelles importantes chez les personnes sourdes. L'effet de l'implantation cochléaire sur la reconnaissance des émotions faciales observé dans notre précédente étude pourrait, de ce fait, refléter une différence entre les deux groupes de participants testés dans l'étude 3 plutôt qu'un effet délétère de l'implant cochléaire sur le traitement émotionnel, qui semble peu vraisemblable.

Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons évalué à nouveau les 10 participants sourds de l'étude 3, trois à vingt mois après l'implantation cochléaire, selon la même procédure. Si les résultats de l'étude 3 se confirment, un déficit de la reconnaissance des émotions faciales devrait apparaître après l'implantation cochléaire. A l'inverse, s'il s'agit d'un biais d'échantillonnage, il se peut que ces sujets ne soient pas affectés par l'implantation cochléaire ou même s'améliorent.

2. Méthode

2.1 Participants

Les dix patients francophones présentant une atteinte auditive post-linguale évolutive sévère à profonde, évalués dans l'étude 3, ont été à nouveau testés après l'implantation cochléaire à l'hôpital Beaujon (Paris). La durée moyenne de surdité était de 26,5 ans (+/- 9,07). Aucun d'entre eux ne pratiquait la langue des signes et tous communiquaient oralement. Leur score moyen de lecture labiale avant l'implantation était de 46% pour la compréhension de mots dissyllabiques. A l'exception d'un participant, ils bénéficiaient tous d'une prothèse auditive controlatérale. Ils ne présentaient pas d'antécédents neurologiques ou psychiatriques. Les résultats de ces patients ont été comparés à ceux de 13 participants normo-entendants (NE; 9 F 4 M; âge moyen =57,0 +/- 3.07 ans; niveau d'études = 17,08 +/- 3.01 ans) appariés en termes de sexe, d'âge et d'éducation. Les données démographiques, cliniques ainsi que les performances verbales des patients sont présentées dans les Tables 1 et 2. Tous les

participants ont donné leur consentement avant les tests en accord avec la déclaration d'Helsinki.

Insérer Tables 1 et 2

L'anxiété des participants a été évaluée au moyen de deux questionnaires, avant et après l'implantation cochléaire, en utilisant le State and Trait Anxiety Inventory (STAI; Spielberger, 1977) et le Profile of Mood Scales (POMS; McNair, 1992). Comme indiqué dans la table 3, aucune différence significative n'a été observée chez les participants sourds avant et après l'implantation cochléaire en ce qui concerne les scores d'humeur et d'anxiété.

Insérer Table 3

2.2 Stimuli

Les stimuli visuels sont les mêmes que ceux utilisés dans l'étude 3. Il s'agit de 50 expressions faciales dynamiques de joie, de tristesse, de peur et de colère ainsi que des visages neutres issus de la base de données d'expressions faciales émotionnelles STOIC (Simon et al., 2008). Chaque stimulus durait 500 ms.

2.3 Procédure

Après la présentation de chaque visage dynamique, les participants devaient donner trois jugements émotionnels différents en jugeant sur une échelle allant de 0 pour *pas du tout* à 100 pour *beaucoup,* l'intensité de chaque émotion exprimée (peur, joie, tristesse et colère ou colère), en évaluant la valence sur une échelle allant de 0 pour *très négatif* à 100 pour *très positif* et l'excitation sur une échelle allant de 0 pour *pas du tout excitant* à 100 pour *très excitant*.

Pour le détail des stimuli et de la procédure, voir Méthode de l'étude 3.

3. Résultats

3.1 Reconnaissance des catégories émotionnelles

Nous avons utilisé la méthode de calcul proportionnel proposée par Heberlein et al., (2004), décrite dans l'étude 3. Les scores de réponses correctes ainsi obtenus pour chaque catégorie émotionnelle ont été analysés avec des tests non paramétriques car les conditions d'homogénéité de variance n'étaient pas respectées (Figure 1).

Insérer Figure 1

Les résultats au test de Wilcoxon ont révélé une amélioration significative des scores obtenus uniquement pour les visages de colère entre l'évaluation réalisée avant et après l'implantation cochléaire ($z= -2,4$; $P<.05$) mais pour les autres catégories émotionnelles ($P>.05$ pour la joie, la peur et la tristesse). Par ailleurs, le déficit observé avant l'implantation cochléaire par rapport aux normo-entendants pour la reconnaissance de la tristesse n'a pas été retrouvé après l'implantation ($U=42,5$; $P>.05$), comme en témoigne le résultat au test de Mann-Whitney.

A noter que le score global de reconnaissance émotionnelle des patients sourds qui était déficitaires par rapport aux normo-entendants avant l'implantation ($U=28$, $P<.05$), ne l'est plus après l'implantation cochléaire pour ces mêmes patients ($U=50$, $P>.05$), comme le montrent les résultats au test de Mann-Whitney.

2.2 Jugement des dimensions émotionnelles

Nous avons comparé les scores de jugement de valence et d'éveil pour chaque catégorie émotionnelle et pour chaque groupe de participants (normo-entendants, pré et post-implant). Ces résultats sont illustrés sur la Figure 2.

Insérer Figure 2

Les jugements d'éveil obtenus avant et après l'implantation cochléaire ne sont pas différents qu'il s'agisse des visages de joie ($z=-1,38$; $P>.05$), de colère ($z= -0,36$; $P>.05$), de peur ($z=-1,5$; $P>.05$), de tristesse ($z= - 0,66$; $P>.05$) et neutres ($z= -0,56$; $P>.05$) (test de Wilcoxon). Aucune différence significative entre le score global d'éveil obtenu avant et après l'implantation cochléaire n'a été mise en évidence ($z=-0,5$; $p>.05$).

Comme indiqué dans l'étude 3, le test de Mann-Whitney a mis en évidence des différences significatives entre les jugements d'éveil chez les participants Pré-IC par rapport aux NE pour la joie (U=33 ou z=-1,98; *P* <.05), la peur (U= 26 ou z= -2,42; P<.05) et la tristesse (U= 26 ou z= -2,42; P<.05) mais pas pour la colère (U=40 ou z=-1,55; P>.05) ni pour les visages neutres (U= 34 ou z=-1,92; P>.05). Cependant, les jugements d'éveil obtenus par les participants Post-IC ne se différencient pas des NE (tous les P>.05).

Quant aux jugements de valence recueillis, ils sont différents avant et après l'implantation cochléaire pour les visages de colère (z= -2,2; P<.05, les visages de colère étant jugés moins désagréables par les Post-IC que par les Pré-IC) mais pas pour les autres catégories (joie, z= -1,38; P>.05 ; tristesse, z= -0,66; P>.05 ; peur, z= -0,15; P>.05 et neutralité, z= -0,56; P>.05). En accord avec les résultats obtenus avant l'implantation cochléaire (voir étude 3), les jugements de valence obtenus pour chaque catégorie émotionnelle (joie, peur, colère, tristesse et neutralité) après l'implantation cochléaire ne se différencient pas de ceux des NE comme en témoignent les résultats au test de Mann-Whitney (tous les P>.05).

2.3 Analyse des corrélations

2.3.1 Catégories émotionnelles

Nous avons également voulu vérifier s'il existait une corrélation (corrélation de Spearman) entre les performances en lecture labiale (score de reconnaissance de mots dissyllabiques) et la reconnaissance des émotions faciales (score moyen global). Les résultats n'ont pas révélé de corrélation significative ni pour les participants Pré-IC (Rho = 0,37, *P* >.05) ni pour les Post-IC (Rho = 0,39, *P* >.05). Comme rapporté dans l'étude 3, la reconnaissance des émotions faciales (score moyen global) est corrélée avec la durée de surdité (Rho = -0,85, P<.05) et l'âge des patients post-IC (Rho = -0,94, *P*<.01) mais aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la reconnaissance des émotions faciales (score moyen global) et le délai post-implant (mois) (Rho = -0,85, *P*>.05).

Enfin, entre la reconnaissance des émotions faciales (score moyen global) ne corrèle pas avec les scores aux questionnaires d'anxiété (STAI) et d'humeur (POMS) pour les patients Post-IC (*P*>.05).

2.3.2 Eveil et valence

Aucune des corrélations entre les jugements de valence et d'éveil n'a été observée.

3. Discussion

Le résultat principal de cette étude montre que la mise en place d'un implant cochléaire ne semble pas affecter la reconnaissance des émotions faciales, du moins chez les 10 patients évalués dans cette étude qui présentaient tous une surdité évolutive sévère à profonde et qui ont été testés avant et après l'IC. Dans notre étude, la reconnaissance des émotions faciales dynamiques semble s'être améliorée au niveau du score global qui inclut l'ensemble des catégories émotionnelles testées. Plus particulièrement, le déficit observé pour la reconnaissance de la tristesse avant l'implantation par rapport aux sujets normo-entendants ne se retrouve pas après l'implantation. Cette amélioration pourrait être attribuable à un effet test-retest. Toutefois, afin de contrôler cet effet, nous avons eu l'opportunité de tester à nouveau 5 sujets normo-entendants après un délai moyen de 20,6 mois. Les résultats de ces 5 participants sains n'ont pas mis en évidence de modification des performances entre la première et la deuxième évaluation. Bien que le nombre de participants sains ayant pu être retesté reste limité, il se pourrait que la différence entre la reconnaissance des émotions faciales obtenue avant et après l'implantation cochléaire reflète une légère amélioration des résultats avec l'implant cochléaire mais cela reste à confirmer. Cette légère amélioration s'explique essentiellement par le score obtenu pour la reconnaissance de la colère qui augmente après l'implantation.

Ces résultats semblent être en contradiction avec ceux de l'étude 3 puisque les patients évalués après l'implantation cochléaire (différents de ceux de l'étude 4) étaient déficitaires dans la reconnaissance de la tristesse mais également de la joie et de la peur. L'absence de difficulté obtenue dans cette étude permet de suggérer que l'implant cochléaire n'affecte pas la reconnaissance des émotions faciales. Il n'en reste pas moins que la différence entre les résultats de l'étude 3 et de l'étude 4 soulignent l'hétérogénéité des patients évalués. Certains patients sourds démontrant, en effet, des troubles de la reconnaissance des émotions faciales. Cette hétérogénéité observée en présence d'une surdité progressive d'apparition tardive a été également notée chez des enfants présentant une surdité d'apparition précoce (pré ou péri linguale), les déficits observés étant très variables pour l'identification des émotions faciales.

Ainsi, certaines études ont mis en évidence des déficits significatifs concernant l'ensemble des catégories émotionnelles testées (joie, peur, colère, tristesse) (Dyck et al., 2004; Ludlow et al., 2010) alors que d'autres ont montré que certaines émotions pouvaient être mieux reconnues que d'autres chez ces enfants (Wiefferink et al., 2013 ; Most et al., 2009). Mais à nouveau, selon les études, les résultats varient et des études ultérieures seront nécessaires pour mieux comprendre les variables responsables de ces différences.

Par ailleurs, la tendance à l'isolement social progressif lié à la présence d'une surdité évolutive peut avoir des conséquences sur les capacités d'interprétation des états émotionnels d'autrui (Schild & Dalenberg., 2012). Les résultats de cette étude suggèrent que l'amélioration de la compréhension et de la communication orale grâce à l'implant cochléaire permette aux personnes sourdes de partager de nouveau une expérience émotionnelle et de mieux identifier les émotions sur le visage des autres. Dans leur étude, von Kriegstein & Giraud (2006) ont montré l'importance du liage sensoriel entre les informations visuelles et vocales pour l'intégration supra modale des informations verbales. De même, Giraud et al. (2001) ont souligné que le couplage des informations auditives et visuelles pouvait avoir un impact sur le traitement de chaque modalité, auditive et visuelle, prises individuellement. Il serait donc possible que l'implant cochléaire rétablisse, du moins en partie, les capacités de perception multimodale en améliorant ainsi la perception d'informations émotionnelles non verbales transmises en modalité auditive par la voix et celles transmises en modalité visuelle par les visages. Ces améliorations de l'intégration multimodale pourraient ainsi faciliter le traitement des émotions auditives mais aussi visuelles.

Cette amélioration observée avec l'implant cochléaire est également retrouvée pour le jugement d'éveil exprimé par les visages de joie, de peur et de tristesse pour lesquels des différences significatives avec les normo-entendants avaient été observées chez les sujets sourds avant mais plus après l'implantation cochléaire. Nous pouvons émettre l'hypothèse selon laquelle les sujets sourds pourraient tirer avantage de l'implant cochléaire pour juger les émotions faciales et pour évaluer l'éveil exprimé par les visages.

Quant aux jugements de valence, les résultats des personnes testées après l'IC ne se différencient pas des personnes testées avant IC (sauf pour la colère alors jugée moins désagréable) et des normo-entendants. Ces résultats confirment le profil de données obtenus dans les études précédentes avec les extraits musicaux et les voix et qui souligne que les

jugements de valence effectués ne semblent pas perturbés par l'apparition d'une surdité évolutive chez l'adulte.

En conclusion, les résultats de cette étude semblent démontrer que le déficit précédemment mis en évidence chez les patients implantés cochléaires (étude 3) serait attribuable à des différences inter individuelles entre les sujets examinés dans l'étude 3 et l'étude 4. Il est permis de s'interroger sur l'intégrité des aptitudes émotionnelles des patients post-IC de l'étude 3, indépendamment de l'implantation. Il se peut en effet que si nous avions eu l'opportunité de les évaluer avant l'implantation cochléaire, des déficits auraient été également identifiés avant l'implantation.

References

Dyck M., Farrugia, C., Shochet, I., & Holmes-Brown, M. (2004). Emotion recognition/understanding ability in hearing or vision-impaired children: Do sounds, sights, or words make the difference ? Journal of Psychology and Psychiatry, 45, 789–800.

Garnefski N, Kraaij V. (2012). Effects of a Cognitive Behavioral Self-help program on emotional problems for people with acquired hearing loss: a randomized controlled trial. J Deaf Stud Deaf Educ.;17(1):75-84.

Giraud AL, Price CJ, Graham JM, Truy E, Frackowiak RS. (2001). Crossmodal plasticity underpins language recovery after cochlear implantation. Neuron 30:657-663.

Hallam, R., Ashton, P., Sherbourne, K., & Gailey, L. (2006). Acquired profound hearing loss: Mental health and other characteristics of a large sample. International Journal of Audiology, 45, 715–723.

Harwood NK, Hall LJ, Shinkfield AJ. (1999). Recognition of facial emotional expressions from moving and static displays by individuals with mental retardation. Am J Ment Retard. 1999 May;104(3):270-8.

Heberlein AS, Adolphs R, Tranel D, Damasio H. (2004). Cortical regions for judgments of emotions and personality traits from point-light walkers.J Cogn Neurosci., 16(7):1143-58.

Jones, E. M., & White, A. J. (1990). Mental health and acquired hearing impairment: A review. British Journal of audiology, 24, 3–9.

Lee HJ, Truy E, Mamou G, Sappey-Marinier D, Giraud AL. (2007). Visual speech circuits in profound acquired deafness: a possible role for latent multimodal connectivity. Brain, 130 (11) : 2929-41.

Ludlow A, Heaton P, Rosset D, Hills P, Deruelle C. (2010). Emotion recognition in children with profound and severe deafness: do they have a deficit in perceptual processing ? J Clin Exp Neuropsychol., 32(9):923-8.

Most T, Rothem H, Luntz M. (2009). Auditory, visual, and auditory-visual speech perception by individuals with cochlear implants versus individuals with hearing aids. Am Ann Deaf., 154(3):284-92.

Muir LJ, Richardson IE. (2005). Perception of sign language and its application to visual communications for deaf people. J Deaf Stud Deaf Educ.,10(4):390-401.

Roark DA, Barrett SE, Spence MJ, Abdi H, O'Toole AJ. (2003). Psychological and neural perspectives on the role of motion in face recognition. Behav Cogn Neurosci Rev. 2003 Mar;2(1):15-46. Review

Rouger, J., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deneve, S., Deguine, O., & Barone, P. (2007). Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104, 7295–7300.

Schild S., Dalenberg CJ. (2012). Psychoform and somatoform dissociation and PTSD in deaf adults. J Trauma Dissociation. 2012;13(3):361-76.

Simon D., Craig K.D., Gosselin F., Belin P., Rainville P. (2008). Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and émotions. Pain, 135(1-2):55-64.

von Kriegstein K, Kleinschmidt A, Giraud AL.(2006).Voice recognition and cross-modal responses to familiar speakers' voices in prosopagnosia.Cereb Cortex.,16(9):1314-22.

Watanabe K, Matsuda T, Nishioka T, Namatame M. (2011). Eye gaze during observation of static faces in deaf people. PLoS One.,6(2):e16919.

Wiefferink CH, Rieffe C, Ketelaar L, De Raeve L, Frijns JH. (2013). Emotion understanding in deaf children with a cochlear implant. J Deaf Stud Deaf Educ., 18(2):175-86.

Wilson BS, Dorman MF, Woldorff MG, Tucci DL. (2011). Cochlear implants matching the prosthesis to the brain and facilitating desired plastic changes in brain function. Prog Brain Res.,194:117-29. Review.

Table 1. Données démographiques, cliniques et performances verbales pour chaque patient des groupes Pré et Post-IC (IC: implant cochléaire; PA : prothèse auditive; LL : lecture labiale; S/B : rapport signal sur bruit). Note : moyenne +/- écart-type.

Participant	Age	Sexe	Educ. (années)	Durée surd. (années)	Etiologie	Délai post-IC (mois)	Mots dissyll. LL (%)	PA contro	Mots dissyll. PA avant IC (%)	Mots dissyll. IC (%)	Phrases calme IC (%)	Phrases S/B=10 dB IC (%)
Pré-IC 1	43	M	14	39	Congénitale	-	60	Oui	0	-	-	-
Pré-IC 2	76	F	17	34	Inconnue	-	0	Oui	70	-	-	-
Pré-IC 3	53	F	14	20	Otospongiose	-	10	Non	0	-	-	-
Pré-IC 4	60	F	12	37	Otospongiose	-	80	Oui	50	-	-	-
Pré-IC 5	53	F	17	20	Ototoxique	-	70	Oui	40	-	-	-
Pré-IC 6	23	F	13	19	Inconnue	-	30	Oui	40	-	-	-
Pré-IC 7	44	F	14	25	Inconnue	-	70	Oui	20	-	-	-
Pré-IC 8	60	F	15	35	Otospongiose	-	70	Oui	0	-	-	-
Pré-IC 9	75	F	12	11	Vasculaire	-	50	Oui	90	-	-	-
Pré-IC 10	76	F	12	27	Inconnue	-	20	Oui	80	-	-	-
Moyenne	56.3	-	14	26.5	-	-	46	-	39	-	-	-
Ecart-type	17.04	-	1.89	9.07	-	-	28.75	-	33.81	-	-	-

Post-IC retest												
Post-IC 1	44	M	14	39	Congénitale	6	60	Yes	0	100	100	80
Post-IC 2	77	F	17	34	Inconnue	18	0	Yes	70	70	94	75
Post-IC 3	54	F	14	20	Otospongiose	20	10	No	0	30	8	0
Post-IC 4	61	F	12	37	Otospongiose	12	80	Yes	50	90	93	47
Post-IC 5	54	F	17	20	Ototoxique	12	70	Yes	40	100	100	86
Post-IC 6	24	F	13	19	Inconnue	6	30	Yes	40	50	73	20
Post-IC 7	45	F	14	25	Inconnue	6	70	Yes	20	90	100	87
Post-IC 8	61	F	15	35	Otospongiose	3	70	Yes	0	50	80	0
Post-IC 9	76	F	12	11	Vasculaire	12	50	Yes	90	90	100	86
Post-IC 10	77	F	12	27	Inconnue	6	20	Yes	80	100	100	80
Moyenne	57.14		14	26.5	-	10.10	46	-	39	69.08	76.78	54.12
Ecart-type	17.04		1.89	9.07	-	5.67	28.75	-	33.81	39.41	40.73	39.02

Table 2. Informations démographiques pour les patients pré (Pré-IC) et post-implant (Post-IC) et les participants normo-entendants (NE).

	NE	Pré-IC	Post-IC
Sexe			
Hommes	4	1	4
Femmes	9	9	9
Age (années)	57.0± 3.07	56.3±6.39	57.77 ±3.18
Education (années)	17.08±3.01	14.0±1.89	15.23±1.83
Délai post-implant (mois)	-	26.70±2.94	-

Table 3. Comparaisons inter-groupes des scores moyens (±écarts-types) aux questionnaires d'humeur.

	Groupes			Wilcoxon
STAI	**NE**	**Pré-IC**	**Post-CI**	**Pré & Post-CI**
Trait anxiété	31.69±1.58	38.3±2.79	35.0±2.83	z=2.45, p<..05
State anxiété	37.38±1.67	38.2±2.89	28.89±2.04	z=-2.37, p<.05
POMS				
Colère	3.23±0.85	3.50±1.31	1,11±0.49	z=-1.90, p>.05
Anxiété	3.62±0.58	4.80±0.96	2,89±0.73	z=-2.20, p<.05
Dépression	3.08±0.56	3.50±1.23	2.0±0.76	z=-1.95, p>.05
Confusion	5.15±0.62	5.40±1.06	4.44±0.73	z=-2.20, p<.05
Vigueur	12.77±0.61	11.80±1.24	*12.89*±0.93	z=-0.25, p>.05
Fatigue	3.31±0.52	4.60±1.53	3.56±1.19	z=-1.54, p>.05

Figure 1. Scores moyens de réponses correctes des trois groupes de participants (NE : normo-entendants, Pré-IC : Pré-implant et Post-IC : Post-implant) selon les quatre catégories émotionnelles et les groupes. Les barres représentent les déviations standards.

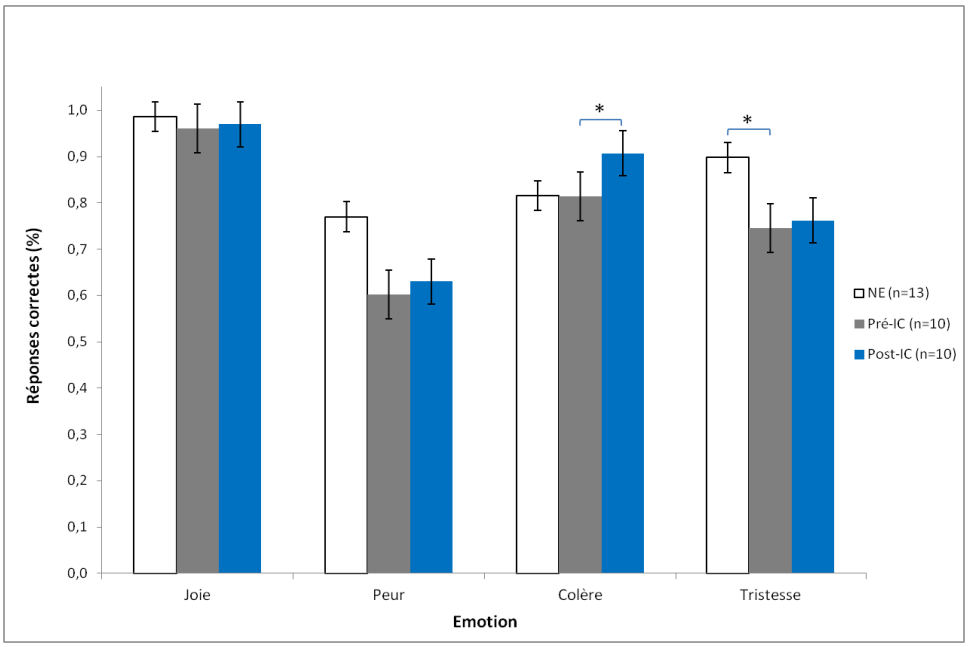
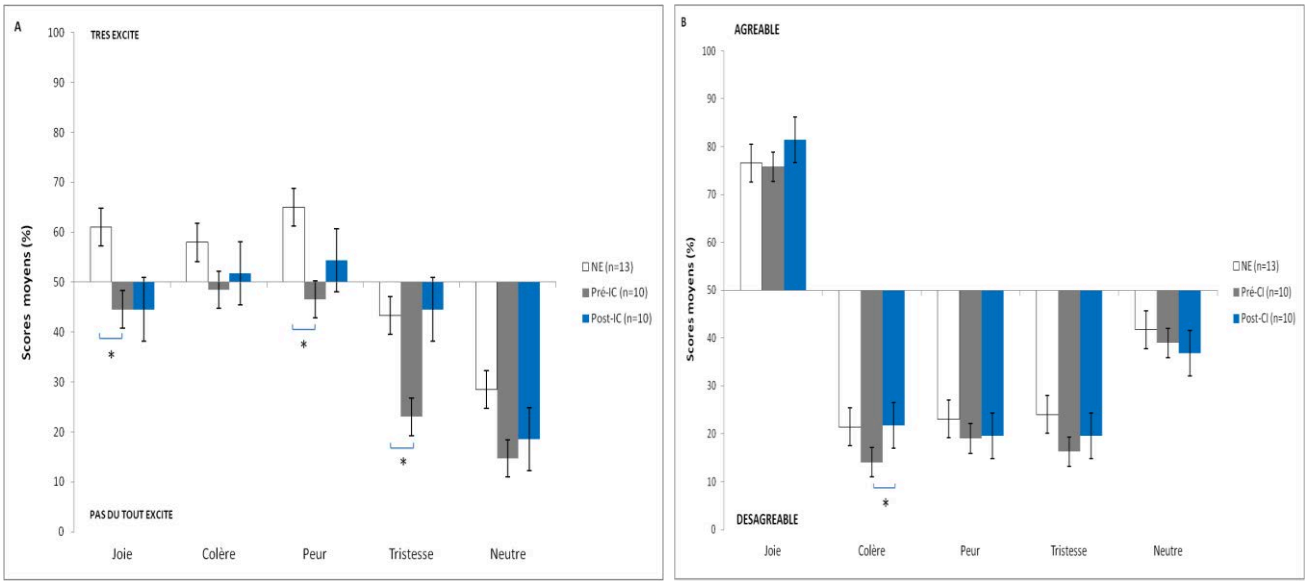


Figure 2. Scores moyens des trois groupes de participants (NE = participants normo-entendants, Pré-IC= patients avant l'implantation cochléaire et Post-IC = patients implantés cochléaires) pour le jugement d'éveil dans les visages (A) et de valence (B) dans les visages en fonction des cinq catégories émotionnelles. Les barres d'erreurs correspondent aux déviations standards.



Partie Discussion

DISCUSSION GENERALE

L'objectif des travaux menés dans cette thèse visait à évaluer les capacités de reconnaissance des émotions auditives et visuelles dans le domaine non verbal en présence d'une surdité neurosensorielle évolutive chez des adultes candidats à l'implantation cochléaire. Une approche comportementale a été adoptée pour examiner tout à tour les bénéfices de l'implant sur la reconnaissance des émotions portées par la musique (étude 1) et celle des émotions portées par la voix humaine (étude 2). Ces premières recherches auraient pu apparaître inappropriées si elles n'avaient pas été motivées par les propos rapportés au cours de leur suivi par des patients implantés cochléaires rencontrés durant ma pratique clinique, qui me disaient être de nouveaux sensibles aux voix des personnes de leur entourage ou "aimer écouter la musique". Les deux études suivantes ont porté sur le traitement des émotions faciales, dont l'importance dans la communication et les interactions sociales est largement admise. Compte tenu de la place accordée à la modalité visuelle en cas de surdité, nous avons donc examiné les conséquences de la surdité sur la reconnaissance des expressions faciales avant et après l'implantation cochléaire (étude 3 et étude 4). Pour ce faire, nous avons présenté visuellement des expressions faciales en mouvement plutôt que statiques, car comme les voix et la musique, ces stimuli reposent sur l'intégration d'une information qui évolue dans le temps de manière dynamique.

Dans les quatre études réalisées dans cette thèse, nous avons adapté à la surdité une méthodologie classiquement utilisée en neuropsychologie pour examiner les émotions en présence d'une lésion cérébrale (Adolphs, Tranel and Damasio, 1994; Heberlein et al., 2004; Gosselin et al., 2005; Dellacherie et al., 2011). L'évaluation des émotions portées par la musique, les voix et les visages a été testée à partir de trois épreuves distinctes. Chaque épreuve comprenait une série de stimulus qui avait fait l'objet d'une validation au préalable. Après la présentation de chaque stimulus, le participant devait réaliser trois types de jugement impliquant : (1) la reconnaissance de la catégorie émotionnelle (i.e. joie, peur, tristesse, apaisement...), (2) l'évaluation de la valence émotionnelle, correspondant au caractère agréable (positif) ou désagréable (négatif) de l'émotion exprimée et (3) l'évaluation de l'éveil (arousal) faisant référence au degré d'excitation induit par l'émotion perçue. Tous les patients présentaient une surdité post-linguale bilatérale évolutive sévère à profonde. Ils ont été évalués après une implantation cochléaire (Post-IC) visant à restaurer une partie des capacités auditives, et une partie d'entre eux a également été examinée avant la pose de l'implant (Pre-

IC). Les résultats des personnes sourdes ont été comparés à ceux de normo-entendants (NE) appariés.

Les principaux résultats obtenus dans cette thèse permettent de préciser les aptitudes de traitement émotionnel d'adultes présentant une surdité évolutive à partir de deux types de jugements, qui s'inscrivent dans des contextes théoriques différents. La reconnaissance des catégories émotionnelles repose sur la notion d'universalité des émotions (i.e. Ekman, 1980), les émotions pouvant appartenir à des catégories discrètes telles que la joie, la peur ou la tristesse et clairement labellisées. La perception des dimensions émotionnelles fait référence au modèle circulaire de Russel (1980) selon lequel les émotions seraient multidimensionnelles. Elles se définiraient selon deux axes principaux qui opposeraient l'éveil (ou *arousal* en anglais) à la valence. La dimension d'éveil permet d'évaluer un stimulus sur une échelle de très excitant à très apaisant alors que la dimension de valence l'évalue sur une échelle de très positif (agréable) à très négatif (désagréable).

Reconnaissance des catégories émotionnelles

Trois catégories émotionnelles ont été examinées dans toutes les études de cette thèse. Il s'agit de la tristesse, de la joie et de la peur qui ont toutes été difficiles à reconnaitre, quelle que soit la modalité concernée. Dans le domaine musical, un déficit de reconnaissance des émotions a été observé chez les sujets implantés cochléaires mais leurs performances étaient au-dessus du niveau du hasard. La reconnaissance de l'apaisement, en revanche, n'était pas différente chez les Post-IC et les NE.

Dans le domaine vocal et facial, nous avons pris la précaution d'utiliser le même nombre de catégories émotionnelles (quatre comme pour la musique), mais avons remplacé l'apaisement par la colère. En effet, les expressions faciales et les cris vocaux censés induire l'apaisement n'étaient pas disponibles dans les bases de données que nous avons utilisées. C'est pourquoi les quatre catégories examinées étaient la tristesse, la joie, la peur et la colère ainsi que des stimuli neutres. Comme pour la musique, les résultats des personnes testées en Post-IC étaient déficitaires dans la reconnaissance des expressions vocales et cela pour toutes les catégories émotionnelles. Cependant, il est important de souligner également ici, que les scores étaient toujours supérieurs au niveau du hasard. Ces résultats confirment le bénéfice de l'IC pour

percevoir les émotions auditives qu'elles soient musicales ou vocales, sachant qu'aucun des participants évalués ne pouvait réaliser ces tests avant l'implantation. Bien évidemment, ces capacités à juger les émotions auditives (musicales et vocales) s'expliquent certainement en grande partie par les difficultés de perception auditive de ces patients. En effet, un test de perception des voix (discrimination de voix neutres avec un paradigme pareil et différent) a été systématiquement utilisé chez tous les participants. Non seulement, les résultats ont mis en évidence un trouble perceptif chez les sujets post-IC par comparaison aux NE mais de plus, une corrélation significative a été mise en évidence entre ces scores perceptifs et les jugements émotionnels. Il semble légitime d'attribuer, du moins en partie, les difficultés à juger les émotions auditives à un déficit perceptif en raison du manque d'efficacité de l'implant cochléaire dans la transmission des indices spectro-temporels porteurs d'informations émotionnelles (e.g. Luo & Fu, 2007 ; Massida et al., 2013). Nous avons ainsi montré que les patients implantés cochléaires pouvaient percevoir certaines caractéristiques acoustiques des voix émotionnelles, probablement sur la base d'indices temporels et d'intensité et, de manière plus restrictive, à partir de la détection des changements de direction de la hauteur tonale de la voix. Ces résultats sont en accord avec ceux des précédentes études démontrant l'utilisation des informations relatives aux variations d'intensité et aux indices de hauteur tonale à partir des variations de l'enveloppe temporelle du signal dans les basses fréquences par les sujets implantés cochléaires (Luo et al., 2008). L'utilisation des indices d'intensité, dont l'efficacité de la transmission avec l'implant est admise (Shpack et al., 2014), et d'une manière générale l'utilisation des informations temporelles pour la perception de la voix (Raphaël et al., 2007) et de la musique (Kong et al., 2004) pourraient compenser, dans une certaine mesure, le déficit de transmission des informations fréquentielles dont le rôle est prépondérant pour la perception de la voix (Rosen, 1992) et de la musique (Peretz & Coltheart, 2003).

Dans le domaine facial, les résultats sont vraiment surprenants. La reconnaissance de la catégorie de tristesse a été massivement perturbée chez tous les participants évalués en Pré- comme en Post-IC. Un sous-groupe de patients Post-IC (étude 3) présentait de plus un déficit à reconnaitre les visages de peur et de joie. Comme pour la reconnaissance des émotions vocales, un test de perception des visages a été administré à tous les participants qui devaient distinguer des visages neutres entre eux (test pareil/différent). Les résultats ont montré qu'aucun patient sourd ne présentait de déficit de la perception des visages, écartant ainsi l'existence d'un trouble perceptif à l'origine des troubles émotionnels observés. La difficulté à

reconnaitre la tristesse pourrait s'expliquer par des modifications des schémas de fixation oculaire chez les personnes sourdes. Ces dernières reconnaîtraient plus facilement les expressions émotionnelles provenant de la moitié inférieure du visage et fixent souvent alternativement les moitiés supérieure et inférieure du visage quelle que soit la tâche demandée tandis que les sujets normo-entendants fixent la moitié inférieure sensiblement plus souvent quand on leur demande de reconnaître une émotion et non d'identifier une personne (Letourneau & Mitchell, 2011). Il est possible que les personnes présentant une surdité évolutive, comme celles atteintes de surdité pré ou péri linguale, développent des stratégies de fixation oculaire spécifiques ayant un impact sur le traitement des émotions faciales. Les expressions faciales de tristesse étant à la fois transmises par des indices situés dans le haut et le bas du visage, il est possible qu'une fixation préférentielle vers le bas du visage altère sa reconnaissance. Il est plus difficile de se prononcer pour la reconnaissance des visages de peur et de joie compte tenu de l'hétérogénéité des résultats entre les deux sous-groupes de patients Post-IC. Cependant, la joie est exprimée dans les parties supérieure et inférieure du visage tandis que la peur est plutôt exprimée dans la partie supérieure ce qui pourrait expliquer les déficits observés dans le sous-groupe des Post-IC.

Dans une récente étude en neuroimagerie fonctionnelle (IRMf), Lazard et al. (2011) ont montré que la partie antérieure du gyrus temporal supérieur, qui interagit normalement avec l'amygdale via des connections directes (Pandya, 1995) pour permettre le traitement multisensoriel des émotions, n'était pas activée lors d'une tâche d'imagerie mentale auditive en présence d'une surdité post linguale sévère à profonde, à la différence des patterns d'activation cérébrale obtenus chez des normo-entendants. Les auteurs ont également rapporté, chez ces personnes sourdes, une activation atypique de l'amygdale droite dont le rôle dans les émotions est bien connu (Glascher & Adolphs, 2003; Gosselin et al., 2005; Dellacherie et al., 2011). Ces différentes données d'imagerie cérébrale pourraient refléter une modification de l'organisation corticale inter modale consécutive à la survenue d'une surdité évolutive et expliquer, du moins en partie, les déficits de reconnaissance de certaines catégories émotionnelles.

Perception des dimensions émotionnelles

L'évaluation de l'éveil suscitée par l'écoute d'un extrait musical ou d'une interjection vocale était systématiquement altérée chez les personnes sourdes implantées par comparaison aux

normo-entendants (NE), ces informations auditives étant jugées moins excitantes. De manière tout à fait surprenante, ces difficultés à juger l'éveil ne se limitaient pas à la modalité auditive puisqu'elles ont été également mises en évidence dans la modalité visuelle. En effet, les visages présentés visuellement étaient également jugés moins excitants par les personnes sourdes, qu'elles aient été testées avant (pré-IC) ou après (post-IC) la pose d'un implant cochléaire, par comparaison aux NE. Bien que les résultats obtenus dans les questionnaires d'humeur (POMS) ou d'anxiété (STAI) ne mettent pas en évidence de troubles dépressifs ou anxieux chez les personnes sourdes incluses dans nos recherches (pré-IC et post-IC), il n'en reste pas moins qu'il semble que cette perte auditive affecte de manière globale les jugements d'éveil. Les difficultés d'appréciation du degré d'éveil dans les extraits musicaux et la voix, de même que dans les visages, interrogent quant à l'existence de spécificités dans le traitement des émotions non verbales chez les individus sourds.

Enfin, l'évaluation de la dimension de valence induite par l'écoute de la musique ou des cris vocaux ou par la vue d'un visage en mouvement n'était pas altérée chez les Pré-IC et les Post-IC par comparaison aux NE. Ces résultats contrastent avec les autres données obtenues. La relative intégrité de ces jugements en présence d'une surdité acquise tardivement suggère que l'appréciation de la valeur émotionnelle d'un stimulus pourrait être liée à la préservation de certaines formes de mémoire émotionnelle associative et déclarative (Adolphs et al., 1999). Au contraire, la perception de l'éveil pourrait refléter plutôt l'expérience émotionnelle ou le ressenti propre à chaque individu qui pourrait être affecté par la survenue d'une surdité en raison de l'appauvrissement des interactions sociales.

Déficit de l'intégration multimodale des émotions?

Une question soulevée par l'ensemble des résultats rapportés dans cette thèse concerne l'existence d'un déficit d'intégration multimodale des émotions en présence d'une surdité. Plus précisément, notre interrogation porte sur la modification de ce type de traitement suite à la survenue tardive d'une surdité évolutive et progressive.

La perte ou l'altération d'une modalité sensorielle entraîne des remaniements corticaux importants au profit des modalités intactes (Levänen & Hamdorf, 2001). Dans le cas de la surdité, Lee et al. (2007) ont montré, dans une étude en imagerie cérébrale fonctionnelle, que

des régions traitant habituellement des informations auditives se mettent à analyser des données visuelles contenant des informations verbales et ce, très rapidement après la survenue de la surdité. Selon ces auteurs, une connectivité neuronale potentielle sous-jacente serait activée par la sollicitation accrue de la modalité visuelle au cours de l'installation de la surdité et reflèterait un mécanisme de compensation. Cependant, la réorganisation cérébrale consécutive à la perte auditive comporte des spécificités selon la période de survenue de la surdité, avant ou après l'acquisition du langage. En cas de surdité neurosensorielle acquise à l'âge adulte, la plasticité cérébrale dans le réseau cortical permet de compenser la perte ou l'altération de la modalité auditive en exploitant les processus impliqués dans l'intégration audio-visuelle de la parole utilisés avant l'apparition de la surdité. L'utilisation de ces aptitudes, dont l'efficacité a été montrée dans le traitement des informations verbales, est en accord avec le principe d'*efficacité inverse* développé par Meredith & Stein (1996) selon lequel l'efficacité de la compensation multimodale est inversement proportionnelle à l'importance de l'atteinte sensorielle dans la modalité touchée.

Dans le cas de la surdité évolutive, la perception multimodale audiovisuelle serait d'autant plus utile que l'atteinte auditive est importante et l'équilibre audiovisuel modifié. Dans le domaine du langage, la lecture labiale va être sollicitée et se développer afin de permettre le maintien de la communication verbale. Plusieurs études (Rouger et al., 2007 ; Strelnikov et al., 2009) ont ainsi mis en évidence une augmentation rapide des capacités d'intégration audio-visuelle de la parole dans les premiers mois qui suivent la survenue de la surdité, bien supérieure à celles des sujets normo entendant, ces capacités restant stables dans le temps. Ces résultats suggèrent que la compensation induite par la surdité serait particulièrement développée dans le domaine verbal. Cependant, l'efficacité du traitement visuel des personnes devenues sourdes pour décoder les expressions émotionnelles sur les visages n'avait, à notre connaissance, pas été évaluée auparavant. En effet, les travaux réalisés dans le domaine de la surdité ont porté, en grande partie, sur la communication verbale. Beaucoup moins d'études ont examiné les compétences des individus sourds dans le domaine émotionnel hormis quelques études réalisées auprès de sujets sourds atteints de surdité précoce apparues avant (surdité pré linguale) ou au cours de la période d'acquisition du langage (surdité péri linguale).

Dans nos études (études 3 et 4), les capacités de reconnaissance des émotions faciales étaient très variables selon les groupes examinés. Alors que les sujets sourds non implantés étaient

déficitaires avec les visages tristes, un autre groupe de patients implantés cochléaires présentait en plus des difficultés avec les visages de peur et de joie. Ces résultats mettent en lumière l'impact de la surdité sur le traitement des expressions des émotions faciales chez les adultes atteints de surdité évolutive. Ils semblent en accord avec certains résultats obtenus chez des enfants présentant des surdités congénitales mettant en évidence l'existence de déficits dans le traitement visuel des émotions touchant l'ensemble des catégories émotionnelles (Ludlow et al., 2010 ; Dyck et al., 2004) ou seules, certaines d'entre elles (Wiefferink et al., 2013 ; Most et al., 2009).

Sur le plan des stratégies visuelles employées, la survenue de la surdité pourrait également induire des modifications comportementales se traduisant par une orientation spécifique du regard au cours des échanges verbaux. Dans une étude examinant la direction du regard au cours d'une tâche de perception de la valence sur des visages statiques, Watanabe et al. (2011) ont mis en évidence une orientation préférentielle du regard vers la région des yeux chez des sujets sourds congénitaux tandis que le regard des normo-entendants était plutôt orienté vers le nez. Compte tenu de l'influence culturelle sur l'orientation du regard, se traduisant par une région préférentielle située dans la partie centrale du visage (autour du nez) pour les observateurs normo-entendants d'origine est-asiatique (Blais et al., 2008 ; Jack et al., 2009), ce résultat confirme le développement de stratégies spécifiques pour l'extraction des informations visuelles. Plus spécifiquement, il s'agirait de stratégies adaptatives dont l'objectif principal serait de maintenir la compréhension du message verbal. En effet, d'autres études (Emmorey et al., 2009; Muir & Richardson, 2005) ont montré que le regard des personnes présentant une surdité congénitale et pratiquant la langue des signes était principalement orienté vers le visage de la personne signante. Cette stratégie perceptive faciliterait la détection des mouvements fins associés aux expressions faciales et aux mouvements des lèvres qui contiennent des informations linguistiques portées par la langue des signes.

Il se peut, cependant, que les mouvements fins associés aux expressions émotionnelles au niveau du visage ne soient pas si bien perçus, les personnes sourdes se focalisant peut être plus sur les aspects linguistiques que émotionnels. Ainsi, dans une étude portant sur les capacités de discrimination des visages par les personnes pratiquant la langue des signes, Bettger et al. (1997) ont suggéré que ces dernières rechercheraient essentiellement des informations verbales dans les expressions faciales de leur interlocuteur et porteraient moins

d'attention aux informations émotionnelles. N'ayant pas exploré l'orientation du regard chez les adultes présentant une surdité évolutive dans nos recherches, il reste difficile de se prononcer sur cette interprétation. A noter cependant, que aucun sujet de notre étude n'a présenté de déficit pour la reconnaissance de la colère, plutôt exprimée dans la partie haute du visage, tandis que les patients implantés cochléaires avaient des difficultés à identifier la tristesse, exprimées à la fois dans le haut et la bas du visage. Pour appuyer cette hypothèse, une étude portant sur l'orientation du regard chez des individus présentant une surdité évolutive lors de l'observation de visages émotionnels en mouvement serait intéressante à réaliser. Comme pour les stimuli auditifs qui prennent sens dans leur réalisation temporelle, l'aspect dynamique doit être pris en compte dans l'étude du traitement des émotions visuelles.

Ressenti émotionnel et surdité

Les conséquences de la surdité évolutive chez l'adulte ont également été étudiées dans une perspective psychoaffective avec notamment, l'évaluation du risque de développer des troubles dépressifs réactionnels et la prise en compte de leur impact sur l'intégration sociale. La surdité acquise représente en effet un obstacle dans les échanges interpersonnelles ayant des conséquences délétères sur les relations sociales et professionnelles (Fusick, 2008; Hallam et al., 2006) ainsi que sur l'état psychologique et le ressenti émotionnel (Jones & White, 1990). Dans leurs travaux, Hallam et al. (2006) ont ainsi suggéré que la surdité représentait un facteur de vulnérabilité à la dépression avec un taux de prévalence presque cinq fois plus élevé que dans la population générale (Garnefski and Kraaij, 2012). Afin d'examiner l'existence possible d'un émoussement affectif relatif à la surdité acquise chez les patients implantés cochléaires, nous avons évalué leur humeur et en particulier le niveau d'anxiété au moyen de deux questionnaires (POMS: McNair et al., 1992; STAI: Spielberger, 1983). Les résultats n'ont révélé aucune différence significative entre les sujets implantés cochléaires et normo-entendants suggérant que les déficits observés pour la reconnaissance et le jugement émotionnels dans les quatre études n'étaient pas liés à l'existence de troubles thymiques. Ces résultats semblent être en désaccord avec plusieurs études qui soulignent l'augmentation potentielle du stress et de l'anxiété avec la surdité (Agrawal et al., 2009; Andersson & Hägnebo, 2003; de Graaf & Bijl, 2002). De plus, certains auteurs (Kashubeck-West & Meyer, 2008) insistent sur la spécificité de la surdité acquise tardivement, souvent de manière progressive, impliquant la mise en jeu de capacités d'adaptation et le développement de stratégies pour maintenir un niveau de communication suffisant dans différents contextes. Le

niveau d'adaptation requis peut dépendre de la sévérité et de l'âge de survenue de l'atteinte auditive mais il concerne la dimension personnelle dans son ensemble, c'est-à-dire l'identité, les relations interpersonnelles, l'estime de soi et le bien-être psychologique en général (Meyer & Kashubeck-West, 2013). Au-delà de l'humeur, la surdité peut aussi avoir un impact sur l'état émotionnel d'un individu et sur sa qualité de vie en général.

En cas de surdité évolutive, les individus doivent en permanence s'adapter et ajuster leurs stratégies de compensation à leurs difficultés d'intégration sociales qui ne font qu'augmenter. Suls et al. (1996) ont ainsi décrit deux principales stratégies d'adaptation : l'une centrée sur les émotions et l'autre sur les actions à mener pour faire face aux situations concrètes liées à la surdité. Le choix de la stratégie semble dépendre du vécu de la sévérité de l'atteinte sensorielle et de ses conséquences psychosociales. Selon Meyer & Kashubeck-West (2013), l'importance du ressenti de la perte auditive et le bien-être psychosocial serait corrélé négativement avec la tendance à adopter une stratégie centrée sur l'émotion lorsque le ressenti du handicap est élevé. De plus, il semble que les adultes atteints de surdité évolutive perçoivent le handicap de manière plus intense que les personnes présentant une surdité d'apparition plus précoce (de Graaf & Bijl, 2002). Ainsi, l'intensité du ressenti de la sévérité du handicap est souvent associée à une modification de l'état psychologique qui peut se traduire, chez certains, par une dépression, une difficulté à accepter un tel handicap, un sentiment de culpabilité et un isolement social. Les changements du vécu émotionnel relatif à leur propre personnalité affecteraient l'expérience émotionnelle au cours des interactions sociales, ces dernières ayant tendance à se raréfier par la même occasion. Il est alors possible que les individus sourds qui ont participé à nos études, sans présenter de trouble spécifique de l'humeur, présentent un émoussement affectif qui est peut être responsable de la perturbation des jugements d'éveil notée dans nos recherches.

Enfin, nous avons montré que les sujets implantés cochléaires pouvaient juger la valence émotionnelle des expressions, qu'elles soient musicales, vocales ou faciales. Il est important de rappeler que l'écoute de la musique grâce à un implant cochléaire représente une motivation importante pour choisir une telle prise en charge thérapeutique. Les patients candidats à l'implantation cochléaire recherchent bien souvent le bénéfice de l'implant pour la musique, en plus de celui connu pour la compréhension de la parole. Il se peut donc que le plaisir de l'écoute musicale chez les sujets avec l'implant s'explique par leur capacité à juger la valence émotionnelle induite par la musique. Comme le suggèrent Gingras et al. (2013), la perception de la valence pourrait être liée à des facteurs culturels et à des processus intégrant

des paramètres musicaux de haut niveau comme la perception du mode ou de la tonalité. La possibilité de percevoir la valence dans la musique avec l'implant cochléaire pourrait traduire la restauration d'une certaine sensibilité émotionnelle musicale qui améliorerait de ce fait les interactions sociales. Plus globalement, cette aptitude émotionnelle semble relativement préservée chez les patients présentant une surdité évolutive. Il reste à déterminer si l'absence de difficulté notée dans cette tâche reflète un manque de sensibilité de la mesure ou une réelle dissociation entre la perception des dimensions émotionnelles chez les personnes sourdes avec des capacités à juger la valence qui contrastent avec le trouble du jugement de l'éveil.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les travaux menés dans cette thèse m'ont convaincue de l'importance de porter un regard nouveau sur la surdité évolutive en examinant les jugements émotionnels plutôt que les aptitudes verbales de ces personnes. En abordant leur comportement sous cet angle, inhabituel pour une orthophoniste, les résultats de nos recherches ouvrent des perspectives nouvelles dans la prise en charge de la surdité post-linguale chez l'adulte. Les bénéfices de l'implant cochléaire ne doivent pas se limiter aux scores de compréhension verbale mais il semble nécessaire de prendre en compte la dimension émotionnelle. Des évaluations plus complètes tant au niveau émotionnel que cognitif permettraient de mieux définir les caractéristiques des personnes qui présentent des bénéfices incontestables suite à l'implantation cochléaire et des personnes qui ne semblent pas en profiter aussi clairement.

Comme cela a été montré par Lee et al. (2007), la qualité de l'intégration audiovisuelle des informations verbales est liée au liage sensoriel de bas niveau. Elle est optimale dans la mesure où le fonctionnement de chaque modalité se potentialise pour améliorer la perception multimodale. Nous avons vu que la réhabilitation auditive avec l'implant cochléaire permettait une restauration du liage sensoriel de bas niveau. Plusieurs études ont ainsi mis en évidence une augmentation rapide des capacités d'intégration audio-visuelle de la parole dès les premiers mois après la survenue de la surdité, qui devient vite largement supérieure à celles des sujets normo-entendants (Rouger et al., 2007 ; Strelnikov et al., 2009). Ces résultats suggèrent que cette compensation, qui permet de faire face à la surdité, serait particulièrement développée dans le domaine verbal. Cependant, il reste difficile de se prononcer sur l'impact de la surdité sur un autre type de traitement audiovisuel et en particulier sur l'intégration multimodale des émotionnels. Nous pouvons toutefois souligner que l'absence de corrélation

entre les capacités de lecture labiale et les scores émotionnels examinés, qu'il s'agisse des scores obtenus dans la reconnaissance des émotions faciales, vocales ou musicales, suggère qu'ils dépendent de processus distincts. L'efficacité de l'intégration audio-visuelle sur le décodage des émotions n'a pas encore été étudiée chez les personnes implantées cochléaires et pourraient faire l'objet d'études ultérieures.

Selon les travaux menés chez des volontaires sains, il semble que la perception des informations émotionnelles non verbales impliquées dans la communication interpersonnelle soit multimodale, provenant simultanément des expressions vocales, faciales et corporelles (de Gelder, 2009 ; Grèzes et al., 2007). De plus, Jessen & Kotz (2011) ont montré à partir d'une étude neurophysiologique que l'intégration multimodale intervenait très précocement au niveau cérébral. En examinant le décours temporel de la réponse électrophysiologique dans des conditions de jugements émotionnels uni-modales (visuelle ou auditive) ou multi-modale (audio-visuelle), ces auteurs ont montré que les expressions émotionnelles, faciales et corporelles, influençaient fortement, et de manière très précoce, le traitement des expressions vocales congruentes en condition audio-visuelle. Ces résultats suggèrent une intégration très rapide des informations visuelles et auditives dans le traitement émotionnel, qui jouerait un rôle essentiel dans la perception des émotions.

Les résultats de nos recherches suggèrent également que les difficultés rencontrées par les personnes sourdes pourraient être liées à des problèmes à traiter la composante dynamique des stimuli, qui était présente dans toutes nos études. Bien qu'un dysfonctionnement spécifique de cette aptitude à traiter la composante dynamique des stimuli chez les individus sourds puisse sembler peu probable, cette hypothèse mérite d'être testée. En effet, les personnes sourdes développent des aptitudes étonnantes pour décoder les mouvements fins et rapides de la position des lèvres durant la lecture labiale qui implique un traitement spécifique de la dynamique des mouvements réalisés par l'interlocuteur. La lecture labiale ou plutôt la lecture de la parole nécessite également le décodage des mouvements de la partie haute du visage ainsi que des gestes corporels, en particulier ceux de la tête, du tronc et des bras. Tous ces mouvements reposent sur un traitement de la composante dynamique des mouvements de l'interlocuteur. Aucune donnée, à l'heure actuelle, ne nous permet de s'assurer que la dynamique des mouvements émotionnels est bien perçue par les personnes sourdes. Pour le vérifier, il faudrait comparer la reconnaissance des expressions faciales dynamiques à celle des expressions faciales statiques.

Les patients eux mêmes, ou du moins plusieurs d'entre eux, ont évoqué spontanément après la passation des tests, tout ce qui n'est pas utile pour percevoir la parole passe au second plan, l'attention étant clairement dirigée pour optimiser la lecture labiale. Il se pourrait donc que la dynamique des mouvements nécessaire pour communiquer verbalement soit bien perçue alors que celle des mouvements nécessaire pour communiquer des états émotionnels le soit moins bien après la survenue d'une surdité.

La grande majorité des études réalisées dans le domaine de la surdité ont porté sur le décodage de la parole (appelé "speech reading" en anglais, Summerfield, 1992), plus connu sous le nom de lecture labiale. Il s'agit donc d'analyser les indices visuels ou les mouvements des lèvres pertinents pour décoder la parole nécessaire à la communication verbale. Il est largement admis que la communication non verbale apporte des informations très importantes. Cependant, l'analyse des indices visuels non verbaux et émotionnels tels que ceux fournis par les expressions faciales ont été beaucoup moins étudiés que l'analyse des indices visuels verbaux chez les personnes sourdes. Généralement examinées chez des personnes qui présentent une surdité d'apparition précoce, la reconnaissance des expressions faciales a été quasi exclusivement explorée avec des visages statiques.

L'originalité des travaux menés dans cette thèse est d'étudier la reconnaissance des émotions faciales après la survenue d'une surdité d'acquisition progressive et tardive (post-linguale) en utilisant non pas des expressions statiques mais des expressions dynamiques (vidéo de 500 ms). Ainsi, l'émotion faciale s'exprime non pas par un stimulus visuel figé mais par un stimulus visuel en mouvement ou dynamique (i.e. mouvement du visage). Un autre avantage d'utiliser des stimuli dynamiques plutôt que statiques était de comparer la reconnaissance des expressions faciales à celles des émotions vocales et musicales, ces dernières se manifestant nécessairement dans le temps.

Dans cette perspective, nous souhaitons poursuivre ces études en évaluant l'intégration multimodale des émotions chez les adultes atteints de surdité évolutive, comme cela a été fait dans le domaine verbal. Pour cela, nous utiliserons des stimuli dynamiques complexes intégrant également des expressions émotionnelles faciales, corporelles et vocales, évaluées dans les modalités visuelle, auditive et audiovisuelle. Ces travaux pourraient également être complétés par des mesures temporelles, comportementales (temps de réaction) et électrophysiologiques, afin de préciser le décours temporel du traitement des informations

émotionnelles, auditives, visuelles et audio-visuelles, comme cela a été réalisé chez des normo-entendants par Jessen et Kotz (2011).

L'ensemble de ces recherches pourrait permettre de mieux comprendre les spécificités de la perception émotionnelle des personnes atteintes de surdité survenue à l'âge adulte afin de proposer des prises en charge adaptées à ces particularités. Si les informations émotionnelles fournies par le visage, mais également le tronc et le corps dans son ensemble, sont peu ou insuffisamment exploitées par l'individu sourd, il serait peut-être utile d'étendre les stratégies de rééducation en privilégiant l'utilisation de ces indices au-delà de la sphère verbale. Cette perspective est en accord avec les propos de certains patients ayant spontanément rapporté la difficulté qu'ils avaient à porter attention aux émotions depuis l'apparition de la surdité.

Enfin, même si la perception auditive reste encore très insatisfaisante pour percevoir les voix et la musique chez les personnes implantées (e.g Massida et al., 2013 ; Kang et al., 2009), les résultats de nos études montrent que la reconnaissance des émotions auditives, celles portées par la voix (étude 2) ou par la musique (étude 1) s'améliorent considérablement après la pose d'un IC. Ces résultats confirment nos hypothèses, l'implant cochléaire permettant, dans une certaine mesure, à ces patients de percevoir les émotions transmises auditivement par la voix ou la musique. En effet, les sourds avec IC reconnaissent les émotions vocales et musicales au dessus du niveau du hasard. Ils étaient également capables de juger la valence émotionnelle de ces stimuli (ou le caractère positif/agréable ou négatif/désagréable) de façon comparable aux NE. Bien évidemment, ces tâches étaient totalement impossibles à réaliser avant l'implantation cochléaire pour toutes ces personnes et les rares patients qui disposaient d'une audition résiduelle et qui ont essayé des réaliser ces taches étaient en échec total. Ces résultats confirment l'impression clinique, qui a été à l'origine du thème de recherche de cette thèse, selon laquelle le plaisir induit par l'écoute musicale existe chez des personnes sourdes implantées.

Cependant, il existe une variabilité interpersonnelle importante dans les capacités de jugements émotionnels évaluées dans nos recherches qui reste difficile à expliquer. Un certain nombre de facteurs tels que la durée de la surdité profonde, le délai post-implant et l'existence d'une audition résiduelle controlatérale pourraient expliquer, du moins en partie, ces différences. De plus, la prise en compte d'autres facteurs, en premier lieu les capacités cognitives et, plus particulièrement, l'attention et la mémoire, semble importante. Il serait

intéressant de compléter ces études par des bilans cognitifs adaptés à ces patients afin de mieux comprendre les facteurs responsables de l'importante hétérogénéité des résultats.

Les capacités de reconnaissance et de jugement émotionnel des voix et des visages sont des éléments fondamentaux de la communication interpersonnelle, des interactions sociales et de la qualité de vie en général. En ce sens, le développement d'outils d'évaluation et d'entraînement de ces capacités représente un enjeu essentiel dans la prise en charge des personnes qui bénéficient d'un implant cochléaire. Prendre en compte la dimension adaptative de la perception émotionnelle au travers des modifications du ressenti émotionnel consécutif à la perte auditive pourrait également être une approche pertinente pour mieux comprendre les différences interindividuelles de la perception des émotions observées dans nos travaux. Si l'implant cochléaire permet de retrouver un ressenti émotionnel dans les interactions quotidiennes et de renouer avec l'expérience émotionnelle de la musique et de notre environnement sonore, il pourrait aussi, dans une certaine mesure, contribuer à l'amélioration du bien-être, de l'estime de soi et de la qualité de vie de ces personnes. Cette dimension émotionnelle pourrait être évaluée au cours du suivi des patients après l'implantation cochléaire et faire l'objet d'un entraînement spécifique au cours de la réhabilitation.

Bibliographie

ANSI 1994 American national standard acoustical terminology. New York, NY: American National Standards Institute.

Adolphs, R., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. (1994). Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature, 372*(6507), 669-672.

Adolphs R, Russell J.A, Tranel D. (1999). A role for the human amygdale in recognizing emotional arousal from unpleasant stimuli. Psychological Science.,10(2):167-171.

Agrawal, Y., Platz, E. A., & Niparko, J. K. (2009). Risk factors for hearing loss in US adults: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999–2002. *Otology & Neurotology, 30,* 139–145.

Andersson, G., & Hägnebo, C. (2003). Hearing impairment, coping strategies, and anxiety sensitivity. *Journal of Clinical Psychology in Medical Settings, 10,* 35–39.

Armstrong BA, Neville HJ, Hillyard SA, Mitchell TV. (2002). Auditory deprivation affects processing of motion, but not color. Brain Res Cogn Brain Res., 14(3):422-34.

Bänziger, T., Grandjean, D., Bernard, P.-J., Klasmeyer, G., & Scherer, K.R. (2002). Prosodie de l'émotion : étude de l'encodage et du décodage. *Cahiers de linguistique française*, 23, 11-37.

Bavelier, D., Dye, M. W., & Hauser, P. C. (2006). Do deaf individuals see better? Trends in Cognitive Sciences, 10, 512–518.

Bavelier D, Brozinsky C, Tomann A, Mitchell T, Neville H, Liu G. (2001). Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. J Neurosci., 21(22):8931-42.

Bavelier, D., Tomann, A., Hutton, C., Mitchell, T., Corina, D., Liu, G., et al. (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. The Journal of Neuroscience, 20, RC93.

Belin P., Fillion-Bilodeau S. & Frédéric Gosselin F. (2008). The Montreal Affective Voices: A validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. Behavior Research Methods, 40 (2), 531-539.

Belin, P., Fecteau, S., & Bedard, C. (2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Trends Cogn Sci, 8*(3), 129-135.

Bettger, J., Emmorey, K., McCullough, S., & Bellugi, U. (1997). Enhanced facial discrimination: Effects of experience with American Sign Language. Journal of Deaf Studies and Deaf Education, *2*(4), 223–233.

Bigand, E., Vieillard, S., Madurell, F., Marozeau, J., & Dacquet, A. (2005). Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts. *Cognition and Emotion, 19*(8), 1113-1139.

Blais C, Jack RE, Scheepers C, Fiset D, Caldara R (2008) Culture shapes how we look at faces. PLoS One 3: e3022.

Bottari D, Caclin A, Giard MH, Pavani F. (2012). Changes in early cortical visual processing predict enhanced reactivity in deaf individuals. PLoS One., 6(9):e25607.

Brockmeier SJ, Fitzgerald D, Searle O, Fitzgerald H, Grasmeder M, Hilbig S, Vermiere K, Peterreins M, Heydner S, Arnold W. (2011) The MuSIC perception test: a novel battery for testing music perception of cochlear implant users. Cochlear Implants Int.;12(1):10-20.

Brozinsky CJ, Bavelier D. (2004). Motion velocity thresholds in deaf signers: changes in lateralization but not in overall sensitivity. Brain Res Cogn Brain,21(1):1-10.

Campanella S., Belin P. (2007). Integrating face and voice in person perception. Trends Cogn Sci.,11(12):535-43.

Cannon, W. B. (1929). *Bodily changes in pain, hunger, fear and rage*. New York: Appleton.

Carroll, J., & Zeng, F. G. (2007). Fundamental frequency discrimination and speech perception in noise in cochlear implant simulations. Hear Res, 231, 42–53.

Chouard CH, MacLeod P. (1976). Implantation of multiple intracochlear electrodes for rehabilitation of total deafness: preliminary report. Laryngoscope. 86: 1743-1751.

Coady JA, Kluender KR, Rhode WS. (2003). Effects of contrast between onsets of speech and other complex spectra.J Acoust Soc Am., 114(4 Pt 1):2225-35

Coez A, Zilbovicius M, Ferrary E, Bouccara D, Mosnier I, Ambert-Dahan E, Bizaguet E, Syrota A, Samson Y, Sterkers O. (2008). Cochlear implant benefits in deafness rehabilitation: PET study of temporal voice activations. J Nucl Med., 49(1):60-7.

Collignon, O., Voss, P., Lassonde, M., & Lepore, F. (2009). Cross-modal plasticity for the spatial processing of sounds in visually deprived subjects. Experimental Brain Research, 192, 343–358.

Collignon, O., Renier, L., Bruyer, R., Tranduy, D., & Veraart, C. (2006). Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects. Brain Research, 1075, 175–182.

Cooper WB, Tobey E, Loizou PC. (2008). Music perception by cochlear implant and normal hearing listeners as measured by the Montreal Battery for Evaluation of Amusia. Ear Hear., 29:618–26.

Cullington HE, Zeng FG. (2011). Comparison of bimodal and bilateral cochlear implant users on speech recognition with competing talker, music perception, affective prosody discrimination, and talker identification. Ear Hear.;32(1):16-30.

Cullington, H. E., & Zeng, F. G. (2010). Bimodal hearing benefit for speech recognition with competing voice in cochlear implant subject with normal hearing in contralateral ear. *Ear Hear*, *31*, 70–73.

Damasio A.R. (2003). *Spinoza avait raison : joie et tristesse, le cerveau des émotions*, Paris, Odile Jacob, 346 p.

Damasio, A.R (2001b). Les émotions, source de la conscience. Sciences Humaines, 119, 44-47.

Damasio A.R. (1999), *Le sentiment même de soi*, Paris, Odile Jacob.

Darwin, C. (1872). *The expression of emotions in man and animals*. London: John Murray.

Davitz, Joel R. 1964d. Personality, perceptual, and cognitive correlates of emotional sensitivity. In: Davitz, Joel R. (ed.) 1964. *The communication of emotional meaning*. New York: McGraw-Hill, 57-68.

de Gelder, B., 2009. Why bodies? Twelve reasons for including bodily expressions in affective neuroscience. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 364, 3475–3484.

de Graaf, R., & Bijl, R. V. (2002). Determinants of mental distress in adults with severe auditory impairment: Differences between prelingual and postlingual deafness. *Psychosomatic Medicine, 64,* 61–70.

Dellacherie D, Hasboun D, Baulac M, Belin P, Samson S. (2011). Impaired recognition of fear in voices and reduced anxiety after unilateral temporal lobe resection. Neuropsychologia, 49(4):618-29.

Dellacherie D. (2009). Neuropsychologie et neurophysiologie des émotions auditives non-verbales. Thèse de Psychologie, Université Lille – Nord de France, U.F.R de Psychologie.

Descartes R., *Les Passions de l'âme,* Henry Le Gras, Paris, 1649.

Drennan WR. & Rubinstein JT.(2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. J Rehabil Res Dev., 45(5):779-89.

Driscoll VD. (2012). The Effects of Training on Recognition of Musical Instruments by Adults with Cochlear Implants. Semin Hear., (4):410-418.

Duchenne, G.B. (1876). Mécanisme de la physionomie humaine ou analyse électrophysiologique de l'expression des passions. Paris: J.-B. Baillière, seconde édition.

Dyck, M., Farrugia, C., Shochet, I., & Holmes-Brown, M. (2004). Emotion recognition/understanding ability in hearing or vision-impaired children: Do sounds, sights, or words make the difference? Journal of Psychology and Psychiatry, 45, 789–800.

Dye, M.W., & Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. Restorative Neurology and Neuroscience, 28, 181–192.

Ekman, P. & Friesen, W. (1976). Pictures of facial affect, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA.

Ekman, P. (1973). Darwin and cross cultural studies of facial expression. In P. Ekman (Ed.), *Darwin and facial expression: A century of research in review*. New York: Academic Press.

Ekman, P. (1992). Are there basic emotions ? Psychol. Rev., 99(3) : 550 -553.

El Fata F., James CJ, Laborde ML, Fraysse B. (2009). How much residual hearing is 'useful' for music perception with cochlear implants ? Audiol Neurootol. 2009;14 Suppl 1:14-21.

Elliott, T. M., & Theunissen, F. E. (2009). The modulation transfer function for speech intelligibility. *PLoS Comput Biol, 5*(3), e1000302.

Emmorey, K., & McCullough, S. (2009). The bimodal bilingual brain: Effects of sign language experience. Brain and Language, *109*(2–3), 124–132.

Finney EM, Clementz BA, Hickok G, Dobkins KR. (2003).Visual stimuli activate auditory cortex in deaf subjects: evidence from MEG. Neuroreport. ,14(11):1425-7.

Finney EM, Fine I, Dobkins KR.(2001).Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. Nat Neurosci.,4(12):1171-3.

Fletcher, H. F. (1940). Auditory patterns. Rev. Mod. Phys., 12, 47-65.

Fletcher, H. F., & Munson, W. A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. J. Acoust Soc Am, 5, 82-108.

Francart T, McDermott HJ. (2013). Psychophysics, fitting, and signal processing for combined hearing aid and cochlear implant stimulation. Ear Hear., 34(6):685-700.

Frasnelli J., Collignon O., Voss P, Franco Lepore F. (2011).Crossmodal plasticity in sensory loss. A. M. Green, C. E. Chapman, J. F. Kalaska and F. Lepore (Eds.) Progress in Brain Research, Vol. 191.

Fu, Q. J., Chinchilla, S., & Galvin, J. J. (2004). The role of spectral and temporal cues in voice gender discrimination by normal-hearing listeners and cochlear implant users. *J Assoc Res. Otolaryngol, 5*(3), 253-260.

Fusick, L. (2008). Serving clients with hearing loss : Best practices in mental health counseling. Journal of Counseling and Development, 86, 102–110.

Galifret, Y. (1991). Acoustique physiologique. In E. universalis (Ed.), Encyclopaedia universalis (Vol. 1, pp. 198-210).

Galvin J.J 3rd, Fu QJ, Nogaki G. (2007). Melodic contour identification by cochlear implant listeners. Ear Hear., 28(3):302–19.

Galvin JJ 3rd, Fu QJ, Oba SI. (2009). Effect of a competing instrument on melodic contour identification by cochlear implant users. J Acoust Soc Am., 125(3):EL98-103.

Galvin JJ 3rd, Fu QJ. (2009). Influence of stimulation rate and loudness growth on modulation detection and intensity discrimination in cochlear implant users. Hear Res., 250(1-2):46-54.

Garnefski N, Kraaij V. (2012). Effects of a Cognitive Behavioral Self-help program on emotional problems for people with acquired hearing loss: a randomized controlled trial. J Deaf Stud Deaf Educ.;17(1):75-84.

Gfeller K, Turner C, Oleson J, Zhang X, Gantz B, Froman R, Olszewski C. (2007). Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition and speech reception in noise. Ear and Hearing., 28(3):412–423.

Gfeller K, Christ A, Knutson J, Witt S, Mehr M. (2003) The effects of familiarity and complexity on appraisal of complex songs by cochlear implant recipients and normal hearing adults. J Music Ther., 40(2):78-112

Gfeller K, Turner C, Woodworth G, Mehr M, Fearn R, Witt S, Stordahl J. (2002a) Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. Cochlear Implants Int.;3:31–55.

Gfeller K, Witt S, Adamek M, Mehr M, Rogers J, Stordahl J. (2002b) The effects of training on timbre recognition and appraisal by postlingually deafened cochlear implant recipients. J Am Acad Audiol; 13:132–145.

Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr M, Knutson JF. (2002c) Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. Ann Otol Rhinol Laryngol; 111:349–356.

Gfeller K, Woodworth G, Witt S, Robin DA, Knutson JF. (1997). Perception of rhythmic and sequential pitch patterns by normally hearing adults and adult cochlear implant users. Ear and Hearing., 18:252–260.

Gfeller K. And Lansing CR. (1991). Melodic, rhythmic, and timbral perception of adult cochlear implant users. J Speech Hear Res., 34(4): 916-20.

Gingras B, Marin MM, Fitch WT. (2013). Beyond intensity: Spectral features effectively predict music-induced subjective arousal. Q J Exp Psychol (Hove).

Gläscher J., Adolphs R. (2003). Processing of the arousal of subliminal and supraliminal emotional stimuli by the human amygdala. J Neurosci., 23(32):10274-82.

Gnansia D, Pressnitzer D, Pean V, Meyer B, Lorenzi C. (2010). Intelligibility of interrupted and interleaved speech for normal-hearing listeners and cochlear implantees. Hear Res. 265: 46-53.

Gosselin N, Peretz I, Noulhiane M, Hasboun D, Beckett C, Baulac M, Samson S. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision.

Gougoux, F., Zatorre, R., Lassonde, M., Voss, P., & Lepore, F. (2005). A functional neuroimaging study of sound localization: Visual cortex activity predicts performance in early-blind individuals. PLoS Biology, 3, 0324–0333.

Grèzes, J., Pichon, S., de Gelder, B., (2007). Perceiving fear in dynamic body expressions. Neuroimage 35, 959–967.

Hallam, R., Ashton, P., Sherbourne, K., & Gailey, L. (2006). Acquired profound hearing loss: Mental health and other characteristics of a large sample. International Journal of Audiology, 45, 715–723.

Haute Autorité de Santé (HAS, 2007). Traitement de la surdité par pose d'implants cochléaires ou d'implants du tronc cérébral. http://www.has-sante.fr.

Heberlein AS, Adolphs R, Tranel D, Damasio H. (2004). Cortical regions for judgments of emotions and personality traits from point-light walkers. J Cogn Neurosci. Sep;16(7):1143-58.

Helmholtz, H. L. F. (1863) Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage fur die Theorie der Musik. Braunschweig, Germany: F. Vieweg.

Hopyan T, Peretz I, Chan LP, Papsin BC, Gordon KA. (2012). Children using cochlear implants capitalize on acoustical hearing for music perception. Front Psychol., 3:425.

Hopyan-Misakyan TM., Gordon KA., Dennis M., Papsin BC.(2009). Recognition of affective speech prosody and facial affect in deaf children with unilateral right cochlear implants. Child Neuropsychol.,15(2):136-46.

Hosie JA, Russell PA,Gray CD, Scott C, Hunter N, Banks JS, Macaulay MC. (1998). The development of theory of mind in deaf children. J Child Psychol Psychiatry.,(6):903-10.

House D. Perception and production of mood in speech by cochlear implant users. (1994). In: *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing*. 2051- 2054.

Online archive of International Speech Communication Association proceedings available at: http://www. isca-speech.org.

House WF, Urban J. (1973). Long term results of electrode implantation and electronic stimulation of the cochlea in man. Ann Otol Rhinol Laryngol., 82(4):504-17.

Hsiao F, Gfeller K. (2012). Music Perception of Cochlear Implant Recipients with Implications for Music Instruction: A Review of Literature. Update Univ S C Dep Music., 30(2):5-10.

Jack RE, Blais C, Scheepers C, Schyns PG, Caldara R (2009) Cultural confusions show that facial expressions are not universal. Current Biology 19: 1543–1548.

James, W. (1884). What is an emotion? *Mind, 9*, 188-205.

Jessen S, Kotz SA. (2011). The temporal dynamics of processing emotions from vocal, facial, and bodily expressions. Neuroimage. 2011 Sep 15;58(2):665-74.

Juslin, P.N. & Västfjäll D. (2008). Emotional response to music: the need to consider underlying mechanisms. Behav Brain Sci. 31(5):559-75.

Kaiser AR, Kirk KI, Lachs L, Pisoni DB. (2003). Talker and lexical effects on audiovisual word recognition by adults with cochlear implants. J Speech Lang Hear Res., 46(2):390-404.

Kang R, Nimmons GL, Drennan W, Longnion J, Ruffin C, Nie K, Won JH, Worman T, Yueh B, Rubinstein J. (2009) Development and validation of the University of Washington Clinical Assessment of Music Perception test. Ear Hear. 2009 Aug;30(4):411-8.

Kant, E. (1848/2001). *Kritik des Urteilskraft*. Hamburg: Meiner.

Kashubeck-West, S., & Meyer, J. (2008). The well-being of women who are late-deafened. *Journal of Counseling Psychology, 55,* 463–472.

Kleine Punte A, De Bodt M, Van de Heyning P. (2014). Long-term improvement of speech perception with the fine structure processing coding strategy in cochlear implants. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec., 76(1):36-43.

Kohlberg G, Spitzer JB, Mancuso D, Lalwani AK. (2013). Does cochlear implantation restore music appreciation? Laryngoscope. 2013 May 21.

Kong Y.Y, Cruz R, Jones JA, et al. (2004). Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. Ear Hear., 25:173–185.

Kong YY, Cruz R, Jones JA, et al. Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. (2004). Ear Hear., 25:173–185.

Kong, Y., Stickney, G. S., & Zeng, F. (2005). Speech and melody recognition in binaurally combined acoustic and electric hearing. The Journal of the Acoustical Society of America,

Kreifelts, B. et al. (2007) Audiovisual integration of emotional signals in voice and face: An event-related fMRI study. NeuroImage 37, 1445–1456

Landwehr, M., Pyschny, V., Walger, M., Von Wedel, H., & Meister, H. (2007, June). Prosody perception in cochlear implant recipients wearing a hearing aid in the contralateral ear. 8th EFAS Congress/10th Congress of the German Society of Audiology, Heidelberg, Germany.

Lazard DS, Giraud AL, Truy E, Lee HJ. (2011). Evolution of non-speech sound memory in postlingual deafness: implications for cochlear implant rehabilitation. Neuropsychologia., 49(9):2475-82.

Lazard DS, Bordure P, Lina-Granade G, Magnan J, Meller R, Meyer B, Radafy E, Roux PE, Gnansia D, Péan V, Truy E. (2010). Speech perception performance for 100 post-lingually deaf adults fitted with Neurelec cochlear implants: Comparison between Digisonic® Convex and Digisonic® SP devices after a 1-year follow-up. Acta Otolaryngol., 130(11):1267-73.

Leal MC, Shin YJ, Laborde ML, Calmels MN, Verges S, Lugardon S, Andrieu S, Deguine O, Fraysse B. (2003). Music perception in adult cochlear implant recipients. Acta Otolaryngol., 123(7):826-35.

Lee HJ, Truy E, Mamou G, Sappey-Marinier D, Giraud AL. (2007). Visual speech circuits in profound acquired deafness: a possible role for latent multimodal connectivity. Brain, 130 (11) : 2929-41.

Letourneau S.M, Mitchell T.V. (2011). Gaze patterns during identity and emotion judgments in hearing adults and deaf users of American Sign Language. Perception.,40(5):563-75.

Levänen S, Hamdorf D. (2001). Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. Neurosci Lett., 301(1):75-7.

Looi V, McDermott H, McKay C, Hickson L. (2008). Music perception of cochlear implant users compared with that of hearing aid users. Ear Hear., 29(3):421-34.

Looi V. (2008) The effect of cochlear implantation of music: A review. Otorinolaringologia.; 58:169–190.

Ludlow A, Heaton P, Rosset D, Hills P, Deruelle C. (2010). Emotion recognition in children with profound and severe deafness: do they have a deficit in perceptual processing ? J Clin Exp Neuropsychol., 32(9):923-8.

Luo X, Fu QJ, Wei CG, Cao KL. (2008). Speech recognition and temporal amplitude modulation processing by Mandarin-speaking cochlear implant users. Ear Hear.,29(6):957-70.

Luo X, Fu QJ. (2007). Frequency modulation detection with simultaneous amplitude modulation by cochlear implant users. J Acoust Soc Am.,122(2):1046-54

Luo X., Fu QJ, Galvin JJ 3rd. (2007). Vocal emotion recognition by normal-hearing listeners and cochlear implant users. Trends Amplif.,11(4):301-15.

Lyxell B, Rönnberg J, Samuelsson S. (1994). Internal speech functioning and speechreading in deafened and normal hearing adults. Scand Audiol., 23(3):179-85.

Massida Z, Marx M, Belin P, James C, Fraysse B, Barone P, Deguine O. (2013). Gender categorization in cochlear implant users. J Speech Lang Hear Res. 2013 Oct;56(5):1389-401

Massida, Z., Belin, P., James, C., Rouger, J., Fraysse, B., Barone, P.,& Deguine, O. (2011). Voice discrimination in cochlear implanted deaf subjects. Hearing Research, 275, 120–129.

McAdams S, Winsberg S, Donnadieu S, De Soete G, Krimphoff J. (1995). Perceptual scaling of synthesized musical timbres: common dimensions, specificities, and latent subject classes. Psychol Res.,58(3):177-92.

McCullough S, Emmorey K, Sereno M. (2005). Neural organization for recognition of grammatical and emotional facial expressions in deaf ASL signers and hearing nonsigners. Brain Res Cogn Brain Res.,22(2):193-203.

McDermott,H.J. (2004). Music perception with cochlear implants : a review. TrendsAmplif. 8, 49–82.

McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). *Profile of mood States (Revised)*. San Diego, CA: Edits: Educational and Industrial Testing Service.

Meister, H., Landwehr, M., Pyschny, V., et al. (2009). The perception of prosody and speaker gender in normal-hearing listeners and cochlear implant recipients. *Int J Audiol*, *48*, 38–48.

Meredith MA, Stein BE. (1996). Spatial determinants of multisensory integration in cat superior colliculus neurons. J Neurophysiol , 75: 1843–57.

Meyer JM, Kashubeck-West S. (2013). Well-being of individuals with late-deafness. Rehabil Psychol., 58(2):124-36.

Moore BCJ. (2002). Psychoacoustics of normal and impaired hearing. Br Med Bull., 63:121-34.

Moore, BCJ. (1998, 2007). *Cochlear Hearing Loss: Physiological, Psychological and Technical Issues* . Wiley, Chichester.

Moore, BCJ. (2003). Coding of sounds in the auditory system and its relevance to signal processing and coding in cochlear implants. Otol. Neurotol. 24, 243–254.

Moore, BCJ., Glasberg, B.R. & Peters, R.W. (1985). Relative dominance of individual partials in determining the pitch of complex tones. J. Acoust. Soc. Am. 77, 1853–1860.

Most T, Rothem H, Luntz M. (2009). Auditory, visual, and auditory-visual speech perception by individuals with cochlear implants versus individuals with hearing aids. Am Ann Deaf., 154(3):284-92.

Most T, Aviner C. (2009). Auditory, visual, and auditory-visual perception of emotions by individuals with cochlear implants, hearing aids, and normal hearing. J Deaf Stud Deaf Educ.,14(4):449-64.

Most, T., Harel, T., Shpak, T., et al. (2011). Perception of suprasegmental speech features via bimodal stimulation: Cochlear implant on one ear and hearing aid on the other. *J Speech Lang Hear Res*, *54*, 668–678.

Most, T., Sivan, G. G., Shpak, T., et al. (2012). Contribution of a contralateral hearing aid to perception of consonant voicing, intonation, and emotional state in adult cochlear implantees. J Deaf Stud Deaf Educ, 17, 244−258.

Muir LJ, Richardson IE. (2005). Perception of sign language and its application to visual communications for deaf people. J Deaf Stud Deaf Educ.,10(4):390-401.

Müller J, Brill S, Hagen R, Moeltner A, Brockmeier SJ, Stark T, Helbig S, Maurer J, Zahnert T, Zierhofer C, Nopp P, Anderson I. (2012). Clinical trial results with the MED-EL fine structure processing coding strategy in experienced cochlear implant users. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec., 74(4):185-98.

Neville HJ, Coffey SA, Lawson DS, Fischer A, Emmorey K, Bellugi U. (1997). Neural systems mediating American sign language: effects of sensory experience and age of acquisition. Brain Lang., 57(3):285-308.

Ohman, A., & Wiens, S. (2003). On the automaticity of autonomic responses in emotion: anevolutionary perspective. In R. J. Davidson, K. R. Scherer & H. H. Goldsmith (Eds.),*Handbook of affective sciences* (pp. 256-275). Oxford: Oxford University Press.

Orians, G.H.; Heerwagen, J.H. (1992). Evolved responses to landscapes. In: Barkow, J.; Tooby, J.; Cosmides, L. The adapted mind. New York: Oxford University Press.

Ortony, A. & Turner, T. J. (1990). What's basic about basic emotions? Psychological Review, 97, 315-331

Pandya, D.N.(1995).Anatomy of the auditory cortex. Revue Neurologique, 151, 486–494.

patients with cochlear implants: A patient questionnaire. (2003). Cochlear Implants Int.; 4:85–95.

Peretz I, Coltheart M. (2003). Modularity of music processing. Nat Neurosci., 6(7):688-91. Review.

Peterson CC, Siegal M. (1995). Deafness, conversation and theory of mind. J Child Psychol Psychiatry., 36(3):459-74.

Petitto, L. A., Zatorre, R. J., Gauna, K., Nikelski, E. J., Dostie, D., & Evans, A. C. (2000). Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: Implications for the neural basis of human language. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97, 13961–13966.

Plomp, R. (1967) Pitch of complex tones. J. Acoust. Soc. Am. 41, 1526–1533.

Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In R. Plutchik & H. Kellerman (Eds.), *Emotion: Theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion* (pp. 3-33). New York: Acadamic.

Proksch J., Bavelier D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. J Cogn Neurosci. 2002,14(5):687-701.

Raphael, L.J., Borden, G.J., & Harris, K. S. (Ed.) (2007). Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech (pp. 213–235). Philadelphia, PA: Lippincott.

Rauschecker JP, Shannon RV. (2002). Sending sound to the brain. Science, 295(5557):1025-9.

Rauschecker JP. (1995). Compensatory plasticity and sensory substitution in the cerebral cortex. Trends Neurosci., 18(1):36-43. Review.

Rimé, B. & Scherer, K. R. (Eds.). (1989). *Les émotions.* Neufchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.

Ritsma RJ. (1967). Frequencies dominant in the perception of the pitch of complex sounds. J Acoust Soc Am.,42(1):191-8.

Rollman SA, Harrison RD. (1996). A comparison of deaf and hearing subjects in visual nonverbal sensitivity and information processing. Am Ann Deaf., 141(1):37-41.

Rose MM, Moore BC. (1997). Perceptual grouping of tone sequences by normally hearing and hearing-impaired listeners. J Acoust Soc Am.,102(3):1768-78

Rosen, S. & Fourcin, A. (1986). Frequency selectivity and the perception of speech. In Frequency selectivity in hearing (ed. B. C. J. Moore), pp. 373–487. London, UK: Academic.

Rosen, S. (1992). Temporal information in speech: Acoustic, auditory and linguistics aspects. Philos Trans R Soc Lond. B Biol Sci, 336, 367–373.

Rosslau K, Spreckelmeyer KN, Saalfeld H, Westhofen M. (2012). Emotional and analytic music perception in cochlear implant users afteroptimizing the speech processor. Acta Oto-Laryngologica,132: 64–71.

Rouger, J., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deneve, S., Deguine, O., & Barone, P. (2007). Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104, 7295–7300.

Russell JA, Barrett LF. (1999). Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: dissecting the elephant. J Pers Soc Psychol.,76(5):805-19. Review.

Russell JA. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39:1161–78.

Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Ibañez V, Deiber MP, Dold G, Hallett M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. Nature., 11;380(6574):526-8.

Salimpoor VN, Benovoy M, Longo G, Cooperstock JR, Zatorre RJ. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. PLoS One., 4(10):e7487.

Schachter, S., & Singer, J. E. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychol Rev, 69*, 379-399.

Scherer KR. Expression of emotion in voice and music. (1995). J Voice.,9(3):235-48. Review.

Schorr EA, Fox NA, van Wassenhove V, Knudsen EI. (2005). Auditory-visual fusion in speech perception in children with cochlear implants. Proc Natl Acad Sci USA. 20; 102(51):18748-50.

Schouten, J. F. (1968). The perception of timbre. In Sixth Int. Conf. on Acoustics, vol. 1, Tokyo, GP-6-2.

Schouten, J. F. (1970). The residue revisited. In Frequency analysis and periodicity detection in hearing (eds R. Plomp & G. F. Smoorenburg), pp. 41–54. Leiden, The Netherlands: Sijthoff.

Schultz, E.; Kerber, M. Music perception with the MED-EL implants. (1994) In: Hochmair-Desoyer, LJ.;Hochmair, EC., editors. Advances in cochlear implants. p. 326-332

Shannon RV. Multichannel electrical stimulation of the auditory nerve in man. I. Basic psychophysics. Hear Res. 1983;11(2):157–89. [PMID: 6619003]

Shannon RV. Temporal modulation transfer functions in patients with cochlear implants. (1992). J Acoust. Soc Am.; 91:2156–2164.

Shamma S., Lorenzi C. (2013). On the balance of envelope and temporal fine structure in the encoding of speech in the early auditory system. J Acoust Soc Am., 133(5):2818-33.

Sharma A, Campbell J. (2011). A sensitive period for cochlear implantation in deaf children. J Matern Fetal Neonatal Med., 24 Suppl 1:151-3.

Shera CA, Guinan JJ Jr, Oxenham AJ. (2002). Revised estimates of human cochlear tuning from otoacoustic and behavioral measurements. Proc Natl Acad Sci U S A., 99(5):3318-23.

Shpak T, Most T, Luntz M. (2014). Fundamental frequency information for speech recognition via bimodal stimulation: cochlear implant in one ear and hearing aid in the other. Ear Hear.,35(1):97-109.

Siegal M, Peterson CC. (1998). Preschoolers' understanding of lies and innocent and negligent mistakes. Dev Psychol., 34(2):332-41.

Simon D., Craig K.D., Gosselin F., Belin P., Rainville P. (2008). Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and émotions. Pain, 135(1-2):55-64.

Spielberger, C. D. (1983). *Manuel for the State-Trait Anxiety*. Palo Alto: Ed. Consulting Psychologists Press Inc.

Strelnikov K, Rouger J, Demonet JF, Lagleyre S, Fraysse B, Deguine O, Barone P. (2009). Does brain activity at rest reflect adaptive strategies ? Evidence from speech processing after cochlear implantation. Cereb Cortex.; 20(5):1217-22.

Suls, J., David, J. P., & Harvey, J. H. (1996). Personality and coping: Three generations of research. *Journal of Personality, 64,* 711–735.

Summerfield, Q. (1992). Lipreading and audio–visual speech perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, *335*(1273), 71–78.

Tischer B. Die vokale Kommunikation yon Gefiihlen. [Habilschrift],Universitfit Mfinchen, 1991.

Tyler RS, Fryauf-Bertschy H, Kelsay DM, Gantz BJ, Woodworth GP, Parkinson A. (1997). Speech perception by prelingually deaf children using cochlear implants. Otolaryngol Head Neck Surg., 117(3 Pt 1):180-7.

Van den Honert C, Stypulkowski PH. (1984). Physiological properties of the electrically stimulated auditory nerve. II. Single fiber recordings. Hear Res., 14(3):225–43.

Vicari, S., Reilly, J. S., Pasqualetti, P., Vizzotto, A., & Caltagirone, C. (2000). Recognition of facial expressions of emotions in school-age children: The intersection of perceptual and semantic categories. *Acta Paediatrica*, *89*, 836–845.

Vieillard S., Peretz I., Gosselin N., Khalfa S., Gagnon L.,Bouchard B. (2008) Happy, sad, scary and peaceful muscal excerpts for research on emotions. *Cogn. Emot,* 22, 720-752.

von Bekesy G.(1962). Synchrony between nervous discharges and periodic stimuli in hearing and on the skin. Trans Am Otol Soc., 50:83-97.

Wanet-Defalque, M. C., Veraart, C., De Volder, A., Metz, R., Michel, C., Dooms, G., et al. (1988). High metabolic activity in the visual cortex of early blind human subjects. Brain Research, 446, 369–373.

Watanabe K, Matsuda T, Nishioka T, Namatame M. (2011). Eye gaze during observation of static faces in deaf people. PLoS One.,6(2):e16919.

Watkins, A. J. (1991). Central, auditory mechanisms ofperceptual compensation for spectral-envelope distortion. J. Acoust. Soc. Am. 90, 2942–2955.

Weisel, A., & Bar-Lev, H. (1992). Role taking ability, nonverbal sensitivity, language and social adjustment of deaf adolescents. Educational Psychology, 12, 3–13.

Weisel A. (1985). Deafness and perception of nonverbal expression of emotion. Percept Mot Skills.,61(2):515-22.

Wiefferink CH, Rieffe C, Ketelaar L, De Raeve L, Frijns JH. (2013). Emotion understanding in deaf children with a cochlear implant. J Deaf Stud Deaf Educ., 18(2):175-86.

Wilson BS, Dorman MF, Woldorff MG, Tucci DL. (2011). Cochlear implants matching the prosthesis to the brain and facilitating desired plastic changes in brain function. Prog Brain Res.,194:117-29. Review.

Wilson,B.S.,& Dorman,M.F. (2008).Cochlear implants : A remarkable past and a brilliant future. Hearing Research, 242, 3–21

Wilson, B.S., Speech processing strategies. (2006). In: Cooper, H.R., Craddock, L.C. (Eds.), Cochlear Implants: A Practical Guide, second ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, pp. 21–69.

Wilson BS, Schatzer R, Lopez-Poveda EA, Sun X, Lawson DT, Wolford RD. (2005). Two new directions in speech processor design for cochlear implants. Ear Hear., 26(4 Suppl):73S-81S. Review.

Wundt, W. (1896). Über die definition des Psychologie. *Philosophical Studien, 12*, 1-66.

Zeng, F. G. (2002). Temporal pitch in electric hearing. Hearing

Zeng, F. G. (2004). Trends in cochlear implants. Trends in Amplification, 8, 1–34.

Zeng, F.-G., Nie, K., Stickney, G. S., Kong, Y.-Y., Vongphoe, M., Bhargave, A., Cao, K. (2005). Speech recognition with amplitude and frequency modulations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 2293–2298.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'humeur POMS (Profile of Mood Scales, Mc Nair, 1992)

Nom ..... Date.....

Sexe : (M) Masculin (F) Féminin

Lisez attentivement la liste des mots ci-dessous : ils décrivent des sentiments ou états humains. Entourez le nombre correspondant au mieux à ce que vous avez ressenti durant la semaine dernière, aujourd'hui y compris.

Les nombres correspondent à l'échelle suivante :
0= Pas du tout
1= Un peu
2= Modérément
3= Beaucoup
4= Extrêmement

1- Tendu	0	1	2	3	4
2- Irrité	0	1	2	3	4
3- Epuisé	0	1	2	3	4
4- Animé	0	1	2	3	4
5- Confus	0	1	2	3	4
6- Tremblant	0	1	2	3	4
7- Triste	0	1	2	3	4
8- Actif	0	1	2	3	4
9- Grognon	0	1	2	3	4
10- Energique	0	1	2	3	4
11- Méprisable	0	1	2	3	4
12- Mal à l'aise	0	1	2	3	4
13- Fatigué	0	1	2	3	4
14- Ennuyé	0	1	2	3	4
15- Découragé	0	1	2	3	4
16- Nerveux	0	1	2	3	4
17- Isolé	0	1	2	3	4
18- Perturbé	0	1	2	3	4
19- Fourbu	0	1	2	3	4
20- Angoissé	0	1	2	3	4
21- Déprimé	0	1	2	3	4
22- Lent	0	1	2	3	4
23- Lassé	0	1	2	3	4
24- Tourmenté	0	1	2	3	4
25- Furieux	0	1	2	3	4
26- Efficace	0	1	2	3	4
27- Plein d'énergie	0	1	2	3	4
28- De mauvaise humeur	0	1	2	3	4
29- Oublieux	0	1	2	3	4
30- Vigoureux	0	1	2	3	4

N'omettez aucune réponse.

Annexe 2: Questionnaire d'humeur STAI (Manuel for the State-Trait Anxiety, Spielberger, C.D., 1983)

Questionnaire d'évaluation personnelle SX-AS

ASTA

Adaptation française du questionnaire STAI (Spielberger, Gorsuch et Lushene, 1970)

Jacques Bergeron et Michel Landry

Nom : _____ Date : _____

CONSIGNE : Voici un certain nombre d'énoncés que les gens ont l'habitude d'utiliser pour se décrire. Lisez chaque énoncé, puis encerclez le chiffre approprié à droite de l'exposé pour indiquer comment vous vous sentez actuellement, c'est-à-dire à ce moment précis. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Ne vous attardez pas trop sur chaque énoncé mais donnez la réponse qui vous semble décrire le mieux les sentiments que vous éprouvez en ce moment.

		PAS DU TOUT	UN PEU	MODEREMENT	BEAUCOUP
1.	Je me sens calme	1	2	3	4
2.	Je me sens en sécurité	1	2	3	4
3.	Je suis tendu	1	2	3	4
4.	Je suis triste	1	2	3	4
5.	Je me sens tranquille	1	2	3	4
6.	Je me sens bouleversé	1	2	3	4
7.	Je suis préoccupé actuellement par des contrariétés possibles	1	2	3	4
8.	Je me sens reposé	1	2	3	4
9.	Je me sens anxieux	1	2	3	4
10.	Je me sens à l'aise	1	2	3	4
11.	Je me sens sûr de moi	1	2	3	4
12.	Je me sens nerveux	1	2	3	4
13.	Je suis affolé	1	2	3	4
14.	Je me sens sur le point d'éclater	1	2	3	4
15.	Je suis relaxé	1	2	3	4
16.	Je me sens heureux	1	2	3	4
17.	Je suis préoccupé	1	2	3	4
18.	Je me sens surexcité et fébrile	1	2	3	4
19.	Je me sens joyeux	1	2	3	4
20.	Je me sens bien	1	2	3	4

ASTA

CONSIGNE : Voici un certain nombre d'énoncés que les gens ont l'habitude d'utiliser pour se décrire. Lisez chaque énoncé, puis encerclez le chiffre approprié à droite de l'exposé pour indiquer comment vous vous sentez en général. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Ne vous attardez pas trop sur chaque énoncé mais donnez la réponse qui vous semble décrire le mieux les sentiments que vous éprouvez de façon générale.

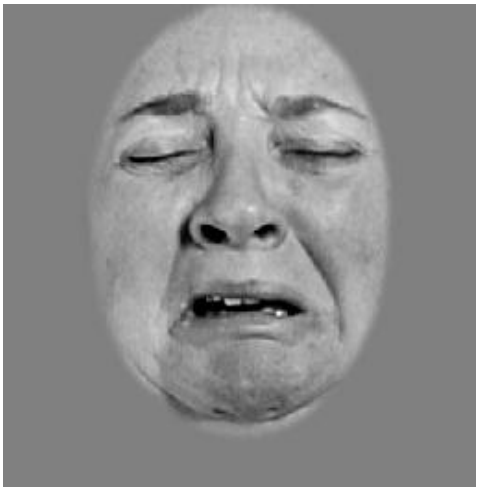
		PRESQUE JAMAIS	QUELQUEFOIS	SOUVENT	PRESQUE TOUJOURS
21.	Je me sens bien	1	2	3	4
22.	Je me fatigue rapidement	1	2	3	4
23.	Je me sens au bord des larmes	1	2	3	4
24.	Je souhaiterais être aussi heureux que les autres semblent l'être	1	2	3	4
25.	Je perds de belles occasions parce que je n'arrive pas à me décider assez rapidement	1	2	3	4
26.	Je me sens reposé	1	2	3	4
27.	Je suis calme, tranquille et en paix	1	2	3	4
28.	Je sens que les difficultés s'accumulent au point que je ne peux pas en venir à bout	1	2	3	4
29.	Je m'en fais trop pour des choses qui n'en valent pas vraiment la peine	1	2	3	4
30.	Je suis heureux	1	2	3	4
31.	Je suis porté à prendre mal les choses	1	2	3	4
32.	Je manque de confiance en moi	1	2	3	4
33.	Je me sens en sécurité	1	2	3	4
34.	J'essaie d'éviter de faire face à une crise ou une difficulté	1	2	3	4
35.	Je me sens mélancolique	1	2	3	4
36.	Je suis content	1	2	3	4
37.	Des idées sans importance me passent par la tête et me tracassent	1	2	3	4
38.	Je prends les désappointements tellement à cœur que je n'arrive pas à me les sortir de la tête	1	2	3	4
39.	Je suis une personne stable	1	2	3	4
40.	Je deviens tendu et bouleversé quand je songe à mes préoccupations actuelles	1	2	3	4

Annexe 3 : Exemples d'expressions faciales émotionnelles (STOIC, Simon et al., 2008)

Colère

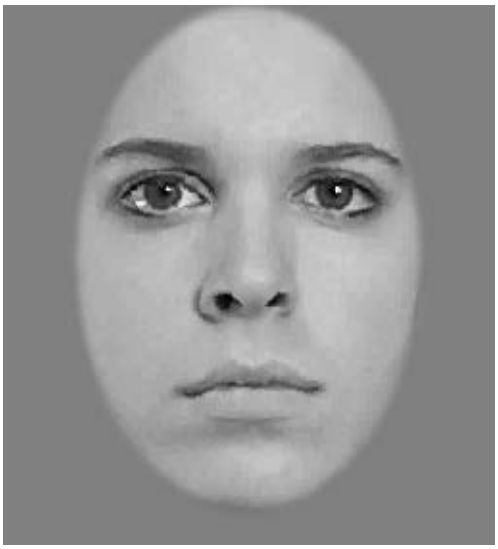
Peur

Joie



Tristesse

Neutre



Neutre

Annexe 4

CURRICULUM VITAE - Emmanuèle AMBERT-DAHAN

ACTIVITE PROFESSIONNELLE

Depuis 1998, orthophoniste dans le Service d'O.R.L. du Pr. O. Sterkers, Hôpital Beaujon (Clichy) puis UF Otologie, Implants auditifs et chirurgie de la base du crâne, Centre Référent Implant Cochléaire Adulte d'Ile de France et Surdité Génétique de l'Adulte, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière (Paris) :

Activité clinique :

- Evaluation et rééducation des atteintes auditives de l'adulte.
- Evaluation de la surdité dans le cadre du bilan pré-implant.
- Evaluation de la surdité dans le cadre de la neurofibromatose de type II.
- Evaluation et rééducation de la lecture labiale.
- Suivi des patients implantés cochléaires : bilans et rééducation.
- Activation et réglages des implants cochléaires.
- Suivi des patients implantés du tronc cérébral : bilans et rééducation.
- Activation et réglages des implants du tronc cérébral.
- Mesures électro-physiologiques per-opératoires.

De 1998 à 2001, activité libérale (Paris), prise en charge :

- d'adultes présentant des atteintes auditives, des pathologies neurologiques et des troubles spécifiques du sujet âgé.
- d'enfants présentant des troubles de la parole et/ou du langage oral et écrit.

Activité de recherche :

- Participation aux protocoles de recherche clinique menés dans le service (élaboration, inclusion des patients et organisation des passations).
- Communications dans des congrès et rédaction d'articles.

Activité de formation dans le cadre de l'enseignement :

- **Maître de stage au Département Universitaire d'Enseignement et de Formation en Orthophonie** (formation des stagiaires de 3ème et 4ème année), UPMC, Paris VI.
- **Directrice de mémoires d'orthophonie :** *Tests cognitifs de screening MoCA et CODEX chez les adultes présentant une surdité évolutive* (2013-14), *Facteurs prédictifs d'une lecture labiale fonctionnelle et implantation cochléaire chez l'adulte* (2013-14), *Evaluation après implantation auditive du tronc cérébral et bénéfice pour la communication verbale* (2012-13), *Facteurs prédictifs pour l'acquisition d'une lecture labiale fonctionnelle chez l'adulte sourd* (2012-13), *Capacités attentionnelles auditives et presbyacousie* (2011-12), Validation du questionnaire d'Evaluation du Retentissement de la Surdité chez l'Adulte (2010-11).
- **Formation des praticiens du réseau ville-hôpital** avec l'Institut Francilien d'Implantation Cochléaire (IFIC).

CURSUS ET DIPLOMES

Novembre 2010	**Doctorante en Sciences Cognitives (4ème année),** Equipe Neuropsychologie et Cognition Auditive - Labo de Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies, EA 4559, UFR de Psychologie Université de Lille - Nord de France et Laboratoire Psychologie de la Perception, UMR 8158, Equipe Audition, ENS, Paris.
Juillet 2010	**Master de Recherche en Sciences Cognitives / Cogmaster,** Université Paris 5 - René Descartes.
Juillet 1998	**Mémoire d'orthophonie :** « Etude de corrélation entre la communication, la lecture labiale et la perception auditive, chez des sujets adultes porteurs d'un implant cochléaire ». Mention A.
1994-1998	Certificat de Capacité d'Orthophoniste. Université Paris 6 Pierre et Marie Curie, C.H.U Pitié-Salpêtrière.
1993-1994	Responsable de la communication, Paris.
1990-1993	Ecole supérieure de commerce E.D.C (Ecole des Cadres), Paris
1988-1990	PCEM 1. Université Paris 5, René Descartes, C.H.U Cochin
Juin 1988	Baccalauréat Série D.

FORMATION CONTINUE

- Rééducation des pathologies vocales (F. Estienne, Centre universitaire d'Audio-phonologie de l'Université catholique de Louvain), Paris, 2000.
- Rééducation du langage oral et écrit (F. Estienne, Centre universitaire d'Audio-phonologie de l'Université catholique de Louvain), Paris, 2000.
- Formations médico-chirurgicales « Réhabilitation des atteintes auditives de l'adulte » et « Problèmes actuels en otologie », Pr O. Sterkers (3 séances par an depuis 1998).
- Réglages des implants cochléaires et des implants du tronc cérébral : mise à jour annuelle des connaissances en partenariat avec les constructeurs d'implants (Cochlear, Advanced Bionics, MedEl, Neurelec).

ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE

Février-Avril 2014 **Module 12 « Audition »,** Ecole d'Orthophonie, Université Pierre et Marie Curie :

- L'implant cochléaire chez l'adulte : évaluation orthophonique
- L'implant cochléaire chez l'adulte : rééducation orthophonique
- Dépistage universel de la surdité
- Fonctions exécutives et surdité neurosensorielle acquise de l'adulte
- Prise en charge du sujet presbyacousique : évaluation et rééducation
- Troubles Auditifs Centraux
- Nouvelles approches dans le domaine de la réhabilitation auditive

- Revue de littérature : surdité de l'adulte et cognition

Mars 2014	**Plasticité cérébrale avant et après implantation cochléaire** (l'UE plasticité cérébrale et pathologie L1)
Décembre 2013	**Evaluation et rééducation des adultes implantés cochléaires.** Enseignement d'Orthophonie, UPMC.
Avril 2013	**Implants cochléaires : réglages.** D.U Audioprothèses implantées (Pr Meyer), Hôpital Saint Antoine, Université Paris 6 (UPMC).
Février 2013	**Implants cochléaires : évaluation et rééducation.** D.U Audioprothèses implantées (Pr Meyer), Hôpital Saint Antoine, Université Paris 6 (UPMC).
Janvier 2013	**Evaluation et rééducation des atteintes auditives chez le sujet presbyacousique.** D.U Audiologie Audioprothétique Approfondie (Pr L. Collet), Université Claude Bernard-Lyon 1. (3 heures)

- Directrice de mémoires d'orthophonie, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Membre du jury pour les mémoires d'orthophonie, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Membre du jury pour l'oral du concours d'admission aux études d'Orthophonie, UPMC, Paris VI.

SOCIETES SAVANTES

- Présidente d'**AIRDAME** (Groupe de recherche sur la déficience auditive et la rééducation des patients implantés cochléaires) : **organisation d'un colloque annuel.**
- Membre du **GEORRIC** (Groupe d'étude sur l'optimisation des réglages et la rééducation des patients implantés cochléaires).
- Membre de la **SOFRESC** (Société Française de Réflexion Sensori-Cognitive).
- Membre du **GRAP** (Groupe de recherche Alzheimer Presbyacousie).

PUBLICATIONS ORIGINALES

1. Couloigner V., Gratacap M., **Ambert-Dahan E**., Borel S., Ettienne V., Kerouedan A., Bouccara D., Zerah M., Kalamarides M., Sterkers O. (2014). A report of three cases and review of auditory brainstem implants in children. Neurochirurgie. pii: S0028-3770(14)00014-9.
2. Coez A., Zilbovicius M, Ferrary E, Bouccara D, Mosnier I, **Ambert-Dahan E,** Bizaguet E, Martinot JL, Samson Y, Sterkers O. (2013). Brain voice processing with bilateral cochlear implants: a positron emission tomography study. Eur Arch Otorhinolaryngol.
3. Esquia Medina GN1, Borel S, Nguyen Y, **Ambert-Dahan E**, Ferrary E, Sterkers O, Grayeli AB. (2013). Is electrode-modiolus distance a prognostic factor for hearing performances after cochlear implant surgery ? Audiol Neurootol., 18(6):406-13.

4. Nguyen Y, Mosnier I, Borel S, **Ambert-Dahan E**, Bouccara D, Bozorg-Grayeli A, Ferrary E, Sterkers O. (2013). Evolution of electrode array diameter for hearing preservation in cochlear implantation. Acta Otolaryngol.,133(2):116-22.
5. Mosnier I, Felice A, Esquia G, Borel S, Bouccara D, **Ambert-Dahan E**, Smadja M, Ferrary E, Sterkers O. (2013). New cochlear implant technologies improve performance in post-meningitic deaf patients. Eur Arch Otorhinolaryngol., 270(1):53-9.
6. Coez A, Zilbovicius M, Ferrary E, Bouccara D, Mosnier I, Bozorg-Grayeli A, **Ambert-Dahan E**, Bizaguet E, Martinot JL, Samson Y, Sterkers O. (2011). A neuro-imaging approach to evidencing bilateral cochlear implant advantages in auditory perception. Cochlear Implants Int., 12 Suppl 1:S124-6.
7. Coez A., Zilbovicius M.,Ferrary E., Bouccara D., Mosnier I., **Ambert-Dahan E.**, Kalamarides M., Bizaguet E., Syrota A., Samson Y. (2009). Processing of voices in deafness rehabilitation by auditory brainstem implant. Neuroimage., 47(4):1792-6.
8. Bozorg Grayeli A., Kalamarides M., Bouccara D., **Ambert-Dahan E**., Sterkers O. (2008). Auditory brainstem implant in neurofibromatosis type 2 and non-neurofibromatosis type 2 patients. Otol Neurotol., 29:1140-6.
9. Mosnier I., Sterkers O., Bebear JP., Godey B., Robier A., Deguine O., Fraysse B., Bordure P., Mondain M., Bouccara D., Bozorg Grayeli A., Borel S., **Ambert-Dahan E.,** Ferrary E. (2009). Speech performance and sound localization in a complex noisy environment in bilaterally implanted adult patient. Audiol Neurootol., 14:106-14.
10. Coez A., Zilbovivius M., Ferrary E., Bouccara D., Mosnier I., **Ambert-Dahan E**., Bizaguet E., Syrota A., Samson Y., Sterkers O. (2008). Cochlear implant benefits in deafness rehabilitation: PET study of temporal voice activations. J Nucl Med., 49:60-7.
11. Bouccara D., Kalamarides M., Bozorg Grayeli A., **Ambert-Dahan E**., Rey A., Sterkers O., (2007).Auditory brainstem implant: indications and results. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.,124:148-54.
12. Mosnier I., Bouccara D., **Ambert-Dahan E**; Ferrary E., Sterkers O. (2007). Cochlear implantation and far-advanced otosclerosis. Adv Otorhinolaryngol., 65:323-7.
13. Bozorg Grayeli A., Kalamarides M., Bouccara D., Ben Gamra L., **Ambert-Dahan E**., Sterkers O. (2007). Auditory brainstem implantation to rehabilitate profound hearing loss with totally ossified cochleae induced by pneumococcal meningitis. Audiol Neurootol., 12:27-30.
14. Mosnier I., **Ambert-Dahan E**., Smadja M., Ferrary E., Bouccara D., Bozorg Grayeli A.,Sterkers O. (2006). Performances and complications of cochlear implant in 134 adult patients implanted since 1990. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac.,123:71-8.
15. Sterkers O., Mosnier I., **Ambert-Dahan E**., Herelle-Dupuy E., Bozorg Grayeli A., Bouccara D. (2004). Cochlear implants in elderly people: Preliminary results. Acta Otolaryngol., Suppl 552:64-7.
16. Mosnier I., Bouccara D., **Ambert-Dahan E**., Herelle-Dupuy E., Bozorg-Grayeli A., Ferrary E., Sterkers O. (2004). Beneficial effect of cochlear implants in the elderly. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac., 121:41-6.

17. Elalaoui A., Bozorg-Grayeli A., Bouccara D., **Ambert-Dahan E**., Cyna-Gorse F., Krainik A., Sterkers O. (2003). Progressive bilateral hearing loss with superficial hemosiderosis of the central nervous system : contribution of cochlear implantation. Ann Otolaryngol Chir Cervicofac., 120:225-30.
18. Bozorg-Grayeli A., Bouccara D., Kalamarides M., **Ambert-Dahan E**., Coudert C., Cyna-Gorse F., Sollman WP., Rey A., Sterkers O. (2003). Auditory brainstem implant in bilateral and completely ossified cochleae. Otol Neurotol., 24:79-82.
19. Wu H., Mosnier I., **Ambert-Dahan E**., Viala P., Bouccara D., Sterkers O. (2000). Results in cochlear implant in postlinguistically deaf adults. Adv Otorhinolaryngol., 57:382-4.
20. Wu H., Kalamarides M., Bouccara D., **Ambert-Dahan E.,** Viala P., Sollman WP., Rey A., Sterkers O. (2000). Auditory brainstem implant (Nucleus 21-channel) in neurofibromatosis type 2 patients previously operated on : preliminary results. Adv Otorhinolaryngol., 57:236-9.
21. Kalamarides M., Bozorg Grayeli A., Bouccara D., **Ambert-Dahan E**., Sollman WP., Sterkers O., Rey A. (2001). Hearing restoration with auditory brainstem implants after radiosurgery for neurofibromatosis type 2. J Neurosurg., 95:1028-33.
22. Wu H., Kalamarides M., Bouccara D., **Ambert-Dahan E.,** Sollman WP., Viala P., Rey A., Sterkers O. (2000). Nucleus 21-channel auditory brainstem implant in patients with previous tumour removal. Audiology.,39:247-52.

PUBLICATIONS DIDACTIQUES

Réadaptation à la communication dans les surdités acquises appareillées et/ou apprentissage de la lecture labiale.
Ambert-Dahan E. *& Borel S.,* Approches thérapeutiques en Orthophonie (3ème édition), UNADREO
Capacités attentionnelles auditives et presbyacousie.
Ambert-Dahan E., *Gatignol P., Bouccara D., Lombaert MC.., Moreau C., Sterkers O.*
Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, Elsevier System (soumis).
Prise en charge orthophonique du patient presbyacousique : procédures d'évaluation et nouvelles orientations en rééducation.
Ambert-Dahan E., *La Revue Francophone de Gériatrie et de Gérontologie,* Mars 2013, Tome XX (n°193), pages 125-132.
Cerveau et audition.
Ambert-Dahan E., *Bulletin de l'Association des Implantés cochléaires de l'Hôpital Beaujon,* Décembre 2012.
Prise en charge orthophonique des troubles centraux chez les patients presbyacousiques.
Ambert-Dahan E., *Les Cahiers de l'Audition, Vol. 24, Numéro 3. Mai 2011*
Optimisation du mode de réhabilitation des surdités sévères et profondes de l'adulte : de nouveaux outils pour une réhabilitation auditive optimale.
Ambert-Dahan E., Actes des Entretiens de Bichat d'Orthophonie, Septembre 2011.
Prise en charge orthophonique du devenu-sourd par l'orthophoniste.
Ambert-Dahan E., Daoud C., Galère F., Toffin C., .Meyer B., Morisseau C.
Education auditive : de la parole à la musique. Monographie Amplifon n°38, pages 51-59, édition 2005.

L'implantation cochléaire bilatérale chez l'adulte : indication, résultats et perspectives.
Ambert-Dahan E., Bouccara D.
Rééducation orthophonique 42ème année, n°217, Mars 2004.

COMMUNICATIONS INTERNATIONALES

Ambert-Dahan E., Giraud AL., Olivier Sterkers O., Samson S.
"Impaired dynamic facial emotion recognition in deaf participants" (poster)
European Conference of Visual Perception, Toulouse, August 28th-September 1st, 2011.
Ambert-Dahan E., Giraud AL., Olivier Sterkers O., Samson S.
"Recognition of musical emotions in patients with cochlear implant" (poster)
Neuroscience and Music IV - Learning and Memory, Edinburgh, June 9-12, 2011
Ambert-Dahan E., Girard-Monneron L.
"Presentation of a self-training software to optimize post-cochlear auditory Rehabilitation : LAARA ©".
10th International Conference on Cochlear Implants and other Implantable Auditory Technologies, San Diego, Apr 10-12, 2008.
Fraysse B., Sterkers O., Frachet B., Mondain M.,Bébéar J.P., Bestel J., **Ambert-Dahan E.**
"Frequency alignment and music perception: results of a multicenter study."
10th International Conference on Cochlear Implants and other Implantable Auditory Technologies, San Diego, Apr 10-12, 2008.
Borel S., Bestel J., **Ambert-Dahan E.,** Smadja M., Mosnier I., Bouccara D., Bozorg Grayeli A., Ferrary E., Meyer., Frachet B., Truy E., Sterkers O.
"Speech identification and speech masking release with Hires120: preliminary results of a multicenter clinical study."
10th International Conference on Cochlear Implants and other Implantable Auditory Technologies, San Diego, Apr 10-12, 2008.
Fraysse B., Sterkers O., Mondain M., Frachet B., Bébéar J-P., Ormezzano Y., Laborde M.-L., **Ambert-Dahan E.,** Smadja M., Geffriaud G., Pressnitzer D., Bestel J., Boyle P.
Music perception with a cochlear implant: preliminary results of a multi-centric study.
9th International Conference on Cochlear Implants, Vienna, June 14-17, 2006.
Ambert-Dahan E., Bouccara D., Viala P., Sterkers O.
Evolution of the fitting and performances of a patient implanted after a major cranio-facial traumatism. (poster)
7th International Conference on Cochlear Implants and other Implantable Auditory Technologies, Manchester, Sept 4-6, 2002.
Bouccara D., **Ambert-Dahan E.**
Auditory Brainstem Implant for rehabilitation of a post meningitis total deafness with bilateral ossified cochlea : preliminary report of one case.(poster)
6th International Conference on Cochlear Implants and other Implantable Auditory Technologies, Miami, Feb 2-4, 2000.

COMMUNICATIONS NATIONALES RECENTES

Ambert-Dahan E.
Evaluation et prise en charge cognitives du sujet âgé implanté cochléaire.
Journées GEORRIC, Lyon, 20 Mars 2014.

Ambert-Dahan E.
Musique et rééducation orthophonique de l'adulte implanté cochléaire.
XIIème congrès de la Société Française d'Audiologie, Strasbourg, 29-30 Novembre 2013.
Bouccara D., Ambert-Dahan E., Borel S.,Nguyen Y., Mosnier I., Bernadeschi D., Carillo C., Smadja M., Ferrary E., Couloigner V, Kalamarides M., Zerah M., Sterkers O.
Indications et résultats des implants auditifs du tronc cérébral.
120ème Congrès National de la Société Française d'ORL, Paris, 12 Octobre 2013.
Ambert-Dahan E., Giraud A., Samson S., Sterkers O.
Perception des émotions chez le sujet sourd et implanté cochléaire.
FMC « Implants auditifs, Préservation des voies auditives, fonctions centrales : quel impact ? »
Hôpital Pitié-Salpétrière, Centre Référent Implants Cochléaires et du Tronc cérébral, Paris, 14 Juin 2013.
Ambert-Dahan E., Lebredonchel M., Laouenan C., Borel S., Smadja M., De Bergh M., Liagre-Callies A., Mosnier I., Bouccara D., Sterkers O., Ferrary E.
Validation du questionnaire de qualité de vie ERSA (Evaluation du Retentissement de la Surdité chez l'Adulte).
16ème Journée d'étude d'AIRDAME, Paris, 19 Avril 2013.
Ambert-Dahan E., Gatignol P., Bouccara D., Lombaert MC.., Moreau C., Sterkers O.
Capacités attentionnelles auditives et presbyacousie.
Journées de Neurologie de Langue Française, Montpellier, 10 Avril 2013.
Ambert-Dahan E.
Prise en charge de la presbyacousie. Journée nationale de l'Audition, Paris, 14 Mars 2013.
Ambert-Dahan E., Gatignol P., Bouccara D., Lombaert MC.., Moreau C., Sterkers O.
Capacités attentionnelles auditives et presbyacousie.
Colloque de la Société Française d'Audiologie, Paris, 15 Octobre 2012.
Ambert-Dahan E., Lebredonchel M., Laouenan C., Borel S., Smadja M., De Bergh M., Liagre-Callies A., Mosnier I., Bouccara D., Sterkers O., Ferrary E.
Validation du questionnaire de qualité de vie ERSA (Evaluation du Retentissement de la Surdité chez l'Adulte).
119ème Congrès National de la Société Française d'ORL, Paris, 14 Octobre 2012.
Ambert-Dahan E., Giraud A., Samson S., Sterkers O.
Perception des émotions chez le sujet sourd et implanté cochléaire.
119ème Congrès National de la Société Française d'ORL, Paris, 14 Octobre 2012.
Ambert-Dahan E., Lebredonchel M., Laouenan C., Borel S., Smadja M., De Bergh M., Liagre-Callies A., Mosnier I., Bouccara D., Sterkers O., Ferrary E.
Validation du questionnaire de qualité de vie ERSA (Evaluation du Retentissement de la Surdité chez l'Adulte).
Formation médico-chirurgicale « Problèmes actuels en otologie » n°37, Faculté de Médecine X. Bichat, Paris, 11 Octobre 2012.
Ambert-Dahan E.
Prise en charge de la presbyacousie : évaluation, rééducation et nouveaux outils pour une réhabilitation auditive optimale.
4ème Congrès National des Rééducateurs en Gériatrie, Paris, 26 Mars 2012.
Ambert-Dahan E., Giraud A-L., Sterkers O., Samson S.
Perception des émotions faciales et vocales avant et après implantation cochléaire.
Société Française de Réflexion Sensori-Cognitive, Paris, 19 Juin 2012.

Ambert-Dahan E.
Cerveau et Audition.
Journée nationale de l'Audition, Paris, 8 Mars 2012.

CREATION ET DEVELOPPEMENT DE PROGRAMMES D'ENTRAINEMENT AUDITIF

- LAARA© (Logiciel Amplifon d'Aide à la Rééducation Auditive) : création d'un programme d'entraînement auditif et de stimulation cognitive pour les adultes porteurs d'aides auditives, conventionnelles ou implantées (2006).

- Plate-forme d'exercices d'entraînement auditif et de stimulation cognitive en ligne sur le site de l'IFIC (réseau ville/hôpital).

- Création d'ateliers d'entraînement cognitif en groupe pour les patients implantés cochléaires dans le cadre de l'IFIC.

Annexe 5 :

Optimisation du mode de réhabilitation des surdités sévères et profondes de l'adulte : de nouveaux outils pour une réhabilitation auditive optimale.
Ambert-Dahan E., Actes des Entretiens de Bichat d'Orthophonie, Septembre 2011.

Optimisation du mode de réhabilitation des surdités sévères et profondes de l'adulte : de nouveaux outils pour une réhabilitation auditive optimale.

Emmanuèle Ambert-Dahan, Orthophoniste
Service d'ORL du Pr Olivier STERKERS
Hôpital Beaujon, AP-HP, Clichy.

Emmanuèle Ambert-Dahan

Hôpital Beaujon

Service d'ORL du Pr Olivier STERKERS

100, bd du Général Leclerc

92110 Clichy

emmanuele.ambert-dahan@bjn.aphp.fr

Abstract

La déficience auditive est le handicap qui, en France, touche le plus de personnes avec une prévalence globale de 89,2 pour mille habitants, soit 8,7% de la population [1]. La surdité, sévère ou profonde, peut survenir à différents moments de la vie et, quelle que soit son étiologie, son impact sur les capacités de communication, les habiletés sociales, le comportement et la perception de soi est souvent considérable.
Dans tous les cas, l'atteinte auditive est synonyme de privations sensorielles, linguistiques, cognitives et émotionnelles qui sont à l'origine d'un handicap de communication majeur.

L'évaluation précoce de la déficience auditive est donc, à tout âge de la vie, la condition fondamentale d'une prise en charge optimale. Ainsi, le bilan de la surdité permettra de choisir la modalité de réhabilitation auditive la plus adaptée selon le type de déficience et l'association d'un entraînement auditif spécifique permettra d'améliorer significativement les performances des patients [3]. En effet, la rééducation orthophonique auprès d'un praticien(ne) optimise la réhabilitation auditive en facilitant l'acceptation et l'adaptation aux aides auditives ou à l'implant cochléaire ainsi que le développement de compétences auditives pour l'intégration de la parole.

Cependant, un grand nombre de patients, satisfaits de leur réhabilitation auditive, souhaitent améliorer et préserver leurs performances auditives. Leur motivation, ainsi que l'essor des nouvelles technologies ont contribué au développement de programmes d'entraînement spécifiques sur de nouveaux supports (logiciels, sites Internet). Nous verrons quels sont ces nouveaux outils et de quelle manière ils contribuent à améliorer la réhabilitation de la perception auditive en cas de surdité sévère et profonde de l'adulte.

Mots clés : surdité acquise, réhabilitation auditive, rééducation orthophonique, stimulation auditivo-cognitive, programmes d'entraînement.

Maximising auditory rehabilitation of severe and profound deafness in adults using new computerized advanced speech training resources.

Abstract

Deafness is the most common handicap with a global prevalence of 89, 2 per thousand inhabitant, that is 8,7% of the population [1]. Severe or profound hearing loss can occur at different moment of life and, regardless the etiology, it has a considerable impact on communication abilities, social interactions, global behaviour and self perception.
In every instance, the auditory deficiency leads to sensory, linguistic, cognitive and emotional deprivation and induces a major communication handicap.

Then, an early evaluation of the hearing loss is, whatever the age of the patient, a crucial condition for an optimized rehabilitation. This evaluation will allow us to choose the best rehabilitation strategy according to the type of auditory deficiency in association with an auditory specific training program who will significantly enhance the patient's performances [3]. Indeed, the auditory stimulation with a speech therapist can optimize the auditory rehabilitation, making the hearing aids' or cochlear implant's adaptation easier and the development of auditory skills for the perception of speech.

However, many patients are very satisfied with their auditory rehabilitation but they often wish to improve and preserve their auditory performances. Their motivation and the rapid development of new technologies on Internet led us to create computerized advanced training program for auditory and cognitive stimulation. We will describe these new resources and see how they can contribute to enhance auditory perception in case of severe to profound hearing loss.

Key words : acquired hearing loss, auditory training, auditory-cognitive stimulation, computerized advanced speech training resources.

I. Introduction

La déficience auditive est le handicap qui, en France, touche le plus de personnes avec une prévalence globale de 89,2 pour mille habitants soit 8,7% de la population. Parmi ceux-ci, 28% sont atteintes de surdité moyenne à sévère et 6% de surdité profonde [1].
De plus, la presbyacousie, c'est-à-dire l'altération des facultés d'audition liée à l'âge, est la cause la plus fréquente de surdité chez l'adulte de plus de 50 ans et, dans la plupart des pays industrialisés, environ 2/3 des adultes de plus de 50 ans estiment ne pas entendre correctement et rencontrer d'importantes difficultés de compréhension dans les conversations.

Quelle que soit son étiologie, la surdité entraîne une altération majeure des capacités de communication et des habiletés sociales ainsi qu'une modification du comportement, une tendance à l'isolement et souvent une perte de l'estime de soi pouvant conduire à des troubles psychologiques sévères.

Dans tous les cas, l'atteinte auditive est synonyme de privations sensorielles, linguistiques, cognitives et émotionnelles qui sont à l'origine d'un handicap de communication majeur.

Par ailleurs, l'augmentation régulière de l'espérance de vie calculée à 60 ans, de 26,9 ans pour les femmes et 21,9 ans pour les hommes, place le traitement de la déficience auditive au centre d'un enjeu de santé publique majeur. En effet, l'allongement de la durée moyenne de vie et l'existence de pathologies qui y sont liées impliquent d'envisager sous un nouvel angle la définition de la santé donnée par l'OMS en 1946, selon laquelle « La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. ». Préserver l'intégrité des fonctions perceptives chez les personnes de plus de 60 ans est donc nécessaire pour préserver une autonomie et une qualité de vie satisfaisantes.

Par conséquent, l'évaluation précoce de la déficience auditive est, à tout âge de la vie, la condition fondamentale d'une prise en charge optimale. Le bilan de la surdité permettra donc de choisir la modalité de réhabilitation auditive la plus adaptée selon le type de déficience. Il pourra s'agit de prothèses auditives conventionnelles et/ou de prothèses implantées, implant d'oreille moyenne ou implant cochléaire. Ainsi, les évolutions technologiques récentes dans le domaine des implants cochléaires ainsi que l'évolution des indications d'implantation aux

surdités sévères à profondes permettent à une majorité de patients d'avoir un bénéfice élevé pour la compréhension de la parole dans le calme [2]. Certains d'entre eux peuvent également suivre une conversation en milieu bruyant et au téléphone ainsi que retrouver du plaisir dans l'écoute de la musique. Cependant, l'association en parallèle d'un entraînement auditif spécifique et de l'optimisation régulière des réglages (adaptation de la stratégie de codage du processeur vocal, modification de la vitesse de stimulation, de la répartition fréquentielle, etc …) améliore significativement les performances des patients implantés cochléaires [3].

Par conséquent, la rééducation orthophonique post-implant auprès d'un praticien(ne) est indispensable pour optimiser la réhabilitation auditive. Notre expérience clinique nous montre qu'il en est de même avec les prothèses auditives conventionnelles, le suivi orthophonique facilitant l'acceptation et l'adaptation prothétique ainsi que le développement de compétences auditivo-cognitives pour l'intégration des sons verbaux.

Cependant, nombre de nos patients, satisfaits du bénéfice auditif avec des prothèses conventionnelles ou l'implant cochléaire sont très motivés et désireux d'améliorer et de préserver leurs performances auditives. Qu'ils aient une activité professionnelle ou de nombreuses activités comme la plupart des personnes retraitées, qu'ils aient facilement accès à un suivi orthophonique en ville ou qu'ils soient isolés sans accès aux soins, nombre d'entre eux souhaitent être acteurs de leur réhabilitation auditive. C'est pourquoi, de nouveaux outils de rééducation ont été créés au cours de ces dernières années parallèlement au développement de nouveaux supports via les technologies numériques.

De cette manière, nous verrons d'abord comment l'évaluation orthophonique précoce des troubles de l'audition et de la communication contribue à déterminer le choix du mode de réhabilitation puis les principes essentiels de la rééducation orthophonique auditivo-cognitive associée.
Nous verrons ensuite quels sont les nouveaux outils de rééducation, leur contenu et de quelle manière ils contribuent à améliorer la réhabilitation de la perception auditive en cas de surdité sévère et profonde de l'adulte.

II. L'évaluation des surdités sévères et profondes de l'adulte

Nous devons tout d'abord rappeler que si la consultation chez le médecin ORL est le plus souvent motivée par des difficultés de compréhension de la parole dans le bruit, au téléphone et à la télévision, plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur la décision de consulter. Ainsi, le délai entre l'apparition de la perte puis de la gêne auditives et l'évaluation est très variable. Il peut dépendre de l'étiologie de la surdité (génétique, ototoxique, traumatique ou infectieuse), du mode de survenue (progressive ou brusque), du mode de vie (activité professionnelle ou non, retraite, vie sociale développée ou non), de facteurs psychologiques (acceptation du handicap, troubles de l'humeur ou de la personnalité associés) et de l'existence d'antécédents familiaux de surdité. Ainsi, on pourra observer dans notre pratique clinique que des personnes atteintes de surdité sévère à profonde, d'apparition progressive, peuvent tarder à consulter malgré la gêne importante ressentie au quotidien dans leur vie personnelle et professionnelle. Etant souvent confrontées à des situations de communication complexes dans leur vie familiale (échanges dans le bruit ou à distance, réunions familiales, etc …) et dans leur activité professionnelle (réunions, conférences téléphoniques, utilisation d'autres langues, etc …), ces personnes doivent développer des stratégies compensatoires pour comprendre la parole. De cette manière, la compensation par la modalité visuelle permet le plus souvent la mise en place d'une lecture labiale fonctionnelle.

Dans certains cas, notons que la demande d'évaluation de la surdité peut également être liée à l'existence de difficultés cognitives objectivées par le patient ou son entourage. En effet, si la surdité peut induire des dysfonctionnements dans les échanges verbaux comme des chevauchements de paroles ou des énoncés réduits et limités à un lexique concret, elle peut aussi être associée à une altération des fonctions cognitives. Cela peut en effet être le cas en présence de troubles centraux associés [4] ou de pathologies dégénératives de type maladie d'Alzheimer. La déficience auditive pourra alors s'accompagner de difficultés attentionnelles et mnésiques ainsi que de troubles de la compréhension ou du raisonnement. De même, les systèmes de mémoire peuvent être atteints au niveau de la mémoire de travail, de la mémoire épisodique ou même prospective.

Par conséquent, l'évaluation orthophonique est un élément indispensable du bilan de surdité qui est constitué par l'examen clinique O.R.L et les bilans audiométrique, vestibulaire,

psychologique et neuropsychologique. Ce bilan permet d'avoir une évaluation quantitative et qualitative précises des troubles auditifs et cognitifs [5].

Le premier objectif du bilan orthophonique est le recueil d'informations relatives à la période et au mode de survenue de la surdité ainsi qu'aux modalités d'appareillage s'il y en a déjà un. Au cours de l'entretien, il s'agira aussi d'évaluer la plainte du patient à travers l'évocation de sa gêne auditive et d'en faire le rapport afin de définir la demande

De plus, l'observation du comportement général (du retrait à l'envahissement) et des stratégies d'adaptation au handicap (la lecture labiale) est importante car elle rend compte de la plasticité cérébrale. Très sollicitée en cas de déficience auditive, elle l'est également lors de la réhabilitation avec des prothèses conventionnelles ou implantées et l'on sait aussi qu'elle est présente tout au long de la vie [4].

Une évaluation quantitative des capacités auditives au moyen de listes de mots monosyllabiques (Lafon), de mots dissyllabiques (Fournier) ainsi que de listes ouvertes de phrases dans le silence et le bruit permet de compléter les données audiométriques. L'intérêt de ces tests est qu'ils rendent compte des performances auditives en situation de communication facilitée, c'est-à-dire en voix directe, avec une possibilité de répétition et un débit de parole plus lent qu'en cabine. Il est donc intéressant de comparer les scores dans les deux situations, notamment lorsque le comportement adaptatif de l'examinateur ne suffit pas à améliorer les performances du patient.
Ces tests de compréhension sont réalisés dans différentes conditions: en audition seule, avec les aides auditives, avec l'audition ou les aides auditives plus la lecture labiale puis en lecture labiale seule.

Par ailleurs, l'observation globale des processus d'attention et de mémorisation au cours du bilan nous permet de définir peu à peu le profil auditivo-cognitif du patient et donc de déterminer la nécessité d'associer des tests plus spécifiques en cas de suspicion d'altération des fonctions cognitives.
On s'intéressera donc plus particulièrement à l'attention, fonction cognitive de base impliquée dans toutes les activités quotidiennes regroupant un ensemble de notions plus spécifiques qui sont l'alerte et la vigilance ainsi que l'attention soutenue, partagée et sélective.

De même, on observera les fonctions exécutives dont le rôle est de contrôler, intégrer et organiser les autres habiletés cognitives, notamment la mémoire et l'attention, afin de faciliter

l'adaptation aux situations nouvelles ou complexes [4]. Ces fonctions sont importantes car elles permettent également de formuler des buts et des plans d'action, d'en identifier les conséquences à terme et les diverses alternatives ainsi que d'inhiber des informations distractives.
On s'intéressera particulièrement aux capacités de mise à jour, à la flexibilité mentale et à l'attention divisée qui sont impliquées dans l'intégration de la parole et sont très sollicitées en cas de perte auditive.

Ainsi le Mini Mental State (MMSE) [6] ou le CODEX [7] sont des tests rapides qui donnent une première approche de l'altération des fonctions cognitives et peuvent induire un bilan gériatrique et neuropsychologique en cas de suspicion de démence.

Enfin, il est important d'évaluer le niveau de langage dans ses aspects morphologiques et pragmatiques ainsi que le niveau socio-culturel, les centres d'intérêt et l'appétence du sujet pour les activités linguistiques, ceux-ci pouvant être des points d'ancrage pour la rééducation des troubles cognitifs

Le contrôle vocal (intensité, timbre et débit) sera également analysé car il reflète l'efficacité du *feedback* et donc un certain contrôle cognitif.

III. La réhabilitation auditivo-cognitive avec l'orthophoniste

La réhabilitation auditive de l'adulte présentant une surdité acquise sévère ou profonde repose sur une triade constituée de l'optimisation de la perception auditive avec des prothèses conventionnelles ou implantées, l'apprentissage de la lecture labiale et la rééducation auditivo-cognitive.

A. La lecture labiale

1. Intérêt

En cas de surdité acquise, la lecture labiale devient le mode de communication privilégié pour maintenir la communication verbale. En effet, la perte ou l'altération d'une modalité sensorielle entraîne des remaniements corticaux importants au profit des modalités intactes [8]. Les résultats d'une récente étude en imagerie cérébrale fonctionnelle [9] ont mis en évidence des réponses plus importantes dans les régions spécialisées dans le traitement auditif du langage (gyrus temporal et sillon temporal supérieurs gauches) chez les participants atteints de surdité acquise que chez les normo-entendants, lors de la présentation de visages dynamiques. Ainsi, des régions traitant habituellement des informations auditives se mettent à analyser des données visuelles contenant des informations verbales et ce, de manière précoce, dès quatre mois après la survenue de la surdité.

Dans le cas de la réhabilitation auditive avec un implant cochléaire on peut se poser la question de l'impact de la restauration de la perception auditive sur le traitement de l'information visuelle verbale. Ainsi, malgré la séparation des voies sensorielles auditive et visuelle allant des récepteurs jusqu'aux centres de traitement corticaux, on sait que l'intégration simultanée de signaux auditifs et visuels améliore qualitativement la perception par rapport à un stimulus perçu de manière unisensorielle [10].

De plus, il est bien connu que l'intégration multisensorielle est également impliquée dans les processus de reconnaissance de la parole comme le montre l'effet McGurk [11] qui a mis en évidence l'influence de l'information visuelle contenue dans les mouvements des lèvres sur la perception auditive en cas de discordance entre les signaux de parole auditif et visuel.
Ainsi, bien que les normo-entendants ne soient généralement pas conscients de la pertinence des indices visuels pour le traitement de la parole, il apparaît évident que la perception audiovisuelle améliore significativement la compréhension dans des environnements bruyants [12].

Dans une récente étude [12], ces compétences ont été analysées à travers l'évolution longitudinale post-implantation des performances de reconnaissance de mots dans une population de patients implantés cochléaires, en condition unisensorielle (visuelle ou auditive) et bisensorielle (visuo-auditive). Les résultats de cette étude ont d'abord permis de confirmer que la surdité entraînait le développement de compétences en lecture labiale mais également

leur préservation au cours du temps, même lorsque les patients implantés atteignaient un niveau de perception auditive optimal avec l'implant.
De plus, il semble que ces derniers développent des compétences d'intégration des informations visuelles et auditives spécifiques leur permettant d'optimiser l'utilisation des indices spatio-temporels délivrés par les mouvements des lèvres et du visage.

Ces observations suggèrent l'existence d'une plasticité cérébrale dans le réseau cortical du traitement de la parole et confirment l'importance de la lecture labiale, justement renommée *perception audiovisuelle de la parole* [13].

2. Les axes d'intervention

Il existe différentes *méthodes* pour l'apprentissage de la lecture labiale et nous aborderons ici les principaux axes d'intervention selon une approche à la fois globale et analytique.

L'apprentissage est souvent initialisé par la prise de conscience de l'existence d'images labiales en observant l'interlocuteur (l'orthophoniste) et par l'identification de ces images sur soi (le patient). Cette première étape, très analytique, est associée à des schémas permettant d'expliquer le système vocalique et consonantique. Elle est rapidement complétée par une approche plus globale permettant de développer la reconnaissance des sons de parole, les phonèmes, dans un contexte verbal qui peut varier. Il s'agira alors de travailler la compréhension de mots de différentes longueurs (mono, di ou trissyllabiques) et de phrases en liste fermée puis ouverte.

De plus, l'apprentissage de la lecture labiale implique de stimuler des fonctions cognitives directement impliquées dans le traitement de la parole, comme l'attention et la mémorisation (mémoire de travail). Il nécessite également de prendre en compte la dimension pragmatique du langage qui correspond à son utilisation dans les situations concrètes de la vie quotidienne. On pourra ainsi développer la richesse et la disponibilité lexicales ainsi que la flexibilité au changement de fond et de forme du discours au cours de l'échange.

L'objectif global est de préserver la communication et la spontanéité de l'échange verbal dans une approche écologique adaptée au mode de vie du patient. Nous verrons plus loin qu'il existe de nouveaux supports pour l'apprentissage de la lecture labiale.

B. La rééducation auditivo-cognitive

De même, la rééducation auditive est multidimensionnelle puisqu'elle a pour objectif de restaurer des capacités auditives et cognitives pour le traitement de la parole grâce au développement de modes de compensation mettant en jeu la plasticité cérébrale.

Dans cette perspective, nous avons développé à l'hôpital Beaujon, dans le service d'ORL du Pr Sterkers, un programme d'entraînement auditivo-cognitif spécifique. Les axes essentiels de cet entraînement sont d'une part l'amélioration de la discrimination des sons de la parole au niveau phonologique et segmental et d'autre part le développement des habiletés cognitives impliquées dans le traitement du message verbal comme la compétence sémantique, l'attention audio-visuelle, les capacités d'anticipation par le contexte et de déduction [14]. Chacun de ces axes de rééducation permettra également d'entraîner la mémoire à court terme, la mémoire sensorielle, sémantique, la flexibilité mentale et le contrôle cognitif potentiellement altérés dans les troubles centraux. Selon le degré d'atteinte, on intégrera aussi la mémoire à long terme, procédurale et épisodique.

Enfin, l'objectif étant de préserver les habiletés de communication de façon « écologique » par rapport à l'environnement dans lequel évolue le patient, la dimension pragmatique du langage doit être développée au travers d'exercices portant sur la richesse et la disponibilité lexicales, le respect des règles et la flexibilité au cours de l'échange verbal, l'organisation et la cohérence du discours.

De même, on cherchera à faire prendre conscience des obstacles à la communication et à développer des stratégies de compensation, notamment pour le traitement de la parole dans les scènes auditives complexes, en milieu bruyant ou en présence de plusieurs interlocuteurs, sachant qu'en plus des difficultés de démasquage de la parole dans le bruit, l'attention partagée et sélective peuvent être altérées. Il est donc fondamental d'évaluer la perte auditive et l'atteinte cognitive le plus précocement possible afin de mettre en place une prise en charge orthophonique auditivo-cognitive.

Cette rééducation doit être adaptée au « profil auditif et cognitif » de chaque patient et orientée vers la préservation des habiletés de communication par le développement de stratégies de compensation multimodales.

IV. Nouveaux outils de rééducation

Les performances auditives obtenues par les patients atteints de surdité acquise sévère à profonde ayant bénéficié d'une réhabilitation au moyen de prothèses conventionnelles ou implantées, la volonté d'améliorer ces performances et le souci d'autonomisation des patients sont autant de raisons qui ont incité certains cliniciens à développer de nouveaux outils de rééducation.

A. Logiciels

1. LAARA©, Logiciel Amplifon d'Aide à la Rééducation Auditive [15]

Il s'agit d'un support informatique élaboré par des orthophonistes à partir de leur expérience avec des patients sourds sévères et profonds, porteurs d'aides auditives conventionnelles ou d'un implant cochléaire.

Le programme d'entraînement auditif LAARA© a pour objectifs de faciliter l'adaptation aux prothèses ou à l'implant cochléaire et d'optimiser leur utilisation par un entraînement régulier à domicile. Il a été conçu pour compléter la prise en charge orthophonique et la poursuivre en proposant un entraînement personnalisé qui associe autonomie, libre choix des exercices et aspect ludique.

Il s'agit donc d'un programme d'entraînement auditif spécifique, qui vise à développer le traitement analytique et global des sons verbaux. Cet entraînement a pour objectif d'améliorer la compréhension de la parole en favorisant le développement de stratégies de compensation par la stimulation de processus cognitifs impliqués dans le traitement du message verbal. Ainsi, il facilite la participation des suppléances mentales par la mise en jeu de la compétence sémantique, de l'attention auditivo-visuelle, des capacités d'anticipation par le contexte et de raisonnement, de la concentration et de la mémoire de travail.

Ce logiciel, qui se présente sous la forme d'un CD-ROM accompagné d'un guide d'utilisation décrivant les fonctionnalités de tous les exercices proposés, est composé de 2 modules : Voix et Parole et Mémoire et Langage.
Chacun des deux modules comprend plusieurs exercices de difficulté croissante avec la possibilité pour l'utilisateur de choisir le locuteur (voix féminine, masculine ou aléatoire),

d'interrompre, reprendre, réécouter les questions et les réponses ainsi que connaître son temps de réponse pour certains exercices chronométrés et son score pour chaque session.

De cette manière, le logiciel LAARA© s'adresse à tous les patients déficients auditifs sévères à profonds appareillés avec des aides auditives conventionnelles ou implantés cochléaires qui désirent entraîner leurs compétences tant sur le plan de la parole et du langage que sur le plan cognitif.
Il peut également être utilisé par des personnes atteintes de presbyacousie, avec ou sans troubles ou déficits cognitifs associés avec, si nécessaire, l'intervention d'une tierce personne si le support informatique n'est pas maîtrisé.
Enfin, dans certains cas, il pourrait être destiné, avec l'aide des parents, à des enfants déficients auditifs afin d'améliorer l'adaptation prothétique en leur proposant les exercices du module Voix et Parole.

LAARA© permet ainsi de retravailler seul, à son rythme et selon son envie, des exercices complémentaires à ceux proposés au cours de la rééducation avec l'orthophoniste. Cependant, il ne se substitue en aucun cas aux séances d'orthophonie.

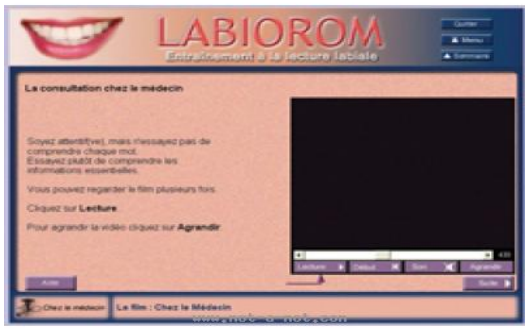
2. LECTURE LABIALE (Gerip, 2011)

Ce logiciel est un entraînement à la lecture labiale destiné à l'adulte devenu sourd. L'objectif est de proposer, sur un mode ludique et interactif (vidéo), un programme reflétant les conversations et les situations de la vie courante.

La méthode suit une progression rigoureuse et efficace qui respecte les différentes étapes de la mémorisation des images labiales : voyelles / consonnes / syllabes / mots / noms propres / phrases / expressions / saynettes. C'est un programme dynamique, d'utilisation facile et pratique.

3. Labiorom - Entraînement à la lecture labiale (Mot à mot, 2005)

Cet outil propose des exercices variés avec plus de 250 extraits vidéo présentant des mots isolés, des phrases et des dialogues pour s'entraîner à la lecture labiale.



4. Programmes d'entraînement auditif élaborés par les fabricants d'implants cochléaires

Dans de nombreux pays, notamment en Amérique du Nord, l'accès à la rééducation auditivo-cognitive en cas d'appareillage avec des prothèses conventionnelles ou après une implantation cochléaire est très limité en raison de l'absence de prise en charge financière par l'équivalent de l'assurance maladie (*Medicaid* et *Medicare*). Pour pallier ce manque, des cliniciens et des chercheurs ont travaillé conjointement au développement de programmes d'entraînement auditif informatisés avec le soutien des fabricants d'implants cochléaires [16].

Le tableau ci-dessous résume ces différents programmes :

Logiciel	Type d'entraînement	Type de tâche
Seeing and Hearing Speech Sensimetrics	Voyelles, consonnes, accentuation, intonation, longueur des mots et communication quotidienne.	Analytique et globale.
Sound and Way Beyond Cochlear Americas	Entraînement interactif pour la reconnaissance de voyelles, consonnes, phrases, la compréhension au téléphone et la musique.	Analytique et globale.
SoundScape Med-El	Phases avec possibilité de modifier le bruit de fond, le débit de parole et le genre du locuteur. Possibilité d'entraînement au téléphone. Scores à la fin de chaque session.	Globale.
Speech Perception Assessment and Training System (SPATS) Communication Disorders Technology	Entraînement syllabique utilisant 100 des sons les plus fréquents pour la compréhension de la parole. Phrases avec différents locuteurs disponibles dans le calme et dans le bruit.	Surtout analytique, quelques-unes globales.
The Listening Room (CLIX) Advanced Bionics	Ecoute interactive de mots et de phrases avec des exercices de discrimination et d'identification. Entraînement pour le téléphone et la musique disponibles.	Analytique et globale.
Musical Atmospheres Advanced Bionics	Programme interactif en ligne pour introduire des expériences musicales. De nouveaux genres musicaux sont explorés à travers 3 heures d'extraits répartis en niveaux de complexité croissante afin d'établir les bases d'une mémoire musicale.	Analytique et globale.

Tableau 1. Programmes d'entraînement auditif pour les adolescents et adultes implantés cochléaires.

Comme on peut le voir dans ce tableau, la plupart des programmes d'entraînement proposent des tâches de discrimination auditive avec des niveaux de difficulté croissante et certains

également des tâches de compréhension globale. Aucun d'entre eux n'est orienté vers la stimulation cognitive.

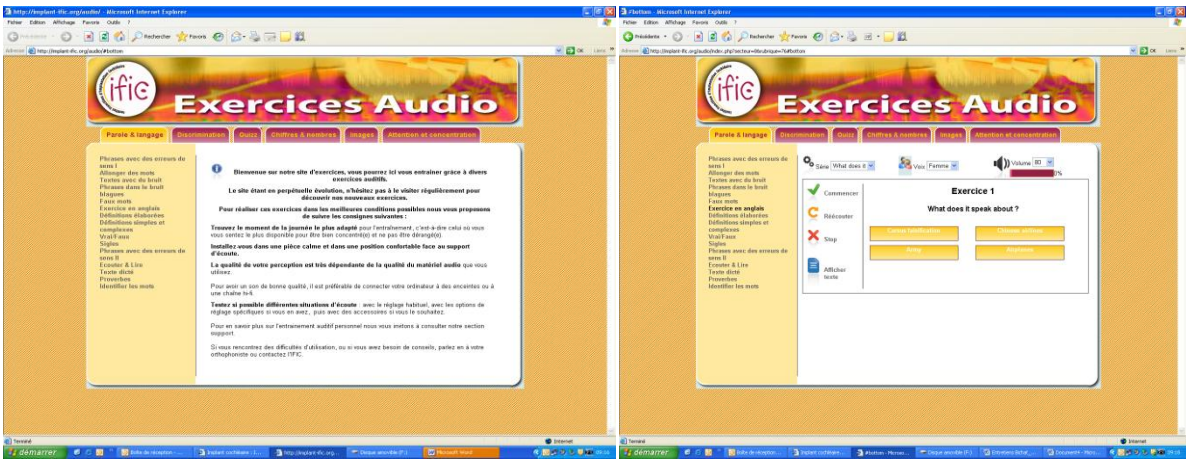
B. Entraînement en ligne

Un grand nombre de patients ayant utilisé les programmes d'entraînement sur Cd-Roms ont témoigné leur satisfaction ainsi que leur intérêt vis-à-vis de ces nouveaux supports de rééducation. Leur motivation, ainsi que l'accès de plus en plus facile aux nouvelles technologies sur Internet, ont induit une réflexion sur la possibilité de développer des programmes librement accessibles en ligne. De plus, tandis que l'utilisation d'un logiciel est souvent limitée à quelques sessions, l'entraînement en ligne peut être régulièrement actualisé avec de nouveaux exercices.

C'est la raison pour laquelle a été développé sur le site de l'IFIC (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire) qui est le lieu de suivi à long terme des patients implantés cochléaires, un espace d'aide à la réhabilitation auditive par l'entraînement auditif personnel à distance.

Il s'agit d'exercices accessibles gratuitement en ligne, répartis selon plusieurs thématiques et mis à jour chaque semaine par l'équipe d'orthophonistes. Dans chaque domaine d'intervention (Parole et langage, Discrimination de sons, Mémoire, Attention et concentration) les exercices proposés ont un format (quizz multiréponses, dictées, repérage d'erreurs, résolution de problèmes, etc …) et un niveau de difficulté variés. Pour chacun d'entre eux, le patient a la possibilité de régler le volume, de réécouter l'exercice et de voir ou non le texte. La consigne est toujours écrite et apparaît au début de l'exercice.

Enfin, l'espace du site dédié à l'entraînement est précédé d'une page d'informations concernant l'optimisation de l'environnement d'écoute pour l'entraînement à domicile afin de permettre au patient de se placer dans les meilleures conditions possibles. Ainsi, il s'agira de trouver le moment de la journée le plus adapté pour l'entraînement, c'est-à-dire celui où la concentration est optimale et où la personne ne sera pas dérangée. Nous conseillons également de s'installer dans une pièce calme et dans une position confortable, face au support d'écoute et d'utiliser des enceintes connectées aux sorties audio de l'ordinateur. Enfin, il est indiqué de tester différentes situations d'écoute : avec le réglage habituel des aides auditives ou de l'implant cochléaire, avec les options de réglage spécifiques et/ou avec des accessoires comme, par exemple, une boucle magnétique.



De plus, nous donnons des informations sur l'intérêt de compléter l'entraînement en utilisant des sites complémentaires dont, notamment, ceux qui proposent des livres enregistrés, des jeux de langage, l'apprentissage des langues étrangères ou les chaînes d'information de radio et de la télévision.

Des questionnaires de satisfaction ont été proposés aux patients et ont permis de constater que cet entraînement était le plus souvent fait avec plaisir et motivation, parfois avec l'orthophoniste au cours du suivi post-implant et plus généralement lorsque celui-ci était terminé.

V. Conclusion et perspectives

Les évolutions récentes des techniques de réhabilitation auditive des surdités sévères à profondes avec les implants cochléaires ainsi que des nouvelles technologies, parallèlement à l'intérêt des patients pour le développement de nouveaux supports a stimulé notre créativité.

Tandis que la rééducation auprès de l'orthophoniste de ville permet d'optimiser la réhabilitation avec des prothèses conventionnelles ou implantées, les nouveaux outils informatisés permettent de poursuivre la prise en charge en l'adaptant au profil auditivo-cognitif de chaque patient.

Ces programmes d'entraînement permettent également de développer des compétences plus fines comme la compréhension de la parole dans le bruit et dans d'autres langues ainsi que les capacités d'attention et de mémorisation.

Enfin, ils offrent la possibilité de bénéficier d'une prise en charge à des personnes ayant un accès limité aux soins soit en raison de l'éloignement géographique soit parce que leur autonomie est réduite.

Dans tous les cas, ces nouveaux outils favorisent la réhabilitation d'une perception auditive fonctionnelle pour la compréhension de la parole, permettent de préserver la communication et contribuent ainsi à l'amélioration de la qualité de vie des patients.

Références bibliographiques :

[1] Etude INSEE- Pays de la Loire, *Mieux connaître les personnes en situation de handicap* , Décembre 2002.

[2] Nimmons GL., Kang RS., Drennan WR., Longnion J., Ruffin C., Worman T., Yueh B., Pereira C. (2000). The perception of vocal affect by cochlear implantees. In: Waltzman SB, Cohen NL, Eds. Cochlear Implants. New York, NY: Thieme Medical., 343-345.

[3] Fu Q-J. and Galvin III J.J (2008). Maximizing Cochlear Implant Patients' Performance with Advanced Speech Training Procedures. *Hear Res*., 242(1-2): 198-208.

[4] Croisile B. (2009). *"Tout sur la mémoire*.", Editions Odile Jacob, Paris.

[5] Sanchez M.L., Nunes F.B., Barros F., Malavasi Ganança M., Caovilla H.H. (2008). Auditory Processing Assessment in older people with no report of hearing disability. *Rev Bras Otorrinolaringol*., 74(6):896-902.

[6] Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician". *Journal of psychiatric research* 12 (3): 189–98

[7] Belmin J, Pariel-Madjlessi S, Surun PN, et al. (2007). The cognitive disorders examination (Codex) is a reliable 3-minute test for the detection of dementia in the elderly (validation study on 323 subjects). *Presse medicale*, 36(9):1183-1190.

[8] Levanen S, Hamdorf D. (2001). Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans., *Neurosci Lett.,* 301(1):75-7.

[9] Lee HJ, Truy E, Mamou G, Sappey-Marinier D, Giraud AL. (2007). Visual speech circuits in profound acquired deafness: a possible role for latent multimodal connectivity. *Brain*, 130 (11):2929-41.

[10] Welch RB, Dutton Hurt LD, Warren DH. (1986). Contributions of audition and vision to temporal rate perception. *Percept Psychophys,*. 39(4):294-300.

[11] McGurk, H and MacDonald, J. (1976).Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588): 746–748.

[12] Rouger J., Lagleyre S., Fraysse B., Deneve S., Deguine O., Barone P.(2007). Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. *PNAS*, 104 (17): 7295-7300.

[13] Dumont A. (2002). *"Voir la parole",* Editions Masson, Paris.

[14] Dumont A. (1997). *"Implantations cochléaires : Guide pratique d'évaluation et de rééducation.",* L'Ortho-Edition, Paris.

[15] LAARA© , Logiciel Amplifon d'Aide à la Rééducation Auditive (2006).

[16] Olson AD and Tara B. (2011). Using Computerized Auditory Training Clinically for Adults With Cochlear Implants. *Audiologic Rehabilitation Resources on the ASHA Web site* (http://www.asha.org/aud/articles/auditory-training-adults-cochlear-implants)

[17] IFIC (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire) Site : http://www.implant-ific.org/exercices.html.

Annexe 6 :

Prise en charge orthophonique du patient presbyacousique : procédures d'évaluation et nouvelles orientations en rééducation.
Ambert-Dahan E., *La Revue Francophone de Gériatrie et de Gérontologie,* Mars 2013, Tome XX (n°193), pages 125-132.

Prise en charge orthophonique du patient presbyacousique : procédures d'évaluation et nouvelles orientations en rééducation*

E. AMBERT-DAHAN

ORTHOPHONISTE. SERVICE D'ORL DU PR. OLIVIER STERKERS.
HÔPITAL BEAUJON, AP-HP, 100, BD DU GÉNÉRAL LECLERC, 92110 CLICHY.

RÉSUMÉ/ABSTRACT

La déficience auditive est le handicap qui, en France, touche le plus de personnes avec une prévalence globale de 89,2 pour mille habitants, soit 8,7% de la population [1]. La surdité, sévère ou profonde, peut survenir à différents moments de la vie et, quelle que soit son étiologie, son impact sur les capacités de communication, les habiletés sociales, le comportement et la perception de soi est souvent considérable. Dans tous les cas, l'atteinte auditive est synonyme de privations sensorielles, linguistiques, cognitives et émotionnelles qui sont à l'origine d'un handicap de communication majeur. L'évaluation précoce de la déficience auditive est donc, à tout âge de la vie, la condition fondamentale d'une prise en charge optimale. Ainsi, le bilan de la surdité permettra de choisir la modalité de réhabilitation auditive la plus adaptée selon le type de déficience et l'association d'un entraînement auditif spécifique permettra d'améliorer significativement les performances des patients [3]. En effet, la rééducation orthophonique auprès d'un praticien(ne) optimise la réhabilitation auditive en facilitant l'acceptation et l'adaptation aux aides auditives ou à l'implant cochléaire ainsi que le développement de compétences auditives pour l'intégration de la parole. Cependant, un grand nombre de patients, satisfaits de leur réhabilitation auditive, souhaitent améliorer et préserver leurs performances auditives. Leur motivation, ainsi que l'essor des nouvelles technologies ont contribué au développement de programmes d'entraînement spécifiques sur de nouveaux supports (logiciels, sites Internet). Nous verrons quels sont ces nouveaux outils et de quelle manière ils contribuent à améliorer la réhabilitation de la perception auditive en cas de surdité sévère et profonde de l'adulte.

MOTS CLÉS : Surdité acquise – Réhabilitation auditive – Rééducation orthophonique – Stimulation auditivo-cognitive – Programmes d'entraînement.

AUDITORY REHABILITATION IN CASE OF PRESBYCUSIS: EVALUATION AND ADVANCED SPEECH TRAINING PROCEDURES.

Deafness is the most common handicap with a global prevalence of 89, 2 per thousand inhabitant, that is 8,7% of the population [1]. Severe or profound hearing loss can occur at different moment of life and, regardless the etiology, it has a considerable impact on communication abilities, social interactions, global behaviour and self perception. In every instance, the auditory deficiency leads to sensory, linguistic, cognitive and emotional deprivation and induces a major communication handicap. Then, an early evaluation of the hearing loss is, whatever the age of the patient, a crucial condition for an optimized rehabilitation. This evaluation will allow us to choose the best rehabilitation strategy according to the type of auditory deficiency in association with an auditory specific training program who will significantly enhance the patient's performances [3]. Indeed, the auditory stimulation with a speech therapist can optimize the auditory rehabilitation, making the hearing aids' or cochlear implant's adaptation easier and the development of auditory skills for the perception of speech. However, many patients are very satisfied with their auditory rehabilitation but they often wish to improve and preserve their auditory performances. Their motivation and the rapid development of new technologies on Internet led us to create computerized advanced training program for auditory and cognitive stimulation. We will describe these new resources and see how they can contribute to enhance auditory perception in case of severe to profound hearing loss.

KEYWORDS: Acquired hearing loss – Auditory training – Auditory-cognitive stimulation – Computerized advanced speech training resources.

INTRODUCTION

La déficience auditive est le handicap qui, en France, touche le plus de personnes avec une prévalence globale de 89,2 pour mille habitants soit 8,7% de la population. Parmi ceux-ci, 28% sont atteintes de surdité moyenne à sévère et 6% de surdité profonde [1].

De plus, la presbyacousie, c'est-à-dire l'altération des facultés d'audition liée à l'âge, est la cause la plus fréquente de surdité chez l'adulte de plus de 50 ans et, dans la plupart des pays industrialisés, environ 2/3 des adultes de plus de 50 ans estiment ne pas entendre correctement et rencontrer d'importantes difficultés de compréhension dans les conversations.

*Article issu d'une communication faite lors du 11e Congrès National des Professionnels de la Gériatrie

Quelle que soit son étiologie, la surdité entraîne une altération majeure des capacités de communication et des habiletés sociales ainsi qu'une modification du comportement, une tendance à l'isolement et souvent une perte de l'estime de soi pouvant conduire à des troubles psychologiques sévères.

Dans tous les cas, l'atteinte auditive est synonyme de privations sensorielles, linguistiques, cognitives et émotionnelles qui sont à l'origine d'un handicap de communication majeur.

Par ailleurs, l'augmentation régulière de l'espérance de vie calculée à 60 ans, de 26,9 ans pour les femmes et 21,9 ans pour les hommes, place le traitement de la déficience auditive au centre d'un enjeu de santé publique majeur. En effet, l'allongement de la durée moyenne de vie et l'existence de pathologies qui y sont liées impliquent d'envisager sous un nouvel angle la définition de la santé donnée par l'OMS en 1946, selon laquelle « La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. ». Préserver l'intégrité des fonctions perceptives chez les personnes de plus de 60 ans est donc nécessaire pour préserver une autonomie et une qualité de vie satisfaisantes.

Par conséquent, l'évaluation précoce de la déficience auditive est, à tout âge de la vie, la condition fondamentale d'une prise en charge optimale. Le bilan de la surdité permettra donc de choisir la modalité de réhabilitation auditive la plus adaptée selon le type de déficience. Il pourra s'agit de prothèses auditives conventionnelles et/ou de prothèses implantées, implant d'oreille moyenne ou implant cochléaire. Ainsi, les évolutions technologiques récentes dans le domaine des implants cochléaires ainsi que l'évolution des indications d'implantation aux surdités sévères à profondes permettent à une majorité de patients d'avoir un bénéfice élevé pour la compréhension de la parole dans le calme [2]. Certains d'entre eux peuvent également suivre une conversation en milieu bruyant et au téléphone ainsi que retrouver du plaisir dans l'écoute de la musique. Cependant, l'association en parallèle d'un entraînement auditif spécifique et de l'optimisation régulière des réglages (adaptation de la stratégie de codage du processeur vocal, modification de la vitesse de stimulation, de la répartition fréquentielle, etc...) améliore significativement les performances des patients implantés cochléaires [3].

De cette manière, la rééducation orthophonique post-implant auprès d'un praticien (ne) est indispensable pour optimiser la réhabilitation auditive. Notre expérience clinique nous montre qu'il en est de même avec les prothèses auditives conventionnelles, le suivi orthophonique facilitant l'acceptation et l'adaptation prothétique ainsi que le développement de compétences auditivo-cognitives pour l'intégration des sons verbaux.

Cependant, nombre de nos patients, satisfaits du bénéfice auditif avec des prothèses conventionnelles ou l'implant cochléaire sont très motivés et désireux d'améliorer et de préserver leurs performances auditives. Qu'ils aient une activité professionnelle ou de nombreuses activités comme la plupart des personnes retraitées, qu'ils aient facilement accès à un suivi orthophonique en ville ou qu'ils soient isolés sans accès aux soins, nombre d'entre eux souhaitent être acteurs de leur réhabilitation auditive. C'est pourquoi, de nouveaux outils de rééducation ont été créés au cours de ces dernières années parallèlement au développement de nouveaux supports via les technologies numériques.

De cette manière, nous verrons d'abord comment l'évaluation orthophonique précoce des troubles de l'audition et de la communication contribue à déterminer le choix du mode de réhabilitation puis les principes essentiels de la rééducation orthophonique auditivo-cognitive associée.

Nous verrons ensuite quels sont les nouveaux outils de rééducation, leur contenu et de quelle manière ils contribuent à améliorer la réhabilitation de la perception auditive en cas de surdité sévère et profonde de l'adulte.

L'ÉVALUATION DES SURDITÉS SÉVÈRES ET PROFONDES DE L'ADULTE

Nous devons tout d'abord rappeler que si la consultation chez le médecin ORL est le plus souvent motivée par des difficultés de compréhension de la parole dans le bruit, au téléphone et à la télévision, plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur la décision de consulter. Ainsi, le délai entre l'apparition de la perte puis de la gêne auditives et l'évaluation est très variable. Il peut dépendre de l'étiologie de la surdité (génétique, ototoxique, traumatique ou infectieuse), du mode de survenue (progressive ou brusque), du mode de vie (activité professionnelle ou non, retraite, vie sociale développée ou non), de facteurs psychologiques (acceptation du handicap, troubles de l'humeur ou de la personnalité associés) et de l'existence d'antécédents familiaux de surdité. Ainsi, on pourra observer dans notre pratique clinique que des personnes atteintes de surdité sévère à profonde, d'apparition progressive, peuvent tarder à consulter malgré la gêne importante ressentie au quotidien dans leur vie personnelle et professionnelle. Etant souvent confrontées à des situations de communication complexes dans leur vie familiale (échanges dans le bruit ou à distance, réunions familiales, etc...) et dans leur activité professionnelle (réunions, conférences téléphoniques, utilisation d'autres langues, etc...), ces personnes doivent développer des stratégies compensatoires pour comprendre la parole. De cette manière, la compensation par la modalité visuelle permet le plus souvent la mise en place d'une lecture labiale fonctionnelle.

Dans certains cas, notons que la demande d'évaluation de la surdité peut également être liée à l'existence de difficultés cognitives objectivées par le patient ou son entourage. En effet, si la surdité peut induire des dysfonctionnements dans les échanges verbaux comme des chevauchements de paroles ou des énoncés réduits et limités à un lexique concret, elle peut aussi être associée à une altération des fonctions cognitives. Cela peut en effet être le cas en présence de troubles centraux associés [4] ou de pathologies dégénératives de type maladie d'Alzheimer. La déficience auditive pourra alors s'accompagner de difficultés attentionnelles et mnésiques ainsi que de troubles de la compréhension ou du raisonnement. De même, les systèmes de mémoire peuvent être atteints au niveau de la mémoire de travail, de la mémoire épisodique ou même prospective.

Par conséquent, l'évaluation orthophonique est un élément indispensable du bilan de surdité qui est constitué par l'examen clinique O.R.L et les bilans audiométrique, vestibulaire, psychologique et neuropsychologique. Ce bilan permet d'avoir une évaluation quantitative et qualitative précises des troubles auditifs et cognitifs [5].

Le premier objectif du bilan orthophonique est le recueil d'informations relatives à la période et au mode de survenue de la surdité ainsi qu'aux modalités d'appareillage s'il y en a déjà un.

Au cours de l'entretien, il s'agira aussi d'évaluer la plainte du patient à travers l'évocation de sa gêne auditive et d'en faire le rapport afin de définir la demande

De plus, l'observation du comportement général (du retrait à l'envahissement) et des stratégies d'adaptation au handicap (la lecture labiale) est importante car elle rend compte de la plasticité cérébrale. Très sollicitée en cas de déficience auditive, elle l'est également lors de la réhabilitation avec des prothèses conventionnelles ou implantées et l'on sait aussi qu'elle est présente tout au long de la vie [4].

Une évaluation quantitative des capacités auditives au moyen de listes de mots monosyllabiques (Lafon), de mots dissyllabiques (Fournier) ainsi que de listes ouvertes de phrases dans le silence et le bruit permet de compléter les données audiométriques. L'intérêt de ces tests est qu'ils rendent compte des performances auditives en situation de communication facilitée, c'est-à-dire en voix directe, avec une possibilité de répétition et un débit de parole plus lent qu'en cabine. Il est donc intéressant de comparer les scores dans les deux situations, notamment lorsque le comportement adaptatif de l'examinateur ne suffit pas à améliorer les performances du patient.

Ces tests de compréhension sont réalisés dans différentes conditions : en audition seule, avec les aides auditives, avec l'audition ou les aides auditives plus la lecture labiale puis en lecture labiale seule.

Par ailleurs, l'observation globale des processus d'attention et de mémorisation au cours du bilan nous permet de définir peu à peu le profil auditivo-cognitif du patient et donc de déterminer la nécessité d'associer des tests plus spécifiques en cas de suspicion d'altération des fonctions cognitives.

On s'intéressera donc plus particulièrement à l'attention, fonction cognitive de base impliquée dans toutes les activités quotidiennes regroupant un ensemble de notions plus spécifiques qui sont l'alerte et la vigilance ainsi que l'attention soutenue, partagée et sélective.

De même, on observera les fonctions exécutives dont le rôle est de contrôler, intégrer et organiser les autres habiletés cognitives, notamment la mémoire et l'attention, afin de faciliter l'adaptation aux situations nouvelles ou complexes [4]. Ces fonctions sont importantes car elles permettent également de formuler des buts et des plans d'action, d'en identifier les conséquences à terme et les diverses alternatives ainsi que d'inhiber des informations distractives.

On s'intéressera particulièrement aux capacités de mise à jour, à la flexibilité mentale et à l'attention divisée qui sont impliquées dans l'intégration de la parole et sont très sollicitées en cas de perte auditive.

Ainsi le Mini Mental State (MMSE) [6] ou le CODEX [7] sont des tests rapides qui donnent une première approche de l'altération des fonctions cognitives et peuvent induire un bilan gériatrique et neuropsychologique en cas de suspicion de démence.

Enfin, il est important d'évaluer le niveau de langage dans ses aspects morphologiques et pragmatiques ainsi que le niveau socio-culturel, les centres d'intérêt et l'appétence du sujet pour les activités linguistiques, ceux-ci pouvant être des points d'ancrage pour la rééducation des troubles cognitifs

Le contrôle vocal (intensité, timbre et débit) sera également analysé car il témoigne de la fonctionnalité de la boucle audio-phonatoire et peut donc, dans une certaine mesure, être un indicateur de l'efficacité du contrôle cognitif.

LA RÉHABILITATION AUDITIVO-COGNITIVE AVEC L'ORTHOPHONISTE

La réhabilitation auditive de l'adulte présentant une surdité acquise sévère ou profonde repose sur une triade constituée de l'optimisation de la perception auditive avec des prothèses conventionnelles ou implantées, l'apprentissage de la lecture labiale et la rééducation auditivo-cognitive.

LA LECTURE LABIALE

Intérêt

En cas de surdité acquise, la lecture labiale devient le mode de communication privilégié pour maintenir la communication verbale. En effet, la perte ou l'altération d'une modalité sensorielle entraîne des remaniements corticaux importants au profit des modalités intactes [8]. Les résultats d'une récente étude en imagerie cérébrale fonctionnelle [9] ont mis en évidence des réponses plus importantes dans les régions

spécialisées dans le traitement auditif du langage (gyrus temporal et sillon temporal supérieurs gauches) chez les participants atteints de surdité acquise que chez les normo-entendants, lors de la présentation de visages dynamiques. Ainsi, des régions traitant habituellement des informations auditives se mettent à analyser des données visuelles contenant des informations verbales et ce, de manière précoce, dès quatre mois après la survenue de la surdité.

Dans le cas de la réhabilitation auditive avec un implant cochléaire on peut se poser la question de l'impact de la restauration de la perception auditive sur le traitement de l'information visuelle verbale. Ainsi, malgré la séparation des voies sensorielles auditive et visuelle allant des récepteurs jusqu'aux centres de traitement corticaux, on sait que l'intégration simultanée de signaux auditifs et visuels améliore qualitativement la perception par rapport à un stimulus perçu de manière unisensorielle [10].

De plus, il est bien connu que l'intégration multisensorielle est également impliquée dans les processus de reconnaissance de la parole comme le montre l'effet McGurk [11] qui a mis en évidence l'influence de l'information visuelle contenue dans les mouvements des lèvres sur la perception auditive en cas de discordance entre les signaux de parole auditif et visuel.

Ainsi, bien que les normo-entendants ne soient généralement pas conscients de la pertinence des indices visuels pour le traitement de la parole, il apparaît évident que la perception audiovisuelle améliore significativement la compréhension dans des environnements bruyants [12].

Dans une récente étude [12], ces compétences ont été analysées à travers l'évolution longitudinale post-implantation des performances de reconnaissance de mots dans une population de patients implantés cochléaires, en condition unisensorielle (visuelle ou auditive) et bisensorielle (visuo-auditive). Les résultats de cette étude ont d'abord permis de confirmer que la surdité entraînait le développement de compétences en lecture labiale mais également leur préservation au cours du temps, même lorsque les patients implantés atteignaient un niveau de perception auditive optimal avec l'implant.

De plus, il semble que ces derniers développent des compétences d'intégration des informations visuelles et auditives spécifiques leur permettant d'optimiser l'utilisation des indices spatio-temporels délivrés par les mouvements des lèvres et du visage.

Ces observations suggèrent l'existence d'une plasticité cérébrale dans le réseau cortical du traitement de la parole et confirment l'importance de la lecture labiale, justement renommée *perception audiovisuelle de la parole* [13].

Les axes d'intervention

Il existe différentes *méthodes* pour l'apprentissage de la lecture labiale et nous aborderons ici les principaux axes d'intervention selon une approche à la fois globale et analytique.

L'apprentissage est souvent initialisé par la prise de conscience de l'existence d'images labiales en observant l'interlocuteur (l'orthophoniste) et par l'identification de ces images sur soi (le patient). Cette première étape, très analytique, est associée à des schémas permettant d'expliquer le système vocalique et consonantique. Elle est rapidement complétée par une approche plus globale permettant de développer la reconnaissance des sons de parole, les phonèmes, dans un contexte verbal qui peut varier. Il s'agira alors de travailler la compréhension de mots de différentes longueurs (mono, di ou trissyllabiques) et de phrases en liste fermée puis ouverte.

De plus, l'apprentissage de la lecture labiale implique de stimuler des fonctions cognitives directement impliquées dans le traitement de la parole, comme l'attention et la mémorisation (mémoire de travail). Il nécessite également de prendre en compte la dimension pragmatique du langage qui correspond à son utilisation dans les situations concrètes de la vie quotidienne. On pourra ainsi développer la richesse et la disponibilité lexicales ainsi que la flexibilité au changement de fond et de forme du discours au cours de l'échange.

L'objectif global est de préserver la communication et la spontanéité de l'échange verbal dans une approche écologique adaptée au mode de vie du patient. Nous verrons plus loin qu'il existe de nouveaux supports pour l'apprentissage de la lecture labiale.

LA RÉÉDUCATION AUDITIVO-COGNITIVE

De même, la rééducation auditive est multidimensionnelle puisqu'elle a pour objectif de restaurer des capacités auditives et cognitives pour le traitement de la parole grâce au développement de modes de compensation mettant en jeu la plasticité cérébrale.

Dans cette perspective, nous avons développé à l'hôpital Beaujon, dans le service d'ORL du Pr Sterkers, un programme d'entraînement auditivo-cognitif spécifique. Les axes essentiels de cet entraînement sont d'une part l'amélioration de la discrimination des sons de la parole au niveau phonologique et segmental et d'autre part le développement des habiletés cognitives impliquées dans le traitement du message verbal comme la compétence sémantique, l'attention audiovisuelle, les capacités d'anticipation par le contexte et de déduction [14]. Chacun de ces axes de rééducation permettra également d'entraîner la mémoire à court terme, la mémoire sensorielle, sémantique, la flexibilité mentale et le contrôle cognitif potentiellement altérés dans les troubles centraux. Selon le degré d'atteinte, on intégrera aussi la mémoire à long terme, procédurale et épisodique.

Enfin, l'objectif étant de préserver les habiletés de communication de façon « écologique » par rapport →

à l'environnement dans lequel évolue le patient, la dimension pragmatique du langage doit être développée au travers d'exercices portant sur la richesse et la disponibilité lexicales, le respect des règles et la flexibilité au cours de l'échange verbal, l'organisation et la cohérence du discours.

De même, on cherchera à faire prendre conscience des obstacles à la communication et à développer des stratégies de compensation, notamment pour le traitement de la parole dans les scènes auditives complexes, en milieu bruyant ou en présence de plusieurs interlocuteurs, sachant qu'en plus des difficultés de démasquage de la parole dans le bruit, l'attention partagée et sélective peuvent être altérées. Il est donc fondamental d'évaluer la perte auditive et l'atteinte cognitive le plus précocement possible afin de mettre en place une prise en charge orthophonique auditivo-cognitive.

Cette rééducation doit être adaptée au « profil auditif et cognitif » de chaque patient et orientée vers la préservation des habiletés de communication par le développement de stratégies de compensation multimodales.

NOUVEAUX OUTILS DE RÉÉDUCATION

Les performances auditives obtenues par les patients atteints de surdité acquise sévère à profonde ayant bénéficié d'une réhabilitation au moyen de prothèses conventionnelles ou implantées, la volonté d'améliorer ces performances et le souci d'autonomisation des patients sont autant de raisons qui ont incité certains cliniciens à développer de nouveaux outils de rééducation.

LOGICIELS

LAARA©, Logiciel Amplifon d'Aide à la Rééducation Auditive [15]

Il s'agit d'un support informatique élaboré par des orthophonistes à partir de leur expérience avec des patients sourds sévères et profonds, porteurs d'aides auditives conventionnelles ou d'un implant cochléaire.

Le programme d'entraînement auditif LAARA© a pour objectifs de faciliter l'adaptation aux prothèses ou à l'implant cochléaire et d'optimiser leur utilisation par un entraînement régulier à domicile. Il a été conçu pour compléter la prise en charge orthophonique et la poursuivre en proposant un entraînement personnalisé qui associe autonomie, libre choix des exercices et aspect ludique.

Il s'agit donc d'un programme d'entraînement auditif spécifique, qui vise à développer le traitement analytique et global des sons verbaux. Cet entraînement a pour objectif d'améliorer la compréhension de la parole en favorisant le développement de stratégies de compensation par la stimulation de processus cognitifs impliqués dans le traitement du message verbal. Ainsi, il facilite la participation des suppléances mentales par la mise en jeu de la compétence sémantique, de l'attention auditivo-visuelle, des capacités d'anticipation par le contexte et de raisonnement, de la concentration et de la mémoire de travail.

Ce logiciel, qui se présente sous la forme d'un CD-ROM accompagné d'un guide d'utilisation décrivant les fonctionnalités de tous les exercices proposés, est composé de 2 modules : Voix et Parole et Mémoire et Langage.

Chacun des deux modules comprend plusieurs exercices de difficulté croissante avec la possibilité pour l'utilisateur de choisir le locuteur (voix féminine, masculine ou aléatoire), d'interrompre, reprendre, réécouter les questions et les réponses ainsi que connaître son temps de réponse pour certains exercices chronométrés et son score pour chaque session.

De cette manière, le logiciel LAARA© s'adresse à tous les patients déficients auditifs sévères à profonds appareillés avec des aides auditives conventionnelles ou implantés cochléaires qui désirent entraîner leurs compétences tant sur le plan de la parole et du langage que sur le plan cognitif.

Il peut également être utilisé par des personnes atteintes de presbyacousie, avec ou sans troubles ou déficits cognitifs associés avec, si nécessaire, l'intervention d'une tierce personne si le support informatique n'est pas maîtrisé.

Enfin, dans certains cas, il pourrait être destiné, avec l'aide des parents, à des enfants déficients auditifs afin d'améliorer l'adaptation prothétique en leur proposant les exercices du module Voix et Parole.

LAARA© permet ainsi de retravailler seul, à son rythme et selon son envie, des exercices complémentaires à ceux proposés au cours de la rééducation avec l'orthophoniste. Cependant, il ne se substitue en aucun cas aux séances d'orthophonie.

LECTURE LABIALE (Gerip, 2011)

Ce logiciel est un entraînement à la lecture labiale destiné à l'adulte devenu sourd. L'objectif est de proposer, sur un mode ludique et interactif (vidéo), un programme reflétant les conversations et les situations de la vie courante.

La méthode suit une progression rigoureuse et efficace qui respecte les différentes étapes de la mémorisation des images labiales : voyelles / consonnes / syllabes / mots / noms propres / phrases / expressions / saynettes. C'est un programme dynamique, d'utilisation facile et pratique.

LABIOROM - Entraînement à la lecture labiale (Mot à mot, 2005)

Cet outil propose des exercices variés avec plus de 250 extraits vidéo présentant des mots isolés, des phrases et des dialogues pour s'entraîner à la lecture labiale.

Programmes d'entraînement auditif élaborés par les fabricants d'implants cochléaires

Dans de nombreux pays, notamment en Amérique du Nord, l'accès à la rééducation auditivo-cogni-

VLOGICIEL	TYPE D'ENTRAÎNEMENT	TYPE DE TÂCHE
Seeing and Hearing Speech *Sensimetrics*	Voyelles, consonnes, accentuation, intonation, longueur des mots et communication quotidienne.	Analytique et globale
Sound and Way Beyond *Cochlear Americas*	Entraînement interactif pour la reconnaissance de voyelles, consonnes, phrases, la compréhension au téléphone et la musique.	Analytique et globale
SoundScape *Med-El*	Phases avec possibilité de modifier le bruit de fond, le débit de parole et le genre du locuteur. Possibilité d'entraînement au téléphone. Scores à la fin de chaque session.	Globale
Speech Perception Assessment and Training System (SPATS) *Communication Disorders Technology*	Entraînement syllabique utilisant 100 des sons les plus fréquents pour la compréhension de la parole. Phrases avec différents locuteurs disponibles dans le calme et dans le bruit.	Surtout analytique, quelques-unes globales
The Listening Room (CLIX) *Advanced Bionics*	Écoute interactive de mots et de phrases avec des exercices de discrimination et d'identification. Entraînement pour le téléphone et la musique disponibles.	Analytique et globale
Musical Atmospheres *Advanced Bionics*	Programme interactif en ligne pour introduire des expériences musicales. De nouveaux genres musicaux sont explorés à travers 3 heures d'extraits répartis en niveaux de complexité croissante afin d'établir les bases d'une mémoire musicale.	Analytique et globale

Tableau 1.

tive en cas d'appareillage avec des prothèses conventionnelles ou après une implantation cochléaire est très limité en raison de l'absence de prise en charge financière par l'équivalent de l'assurance maladie *(Medicaid et Medicare)*. Pour pallier ce manque, des cliniciens et des chercheurs ont travaillé conjointement au développement de programmes d'entraînement auditif informatisés avec le soutien des fabricants d'implants cochléaires [16]. Le tableau 1 résume ces différents programmes.

Comme on peut le voir dans ce tableau, la plupart des programmes d'entraînement proposent des tâches de discrimination auditive avec des niveaux de difficulté croissante et certains également des tâches de compréhension globale. Aucun d'entre eux n'est orienté vers la stimulation cognitive.

ENTRAÎNEMENT EN LIGNE

Un grand nombre de patients ayant utilisé les programmes d'entraînement sur Cd-Roms ont témoigné leur satisfaction ainsi que leur intérêt vis-à-vis de ces nouveaux supports de rééducation. Leur motivation, ainsi que l'accès de plus en plus facile aux nouvelles technologies sur Internet, ont induit une réflexion sur la possibilité de développer des programmes librement accessibles en ligne. De plus, tandis que l'utilisation d'un logiciel est souvent limitée à quelques sessions, l'entraînement en ligne peut être régulièrement actualisé avec de nouveaux exercices.

C'est la raison pour laquelle a été développé sur le site de l'IFIC (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire) qui est le lieu de suivi à long terme des patients implantés cochléaires, un espace d'aide à la réhabilitation auditive par l'entraînement auditif personnel à distance.

Il s'agit d'exercices accessibles gratuitement en ligne, répartis selon plusieurs thématiques et mis à jour chaque semaine par l'équipe d'orthophonistes. Dans chaque domaine d'intervention (Parole et langage, Discrimination de sons, Mémoire, Attention et concentration) les exercices proposés ont un format (quizz multiréponses, dictées, repérage d'erreurs, résolution de problèmes, etc...) et un niveau de difficulté variés. Pour chacun d'entre eux, le patient a la possibilité de régler le volume, de réécouter l'exercice et de voir ou non le texte. La consigne est toujours écrite et apparaît au début de l'exercice.

Enfin, l'espace du site dédié à l'entraînement est précédé d'une page d'informations concernant l'optimisation de l'environnement d'écoute pour l'entraînement à domicile afin de permettre au patient de se placer dans les meilleures conditions possibles. Ainsi, il s'agira de trouver le moment de la journée le plus adapté pour l'entraînement, c'est-à-dire celui où la concentration est optimale et où la personne ne sera pas dérangée. Nous conseillons également de s'installer dans une pièce calme et dans une position confortable, face au support d'écoute et d'utiliser des enceintes connectées aux sorties audio de l'ordinateur. Enfin, il est indiqué de tester différentes situations d'écoute : avec le réglage habituel des aides auditives ou de l'implant cochléaire, avec les options de réglage spécifiques et/ou avec des accessoires comme, par exemple, une boucle magnétique. (Figure 1 et 2)

De plus, nous donnons des informations sur l'intérêt de compléter l'entraînement en utilisant des sites →

complémentaires dont, notamment, ceux qui proposent des livres enregistrés, des jeux de langage, l'apprentissage des langues étrangères ou les chaînes d'information de radio et de la télévision.

Des questionnaires de satisfaction ont été proposés aux patients et ont permis de constater que cet entraînement était le plus souvent fait avec plaisir et motivation, parfois avec l'orthophoniste au cours du suivi post-implant et plus généralement lorsque celui-ci était terminé.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les évolutions récentes des techniques de réhabilitation auditive des surdités sévères à profondes avec les implants cochléaires ainsi que des nouvelles technologies, parallèlement à l'intérêt des patients pour le développement de nouveaux supports a stimulé notre créativité.

Tandis que la rééducation auprès de l'orthophoniste de ville permet d'optimiser la réhabilitation avec des prothèses conventionnelles ou implantées, les nouveaux outils informatisés permettent de poursuivre la prise en charge en l'adaptant au profil auditivo-cognitif de chaque patient.

Ces programmes d'entraînement permettent également de développer des compétences plus fines comme la compréhension de la parole dans le bruit et dans d'autres langues ainsi que les capacités d'attention et de mémorisation.

Enfin, ils offrent la possibilité de bénéficier d'une prise en charge à des personnes ayant un accès limité aux soins soit en raison de l'éloignement géographique soit parce que leur autonomie est réduite.

Dans tous les cas, ces nouveaux outils favorisent la réhabilitation d'une perception auditive fonctionnelle pour la compréhension de la parole, permettent de préserver la communication et contribuent ainsi à l'amélioration de la qualité de vie des patients. ■

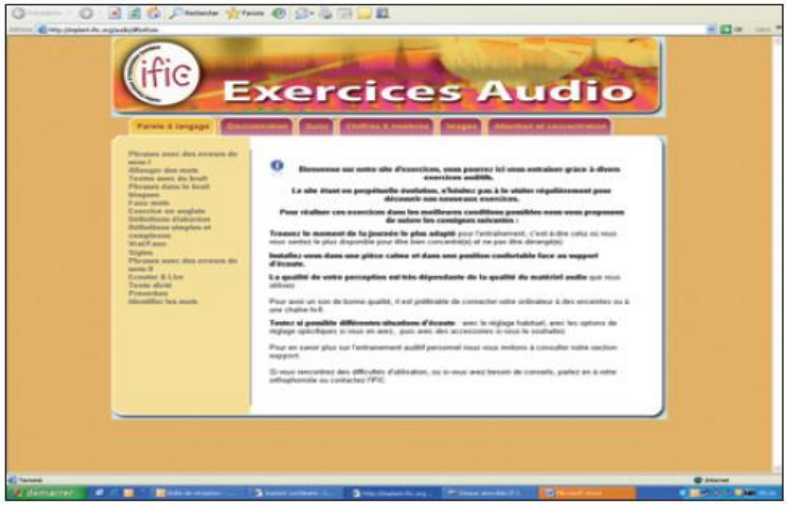


Figure 1.

Figure 2.

RÉFÉRENCES

[1] Étude INSEE- Pays de la Loire, Mieux connaître les personnes en situation de handicap, Décembre 2002.

[2] **NIMMONS GL, KANG RS, DRENNAN WR, LONGNION J, RUFFIN C, WORMAN T, YUEH B, PEREIRA C.** The perception of vocal affect by cochlear implantees. In: Waltzman SB, Cohen NL, Eds. Cochlear Implants. New York, NY: Thieme Medical., 2000 : 343-345.

[3] **FU QJ, GALVIN III JJ.** Maximizing Cochlear Implant Patients' Performance with Advanced Speech Training Procedures. *Hear Res*, 2008; 242(1-2): 198-208.

[4] **CROISILE B.** "Tout sur la mémoire", 2009; Editions Odile Jacob, Paris.

[5] **SANCHEZ ML, NUNES FB, BARROS F, MALAVASI GANANÇA M, CAOVILLA HH.** Auditory Processing Assessment in older people with no report of hearing disability. *Rev Bras Otorrinolaringol*, 2008; 74(6): 896-902.

[6] **FOLSTEIN MF, FOLSTEIN SE, MCHUGH PR.** "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician". *Journal of psychiatric research*, 1975; 12(3): 189-98.

[7] **BELMIN J, PARIEL-MADJLESSI S, SURUN PN, *et al.*** The cognitive disorders examination (Codex) is a reliable 3-minute test for the detection of dementia in the elderly (validation study on 323 subjects). *Presse medicale*, 2007; 36(9): 1183-1190.

[8] **LEVANEN S, HAMDORF D.** Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neurosci Lett*, 2001; 301(1): 75-7.

[9] **LEE HJ, TRUY E, MAMOU G, SAPPEY-MARINIER D, GIRAUD AL.** Visual speech circuits in profound acquired deafness: a possible role for latent multimodal connectivity. *Brain*, 2007; 130(11): 2929-41.

[10] **WELCH RB, DUTTON HURT LD, WARREN DH.** (1986). Contributions of audition and vision to temporal rate perception. *Percept Psychophys*, 1986; 39(4):294-300.

[11] **MCGURK H, MACDONALD J.** Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 1976; 264(5588): 746–748.

[12] **ROUGER J, LAGLEYRE S, FRAYSSE B, DENEVE S, DEGUINE O, BARONE P.** Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. *PNAS*, 2007; 104(17): 7295-7300.

[13] **DUMONT A.** "Voir la parole", 2002; Editions Masson, Paris.

[14] **DUMONT A.** "Implantations cochléaires : Guide pratique d'évaluation et de rééducation", 1997; L'Ortho-Edition, Paris.

[15] **LAARA®.** Logiciel Amplifon d'Aide à la Rééducation Auditive. 2006.

[16] **OLSON AD, TARA B.** Using Computerized Auditory Training Clinically for Adults With Cochlear Implants. 2011; Audiologic Rehabilitation Resources on the ASHA Web site (http://www.asha.org/aud/articles/auditory-training-adults-cochlear-implants).

[17] **IFIC** (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire). Site : http://www.implant-ific.org/exercices.html

Conflits d'intérêt : L'auteur ne déclare aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.