



UNIVERSITÉ DE NANTES

Unité de Formation et de Recherche de Médecine et des Techniques Médicales

Année Universitaire 2019-2020

Mémoire

Pour l'obtention du

Certificat de Capacité en Orthophonie

**Education auditive avec implant cochléaire chez
l'adulte sourd post-lingual :
Création d'une application mobile d'auto-
entraînement musical**

Présenté par *Zélie PIGNON*

Née le 10/06/1995

Président du Jury : Madame PRUDHON Emmanuelle – Codirectrice du C.F.U.O de Nantes, orthophoniste, Chargée de cours

Directeur du Mémoire : Madame DEFAY Virginie – Orthophoniste, CHU de Nantes, Chargée de cours

Codirecteur du Mémoire : Madame FIOLEAU Lydie – Orthophoniste, CHU de Nantes, Chargée de cours

Membre du jury : Docteur MICHEL Guillaume – Praticien hospitalier, Chirurgien ORL, CHU de Nantes, Chargé de cours

Remerciements

Ce travail est le fruit de l'implication et de la passion de nombreuses personnes que je tiens à remercier sincèrement. Un immense merci à :

Virginie Defay, directrice de mémoire et maîtresse de stage, pour avoir fait preuve d'un grand enthousiasme naturel dès notre première rencontre. Merci de m'avoir accompagnée et conseillée d'une main de maître avec intérêt, énergie, précision et sympathie.

Lydie Fioleau, co-directrice de mémoire, pour nous avoir rejoint sans hésiter. Merci pour ta bienveillance, ta motivation et ton incitation à avoir confiance en mes idées.

Docteur Michel et Madame Prudhon pour avoir accepté d'être membres de mon jury.

Toutes les personnes qui ont participé et contribué à l'aboutissement de ce projet, ce fût pour moi un réel bonheur de travailler ensemble : les musiciens et amis, les informaticiens, les orthophonistes, les professionnels du service ORL de Nantes, les personnes sourdes et leurs familles.

Chacune de mes maîtresses de stages, pour m'avoir transmis la passion, des connaissances et la confiance, afin de pouvoir vous rejoindre dans l'exercice. Un merci particulier à Lorraine, Elodie, Annick et Virginie qui m'ont accompagnée cette année.

La promotion 2020, ces cinq années tumultueuses furent un délicieux plaisir à vos côtés !

Les Pépouzes, leur folie, leur motivation de tous les jours, leur amitié et les villas. On se retrouvera toujours (même en auto-stop !).

Julia, Marion et Lisa, quand les harmonies inopinées deviennent indispensables. Car *Moi tout me va*, si c'est avec vous.

Mes nombreux colocataires durant ces sept dernières années qui m'ont suivie et soutenue dans ce parcours haut en couleurs et qui ont rendu mon quotidien extra-ordinaire. Merci pour votre amitié.

Mes amis et proches d'ici et d'ailleurs, qui embellissent ma vie. Les aventures se poursuivent, que nos amitiés soient scellées par la musique, les voyages ou les projets.

Ma famille, en particulier mes parents, Théophile, Benjamin, Gabrielle et Eloi, qui n'ont cessé de me supporter, de m'encourager et de m'aimer. Merci de faire de la ferme ce havre de paix certain, ressourçant et inspirant. Cet aboutissement est le nôtre !

Benjamin mon frère, pour ton talent et notre passion partagée de la musique. Comme l'illustre ce projet, tu m'aides à rêver et à concrétiser. A toi, à nous de *jouer* !

Antoine, pour ton indéfectible soutien, ton optimisme, ta participation généreuse et pertinente, ton implication dans ce projet et dans tous les autres. Que le voyage continue !

Engagement de non-plagiat

« Par délibération du Conseil en date du 7 Mars 1962, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation ».

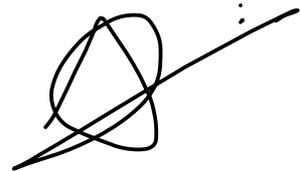
Engagement de non-plagiat

Je, soussigné(e) **Zélie Pignon** déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes ses formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à : Nantes

Le : 12/05/20

Signature :

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop followed by a long horizontal stroke extending to the right.

« La musique est le plaisir que ressent l'esprit humain de compter sans s'apercevoir qu'il compte. »

Gottfried Wilhelm von Leibniz, 1712.

Table des matières

Introduction	1
Partie théorique.....	3
1. Généralités sur l'implant cochléaire.....	3
1.1. Fonctionnement, description du mécanisme de l'IC	3
1.1.1. Rappel sur le système auditif.....	3
1.1.2. Description du mécanisme de l'implant	3
1.1.3. Recommandations	4
1.2. Perception sonore avec l'IC.....	5
1.2.1. Les apports d'une audition retrouvée	5
1.2.2. Les limites de l'audition avec l'implant	7
1.2.3. Une grande variabilité interindividuelle des résultats	8
2. La musique	9
2.1. Définitions et illustrations des paramètres musicaux	9
2.1.1. L'intensité ou la sonie	9
2.1.2. La hauteur tonale, fréquence fondamentale et tessiture.....	9
2.1.3. Timbre	10
2.1.4. Durée, rythme et tempo	11
2.1.5. Emotion	11
2.2. Les vertus de la musique sur le cerveau	12
2.2.1. Des effets physiologiques à la plasticité cérébrale	12
2.2.2. Effets de l'émotion musicale au sein du cerveau	14
2.2.3. Compétences transversales : motricité, mémoire, perception, cognition	15
2.2.4. Liens entre musique et langage	16
2.3. L'implant et la musique.....	16
2.3.1. L'écoute musicale actuelle chez les personnes implantées	16
2.3.2. La transmission de la musique par l'implant cochléaire	17
2.3.3. Description du codage musical de l'implant	18
3. La rééducation post IC de l'adulte.....	19
3.1. La rééducation orthophonique avec l'implant cochléaire.....	19
3.1.1. Objectifs et principes de rééducation.....	19
3.1.2. Les axes de rééducation orthophonique.....	20
3.1.3. Education auditive et plasticité cérébrale	21
3.2. L'entraînement : un pilier essentiel en rééducation	23
3.2.1. Nécessité d'un entraînement adapté face aux difficultés persistantes	23

3.2.2.	Principes de l'entraînement	23
3.2.3.	Les avantages de l'entraînement en autonomie	24
3.2.4.	Efficacité de l'entraînement	25
3.2.5.	Les supports existants et leurs limites	25
3.2.6.	Besoin de nouveaux outils d'entraînement	26
Partie Pratique : élaboration d'un outil d'auto-entraînement		27
1.	Présentation du projet et des objectifs	27
1.1.	Problématique et avènement du projet	27
1.2.	Hypothèses de travail	27
1.3.	Population cible	28
2.	Méthode et matériel : Conception de l'outil.....	28
2.1.	Conception du fond de l'outil.....	28
2.1.1.	Les exercices spécifiques et analytiques	29
2.1.1.1.	Principes généraux et structures des exercices	29
2.1.1.2.	Progression au cours de l'entraînement.....	30
2.1.2.	Les exercices fonctionnels.....	31
2.1.2.1.	Réflexions préalables.....	31
2.1.2.2.	Exercices d'analyse progressive du flux sonore musical	31
2.1.2.3.	Exercices au plus proche d'une situation naturelle.....	32
2.1.3.	Une familiarisation préalable des stimuli musicaux	33
2.1.4.	Modalités de questions - réponses	34
2.2.	Confection du matériel musical	34
2.2.1.	Sélection des morceaux musicaux.....	34
2.2.2.	Sélections des instruments et voix.....	35
2.2.3.	Enregistrements	36
2.2.3.1.	Généralités sur l'enregistrement.....	36
2.2.3.2.	Anticipation et préparation pour les musiciens	37
2.2.3.3.	Organisation et déroulement des enregistrements	37
2.2.4.	Analyse et sélection des extraits.....	38
2.3.	Mise en forme de l'outil	38
2.3.1.	L'outil informatique : une application mobile.....	38
2.3.2.	Elaboration de l'outil avec des informaticiens et designers	39
2.3.3.	Organisation visuelle et fonctionnelle de l'application	39
2.3.4.	Cadre juridique	40
3.	Mise en situation	40
3.1.	Présentation des patients.....	40

3.2.	Mise à disposition du matériel et phase d'utilisation.....	41
3.3.	Évaluation audiométrique, qualitative et bilan orthophonique.....	41
Résultats		42
1.	Résultats de la création de l'outil.....	42
1.1.	Le fond : exercices et matériel musical	42
1.2.	La forme : confection de l'application, mise en page et délai	43
2.	Résultats des retours des études de cas.....	43
2.1.	Retours qualitatifs : questionnaires patients	43
2.2.	Retours quantitatifs : épreuves de tests.....	44
Discussion		45
1.	Analyses des résultats.....	45
1.1.	Critiques des résultats de l'outil	45
1.2.	Analyse des retours de patients	45
2.	Confrontation avec les hypothèses de travail	46
3.	Intérêt professionnel de l'outil.....	47
4.	Limites du projet	47
5.	Perspectives	49
Conclusion.....		50
Références bibliographiques		51
Annexes.....		65

Glossaire musical

Un certain nombre de termes musicaux sont définis afin de guider le lecteur. Ils seront suivis d'un astérisque dans ce travail.

Accompagnement musical : ensemble d'éléments vocaux ou instrumentaux qui soutiennent la mélodie principale, ce soutien harmonique et rythmique peut être très varié (accords, contre-chant, rythme de percussions...) (Siron, 2004, pp. 110-114).

Accord : ensemble de sons coordonnés entendus simultanément (le son principal fondamental et une série d'harmoniques) (Danhauser, 2016, pp. 119-130).

Accord arpégé : les notes de l'accord sont jouées successivement, en montant (ex : do, mi, sol, do) ou en descendant (ex : do, sol, mi, do) (Danhauser, 2016, p.113, pp. 119-130).

Accord plaqué : toutes les notes de l'accord sont jouées simultanément (Danhauser, 2016, pp. 119-130).

Contre-chant : "mélodie secondaire entendue dans le même temps que la mélodie principale" (Danhauser, 2016, p.189).

Mélodie : "ligne de sons successifs de différents degrés de hauteurs et dont l'ensemble forme un air (par opposition à *l'accompagnement*), formant une suite musicale reconnaissable et agréable" (Siron, 2004, pp. 110-114).

MP3 : format de compression audio permettant une réduction importante de la taille des fichiers, l'information numérique est codée en utilisant moins de bits (Arbonés & Milrud, 2013, pp 118-119).

Musique générée par ordinateur : sons musicaux créés et modifiés informatiquement (Driscoll et al., 2009).

Musique naturaliste : musique enregistrée à partir d'instruments et de chanteurs réels. (Driscoll et al., 2009).

Note fondamentale de l'accord : note de basse restant toujours la plus grave, sur laquelle est formée un accord (par exemple, un accord de *do majeur* de trois notes est composé des notes *do*, *mi* et *sol*) (Danhauser, 2016, p.121).

Piste audio : bande sonore réservée à l'enregistrement de signaux (ici, une piste correspond à un instrument ou à une voix) (Caplain, 2017, p.104).

Prise de son directe : le son est enregistré par le micro intégré à l'instrument et non par un micro aérien (Caplain, 2017, p.104).

Tonalité : ensemble des sons formant une gamme diatonique, dans un morceau donné. Les instruments peuvent jouer dans des tonalités différentes (exemples de tonalité : Do Majeur, Si bémol, Fa, Sol, Mi bémol...) (Danhauser, 2016, p.56; Giner & Choquard, pp.121-127).

Transcription : “adaptation d’une composition musicale pour un instrument ou un ensemble instrumental différent de celui pour lequel elle est écrite” (Danhauser, 2016, p.191).

Transposer : exécuter ou transcrire un morceau de musique dans un autre ton, une autre hauteur, sans changer les intervalles entre les notes ni la valeur des notes (Danhauser, 2016, pp.98-104 ; Giner & Choquard, pp.121-127).

WAV : format audio utilisé pour l’édition, permettant de conserver une importante part d’informations des fichiers audios, semblable aux formats ZIP, RAR et ARJ (Arbonés & Milrud, 2013, pp 118-119).

Introduction

La perte auditive s'avère être un problème de santé publique majeur touchant actuellement plus de 450 millions de personnes dans le monde (Organisation Mondiale de la Santé [OMS], 2019), ce chiffre pouvant doubler d'ici 2050 à la vue de notre évolution démographique (World Health Assembly [WHA], 2017 ; Ernst, 2014). Cela en fait la première cause mondiale de handicap. Les conséquences de ce déficit sont nombreuses, impactant la communication interpersonnelle, la cognition, l'éducation, l'emploi, la participation sociale (OMS, 2019). C'est pour cela que la recherche en termes de soin, de technologie médicale et de rééducation est en plein essor dans ce domaine.

L'implant cochléaire est une solution de réhabilitation de l'audition recommandée pour les surdités neurosensorielles sévères à profondes bilatérales (Haute Autorité de Santé [HAS], 2007). Il s'agit d'une performance technologique et médicale révolutionnaire dans le monde de la surdité rendant le monde sonore accessible à des personnes privées d'audition auparavant. Son apparition est récente avec les premières stimulations électriques de l'oreille interne par Djourno et Eyriès en 1957 (Djourno & Eyries, 1957), puis l'évolution se poursuit dans les années 80's avec les implants multi canaux intra cochléaires qui permettent des résultats plus probants avec une diversification des implants cochléaires proposés (Institute of Medicine, 1995). La technologie et la prise en soin sont aujourd'hui en constante évolution et innovation, permettant d'élargir les indications à l'implantation (HAS, 2007).

L'efficacité de l'implant a été démontrée pour de nombreux aspects, notamment au niveau de l'intelligibilité de la parole. Cependant, certaines difficultés persistent, impactant la qualité de vie des personnes (HAS, 2007). La parole demeure difficilement compréhensible voire incompréhensible dans des situations complexes d'écoute, en milieu bruyant ou au sein d'un groupe, ce en dépit de plusieurs années de rééducation (Centre d'Information sur la surdité et l'Implant Cochléaire [CISIC], 2012). Il s'avère par conséquent nécessaire d'enrichir et de repenser les axes de prise en charge rééducationnels afin de cibler les difficultés résiduelles de l'audition avec l'implant cochléaire.

La musique, au cœur de nombreuses études, s'assigne aujourd'hui comme une possibilité prometteuse pour répondre à ce besoin. Longtemps considérée comme inaccessible par les personnes appareillées elle se trouve de plus en plus appréciable et appréciée grâce à l'évolution technique, des programmes adaptés et une rééducation précise (Meyer, Morrisseau

& Toffin, 2005). En raison de ses caractéristiques physiques et acoustiques, ses composantes émotionnelles et mnésiques, sa faculté de stimulation cérébrale, sa corrélation avec l'implication et la motivation du patient, la musique permettrait une nouvelle approche de prise en soin (Drennan & Rubinstein, 2008). De nombreuses études ont ainsi mis en lumière les intérêts d'un entraînement musical régulier, qui permet d'améliorer l'appréciation de la musique d'une part, mais également les capacités de perception de la parole d'autre part. Le développement de programmes de formations spécifiquement orientés vers la musique apparaît donc comme un besoin actuel et primordial (Limb & Rubinstein, 2012).

Quelle place la musique peut-elle prendre au sein d'une rééducation auditive post implantation, de manière à améliorer les gains de compréhension auditive ? Sous quelles formes et par quels supports un entraînement musical peut-il être proposé afin d'optimiser son efficacité ?

Nous commencerons le présent travail en donnant des rappels sur l'implant cochléaire, nous introduirons ensuite la notion de musique en détaillant ses caractéristiques ainsi que sa perception par les personnes implantées, avant d'évoquer la prise en charge orthophonique dans cette rééducation.

En second lieu nous aborderons une application méthodologique de ce sujet en présentant la confection d'un outil informatique de rééducation auditive musicale à destination des personnes implantées cochléaires adultes ayant une surdité acquise.

Partie théorique

1. Généralités sur l'implant cochléaire

1.1. Fonctionnement, description du mécanisme de l'IC¹

1.1.1. Rappel sur le système auditif

L'oreille, l'organe de l'audition, est composée de trois parties : l'oreille externe, moyenne et interne (cf. Annexe I). L'oreille externe capte le son sous forme d'onde acoustique, et l'amplifie grâce au pavillon et au conduit auditif externe. L'oreille moyenne transforme cette onde en signal mécanique au moyen de ses différentes parties comprenant la caisse tympanique, le tympan, la trompe d'Eustache, les osselets, les fenêtres ronde et ovale. Le son est finalement converti en signal électrique au sein de l'oreille interne, composée du vestibule et de la cochlée, cette dernière étant l'élément principale de l'audition. La cochlée permet d'analyser l'intensité et la fréquence du signal sonore qui vont déterminer le lieu de stimulation de la cochlée. Les fréquences aiguës agissent à la base de la cochlée et les fréquences grave à l'apex : c'est la tonotopie cochléaire. Les informations électriques sont ensuite transmises au nerf auditif, le nerf VII, qui achemine le message jusqu'aux aires auditives. Le système nerveux central a pour rôle de coder les caractéristiques du signal sonore reçu, à savoir la fréquence spatiale (la tonotopie), la fréquence temporelle (synchronisation), l'intensité, les contrastes temporels et spectraux (Meyer et al., 2005, p 16 ; Gallego, 1999; Chouard, 2010; Dauman et al., 1998).

1.1.2. Description du mécanisme de l'implant

Lorsque l'organe de Corti est déficitaire, il ne peut plus assurer la transformation des vibrations acoustiques en stimulus électrochimiques à destination du nerf auditif. Dans ce cas, les personnes sourdes peuvent avoir recours à l'implantation cochléaire. Contrairement aux aides auditives acoustiques, qui agissent par l'intermédiaire de l'organe de Corti, les implants cochléaires stimulent directement les neurones auditifs (Dauman et al., 1998). L'ambition grâce à cette prothèse électrique, est de pallier une déficience de l'oreille interne, qu'elle soit profonde ou sévère, acquise ou congénitale. Cette cochlée artificielle est donc une prothèse auditive qui transforme les informations sonores en micro-impulsions électriques. Elle est composée de la partie externe et de la partie interne insérée chirurgicalement au niveau de l'os temporal (cf. Annexe II). La partie externe comprend le contour d'oreille sur lequel se trouve le processeur

¹ IC : implant cochléaire

qui transforme les sons environnementaux captés par le microphone en séquences d'impulsions pour les électrodes correspondantes. Il décompose ensuite le signal selon l'énergie contenue dans les bandes spectrales réparties sur la gamme utile de l'audition. Cette énergie est ensuite compressée pour que la dynamique acoustique soit adaptée à la dynamique électrique des terminaisons du nerf auditif arrivant sur la cochlée. L'antenne transmet ce signal au récepteur de la partie interne de l'implant, qui le véhicule jusqu'au faisceau d'électrodes inséré au cœur de la rampe tympanique de la cochlée. Ces électrodes génèrent des impulsions électriques qui stimulent directement les fibres du nerf auditif ou les neurones du ganglion spinal. Ainsi, le message sonore transmis par l'implant a été découpé séquentiellement par le processeur puis transmis électriquement aux électrodes correspondantes. Le message devient donc une reproduction artificielle et approximative de l'image sonore d'origine, car la stimulation fréquentielle est plus schématique, plus simplifiée et moins précise qu'en physiologie (Gallego, 1999 ; Meyer et al., 2005, p 16 ; Nielsen, 2007, p 132).

1.1.3. Recommandations

Selon la Haute Autorité de Santé (2005), l'implantation cochléaire est indiquée en cas de surdité neurosensorielle sévère à profonde bilatérale. Il n'y a pas de limite d'âge supérieur à l'implantation chez l'adulte. La recherche actuelle s'intéresse fortement au lien entre la démence et la déficience auditive car les sujets âgés ayant une perte auditive non corrigée présentent un déclin cognitif significativement plus important (Amieva & Ouvrard, 2019 ; Dawes, 2019 ; Lin et al., 2013), mais également car la perte auditive s'avère être un facteur de risque de démence (Ray, Denning, & Crosbie, 2019). Effectivement, selon Ford et al. (2018), une perte auditive apparaissant en milieu de vie pourrait être en partie à l'origine de 9,1% des cas de démence dans le monde, il ajoute que "les efforts pour réduire son impact devraient continuer d'être explorés". Ainsi, une évaluation psycho-cognitive est effectuée (HAS, 2015), il est donc recommandé de ne pas considérer l'existence d'un trouble cognitif comme une contre-indication à l'implantation étant donné que la réhabilitation auditive améliorerait la cognition (Ernst, 2014 ; Amieva & Ouvrard, 2019).

L'entourage du patient est pris en compte, afin de s'assurer que la personne soit totalement ou partiellement autonome ou qu'il bénéficie d'un encadrement adapté pour permettre l'entretien du matériel et le suivi. Chez l'adulte atteint d'une surdité prélinguale, la primo-implantation est rare. Selon les recommandations de l'HAS (2005), l'implant est indiqué lorsque la discrimination est inférieure ou égale à 50% d'intelligibilité, lors de la réalisation du test d'audiométrie vocale, avec la liste de Fournier ou avec des mots équivalents. Il peut l'être

également en cas de fluctuations si le retentissement sur la communication est majeur. Ces tests s'effectuent à 60 dB, en champ libre, avec des prothèses bien adaptées.

Il est important de tester la compréhension en situation bruyante car les conditions d'audiométrie ne reflètent pas ce que vivent les patients au quotidien, pouvant dissimuler une incompréhension handicapante (Hermann et al., 2019).

Ainsi, les recommandations tendent à s'élargir, permettant à ce jour des implantations bilatérales en cas de difficultés persistantes au niveau de la compréhension de la parole ou de la localisation sonore, ou encore des implantations en cas de surdités unilatérales (Hermann et al., 2019 ; HAS, 2012).

L'OMS rappelle que la qualité de vie du patient est au cœur de l'indication d'implantation. Ils s'agit de "la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes" selon l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 1984). Ce concept multidimensionnel comprend les aspects physiques (autonomie et capacités physiques), psychologiques (émotivité, anxiété, dépression) et sociaux (rapport à l'environnement familial, amical ou professionnel).

1.2. Perception sonore avec l'IC

1.2.1. Les apports d'une audition retrouvée

Qu'il s'agisse d'une implantation unilatérale ou bilatérale, les effets positifs sont nombreux et sont évoqués dans plusieurs travaux de recherches. Les personnes implantées récupèrent la faculté d'entendre, les performances de perception et compréhension de la parole sont améliorées que ce soit en situation calme ou dans le bruit (Finke, Bönitz, Lyxell, & Illg, 2017). Outre les performances audiométriques, la qualité de vie est effectivement importante à prendre en compte dans le devenir des adultes implantées. Les auteurs Finke, Bonitz, Lyxell et Illg (2017) relèvent que les patients portant quotidiennement leur implant décrivent une augmentation de leur satisfaction à l'égard de leur qualité de vie. A titre d'explication, l'analyse des données qualitatives a tout d'abord révélé une amélioration de la localisation du son. Ensuite, la sensation d'acouphènes et la sensibilité au bruit ont été déclarées comme atténuées, de même que la peur de perdre la deuxième oreille. Les résultats de cette étude montrent à quel point la qualité de l'audition et la qualité de vie sont affectées de manière forte et diversifiées par la survenue de la surdité et combien elles pouvaient être améliorées grâce à la pose d'un implant (Finke et al., 2017).

En plus des bénéfices de l'implantation précédemment cités, de nombreux auteurs tels que Van Schoonhover et al, relèvent que l'implantation cochléaire bilatérale apporte un réel gain même lors de situations d'écoute complexes, en présence de bruits environnants ou de plusieurs personnes (van Schoonhover et al., 2013). En effet, l'audition binaurale permet d'obtenir plusieurs informations provenant des deux oreilles, similaires et différentes, pour un même signal sonore (Gallois, 2017, pp. 60). Deux indices peuvent ainsi être mesurés : le délai de perception entre les deux oreilles (Interaural Time Difference) et la différence d'intensité sonore (Interaural Level Difference). Lors de l'intégration corticale de ces deux indices, quatre effets pourront être observés (Gallois, 2017, pp. 60; Risoud et al., 2018) :

- *l'effet ombre de tête* qui est la réduction mécanique du bruit de fond par la tête, dû à la différence de distance entre la source et les oreilles, et de la tête responsable d'une ombre acoustique

- *l'effet de sommation* qui correspond à la majoration du niveau sonore perçu par superposition des deux oreilles

- *l'effet de démasquage binaural* permettant la réduction intéraurale corticale du bruit de fond

- *l'effet de précedence binaurale* qui intègre le premier signal et supprime les échos

Le CISIC (2012) relève les bénéfices qui découlent de ces effets et des fonctions qu'ils permettent telles la localisation sonore et l'intelligibilité dans le bruit. Un autre bénéfice cité est la préservation de la communication en cas de panne d'un côté. (CISIC, 2012). D'autres auteurs encore, Bianchin et al. (2017), Kim et al. (2013), Illg et al. (2013) établissent dans leurs études que ces effets sont observables même lors d'une bilatéralisation tardive, celle-ci devrait donc être davantage proposée afin d'améliorer la qualité de vie des patients.

Des conséquences positives sont donc relevées dans plusieurs domaines, notamment au niveau cérébral. Le cortex auditif s'adapterait sur le plan fonctionnel face au déficit et serait déjà spastique spontanément permettant de compenser la déficience, c'est ce qui a été appelé la "plasticité de privation" (Meyer et al., 2005, pp 9-10). À la suite de la réhabilitation, un deuxième phénomène de réorganisation neuronale est constaté. Les remaniements des réseaux neuronaux faisant suite au port constant de l'aide auditive (de 1 à 3 mois) entraînent la suppression des effets de la plasticité de privation au profit d'une tendance à la normalisation de la sonie, d'une amélioration de la discrimination d'intensité, d'une finesse de discrimination fréquentielle pour des fréquences spécifiques et d'une modification de la latéralité auditive centrale. Ces changements sont appelés la "plasticité de réhabilitation" (Meyer et al., 2005, pp 9-10). Sont également relevées des répercussions positives sur les capacités mnésiques et attentionnelles qui seraient améliorées grâce à l'aide auditive permettant de diminuer les

difficultés apparues à cause du déficit perceptif et ainsi retrouver un vieillissement cognitif dans la norme. L'amélioration des aspects psychologiques et psychopathologiques est étudiée par Christophe Saglier (2007), qui évoque une diminution des troubles de l'humeur notamment dépressifs et des difficultés dans la vie quotidienne suite à la réhabilitation auditive. L'étude du Professeur Amieva s'appuie sur le lien existant entre audition et cognition, déclarant qu'il y a un sur-risque de dépression, de démence et de dépendance chez les sujets âgés présentant une déficience auditive. Cette étude longitudinale de 3 777 patients âgés de plus de 65 ans suivis pendant 25 ans, a permis de postuler que ce sur-risque n'existe pas chez les sujets utilisant des appareils auditifs (Amieva, Ouvrard, Meillon, Rullier, & Dartigues, 2018).

1.2.2. Les limites de l'audition avec l'implant

Malgré les améliorations notoires que cette technologie apporte, l'implant cochléaire rencontre des limites. La compréhension de parole dans le silence est satisfaisante certes, cependant malgré les améliorations, la compréhension de la parole dans le bruit demeure coûteuse et laborieuse, parfois même infructueuse. De même pour des situations complexes d'écoute qui peuvent se révéler des situations d'échec telle la parole en situation de groupe, le téléphone, l'écoute de la musique. L'implant ayant été optimisé pour la compréhension de la parole, il ne permet pas de transmettre pour ces situations complexes une représentation spectrale, temporelle et dynamique suffisamment adéquate (Limb & Roy, 2014). Les informations transmises sont donc appauvries. De surcroît, nous constatons une déficience des systèmes nerveux auditif et centraux avec une dégénérescence du nerf auditif, ce qui entraîne une activation limitée du cortex auditif. Ceci nuit également à la bonne compréhension du message.

En dépit de l'effet positif que la réhabilitation auditive peut produire sur la personne déprimée, Gorog et al. (2009) nous montrent des phénomènes possibles d'accentuation de la dépression marquée par le deuil auditif. Cet effet serait corroboré à l'écart avéré entre la voix que le patient s'attendait à trouver et la voix métallique perçue avec l'implant. (Gorog et al., 2009). S'ajoutent à cela les conséquences potentiellement néfastes de la perte du statut de malentendant pouvant contribuer à la construction d'un égo. Ainsi cette étude informe de la vigilance à tenir auprès des patients susceptibles de présenter des troubles psychotiques lors de l'indication à l'implantation.

1.2.3. Une grande variabilité interindividuelle des résultats

Les résultats des implantations sont très variables d'un individu à l'autre, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Des disparités peuvent être expliquées par des facteurs inhérents à l'implant tels que la génération de l'implant ou la stratégie de codage (Zeng, 2004 ; Zeng et al., 2008). Effectivement les implants offrent différentes options selon les marques, les générations, les différents canaux accessibles de réglages, les différentes caractéristiques du signal électrique transformé. Des facteurs inhérents au patient lui-même et à ses caractéristiques sont relevés tels l'âge d'apparition de la surdité, la durée de surdité et le degré d'audition résiduelle avant l'implantation (Zeng, 2004 ; Zeng et al., 2008). Dans leur étude, Wilson et Dorman (2008) comparent les performances de 55 sujets implantés. Certains résultats obtenus sur ce panel sont homogènes (épreuve de compréhension de phrases) tandis qu'une grande disparité est obtenue pour d'autres (test de compréhension de mots monosyllabiques) avec des extrêmes allant de 10% d'intelligibilité à 100%. La disparité des performances est également observée lorsqu'il s'agit de tests "dans le bruit". Une étude a été réalisée pour comparer les résultats selon les processeurs vocaux en situation d'audition spécifiquement dans le bruit. Haumann, Lenarz et Büchner (2010) y relèvent une grande disparité entre les résultats avec certaines performances chutées pour un niveau de bruit relativement bas de l'ordre de huit fois plus faible que le niveau de parole, alors que des performances similaires sont observées pour un bruit presque deux fois supérieur au niveau de parole.

Plusieurs facteurs ont été analysés et relevés, pouvant justifier de telles disparités de performances. L'influence de la durée de privation auditive est confirmée, il est cependant précisé que son impact sur les structures centrales mérite d'être davantage étudié. Des facteurs prédictifs périphériques auraient également un rôle telle la trophicité nerveuse et la position du porte-électrodes. Chez l'adulte sourd post lingual, la plasticité cérébrale serait possible permettant par la suite une potentialisation de la réhabilitation auditive, grâce en particulier à des interactions audiovisuelles (Lazard, Giraud, Gnansia, Meyer, & Sterkers, 2012). La qualité de la rééducation auditive qui suit l'implantation a un rôle primordial dans les performances post réhabilitation, de même que les capacités d'analyses phonologiques et linguistiques primaires peuvent être disparates et participer à cette variabilité.

2. La musique

2.1. Définitions et illustrations des paramètres musicaux

“La musique [...] est la vapeur de l'art. Elle est à la poésie ce que la rêverie est à la pensée, ce que le fluide est au liquide, ce que l'océan des nuées est à l'océan des ondes” (Hugo, 1864).

La musique est “la science des sons considérés sous le rapport de la mélodie et du rythme ; elle est l'art qui permet à l'homme de s'exprimer par l'intermédiaire des sons” (Larousse en ligne, s.d.). La musique est effectivement régie par plusieurs caractéristiques physiques et acoustiques. Voici une description des quatre paramètres acoustiques communs à la musique, à la voix chantée et à la voix parlée.

2.1.1. L'intensité ou la sonie

L'intensité est la force du son, la puissance acoustique de l'onde (Arbonés & Milrud, 2013, p.107). Grâce à elle nous pouvons user de notre capacité à percevoir un son plus ou moins fort ou faible selon la puissance de l'instrument ou de la voix. Elle est liée à l'amplitude des vibrations : plus l'onde est de grande amplitude, plus le volume est fort. L'intensité correspond au niveau de la pression acoustique mesurée, exprimée en décibels (dB) (Nielsen, 2007, pp 14-17).

Du fait de son caractère logarithmique, le décibel ne satisfait pas aux règles traditionnelles de l'addition. Lorsque l'intensité sonore est doublée, le niveau sonore augmente de 3 dB correspondant à la formule $10 \log 2 = 10 \times 0,3 = 3 \text{dB}$. Par exemple, le niveau global de deux trompettes émettant un son de 85 dB chacune est de 88 dB.

Le seuil d'audibilité de l'oreille humaine correspond à 0 dB, tandis que le seuil douloureux se situe environ à 120 dB (Arbonés & Milrud, 2013, p.107). La parole se situe entre 40 et 80 dB et la musique entre 40 et 120 dB (Meyer et al., 2005, pp 64-65).

2.1.2. La hauteur tonale, fréquence fondamentale et tessiture

La fréquence d'un son correspond à sa place dans l'échelle musicale et permet de le qualifier de son relativement grave ou aigu (Siron, 2004, p. 110). Également appelée la hauteur d'un son, la fréquence dépend du nombre de vibrations par seconde et son unité de mesure est le Hertz (Hz) (Nielsen, 2007, pp.10-11). L'oreille humaine perçoit les sons de 16 à 20 000 Hz. En deçà de 16 Hz les infrasons sont trop graves pour être entendus au-delà de 20 000 Hz les ultrasons trop aigus. Ainsi, au cœur de l'étendue des sons audibles par l'oreille humaine se

situent les sons délivrés par les instruments de musique correspondant à la bande fréquentielle de 16 à 20 000 Hz (Meyer et al., 2005, pp 63-65) (cf. Annexe III).

Pour qualifier un instrument ou une voix, nous nous référons à sa fréquence fondamentale ainsi qu'à sa tessiture. La fréquence fondamentale notée F0 correspond à la fréquence de base, c'est à dire la plus lente d'un son complexe. Concernant les voix, les fréquences fondamentales des hommes se situent en moyenne entre 100 et 120 Hz et peuvent descendre jusqu'à 60 Hz. Pour les voix de femme et d'enfant, la fréquence fondamentale est en moyenne de 200 à 220 Hz avec des écarts possibles jusqu'à 350 Hz. Les cordes vocales humaines situées au niveau du larynx sont aptes à faire varier leur fréquence de vibrations et permettent ainsi des variations de la fréquence fondamentale déterminant notre perception de la hauteur (Meyer et al., 2005, pp. 63-65). Par ces modifications nous percevons différentes intonations, accentuations et rythmes de la parole.

La tessiture est l'étendue ou l'espace de hauteurs dans lequel une voix ou un instrument donné se trouve le plus à l'aise (Siron, 2004). Ainsi, les voix d'hommes se séparent entre les ténors, les barytons et les basses ayant respectivement des hauteurs fondamentales comprises entre 130 et 550 Hz, 100 et 450 Hz et 70 et 350 Hz. Ce sont chez les femmes et enfants que se situe la plus aiguë des voix, la soprano, avec un fondamental variant entre 250 et 1 100 Hz, puis la mezzo-soprano et enfin la contralto avec un fondamental entre 175 et 800 Hz. Le spectre de tessiture des instruments de musique est quant à lui très large avec notamment l'étendue du piano de 50 à 5000 Hz, le violon de 400 à 4000 Hz, la clarinette pouvant descendre jusqu'à 16,4 Hz et le triangle montant jusqu'à 6 300 Hz (Meyer et al., 2005, pp. 63-64) (cf. Annexe IV).

2.1.3. Timbre

Le timbre du son est son caractère particulier, sa couleur, qui lui donne sa "personnalité" (Arbonés & Milrud, 2013, p.109). Il permet par exemple d'identifier la voix d'une personne et de distinguer des instruments différents. A titre d'illustration, une clarinette et une trompette qui jouent la même note à une intensité identique, seront distinguées grâce à leur timbre spécifique et différent. Un instrument ou une voix émettent un son de hauteur bien définie composé de la fréquence fondamentale à laquelle s'ajoutent diverses vibrations ordonnées de manière mathématiquement harmonieuses appelées les harmoniques (Meyer et al., 2005, p.63). La vibration la plus basse, fréquence fondamentale, est la mieux perçue par l'oreille. C'est elle qui est notée par les musiciens (do, ré, ré#, sol...). Les harmoniques viennent se superposer pour former la couleur et la composante du son, elles sont moins fortes que la fondamentale mais d'intensités variées selon l'instrument et de fréquences proportionnelles à F0. Nous

comprenons ainsi l'importance et la nécessité de capter cette multiplicité de fréquences d'un même son, de les percevoir et que notre cerveau puisse les analyser conjointement afin d'analyser et d'identifier correctement la source sonore.

2.1.4. Durée, rythme et tempo

La durée est la temporalité du son, c'est le quatrième paramètre du son, elle caractérise sa longueur (Siron, 2004, p.110). Elle a un rôle fondamental en acoustique car le signal acoustique est représenté par une onde qui se propage dans l'espace au cours du temps. Le rythme est l'organisation des durées des sons et des silences dans le temps, les notes peuvent être enchaînées, agencées de multiples façons et un même morceau avec une cadence différente ne donnera pas le même résultat. Il y a une infinité de rythmes possibles, certains sont davantage populaires tel le rythme binaire et le rythme ternaire (la valse) dont les mesures sont respectivement divisées en 2 et 3 temps. Le tempo correspond à la vitesse d'exécution d'un morceau (Siron, 2004). Il fixe la durée d'une unité de temps du morceau sans modifier les rapports de valeurs établis par le rythme. Une même mélodie sera reçue différemment selon la vitesse à laquelle elle est jouée, ce tempo peut être constant au sein d'une pièce musicale mais peut également varier.

C'est grâce au rythme et au tempo que le message acoustique envoyé en continu peut être segmenté et compréhensible, sinon notre cerveau ne pourrait créer de sens à partir des notes qui se succèdent ou d'un flux continu de parole. Notre cerveau perçoit les durées des sons et surtout les intervalles temporels qui les séparent comme des régularités, ce qui lui permet de mettre du sens, de faire des liens (Hidalgo, 2018). Les éléments temporels sont davantage appréhendés par le rapport régulier qu'ils entretiennent entre eux que par leur durée absolue, à titre d'illustration le même rapport sera perçu entre l'enchaînement *do-ré* durant respectivement 1,0s et 0,5s, qu'avec l'enchaînement *do-ré* durant 2,0s et 1s. Comme C. Hidalgo (2018) le met en avant dans sa thèse, ce rapport régulier donneur de sens induit dans la mélodie l'est également au sein de la parole. La rythmicité de la parole serait présente par l'accentuation d'une part, correspondant à la métrique musicale, puis par l'apparition périodique des syllabes d'autre part équivalent au *beat* musical, et ce différemment selon les langues (Pick, 1947 ; Abercrombie, 1967).

2.1.5. Emotion

Siron définit la musique comme l'art de combiner et d'organiser des sons dans le temps de manière harmonieuse et expressive afin de susciter une émotion (Siron, 2004, p. 110).

L'émotion correspond à une modification ressentie de l'état du corps dont le motif ou à la cause résulte d'une perception ou d'une pensée (Bernard, 2017). Elle est ainsi présente lors de toute activité musicale et ressentie par tous même si la perception d'émotions musicales peut varier d'une personne à l'autre (Moussard, Rochette, & Bigand, 2012). Justin et Västfjäll (2008) nomment "émotions musicales" les réponses émotionnelles induites par la musique. Le socle des émotions musicales est constitué des "émotions basiques" que sont la joie, la tristesse, la colère, la peur, le dégoût et la surprise. Bigand, Habib et Brun (2012) proposent de les représenter selon trois grands axes : l'axe horizontal de la valence émotionnelle (du sentiment négatif qu'est la tristesse au sentiment positif qu'est la joie), l'axe vertical de l'énergie des émotions (de la faible énergie de la sérénité à la forte énergie de l'excitation), puis l'axe diagonal de la corporalité (l'expression corporelle plus ou moins grande). Des émotions plus complexes telles que la nostalgie ou la tendresse peuvent également émaner grâce à la musique (Vuilleumier & Trost, 2015). Ces émotions sont générées d'une part par les propriétés acoustiques de la musique citées précédemment, et d'autre part par les conventions culturelles propres aux groupes sociaux (Juslin & Sloboda, 2001). Un regard global sur l'individu et sur la musique doit donc être porté lorsque l'on parle d'émotions transmises par la musique.

2.2. Les vertus de la musique sur le cerveau

La relation entre la musique et le cerveau est un phénomène reconnu depuis de nombreux siècles qui intéresse beaucoup de neuroscientifiques cognitivistes, particulièrement ces dernières décennies. Il est effectivement manifeste que l'activité musicale est l'une des rares permettant la stimulation simultanée de nombreuses aires cérébrales localisées dans les deux hémisphères cérébraux. Elle participe ainsi au développement des connexions neuronales, à la plasticité cérébrale ainsi qu'à l'entretien et à l'évolution des circuits neuronaux. Les effets anatomiques et fonctionnels de cette stimulation impactent les aspects anatomiques et fonctionnels qui concernent tant les traitements musicaux que les compétences non musicales (linguistiques, motrices et émotionnelles notamment) (Kennaway, 2004).

2.2.1. Des effets physiologiques à la plasticité cérébrale

Pour certains auteurs, la musique aurait une importance biologique et psychique assez conséquente pour avoir participé à l'adaptation de l'espèce dans son évolution. Elle aurait précédé l'émergence de fonctions cognitives sophistiquées telles que le langage articulé (Mithen, 2009 ; Peretz, 2006). La musique s'est vue appropriée par l'homme depuis plus de 250 000 ans avec des formes non instrumentées, puis avec les flûtes d'os il y a 40 000 ans

(Huron, 2001; Mithen, 2005). Elle est présente dans toutes les cultures et admet des comportements universaux telle que le chant de la mère pour son bébé, chant qui serait par ailleurs crucial pour la communication émotionnelle au sein de la dyade mère-enfant (Trehub, 2003). Des prédispositions biologiques au niveau de la perception et de la cognition musicales sont présentes pour le traitement de ce stimulus (Trainor, & Heinmiller, 1998 ; Trehub, 2003). Perani et al. ont trouvé des similitudes chez les adultes non musiciens et chez les nouveau-nés, qui activent les mêmes zones cérébrales lors des tâches de perception musicale (Perani et al., 2010). De plus, dès 6 mois, les enfants seraient capables d'effectuer des comportements similaires aux adultes dans les tâches musicales telles que la distinction de modification de hauteur (Plantinga & Trainor, 2005), et de tempo (Trehub, Schneider, & Henderson, 1995) dans une mélodie. D'autre part les enfants implantés cochléaires manifestent rapidement les mêmes capacités de perceptions musicales et de comportements que les autres enfants entendants alors qu'ils n'avaient jamais entendu auparavant (Nakata, Trehub, Kanda, Shibasaki, & Schellenberg, 2005 ; Vongpaisal, Trehub, & Schellenberg, 2006).

De nombreuses études suggèrent que la musique est capable d'influencer les fonctionnements émotionnels, physiologiques et végétatifs de notre corps. Witvliet et Vrana (2007) mettent en avant l'impact de l'émotion musicale ressentie sur les modifications physiologiques. Lors de l'écoute d'une musique appréciée (valence positive) et de dynamique stimulante, les muscles zygomatiques seraient davantage stimulés alors que pour une valence négative à dynamique calme ce seraient les muscles sourciliers (froncement de sourcils). Des modifications seraient également présentes lors de situations stressantes, comme l'illustre l'écoute de la musique qui permet de réguler positivement le taux de cortisol chez l'enfant lorsque sa mère chante (Shenfield, Trehub, & Nakata, 2003) ou encore chez l'adulte en écoutant une musique relaxante après une situation stressante (Khalifa, Dalla Bella, Roy, Peretz, & Blondin, 2003).

La musique aurait des impacts au niveau cellulaire, favorisant la neurogénèse, la régénération et la réparation des neurones et circuits neuronaux grâce aux ajustements hormonaux du cortisol, de la testostérone et de l'œstrogène (Fukui & Toyoshima, 2008). Une pratique musicale répétée modifierait l'organisation des aires corticales mises en jeu, et ce à plusieurs niveaux. Ce thème a été abordé par de nombreux auteurs par le biais d'études sur la population des musiciens. Le nombre de neurones impliqués augmenterait, le degré de synchronisation temporelle serait favorisé et le nombre ainsi que la force des connexions synaptiques excitatrices et inhibitrices augmenterait (Habib & Besson 2008). L'activation lors du traitement des sons serait également modifiée, d'abord au niveau sous cortical (dans le tronc

cérébral) avec le traitement de la fréquence fondamentale qui est facilité chez les musiciens (Musacchia, Sams, Skoe, & Kraus, 2007). Le cortex auditif droit ensuite est davantage activé lors du traitement du timbre de l'instrument qu'ils pratiquent (Pantev, Roberts, Schulz, Engeli, & Ross, 2001). Ainsi, la connexion inter-hémisphérique est améliorée grâce à la substance blanche (la partie antérieure du corps calleux) qui est significativement plus développée chez les musiciens permettant ainsi une meilleure communication entre les différentes aires motrices. C'est également le cas pour la partie postérieure du corps calleux permettant la communication au niveau des aires temporales et occipitales. Il est intéressant de relever que certains effets sont pareillement observés au bout de deux semaines et demie d'entraînement musical, chez des personnes n'ayant aucune formation musicale antérieure. (Bosnyak, Eaton, & Roberts, 2004).

2.2.2. Effets de l'émotion musicale au sein du cerveau

Plusieurs auteurs ont travaillé sur les mécanismes biochimiques de l'émotion musicale qui s'enclenchent au sein de notre cerveau, nous rendant sujets à diverses réactions lors d'une écoute musicale.

Pour Menon et Levitin (2005) l'écoute de la musique est l'une des expériences humaines des plus gratifiantes et agréables grâce à la connectivité qui s'entend entre de multiples régions cérébrales. La réponse émotionnelle est régulée au niveau cérébral par différentes structures méso limbiques impliquées dans le traitement de la récompense, parmi elles le noyau accumbens, la zone tegmentale ventrale, l'hypothalamus et l'insula. La libération de la dopamine induite par l'activité de ces régions cérébrales serait modulée en fonction des stimuli musicaux. L'activation des systèmes neuronaux pendant l'écoute d'une musique agréable est commune à l'activation des circuits cérébraux impliqués dans le plaisir et la récompense. Dans leur étude Blood et Zatorre (2001) ont relevé que la sensation subjective de "frissons" agréables pendant l'écoute était accompagnée d'un changement de fréquence cardiaque et d'un changement de rythme respiratoire. En fonction de l'intensité de ces "frissons" ressentis, le débit sanguin cérébral évolue dans les régions du cerveau supposées être impliquées dans la récompense, la motivation, l'émotion et l'excitation (au niveau du striatum ventral, du mésencéphale, de l'amygdale, du cortex orbitofrontal et du cortex préfrontal médial ventral). L'augmentation de la production d'hormones stéroïdes telles que la testostérone serait également présente lors de l'écoute d'une musique agréable (Fukui, 2001) ou encore d'autres hormones opioïdes comme la morphine (Roy, Peretz, & Rainville, 2008). D'autres études confirment que les zones cérébrales impliquées dans la régulation de la douleur (l'amygdale, le

cortex préfrontal, le cortex cingulaire et le système limbique) seraient activées lors de réactions émotionnelles à la musique (Koelsch, 2010 ; Peretz, 2010), ce qui permettrait donc de réduire la sensation de douleur.

2.2.3. Compétences transversales : motricité, mémoire, perception, cognition

La musique a cette particularité de solliciter des compétences mentales transversales, outre celles servant spécifiquement au traitement musical. L'écoute d'une métrique rythmée entraîne une activation des zones cérébrales de la motricité, même s'il n'y a pas de tâche motrice demandée (Brown, Martinez, & Parsons, 2006) ; ces effets auront d'autant plus d'envergure s'il s'agit d'une stimulation auditive musicale (Styng, Van Noorden, Moelants, & Leman, 2007). Haas, Distenfeld, et Axen (1986) ajoutent que la respiration même peut se réguler en fonction d'un son régulier écouté pour se synchroniser au rythme. De cette capacité à se synchroniser avec un rythme auditif, couplée à un entraînement musical, émane un transfert de compétences au niveau de la motricité et des mouvements correspondants à des tâches non musicales comme la dextérité manuelle ou encore la marche. Ce transfert est mis en évidence chez les musiciens avertis (Drake, Penel & Bigand 2000) comme chez les non-musiciens (Forti, Filipponi, Di Berardino, Barozzi, & Cesarani, 2010).

Selon Kensinger et Corkin (2003) les émotions impacteraient fortement la mémorisation, selon les diverses informations ou événements vécus. Or, nous avons vu précédemment que la musique était un vecteur privilégié d'émotions. Il apparaît donc naturel qu'une musique soit mémorisée différemment selon l'émotion ressentie lors de l'écoute, de la même manière qu'une musique associée à un événement impactera et améliorera son encodage, son ancrage en mémoire ainsi que sa récupération (Jäncke, 2008). Les souvenirs autobiographiques, corrélés à l'histoire du sujet et à ses émotions, peuvent également être associés à certaines musiques qui influenceraient la récupération d'informations. Janataa, Tomic et Rakowski (2007) ont fait écouter un ensemble de musiques populaires, dont 30% évoquent des souvenirs personnels aux participants. Les émotions ressenties étaient liées aux capacités de récupération des connaissances sémantiques (titre, artiste, époque, paroles).

Au niveau de la perception, plusieurs auteurs constatent que la pratique musicale permet d'améliorer les capacités de perception auditives y compris sur d'autres supports que la musique dès lors que des caractéristiques communes sont présentes. Par exemple pour la perception linguistique, les musiciens auraient de meilleurs résultats pour la perception de changements fins sur le plan lexical et prosodique (Oeschlin, Meyer, & Jäncke, 2010). La discrimination

prosodique améliorée par l'expertise musicale est également relevée avec des langues étrangères (Marques, Moreno, Castro, & Besson, 2007). Pareillement, la capacité de discrimination des hauteurs caractéristiques des interrogations est supérieure chez les musiciens lorsque les personnes amusiques peuvent se retrouver en difficulté lors de cette perception prosodique à la fin des phrases interrogatives (Patel, Wong, Foxton, Lochy, & Peretz, 2008).

Au vu des nombreux liens et phénomènes qui ont lieu entre la musique le cerveau, les effets de la musique sur la cognition apparaissent de façon indéniable. De l'écoute musicale émanant une stimulation cérébrale arborescente, un impact positif sur notre fonctionnement cérébral en découle, ainsi qu'un traitement de l'information plus rapide et de meilleure qualité. La plupart des subtests d'intelligence (quotient intellectuel global) sont effectivement corrélés à la connaissance musicale, de même que le niveau scolaire, selon la durée d'apprentissage de la musique (Schellenberg, 2006).

2.2.4. Liens entre musique et langage

Dès 1781 Rousseau insistait sur le parallèle entre la musique et le langage exprimant leur origine commune et précisant d'ailleurs que le langage primitif était chanté et non parlé (Rousseau, 1781). Le langage et la musique sont régis par les mêmes paramètres acoustiques (fréquence, intensité, timbre et rythme) et forment ainsi deux signaux auditifs différents certes, mais similaires. En outre, ces deux disciplines cognitives reposent sur des processus attentionnels, mnésiques et moteurs (Besson & Chobert, 2011). Nous pouvons donc supposer que s'appuyant sur des mécanismes de traitement semblables, des transferts peuvent avoir lieu d'une discipline à l'autre, et que travailler l'une permettrait d'augmenter indirectement les capacités de traitement de l'autre. Plusieurs auteurs se sont intéressés à ces liens en objectivant que l'expertise et l'entraînement musical permettaient d'acquérir une meilleure sensibilité aux caractéristiques acoustiques des sons musicaux et que ces capacités se transfèrent aux sons linguistiques. Des études portent sur la comparaison des traitements des sons musicaux et linguistiques chez les musiciens et non-musiciens que ce soit chez l'adulte (Schön, Magne & Besson, 2004) (Musacchia, Sams, Skoe, & Kraus, 2007) ou lors de l'apprentissage langagier de l'enfant (Magne, Schon, & Besson, 2006).

2.3. L'implant et la musique

2.3.1. L'écoute musicale actuelle chez les personnes implantées

Grâce à l'implant cochléaire, une personne ayant perdu l'audition peut aujourd'hui retrouver des capacités d'écoute et de discrimination de la parole très satisfaisantes, hors

situations bruyantes complexes. Qu'en est-il cependant de l'écoute de la musique chez les patients implantés ? Leurs perceptions, sensations et motivations quant à l'écoute musicale, représentent actuellement un intérêt majeur.

Les patients en attente d'être implantés sont nombreux à exprimer leur espoir de profiter de la musique après l'implantation. En 2003, Mirza, Douglas, Lindsey, Hildreth, et Hawthorne (2003), mènent une étude sur l'appréciation de la musique après implantation chez trente-cinq adultes. Seuls 46% ont écouté de la musique depuis l'implantation alors que le plaisir d'écoute musicale était noté en moyenne à 8,7/10 pour l'ensemble de la cohorte avant la surdité mais seulement 2,6/10 avec l'implant cochléaire. La perception de la musique semble ainsi décourageante et décevante pour les personnes implantées, ce qui provient du fait que la musique n'est plus transmise avec la même précision qu'auparavant concernant les paramètres acoustiques et l'écoute en est devenue désagréable. Dans cette étude, l'écoute de la musique était davantage vécue par les jeunes patients, ceux qui avaient un score de perception de la parole plus élevés et ceux avec une durée de surdité plus courte. (Mirza, Douglas, Lindsey, Hildreth, & Hawthorne, 2003). L'appréciation de la musique semble donc corrélée aux capacités de perception auditive globales des personnes.

2.3.2. La transmission de la musique par l'implant cochléaire

Lors de la transmission par l'implant, l'analyse du son est modifiée au niveau de son enveloppe temporelle (permettant d'identifier l'intensité, la durée, le temps d'attaque et de chute ainsi que le tempo) et de sa structure temporelle fine (permettant d'identifier le timbre, le lieu d'articulation, le voisement, le mode articulatoire, les formants et transitions formantiques des voyelles) (Estienne & De Barelli, 2019, pp.188-190 ; Lorenzi et al., 2012).

Il est en effet ardu pour une personne implantée d'accéder aux indices de hauteur et de timbre, pourtant nécessaires dans la discrimination de différents instruments, mélodies et accompagnements concurrents, en raison d'une mauvaise résolution spectro temporelle (Eskridge, Oba, Fu & Galvin, 2012). Au travers de l'implant est donc transmis un ensemble de messages sonores indifférenciables car pour chacun d'entre eux le processeur a appauvri le spectre acoustique. De surcroît les composants spectraux sont d'ores et déjà difficiles à percevoir individuellement, ce qui conduit à des perturbations importantes dans la perception de la hauteur, de la mélodie et de l'harmonie (Limb & Roy, 2014). A ces difficultés s'ajoutent donc des déficits avec des tâches d'intégration perceptuelle plus élevées requises pour la perception de la musique comme la ségrégation du flux auditif.

2.3.3. Description du codage musical de l'implant

McDermott (2004) relève que les utilisateurs d'implants perçoivent le rythme aussi bien que les auditeurs ayant une audition normale. Cela a commencé dès les premiers implants cochléaires n'ayant qu'une seule électrode. Ils permettaient d'obtenir la perception du rythme, et donc de pouvoir séquencer le flux sonore, notamment lors de la parole avec la séquentialisation de syllabes (Chouard, 2010). Cependant, même avec des processeurs sonores multicanaux techniquement sophistiqués, la reconnaissance de mélodies, en particulier sans signaux rythmiques ou verbaux, est médiocre. La perception du timbre n'est également pas satisfaisante, celle-ci permet par ailleurs de pouvoir distinguer les différentes sources sonores à un instant donné, ainsi de distinguer différents instruments d'un ensemble, ou encore une mélodie parmi l'accompagnement, ou bien une voix sur une musique (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). En général les auditeurs implantés qualifient la qualité des sons musicaux moins agréable à écouter que les auditeurs entendants. "La perception de la hauteur gagnerait à être améliorée avec des processeurs sonores utilisant à la fois les modèles temporels et spatiaux de stimulation électrique de manière plus efficace et précise pour surmonter les limitations inhérentes au codage du signal dans les systèmes d'implants existants" (McDermott, 2004). Effectivement le codage de l'implant est par définition appauvri par rapport au message de base. Les informations auditives sont numérisées sur une bande de fréquences pertinente par rapport à la parole, car ce sont évidemment les indices prioritaires à transmettre compte tenu des objectifs de l'implantation, mais ne permettent pas le codage de structures fines. Selon Loundon, ces bandes fréquentielles vont de 250 Hz à 8 000 Hz (Loundon & Busquet, 2009). Différents modes de traitement du signal sont accessibles, selon que l'on privilégie la rapidité de traitement du signal ou le nombre de canaux activés simultanément. Le facteur limitant est la consommation d'énergie, qui participe à déterminer les stratégies de codage. Par ailleurs la variabilité interindividuelle est à considérer étant donné que "le confort d'écoute ressenti selon les stratégies dépend des patients, du nombre d'électrodes fonctionnelles et du processeur" (Loundon & Busquet, 2009, p.32).

3. La rééducation post IC de l'adulte

D'après les nombreux effets bénéfiques précédemment cités que permet la musique, il apparaît évident qu'elle puisse trouver sa place au cœur de prises en soin en orthophonie comme en attestent différentes études. Elle peut ainsi contribuer positivement à de nombreuses rééducations telles que la prise en soin des troubles "dys", du retard de langage, du bégaiement, du mutisme, de l'aphasie, ou encore de la surdité (Estienne & Barelli, 2019, p.14). Loundon et Busquet (2009, p.32) stipulent effectivement que dans le cas de l'implantation cochléaire, la musique, tant par son écoute que par sa pratique, peut contribuer positivement à l'accompagnement et à la réhabilitation auditive.

3.1. La rééducation orthophonique avec l'implant cochléaire

3.1.1. Objectifs et principes de rééducation

À la suite de l'implantation, les patients sont suivis de façon globale par l'équipe pluridisciplinaire. L'audioprothésiste s'occupe des réglages, le psychologue de l'acceptation de l'implant et de l'évolution de la personne, le médecin ORL du suivi général et chirurgical, puis l'orthophoniste effectue les bilans et la rééducation (Herman & al., 2019).

Cette rééducation auditive pure est essentielle dans la réhabilitation de l'implant cochléaire. Elle permettra de rendre l'implant fonctionnel et d'optimiser la progression (Soussa et al., 2015; Schumann et al., 2004 cité par Wathour, Nyssen, Deggouj, & Barth, 2019). Comme dans toute prise en soin orthophonique un programme personnalisé est établi, en fonction des demandes du patient, de ses capacités, de ses difficultés et de son évolution. Outre les données audiométriques et quantitatives du bilan permettant de rendre compte des capacités et de l'efficacité de l'implant, il est nécessaire de relever les impressions du patient, les situations problématiques dans la vie quotidienne de la personne. Cet entraînement auditif spécifique vise à développer les traitements analytiques et globaux des informations verbales et non verbales. Il permet notamment de solliciter les modes de compensation par le biais de la suppléance mentale. Les approches analytiques et globales sont complémentaires, il est par conséquent recommandé de les travailler conjointement lors de la rééducation (Moore & Amitay, 2007 ; Cardon & Collet, 2010). L'approche analytique emprunte principalement les processus perceptifs ascendants, elle expose ainsi l'écouter à des contrastes de plus en plus difficiles au niveau des caractéristiques acoustiques. Les compétences entraînées pourront se généraliser au sein du système auditif lors de traitements équivalents (Moore & Amitay, 2007; Fu & Galvin, 2007). L'approche fonctionnelle, ou encore écologique, mobilise davantage les

processus cognitifs descendants, qui sont conçus pour promouvoir un traitement central plus efficace. Elle permet la sollicitation d'une attention accrue, l'utilisation d'indices contextuels, l'amorçage, ce qui peut aider la personne en situation d'écoute à compléter l'insuffisance du signal auditif perçu (Fu & Galvin, 2007 ; Gfeller, 2001). Cette approche permet d'associer des indices de diverses modalités (visuelle, auditive...) et ainsi de favoriser l'association avec des expériences d'écoute vécues avant la surdité. Cela stimule la motivation des patients, un facteur essentiel dans l'efficacité de l'entraînement (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012).

3.1.2. Les axes de rééducation orthophonique

La communication est travaillée tant sur le versant réceptif qu'expressif. Pour le versant réceptif une progression peut être proposée avec la reconnaissance de phrases et de mots en listes fermées puis en listes ouvertes, avec et sans lecture labiale. Du matériel sonore est également utilisé avec des bruits à identifier, un travail d'analyse des paramètres du son, et ce dans le silence et dans le bruit afin de complexifier le travail et de tendre à une écoute écologique. L'introduction de bruit peut se faire à l'aide de bande sonore avec des bruits de fond ou par le simple fait d'allumer la radio ou encore d'ouvrir la fenêtre. Les nombreuses répétitions d'un travail sont nécessaires pour promouvoir l'apprentissage, grâce à un équilibre entre les succès et l'opportunité d'apprentissage (Moore & Amitay, 2007 ; Boothroyd, 2010 ; Amitay, Irwin, & Moore, 2006 ; Gfeller, 2001). Le versant expressif sera travaillé car depuis l'implantation le mécanisme auditif de l'oreille a changé, pour l'écoute des sons extérieurs comme pour l'écoute de sa propre voix. Ainsi le patient sera amené à s'écouter parler, à prendre conscience de sa précision articulatoire, à jouer avec sa voix en la modulant, à la sentir vibrer dans ses résonateurs, de façon à entraîner sa boucle audio-phonatoire.

Les principaux axes de réhabilitation orthophonique sont relevés par Ambert-Dahan, Daoud, Galère et Toffin (2005, p.58) :

- L'identification des sons environnants (maison, ville, nature, etc.)
- La reconnaissance des sons verbaux avec la discrimination phonologique : voyelles et consonnes en contexte syllabique CV (Consonne-Voyelle), avec la reconnaissance de mots monosyllabiques, dissyllabiques en liste fermée puis ouverte, puis la compréhension de phrases en liste ouverte en milieu calme et dans le bruit.
- Les capacités d'attention, d'anticipation par le contexte et de mémorisation (stimulation de la mémoire de travail) qui favorisent la récupération des informations verbales contenues dans le message.

- Le raisonnement logique et l'accès à l'implicite qui peuvent être altérés lors de surdités longues, notamment en raison du manque de stimulation.
- La pragmatique du langage, c'est-à-dire son utilisation dans les situations concrètes de la vie quotidienne : richesse et disponibilité lexicales, flexibilité au changement de thème au cours de l'échange, faculté d'adaptation à la situation, à l'interlocuteur et à son discours tant pour le fond que pour la forme.
- La communication : favoriser la diversité des situations d'échanges, retrouver une spontanéité dans l'échange verbal, adapter les conduites de manière écologique afin de les ajuster aux modes de vie familial et professionnel du sujet.
- Le contrôle vocal, c'est-à-dire la capacité à conserver le timbre de sa voix et à adapter l'intensité ainsi que le débit aux variations de l'environnement sonore.
- L'intelligibilité de la parole, c'est-à-dire la possibilité d'émettre une parole claire pour tous, en maîtrisant des gestes articulatoires précis.

Nous ajoutons que la lecture labiale s'avère un moyen de communication augmentatif complémentaire si la réhabilitation auditive avec l'implant est difficile. Des difficultés de compréhension de la parole peuvent subsister car l'implant ne retransmet pas le message auditif avec suffisamment de précision (Rouger et al., 2007). La lecture labiale s'appuie sur les indications visuelles telles que les mouvements des muscles faciaux, des lèvres, des mains et du corps en général (Dumont & Calbour, 2002 p.115). Elle permet notamment de percevoir des différences phonologiques subtiles portant par exemple sur le voisement, le point d'articulation ou la nasalisation (Pisoni, 2000 cité par Hage, 2005). En vue d'une implantation, un bilan de lecture labiale est réalisé par les orthophonistes, à la suite duquel les patients ont souvent recours à des séances de rééducation pour l'apprendre et la maîtriser. Cela peut également être un moyen de communication alternatif en cas de non-fonctionnement de l'implant pour diverses raisons telles qu'une panne technique, une situation particulière empêchant son port ou encore lors de la période précédant l'activation.

3.1.3. Education auditive et plasticité cérébrale

Chaque jour notre cerveau reçoit de l'oreille une multitude d'informations sonores en continu, qu'il s'agisse de sons langagiers ou non. Chez un normo-entendant, le cerveau a cette capacité naturelle à inhiber les informations sonores non pertinentes selon la situation, et ce grâce à la précision des paramètres acoustiques du son transmis par l'oreille. Avec l'implant les signaux ne sont pas transmis avec la même précision et l'oreille ne peut plus assurer sa fonction

de filtre permettant au cerveau cette inhibition. L'éducation auditive permet d'entraîner le cerveau à identifier les informations sonores perçues afin qu'elles soient plus facilement sélectionnées et que les sons parasites soient davantage inhibés. Selon Busquet, Gaillard et Grogh (2009), l'objectif est d'exploiter efficacement les informations acoustiques disponibles, en extrayant le sens des sons constants et continus de la vie quotidienne, de manière développer la compréhension de la parole. L'adulte implanté ayant une surdité acquise se trouve effectivement dans la nécessité de mettre du sens sur ses nouvelles perceptions sonores. Il s'agira pour lui d'un réapprentissage, apprendre à nouveau l'identification des sons, faire le tri dans les informations reçues, développer l'attention auditive, discriminer progressivement les différentes sources auditives, les reconnaître et leur donner du sens, pour ainsi comprendre la parole, le langage.

Estienne et De Barelli (2019, p.84) décrivent les cinq étapes qui composent l'éducation auditive : l'alerte, la détection, la discrimination, la reconnaissance et l'identification. L'alerte est la réaction à un bruit extérieur non prévisible. La détection consiste à faire la différence entre le silence et le bruit, elle demande une réponse active telle que la recherche de l'origine du bruit, l'orientation vers la source sonore. La discrimination se définit par la capacité à déterminer si les stimuli sonores sont identiques ou différents. Des sons contrastés sont présentés, forts et faibles, graves et aigus, longs et courts, continus et discontinus etc. La reconnaissance consiste à reconnaître une configuration acoustique mémorisée telle que les sons de la parole, les bruits de l'environnement, les sons de la musique, lorsqu'ils sont présentés en liste fermée. La dernière étape est l'identification, qui est la reconnaissance d'une configuration mémorisée sur base d'une liste ouverte. L'écoute apparaît alors comme une compétence transversale mise en œuvre dans toute activité musicale et de langage. Tous ces stimuli sonores sont organisés dans le temps et dans l'espace, qu'il s'agisse de la musique ou du langage, jouant alors sur les hauteurs, les timbres, les intensités, les durées et la dynamique. Cependant, Estienne et DeBarelli (2019, pp. 84-85) ajoutent qu'une écoute va au-delà de la simple prise en compte de ces paramètres, et qu'elle met en œuvre plusieurs autres compétences indispensables à l'interprétation : la concentration, la capacité de focalisation, l'attention, la mémoire auditive, la sensibilité.

3.2. L'entraînement : un pilier essentiel en rééducation

3.2.1. Nécessité d'un entraînement adapté face aux difficultés persistantes

Malgré cette rééducation, cet accompagnement et l'investissement des patients et thérapeutes, des plaintes subsistent dans la population des implantés cochléaires. Il s'agit pour beaucoup de la difficulté à comprendre la parole lorsqu'il y a du bruit ou plusieurs personnes qui parlent en même temps. C'est pourquoi la rééducation évolue, avec par exemple l'intégration adaptée de bruits au cours de la prise en charge. La perception des sons de l'environnement s'avère importante à travailler. Tréville-Portain, Touati, Poncet-Wallet, et Ernst (2019) montrent une corrélation entre la reconnaissance des sons environnementaux et la compréhension de la parole en milieu bruyant. Il semblerait donc intéressant de s'exercer à identifier les sons environnementaux. En effet, la situation bruyante est une situation courante dans la vie quotidienne que la personne se trouve dans la rue, au milieu de personnes, dans une voiture, avec une musique de fond, ou encore auprès d'un appareil électroménager qui bourdonne. La rééducation doit donc se développer et tendre vers un entraînement permettant de répondre à ces demandes. Il s'agit d'évoluer en travaillant davantage sur la discrimination de différentes sources sonores, sur l'inhibition des bruits parasites et fonds sonores, sur la distinction d'une seule source sonore parmi un ensemble (la voix d'une personne ou les paroles d'une musique par exemple).

3.2.2. Principes de l'entraînement

L'éducation thérapeutique apportée par l'équipe pluridisciplinaire permet au patient de faire de l'implant son allié (Belouard, 2017), cette prise en charge lui donne les clés pour accepter et comprendre le nouveau fonctionnement de son audition. Il pourra alors s'investir davantage dans la rééducation, devenir acteur et la compléter par lui-même. En effet, le maintien des habiletés de communication en conscientisant les dysfonctionnements et en expliquant les stratégies spécifiques pouvant être utilisées, permet d'optimiser la prise en charge et l'investissement du patient (Ernst, 2014). L'entraînement est nécessaire car il facilite la neuroplasticité (Dumont, 2008), les personnes implantées accéderont progressivement à de nouvelles représentations de l'environnement sonore et de la parole. Lors des premiers mois et de la première année s'observent les meilleurs résultats de récupération, mais Galvin et Fu (2007) ajoutent que les progrès sont également présents les années suivantes, même très éloignés de la pose de l'implant et ce grâce à l'entraînement qui induit une plasticité davantage volontaire. D'autres auteurs appuient ce postulat, soutenant que les gains auditifs peuvent être optimisés et la réorganisation du cerveau peut être favorisée en couplant la rééducation et

l'entraînement auditif (Olson, 2015). Gil et Iorio ont testé l'impact que l'entraînement auditif peut avoir sur les compétences telles que la localisation des sons et la mémoire auditive. Les résultats objectifs et subjectifs témoignent des effets bénéfiques de l'entraînement sur la récupération (Gil et Iorio, 2010). Les entraînements sont entre autres efficaces pour la compréhension en milieu bruyant.

La situation de rééducation permet au thérapeute et au patient d'échanger sur la prise en charge, sur les informations et demandes de la personne, et d'éviter d'éventuels découragements face aux situations complexes (Ernst, 2014). Ces moments thérapeutiques sont évidemment le lieu de mettre en place des stratégies de réhabilitation mais ils sont également l'occasion de redéfinir les objectifs, d'ajuster la vitesse et l'articulation de la parole. De nombreux patients sont en demande pour compléter cette prise en charge rééducationnelle par du travail personnel afin d'améliorer davantage leurs performances.

3.2.3. Les avantages de l'entraînement en autonomie

L'entraînement auditif consiste à effectuer des exercices de manière répétée dans le but d'améliorer les fonctions auditives déficitaires et de minimiser les dysfonctionnements (Weihing, Chermak, & Musiek, 2015). L'auto-entraînement auditif correspond donc à faire ce travail soi-même. Il s'est développé dans le monde de la surdité grâce à l'essor de la technologie numérique, rendant ainsi des supports de travail accessibles en termes de coût, de temps et de logistique, aux personnes implantées. Les patients peuvent ainsi travailler sur des tâches d'entraînement auditif par le biais de programmes informatiques, tout en profitant du confort de leur foyer (Nanjundaswamy, Prabhu, Rajanna, Ningegowda, & Sharma, 2017). Plusieurs obstacles peuvent effectivement entraver un travail intensif tels que le manque de professionnels, l'éloignement géographique des patients ou une situation de mobilité réduite (Ambert-Dahan & Borel, 2013). Les logiciels répondent alors à ces contraintes, proposant des présentations de stimuli enregistrés avec des interfaces adaptées au groupe d'âge et au niveau de la personne et ce, de manière interactive. Selon Sweetow et Sabes (2006), ces outils attractifs et accessibles permettent à l'adulte de s'investir dans le processus de réhabilitation, d'impliquer les fonctions cognitives au cours du travail, de renforcer les stratégies d'écoute ainsi que de conforter la confiance en soi. Les objectifs de l'éducation auditive peuvent de ce fait être travaillés au moyen de différents modules, permettant le développement de la lecture labiale et de renforcement des fonctions cognitives (Ernst, 2014). Les outils numériques sont également pertinents pour travailler sur des compétences plus fines telles que la mémoire et l'attention, la

parole dans le bruit ou une langue étrangère, et peuvent permettre de poursuivre une prise en charge rééducative (Ambert-Dahan, 2011).

3.2.4. Efficacité de l'entraînement

De nombreuses études démontrent l'efficacité de l'auto-entraînement, rendant le patient davantage acteur de sa rééducation et améliorant sa compréhension. Zhang, en 2012, (cité par Pizarek et al., 2013) relève une amélioration des capacités de compréhension de la parole pour six des sept personnes implantées ayant suivi un programme d'entraînement dans le cadre de leur étude. Le gain est encore attesté un mois après la fin de l'entraînement. En 2007 Galvin et Fu ont proposé à dix adultes implantés depuis au moins un an de suivre le programme CAST, à raison d'une heure par jour, cinq jours par semaine, pendant un mois ou plus. Ils relèvent une amélioration significative de la reconnaissance des voyelles et des consonnes pour tous les sujets, avec des bénéfices demeurants mesurables un ou deux mois après l'entraînement (Fu & Galvin, 2007). Cependant, un entraînement d'une durée plus longue semblerait bénéfique pour permettre une généralisation des compétences dans le quotidien des patients (Ingvalson, Lee, Fiebig, & Wong, 2013). Dans leur étude, Vitti et al. (2015) relèvent une hausse des performances des sujets implantés après un mois d'entraînement, trente minutes par jour, cinq jours par semaine. Le travail portait sur la discrimination, la reconnaissance, le séquençage temporel, la compréhension, les stratégies de communication et cognitivo-linguistiques. En outre, l'impact psychosocial de l'implant cochléaire serait minimisé par l'entraînement (Vitti et al., 2015). Baungaard et collaborateurs comparent les performances d'un groupe témoin et d'un groupe de sujets suivant un entraînement. L'ensemble des sujets voient leurs performances en compréhension de la parole s'améliorer, de même que leur qualité de vie est augmentée. Cependant, il n'y a pas de différence significative relevée, ce qui est dû, d'après les auteurs, à une durée d'intervention trop courte (Baungaard et al., 2019).

3.2.5. Les supports existants et leurs limites

Pour permettre aux personnes implantées cochléaires de procéder à cet entraînement en autonomie, différents supports d'entraînements auditifs informatiques sont accessibles à ce jour. Dans leur mémoire, Foucaut et Marguet (2019) ont recensé trois logiciels spécifiques d'entraînement auditif répondant aux critères d'accès gratuits, libres et en français. *Atmosphère musicale* créé par *Advanced Bionics*® permet de travailler l'audition grâce à des stimuli d'ambiance musicale, de reconnaissance de voix, d'instruments, de la langue et de l'identification des paroles. Il n'est pas possible de faire des réglages ou ajustements, de mesurer

les progrès ou encore d'adapter le niveau à celui du patient de façon automatique. L'IFIC (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire) a créé un logiciel pour travailler l'attention, la perception, discrimination de la parole et du langage, la mémoire et la musique. Les stimuli se présentent sous forme de dictées, quiz et repérages d'erreur sur des images, des chiffres, des mots et des phrases. Cet outil propose la répétition des stimuli, le réglage du volume et la visualisation du texte, mais ne permet pas la mesure des progrès ni l'adaptation au niveau du patient. D'autres logiciels existent mais en langue anglaise, parmi eux nous relevons *Angel Sound* qui est un outil élaboré par Galvin et Fu, car il est actuellement en cours d'adaptation francophone. Il permet la reconnaissance, l'identification et la compréhension par le biais d'un matériel varié : sons, phonèmes, mots et phrases dans le bruit, musique, sous forme de questions à choix multiples et tableaux. Des ajustements sont possibles au niveau du choix du locuteur, de la vitesse de locution, du bruit de fond, du mode de sortie du son, des répétitions et du feedback des erreurs. La mesure des progrès et l'adaptation au niveau du patient sont accessibles (d'après Nanjundaswamy et al., 2018 ; Pizarek et al., 2013; Ambert-Dahan et Borel, 2013).

3.2.6. Besoin de nouveaux outils d'entraînement

Nous notons ainsi que des programmes d'entraînement existent mais ils sont insuffisamment nombreux et accessibles (accès à un ordinateur, connexion internet, lieu d'utilisation) compte tenu de l'intérêt notoire précédemment cité d'un entraînement régulier et autonome. Au vu de la démocratisation de l'utilisation du smartphone (en 2019, 77% de la population française en possède), Nabil (2019, pp 32-33) avance les avantages d'accessibilité, d'ergonomie et de simplicité que permettent les applications mobiles comparées aux sites internet, notamment dans le milieu du soin et de la médecine.

Parallèlement, la musique s'immisce progressivement dans ces outils d'entraînement mais seulement sous une forme de test proposant des questions à la suite de l'écoute d'une note, ou d'une courte suite de notes, faisant rarement référence à une musique connue. Les extraits musicaux sont élaborés avec du matériel musical de synthèse généré par ordinateur et non avec des instruments réels. Or, les musiques naturalistes* promeuvent un traitement global de l'information sonore, grâce à la prise d'indices contextuels qui permet de mobiliser les souvenirs auditifs anciens (Driscoll et al., 2009).

L'intérêt d'un outil d'entraînement adapté aux différents critères d'accessibilité, de réalité musicale et des principes rééducationnels précédemment énoncés, apparaît donc comme une évidence et un besoin actuel.

Partie Pratique : élaboration d'un outil d'auto-entraînement

1. Présentation du projet et des objectifs

1.1. Problématique et avènement du projet

Les difficultés de compréhension et de discrimination de plusieurs sources sonores simultanées sont relevées par les personnes implantées comme étant particulièrement handicapantes dans la vie quotidienne. Qu'il s'agisse de situations d'écoute de la parole en groupe, d'écoute dans le bruit ou d'écoute de la musique, les différentes sources se confondent et rendent le flux sonore indifférenciable. Face à ces difficultés persistantes, la revue de littérature précédente expose l'intérêt d'un travail d'auto-entraînement à l'éducation auditive sur le support de la musique, prenant en compte la mémoire de l'individu, ses émotions ainsi que ses caractéristiques personnelles (âge, goûts musicaux, capacités auditives, etc.). L'utilisation de la musique permettrait de favoriser la stimulation cognitive et la plasticité cérébrale, de même que la motivation et l'intérêt du patient (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). Pour que l'auto-entraînement soit le plus efficace possible, l'application mobile semble être adaptée car elle répond aux critères d'accessibilité de l'outil et d'adaptabilité aux habitudes de vie des personnes (choix de l'horaires et des lieux d'utilisation).

L'objet de cette présente partie est la présentation de l'élaboration d'un outil d'éducation auditive par le biais de la musique. Ce support d'apprentissage ou réapprentissage à visée des personnes implantées a pour intention de proposer un auto-entraînement régulier, progressif, adapté, ludique, attractif, accessible et utilisable en autonomie. Il prendra ainsi la forme d'une application mobile, un outil familier susceptible de proposer un entraînement régulier et intensif dans des conditions optimales physiques et psychologiques. Nous visons ainsi l'obtention d'une qualité d'écoute optimale puisque le patient peut éviter les endroits bruyants, il peut choisir son matériel d'écoute avec un casque adapté, la fonction Bluetooth connectée à ses implants ou encore une enceinte de bonne qualité (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). Nous ne portons nullement l'ambition de substituer la rééducation orthophonique par notre travail, mais en revanche de la compléter voire de lui succéder.

1.2. Hypothèses de travail

Hypothèse 1 : Nous avons pour objectif de créer des exercices d'éducation auditive qui soient fondés sur la base de matériel musical, et qui soient conformes aux principes théoriques de rééducation et de réhabilitation auditive.

Hypothèse 2 : Nous souhaitons organiser ces exercices sous la forme d'un outil d'auto-entraînement qui soit ludique, attractif, accessible et adapté à la personne adulte implantée.

Hypothèse 3 : Cet outil permettrait au patient d'affiner son oreille et d'entraîner le cerveau à mieux discriminer les différents sons et sources sonores afin d'améliorer son intelligibilité de la parole dans un environnement complexe (milieu bruyant, groupe, musique). Il s'agit de proposer un travail permettant d'entraîner le cerveau à associer les nouvelles images sonores transmises par l'implant avec celles potentiellement stockées auparavant en mémoire.

1.3. Population cible

L'un des points fondamentaux de l'outil est d'être personnalisé aux besoins et aux intérêts du patient. Des versions différentes sont donc nécessaires selon les caractéristiques des utilisateurs, versions variant notamment au niveau de la présentation, des extraits musicaux et références, de la difficulté et progression, des modalités de réponse. Par souci de contraintes temporelles, nous devons restreindre notre population cible à une partie seulement des personnes implantées, afin de proposer un outil adapté à leurs caractéristiques, en termes de goûts musicaux, de connaissances générationnelles, de familiarité avec l'outil informatique. La population sélectionnée concerne les adultes de plus de 20 ans parlant français, ayant une surdité post linguale et au moins une implantation cochléaire datant de moins d'un an. Le critère "surdité acquise" nous permettra de prendre en considération leur mémoire auditive. Ces personnes ayant déjà bénéficié de l'audition, nous pourrions ainsi nous appuyer sur leur potentielle connaissance de la musique populaire. Leur âge nous permettra de cibler les musiques à utiliser dans les exercices, souhaitant faire émerger des émotions préalablement mémorisées. Le caractère récent de l'implant leur donne un niveau débutant commun en termes de rééducation. Nous pouvons alors élaborer les exercices en fonction de leur niveau tout en tenant compte des variabilités interindividuelles en proposant une large progression. De plus, les progrès étant principalement observés dans l'année qui suit l'implantation (Foucaut & Marguet, 2019), nous avons fait le choix de favoriser la période d'entraînement sur cette première année, plus propice à l'évolution positive que concède la plasticité cérébrale.

2. Méthode et matériel : Conception de l'outil

2.1. Conception du fond de l'outil

Les principes de l'éducation auditive utilisée en orthophonie ont été rappelés précédemment, de même que les cinq étapes qui la composent : l'alerte, la détection, la

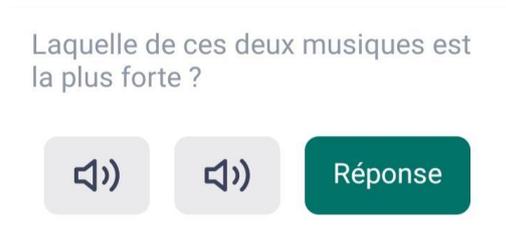
discrimination, l'identification et la reconnaissance (Estienne & De Barelli, 2019, p 84). Nous avons ainsi imaginé des exercices d'entraînement auditif sur la base de ces principes permettant de s'exercer grâce à l'analyse, la comparaison, la distinction et la mémorisation des sons. Nous avons choisi d'élaborer deux classes d'exercices, l'une correspondant à une approche analytique et l'autre à une approche davantage fonctionnelle, ces deux approches étant complémentaires (Moore & Amitay, 2007 ; Cardon & Collet, 2010).

2.1.1. Les exercices spécifiques et analytiques

2.1.1.1. Principes généraux et structures des exercices

Au sein des exercices analytiques conçus, les paramètres acoustiques sont travaillés indépendamment, de façon à augmenter l'efficacité perceptuelle à entendre de petits changements. Les progrès peuvent se généraliser à l'ensemble du système auditif dépendant de traitements similaires (Moore & Amitay, 2007 ; Fu & Galvin, 2007). Pour chaque paramètre nous avons constitué une série d'exercices faisant appel aux capacités d'écoute, de distinction et de différenciation sonore. Nous ajoutons également des exercices permettant de travailler la capacité à percevoir des émotions musicales. Cette capacité est effectivement déficitaire chez les personnes implantées en raison des difficultés d'analyses acoustiques (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012).

Nous avons sélectionné deux uniques structures d'exercices, de façon à ce que le travail porte véritablement sur l'audition et qu'il ne soit pas biaisé par une charge cognitive trop importante. De plus, cette sélection permet une répétition importante des exercices en vue de promouvoir l'apprentissage (Moore & Amitay, 2007 ; Boothroyd, 2010 ; Amitay, Irwin, & Moore, 2006; Gfeller, 2001). La structure principale des exercices est composée d'une question écrite posée à l'auditeur, demandant de choisir la réponse parmi les deux extraits musicaux



présentés. Les deux extraits sont ainsi à écouter, à analyser et à comparer. A titre d'exemple, le schéma ci-contre illustre la présentation des exercices concernant l'intensité. Il est demandé à l'écouter de trouver l'intensité la plus forte.

L'auditeur pourra écouter alternativement les deux extraits, autant de fois que souhaité, avant de proposer sa réponse. Il s'agira pour la hauteur de trouver la musique la plus aiguë ou la plus grave selon les cas. Pour le timbre, il convient de définir si les instruments/voix sont identiques dans les deux extraits. Il peut également convenir de retrouver l'extrait

correspondant à l'instrument cité dans la question. Au niveau du rythme, il importe de repérer le plus court ou le plus rapide selon les exercices. La deuxième structure concerne les exercices sur l'émotion musicale. L'émotion musicale perçue étant évidemment dépendante de la singularité individuelle, la question posée est une question ouverte, qui conduit l'auditeur à analyser ses ressentis. L'interrogation est la suivante "*Quelle(s) émotion(s) cette musique vous fait-elle ressentir ?*", suivie d'un extrait musical. Les exercices sont donc élaborés sur la base de cette structure redondante, chaque paramètre étant travaillé grâce à plusieurs items différents. Dans un souci de clarté du son envoyé à l'implant, et de façon à ne travailler que sur le paramètre acoustique en question, les extraits musicaux à l'écoute correspondent à une source sonore unique. Il s'agira soit d'un instrument, soit d'une voix.

2.1.1.2. Progression au cours de l'entraînement

Plusieurs exercices sont élaborés pour chaque paramètre, qui diffèrent par les extraits musicaux présentés, mais également par leur difficulté. D'après Moore et Amitay (2007) des tâches de formation trop simples peuvent ne pas produire un apprentissage optimal, lorsqu'un apprentissage plus résistant peut se produire sur des tâches très difficiles. Au sein des quatre séries d'exercices correspondant aux paramètres acoustiques, trois niveaux de difficultés sont donc accessibles. Cela permet de proposer une formation adaptative (Moore, Rosenberg, & Coleman, 2005), avec en premier lieu des stimuli facilement discriminables, puis un ajustement en fonction des capacités de l'auditeur. Cela s'illustre différemment selon les paramètres :

- Pour **l'intensité** : au sein d'un exercice, les deux extraits correspondent à une même mélodie* jouée par le même instrument, mais ils diffèrent par leur intensité. Au premier niveau, la différence de décibels entre les deux extraits est d'environ 20 dB, environ 10 dB pour le deuxième niveau, et moins de 10 dB pour le troisième.
- Pour **la hauteur** : les deux extraits à comparer ne diffèrent que par leur fréquence, au moins trois octaves pour le premier niveau, deux octaves pour le deuxième, et une octave pour le troisième. Les voix sont intégrées à partir du deuxième niveau avec des comparaisons entre voix d'homme et voix de femme, puis des comparaisons entre hommes uniquement, entre femmes, ou entre femme et enfant pour le troisième niveau.
- Pour **le timbre** : les comparaisons du premier niveau correspondent à des timbres très différents tels qu'un instrument à cordes versus des percussions. Les timbres sont de plus en plus similaires pour les deuxièmes et troisièmes niveaux tels que deux instruments à cordes ou deux instruments à vent. L'introduction de voix apparaît dès le deuxième niveau.

- Pour **le rythme et la durée** : pour chaque comparaison il s'agit de deux extraits ne se différenciant que par leur rythme, par leur vitesse ou par leur durée (selon les exercices). Dans le premier niveau la différence maximale correspond à un facteur 4, c'est-à-dire que pour le tempo, l'un des extraits aura une vitesse quatre fois supérieur au second et pour la durée, l'un sera quatre fois plus long. Les différences sont moins importantes et donc de moins en moins perceptibles au fil des niveaux.

La notion de modalité est complémentaire dans cette progression. Au sein des premiers niveaux, les modalités peuvent être multipliées grâce à la présence d'indices visuels, ce qui permet d'améliorer le plaisir d'écoute (Gfeller & al., 2008), ainsi que d'apporter davantage d'indications pour l'analyse sonore. Cela peut permettre une meilleure récupération des indices sonores en mémoire ainsi qu'un encodage de meilleure qualité. Il s'agit de vidéos, d'images, ou des noms écrits des instruments. Le support visuel d'un exercice correspond soit à l'illustration de l'instrument cité dans la question, soit aux illustrations respectives des deux extraits musicaux à analyser. Ces indices s'estompent progressivement au fil des exercices.

2.1.2. Les exercices fonctionnels

2.1.2.1. Réflexions préalables

Tel qu'exposé dans la revue de littérature précédente, l'approche fonctionnelle permet de solliciter l'attention, la prise en compte d'indices contextuels ou encore l'amorçage, afin de parvenir à la compréhension du message auditif (Fu & Galvin, 2007 ; Gfeller, 2001). Nous avons ainsi choisi d'élaborer ces exercices sur la base de musiques réelles, potentiellement connues de la population, de façon à travailler le plus écologiquement possible. Cependant, la difficulté réside en cette situation même, car la perception musicale implique le traitement simultané de multiples sources telles que plusieurs instruments, différents rythmes ou encore des contre-chants* (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). Nous avons donc conçu deux types d'exercices permettant de s'entraîner et de faciliter la détection, la discrimination, l'identification de différentes sources sonores. En d'autres termes, il s'agit de percevoir différents instruments ou voix, jouant simultanément dans une même musique, de les distinguer et de pouvoir porter son attention sur l'une des sources afin de la comprendre.

2.1.2.2. Exercices d'analyse progressive du flux sonore musical

L'objectif pour cette première forme d'exercice est de parvenir à distinguer et nommer les différents instruments jouant cette musique. Continûment dans la volonté de multiplier les

canaux d'information, les titres et interprètes originaux des chansons sont présentés de façon écrite. Sur la base de ces musiques réelles, nous avons sélectionné un nombre restreint d'instruments et voix, variant de deux à trois selon les exercices, afin de réduire l'information sonore. A chaque instrument ou voix correspond une piste audio*, qui contient uniquement l'information sonore de cet instrument ou voix. La question posée lors de cet exercice est “*À quels instruments ou voix correspondent chacune de ces pistes ?*”. Les pistes sont alors nommées “*instrument 1*” ou “*2*” ou “*3*”. Lorsque la chanson débute, l'ensemble des pistes est audible, telle une situation réelle. Cependant, il est possible de mettre indépendamment chacune des pistes en sourdine, afin de n'entendre qu'une piste à la fois selon l'envie. L'objectif de cet exercice est d'identifier chacun des instruments ou voix entendu sur chacune des pistes. Lorsque la nature des pistes est découverte, la chanson demeure disponible à l'écoute. L'utilisateur peut ainsi continuer d'écouter alternativement ou simultanément les instruments des différentes pistes, tout en ayant leurs noms visuellement accessibles. Les schémas suivants illustrent la structure de cet exercice. Le premier schéma correspond à la phase de questionnement et le deuxième correspond à l'affichage des réponses. Notons que sur ces exemples, l'utilisateur a choisi de n'écouter que la piste de la guitare.



Capture d'écran exercice fonctionnel « chansons françaises » : avant l'affichage des réponses.



Capture d'écran exercice fonctionnel « chansons françaises » : après l'affichage des réponses.

Les trois niveaux de difficultés sont élaborés de manière à présenter dans un premier temps seulement deux instruments, qui sont très différents tels qu'un accompagnement instrumental* et une voix. Les instruments seront plus nombreux et moins facilement discriminables au fil des niveaux.

2.1.2.3. Exercices au plus proche d'une situation naturelle

Le second type d'exercice s'apparente davantage à une écoute fonctionnelle. Nous conservons le principe de l'indépendance des pistes instrumentales. Dans cette partie, chaque exercice correspond à un morceau de musique, et toutes les chansons utilisées ultérieurement y

sont reprises. Les titres et auteurs originaux sont indiqués visuellement, de même que chacun des instruments et des voix sont nommés. Dans le cas présent, le volume de chacune des pistes est ajustable grâce à des curseurs indépendants. L'écoute est ainsi ajustable en temps réel, ce qui permet d'augmenter et de réduire à souhait le volume de chacun des instruments.



Capture d'écran d'exercice fonctionnel « répertoire ».

disponibles permettent en effet d'expérimenter l'écoute de la musique en situation réelle lorsque les volumes de toutes les pistes sont au même niveau, puis d'ajuster selon les difficultés rencontrées. Cela permet également d'avoir visuellement des informations pour comprendre pourquoi l'audition de ces sources simultanées est difficile, observant qu'à partir d'un tel équilibre de volumes la distinction et la compréhension sont possibles.

2.1.3. Une familiarisation préalable des stimuli musicaux

Nous avons décidé d'intégrer une bibliothèque d'instruments au cœur du programme d'entraînement. Elle comporte une présentation de tous les instruments et voix qui sont utilisés dans les exercices de l'outil. Différents indices visuels et contextuels sont associés, permettant d'attirer l'attention sur des caractéristiques particulières et de favoriser l'association avec des expériences d'écoute antérieures à la surdité (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). Ainsi, pour chacun, le nom est écrit, la photo est présentée, et le morceau à l'écoute correspond à une musique caractéristique de l'instrument. A titre d'illustration, un morceau typique du piano peut être *La lettre à Elise* de Beethoven. La formation préalable des stimuli musicaux est recommandée, cela permet donc de se familiariser avec les différents sons, mais également de venir s'y référer à tout moment lors de l'entraînement.

2.1.4. Modalités de questions - réponses

Selon Gfeller (2001), une proportion importante d'adultes implantés aurait 45 ans ou plus ; de ce fait, les changements physiques, cognitifs, mentaux et sociaux associés à l'âge doivent être pris en compte dans la formation des exercices. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser des structures d'exercices redondantes, en nombre limité. L'auditeur contrôle le changement d'exercice et de niveau, de façon à ce que les nouvelles instructions apparaissent à un rythme libre. De nombreuses autres informations anticipatrices sont fournies telles que le nombre d'instruments à l'écoute, parfois leur nom et leurs images selon les cas, ou encore le titre de la musique ainsi que l'interprète pour les exercices fonctionnels. Les répétitions abondantes sont également préconisées, par conséquent les consignes sont rappelées pour chacun des exercices, malgré leur structure redondante. De plus, les indications supplémentaires sont accessibles pour chaque exercice via une rubrique "*aide*".

L'objectif est de travailler progressivement la perception auditive, et non d'évaluer ou de sanctionner lorsque l'exercice n'est pas réussi. Les personnes sont invitées à réfléchir à la question posée, se concentrer sur leurs perceptions auditives, et identifier la réponse correspondant le plus à leur analyse. Il n'y a donc pas de réponse à "valider" ou à envoyer, cependant la réponse est accessible lorsque l'utilisateur le souhaite. À la suite de l'affichage des réponses, l'écoute demeure accessible autant que souhaité. Cette rétroaction, signifiante et valorisante, est essentielle pour le réapprentissage des sons instrumentaux via un implant (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012).

2.2. Confection du matériel musical

2.2.1. Sélection des morceaux musicaux

Les musiques générées par ordinateur* sont communément utilisées pour la confection du travail analytique. Cette technique permet effectivement de contrôler les éléments structurels (plages de fréquences, spectre, tempo, durée, amplitude) afin de les adapter selon l'objectif de travail. Un travail fonctionnel se base davantage sur des musiques naturalistes*. Ces musiques réelles permettent la perception du contour mélodique, de l'amplitude exacte du changement d'intervalle et de la comparaison mentale entre la mélodie* entendue et le rappel de structures mélodiques familières. Cependant, nous cherchons à générer de la motivation chez l'auditeur, qui est le facteur clé d'un engagement actif dans une formation formelle (Boothroyd, 2010). Or, les patients implantés considèrent la capacité à reconnaître des airs, des instruments de musique et des changements de hauteurs auparavant connus, comme étant d'importants vecteurs de

motivation, qui favorisent la récupération en mémoire et la confiance en soi (Looi & She, 2010). Ils relèvent les bénéfices d'un choix de musiques connues, peu complexes et avec des paroles. Nous avons ainsi décidé d'utiliser exclusivement des musiques naturalistes* pour l'ensemble de l'outil, incluant les exercices analytiques. Les stimuli auditifs semblent mieux perçus avec l'implant dans ces conditions que lorsqu'il s'agit séquences électroniques. Nous promovons par conséquent le traitement descendant qui implique d'utiliser les indices structurels connus (hauteur, timbre, mélodie, rythme, paroles) ainsi que les indices contextuels. En outre, nous visons ainsi une amélioration plus importante des capacités de perception, car elle serait davantage liée au développement de stratégies compensatoires pour la reconnaissance, qu'à un travail de précision analytique (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012).

La sélection des musiques s'établit à partir de musiques populaires, connues, et potentiellement appréciées par les utilisateurs. Les cinquante morceaux retenus qui serviront de base aux exercices ont été principalement recensés d'après les sondages des "musiques préférées des français" (Hilario, 2019 ; France Net Info, 2018). Ils comprennent neuf morceaux de musiques populaires telles que des comptines potentiellement ancrées en mémoire dès l'enfance, cinq mélodies* de basse provenant de morceaux internationalement connus, et quinze morceaux correspondant respectivement à la présentation de chacun des quinze instruments et voix. Enfin, nous comptons dix-neuf chansons dont les paroles sont chantées en français, de façon à maximiser la potentielle généralisation vers la compréhension de la voix parlée (cf. Annexe V).

Nous avons alors pris le parti de réenregistrer l'intégralité des musiques utilisées dans l'outil afin de pouvoir les manier, les adapter, les faire varier selon le travail souhaité et ainsi permettre de réaliser avec précision les exercices prévus. Ces extraits se veulent variés en termes de rythme, de tempo, de couleur musicale (différentes émotions évoquées), de genre littéraire des paroles et de vitesse d'élocution, d'instruments utilisés et associés.

2.2.2. Sélections des instruments et voix

Nous avons choisi les instruments en fonction de leur plage de fréquences de façon à balayer le champ de fréquences auditif de l'oreille humaine (20 - 20 000 Hz). La sélection tient également compte des caractéristiques des instruments afin d'avoir des représentations de chaque catégorie : les instruments à vent (bois et cuivre), à cordes (frappées et pincées), des percussions (avec et sans membrane). Les différents timbres sélectionnés sont le piano, la guitare acoustique, la guitare électrique, la basse, le violoncelle, le violon, la contrebasse, le

saxophone, la trompette, la flûte traversière, la flûte à bec, l'harmonica, l'accordéon, le djembé, la batterie, le triangle (cf. Annexe VI).

Le choix des voix s'est également effectué avec l'objectif d'avoir des exemples variés. Cela permet de travailler l'oreille sur des caractéristiques vocales diverses et non sur un seul timbre, afin de permettre un entraînement bénéfique dans des situations naturelles de conversation avec différentes personnes. La sélection est composée de trois voix d'hommes (ténor, baryton et basse), de trois voix de femmes (alto, mezzo et soprano), de deux voix d'enfants (un enfant de 3 ans et un enfant de 4 ans) ainsi que de chœurs (le nombre de chanteurs diffère allant du duo au groupe de six voix) (cf. Annexe VI).

2.2.3. Enregistrements

2.2.3.1. Généralités sur l'enregistrement

Les enregistrements ont été faits à l'aide d'un enregistreur ZOOM H5 portatif avec microphone Xyh-5. Pour avoir une qualité sonore optimum nous avons enregistré principalement les instruments à vents, voix et percussions dans des studios insonorisés ou pièce calme, certains instruments à cordes en auditorium pour une amplification naturelle et certains claviers et guitares en prise de son directe* avec l'enregistreur afin de supprimer les bruits parasites.

Tous les instruments de chaque morceau ont été enregistrés successivement sur des pistes indépendantes, avec parfois selon les cas plusieurs interprétations variant au niveau de la fréquence, du rythme et de l'intensité. En d'autres termes, un même morceau a été enregistré de multiples fois, il a par exemple été joué au piano, à un tempo x , dans une certaine tonalité*, puis dans une tonalité* plus aiguë, encore plus aiguë, puis plus grave etc. Ensuite, il a été interprété avec des tempos différents et ce sur plusieurs tonalités. Ultérieurement ce morceau a été enregistré de la même manière, mais interprété par d'autres instruments. Nous avons recueilli par ailleurs des versions différentes d'accompagnements* et de mélodies*. Ainsi, pour une chanson, nous avons sélectionné des versions voix chantées, des versions d'instruments en solo, puis plusieurs accompagnements* divers joués par différents instruments (accords plaqués*, accords arpégés* ou seulement la note fondamentale de l'accord*).

Ces pistes variées et indépendantes auront permis de choisir et de personnaliser l'information sonore des exercices, d'affiner la progression en proposant des sources simultanées plus nombreuses, des arrangements plus complexes et des sons de plus en plus similaires.

2.2.3.2. Anticipation et préparation pour les musiciens

Les enregistrements des morceaux qui servent à la création de l'outil se sont échelonnés sur sept mois, de juin à décembre 2019. Vingt-cinq personnes ont été mobilisées pour jouer d'un instrument ou chanter, ainsi que des personnes accompagnatrices (pour les enfants principalement), et des personnes prêtant les lieux et le matériel. Pour chacune de ces personnes, nous avons répertorié les morceaux à jouer, selon les exercices envisagés. Nous avons envoyé en amont un dossier par musicien, comportant les partitions que nous avons arrangées, transcrites* et transposées* selon l'instrument et le morceau avec différentes versions (différentes hauteurs, tonalités*, accompagnements* et mélodies*) pour confectionner une base de matériel musical fournie permettant de répondre à chaque exercice envisagé. Nous avons réécrit plusieurs partitions afin que la musique soit adaptée à notre objectif qui est la simplicité et la clarté de l'information sonore envoyée à l'implant. Ainsi, selon les musiques il s'agit d'accords plaqués*, à raison d'un seul accord tous les quatre temps, ou un accord tous les deux temps. Il s'agit parfois d'accords arpégés*, avec une seule note à la fois dont la vitesse d'enchaînement est variable. Pour certains morceaux nous avons réécrit la partition correspondant à la mélodie des paroles afin qu'elle soit jouée par un instrument. Nous avons transposé* et transcrit* les partitions, mélodies* et accompagnements*, selon les associations d'instruments car ils ont parfois des tonalités différentes.

2.2.3.3. Organisation et déroulement des enregistrements

Les enregistrements se sont déroulés dans huit lieux différents, à domiciles privés possédant une salle insonorisée en Normandie, dans les Pays de la Loire, en Bretagne et dans les Hauts de France ; à domicile des musiciens ; dans l'auditorium du conservatoire de Lille ; dans des studios de musique qu'ils soient privés (Normandie) ou au sein d'une école (association MusISA, Lille). Chaque chanteur ou musicien a fait l'objet d'un ou plusieurs déplacements pour les entretiens d'explicitation, les répétitions et l'enregistrement. Chacun a effectué plusieurs heures de répétition et a été enregistré individuellement, à raison de deux heures trente minimum d'enregistrement par personne. Ce temps comprend les réglages, la mise en place, l'accordage, l'échauffement, les essais d'acoustique, les essais de prise de son, les différents essais d'enregistrements, les différentes versions des morceaux enregistrés, l'écoute des instruments précédemment enregistrés avec lesquels il faut se coordonner pour certains morceaux. En moyenne, quatre prises ont été faites pour chacun des extraits musicaux enregistrés, pour cause de problème technique, de modification du jeu, de fausses notes ou encore de bruits parasites (souffle, larsen, bruit extérieur, voix etc.). Quand cela était possible

les instruments ont été branchés en prise de son directe* (guitare acoustique, électro acoustique, basse, clavier), sinon le placement du micro portatif était ajusté selon l'instrument, le lieu et l'acoustique de la pièce. Une prise d'image a également été effectuée, chaque musicien et chanteur a été photographié pendant le jeu musical. Pour la plupart des morceaux, l'enregistrement a été filmé afin d'avoir une vidéo correspondant parfaitement avec le son.

2.2.4. Analyse et sélection des extraits

Les extraits musicaux doivent faire l'objet d'un travail d'analyse et d'arrangement précis. L'un des points de vigilance porte sur l'intensité d'abord, l'ensemble du matériel musical doit avoir une valeur de décibels harmonieuse afin que le patient puisse régler le volume du support au préalable et que la réception de sonie douloureuse soit évitée. Les hauteurs moyennes et fondamentales des extraits sont étudiées afin que l'outil contienne une représentation de l'ensemble du spectre de fréquences de l'audition avec davantage d'échantillons correspondant au spectre vocal et ce dans un but écologique. Le bruit de fond et les bruits parasites contenus dans les enregistrements sont supprimés et filtrés au maximum pour éviter d'envoyer d'autres fréquences à l'implant qui pourraient perturber l'écoute des sons désirés. Les enregistrements qui s'avèrent d'une qualité jugée non suffisamment correcte sont écartés. Pour chaque morceau la qualité musicale est vérifiée, la régularité du tempo, la correspondance entre la mélodie* et les accords, la correspondance au niveau de la tonalité* et la coordination entre tous les instruments tout au long de la musique.

2.3. Mise en forme de l'outil

2.3.1. L'outil informatique : une application mobile

L'application mobile a été choisie dans l'intention de proposer un mode de prestation suffisamment accessible permettant de suivre la formation auditive, voire de la poursuivre tant que souhaité (Gfeller, Driscoll & Looi, 2012). Elle permet notamment de contrôler l'environnement d'écoute (Moore & Amitay, 2007) et de choisir le moment opportun pour s'entraîner. Nous visons ainsi l'obtention d'une qualité d'écoute optimale puisque le patient peut éviter les endroits bruyants et peut choisir son matériel d'écoute (un casque adapté, la fonction Bluetooth connectée à ses implants, une enceinte de bonne qualité). Nous cherchons à ce que le programme de formation soit simple et intuitif, de façon qu'il puisse être adapté à l'ensemble de notre population.

2.3.2. Elaboration de l'outil avec des informaticiens et designers

Dans cet esprit de travail multidisciplinaire, nous avons souhaité proposer à des étudiants en école d'informatique et de design de développer cette application. Nous avons démarché six écoles d'informatique nantaises pour leur proposer un partenariat. Les contraintes temporelles nous ont conduit à la sélection de l'une d'entre elles proposant d'intégrer ce travail dans le cadre de projets d'étude annuels. Le groupe assigné se compose de cinq étudiants informaticiens, un étudiant designer et un étudiant en marketing. Ils travaillent sur le projet de novembre 2019 à juillet 2020. Dans leur planning, une journée toutes les deux semaines est libérée pour travailler sur le projet. Nous nous rendons dans leurs locaux lors de ces journées, accompagnés d'un informaticien "architecte" qui nous supplée pour nous aider à analyser l'avancée du projet, à résoudre d'éventuels problèmes et à fixer les objectifs tous ensemble. En raison de ces rendez-vous avec les étudiants et leurs responsables, des contacts par e-mails et d'une plateforme en ligne, nous pouvons ajuster les exercices, convenir du design et des modalités de fonctionnement. L'objectif est que cela soit intuitif, simple et attractif, adapté à notre population. Afin de permettre les études de cas programmées dès février 2020, le groupe s'est engagé à livrer une première version lors du mois de janvier 2020. Malheureusement, la totalité du travail n'a pu être fournie et le contenu de ce travail n'était pas exploitable. Nous avons par conséquent demandé à des informaticiens professionnels de développer l'application sur de nouvelles bases afin de permettre d'effectuer les études de cas. Ces derniers ont travaillé bénévolement durant plusieurs jours et ont livré l'actuel outil à la fin du mois de février 2020. Nous sommes en lien avec l'informaticien afin de continuer d'apporter des modifications à l'application.

2.3.3. Organisation visuelle et fonctionnelle de l'application

L'application se compose de cinq rubriques différentes apparaissant dans un latéral. Sur la page d'accueil se trouve une présentation de l'outil grâce à une description succincte du projet, des consignes et conseils d'utilisation. Les quatre parties suivantes sont celles de l'entraînement avec la bibliothèque d'instruments, les exercices préliminaires (le travail analytique), les chansons françaises et le répertoire des musiques (le travail fonctionnel). Chacune de ces parties comporte un menu interne présentant les différents niveaux et les différentes sous parties. Pour chaque exercice la question est présentée, un bouton aide est disponible avec le rappel de la consigne, ainsi qu'un bouton réponse indiquant la réponse correcte lorsque la personne le souhaite. Le menu est à tout moment accessible en glissant l'écran de gauche à droite. La police a été choisie sur des critères de lisibilité et de clarté, la

taille est donc grande et de couleur foncée sur fond clair. Les couleurs se veulent attractives et chaleureuses évitant des couleurs ternes ou très pâles pouvant socialement évoquer les couleurs du soin. Le design a été élaboré à visée des adultes, de façon à éviter des traits et illustrations enfantines.

2.3.4. Cadre juridique

L'outil se fonde sur une base musicale fournie qui a été réinterprétée, reproduite et modifiée. Or 95% des musiques utilisées ne sont pas dans le domaine public mais sont soumises à des ayants droits. A partir du moment où l'application est rendue accessible nous nous confrontons donc aux droits d'auteurs régis par la SACEM (Société des Auteurs, Compositeurs et Editeurs de Musique) qui délivre des autorisations personnalisées selon le contexte d'utilisation des musiques. Cette démarche est payante ce qui, dans notre cadre d'étude, nécessiterait de créer une organisation administrativement déclarée. Dans le cadre du projet de ce mémoire, nous avons pour ambition et objectif le libre accès de l'application aux patients, nous n'avons donc pas pu la publier sur le magasin d'application standard (le PlayStore de Google). De ce fait, afin d'être légalement en règles, l'application est accessible par le seul biais d'un lien internet personnel de téléchargement avec une procédure d'installation.

3. Mise en situation

3.1. Présentation des patients

Dans le cadre de leur parcours de prise en charge au centre d'implantation, nous avons proposé à des patients adultes implantés ayant une surdité post linguale de recevoir l'application dans le but de s'entraîner avec cet outil sur une durée de huit semaines. Nous nous sommes entretenus avec chacun des patients soit sur rendez-vous lors de leur venue au CHU de Nantes, soit par téléphone ou encore par mail pour leur présenter le projet. Nous avons également pu intervenir lors des réunions du groupe de parole d'adultes implantés cochléaires dans le service ORL du centre hospitalier. Enfin, un flyer d'information a été mis à disposition dans le service, permettant de diffuser cet appel à participants. Les retours ont été nombreux, dix-neuf personnes se sont manifestées pour participer au projet. Nous avons retenu neuf patients parmi ces volontaires, répondant aux critères d'inclusion. Ces critères concernaient l'apparition post linguale de la surdité, un âge supérieur à 18 ans, une date d'activation inférieure à un an pour au moins un implant et la possession d'un téléphone mobile Android compatible avec

l'application (version inférieure ou égale à Androïde 4.0). Le tableau récapitulatif de la présentation des patients se trouve en annexe (cf. Annexe VIII).

3.2. Mise à disposition du matériel et phase d'utilisation

Un entretien a été effectué avec chacun des patients pour leur remettre individuellement l'outil, donner des explications sur le déroulé de l'entraînement, présenter le matériel ainsi que pour leur donner des explications d'utilisation. Une fiche technique leur a été remise avec une description détaillée de l'application et des exercices. Des échanges par mails s'effectuent une à deux fois tous les quinze jours afin de faire un point technique sur l'utilisation et les éventuels problèmes liés au téléphone. Nous avons convenu avec les patients d'un entraînement quotidien de quinze minutes minimums, six jours par semaine. Nous sommes restés en contact avec ces patients aux fins de répondre à des besoins techniques et de recueillir des retours pour effectuer des modifications de l'outil.

3.3. Évaluation audiométrique, qualitative et bilan orthophonique

En amont de l'entraînement, nous avons recueilli les données qualitatives et quantitatives des bilans orthophoniques des patients. Les passations ont été effectuées lors de rendez-vous dans le cadre du suivi post implantation par les orthophonistes. Le bilan comprend l'entretien, le test des *Milles points* qui est une évaluation de l'amélioration de la communication chez les sourds implantés (Vormes et al., 1990), le test MBAA (Marginal Benefits from Acoustic Amplification ; Fraysse et al., 1998) qui évalue la compréhension de la parole dans le bruit avec un rapport signal/bruit de 10dB, ainsi que les données audiométriques. Un questionnaire d'auto-évaluation de la qualité de vie et des capacités auditives est également présent, l'APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit; Cox & Alexander, 1995).

A la suite des huit semaines d'entraînement, nous avons prévu de revoir le patient pour un entretien permettant d'effectuer à nouveau ces tests. Cet entretien est l'occasion de faire le point ensemble, de juger l'appréciation de l'outil ainsi que d'évaluer l'évolution des capacités auditives. Il est également demandé au patient de répondre à un questionnaire qualitatif après les huit semaines d'entraînement (cf. Annexe IX). Ce questionnaire est élaboré sur la plateforme Limesurvey et envoyé par mail aux patients.

Résultats

1. Résultats de la création de l'outil

1.1. Le fond : exercices et matériel musical

Les cinq parties de l'outil ont été conçues, à commencer par l'accueil qui présente succinctement le contexte et le travail à suivre. Les quatre parties de l'entraînement auditif ont été réalisées avec neuf exercices types, comprenant au total soixante-dix-neuf items, chacun des items correspondant à une question posée. La partie "bibliothèque d'instruments" présente la liste de l'ensemble des instruments et voix sous forme d'extraits musicaux. La partie du travail analytique intitulée "exercices préliminaires" contient les cinq rubriques selon les différents paramètres musicaux : intensité, hauteur, timbre, rythme, et émotion. Pour chacune des rubriques, trois niveaux de difficulté sont disponibles. Chacun des exercices se présente avec une question, les deux extraits à écouter, puis le bouton "réponse" qui met en couleur l'extrait correspondant à la réponse correcte. La première partie des exercices fonctionnels, "Chansons françaises", comporte trois niveaux de difficulté qui contiennent chacun trois exercices minimums. Pour chacun de ces exercices, le titre de la chanson est indiqué, le bouton "lecture" permet d'écouter les deux ou trois pistes simultanément. Celles-ci peuvent être mise en mode silencieux ou non en cliquant dessus à souhait afin de reconnaître l'instrument. Le bouton réponse permet d'afficher le nom des pistes. La seconde partie, le "Répertoire des musiques" contient une vingtaine de musiques, dont l'ensemble des musiques étudiées précédemment. L'utilisateur choisit le titre du morceau souhaité, ce qui le mène à l'exercice correspondant. Le titre, l'interprète, les instruments et voix sont indiquées. Le volume de chaque piste audio est réglable et modifiable en temps réel. L'ensemble des exercices prévus pour l'outil a été imaginé, travaillé, exposé et détaillé sous forme de fiche technique avant réalisation. Cependant les items contenant du matériel visuel n'ont pas tous été développés sous forme informatique par manque de temps d'analyse et par manque de compétences techniques accessibles. Les vidéos des jeux musicaux ne sont pas intégrées dans la première version de l'outil.

Le matériel musical prévu a été confectionné tel que prévu. La base de données musicales est composée de 250 enregistrements avec 20 instruments enregistrés, huit voix et 42 morceaux différents. Les enregistrements se sont déroulés sur 37 jours différents, échelonnés sur une période de sept mois, pour un total approximatif de 120 heures. Après analyses,

traitements, ajustements et sélections des enregistrements, 156 pistes ont été utilisées dans l'outil. Le matériel visuel a été créé mais non analysé dans la totalité car seulement une partie des prises visuelles ont été traitées et sont prêtes à l'emploi.

1.2. La forme : confection de l'application, mise en page et délai

Le développement de l'outil sous forme d'application mobile est dans l'ensemble conforme aux prévisions. L'outil est accessible à toute personne possédant un smartphone Android et l'accès aux personnes possédant un téléphone Apple est en cours. Le menu déroulant est fonctionnel, ainsi que les différentes parties et sous parties. L'ensemble des options de l'application est fonctionnel (lecture des pistes audios simultanées, mettre des pistes en silence, affichage des réponses, navigation dans les différentes parties). Des incidents techniques sont relevés concernant l'adaptation de la police d'écriture lorsque l'utilisateur a paramétré son téléphone en zoomant l'affichage général, les textes de l'application ne sont dans le cas présent plus adaptés et peuvent chevaucher les illustrations. Concernant les fichiers audios nous avons été contraints de les convertir en MP3* car le format WAV* était trop lourd. Malgré cette perte d'information, le matériel sonore est de bonne qualité. Le lancement et l'arrêt simultanés de plusieurs pistes musicales sont fonctionnels, en activant les boutons "lecture" et "pause". L'objectif du réglage des volumes piste par piste est atteint.

2. Résultats des retours des études de cas

2.1. Retours qualitatifs : questionnaires patients

Huit patients des études de cas sur les neuf ont répondu au questionnaire qualitatif, huit semaines après avoir reçu l'outil. La neuvième personne a indiqué ne pas avoir effectué l'entraînement car l'investissement lui semblait trop important. Ils ont ainsi donné une note sur une échelle de 0 à 5 aux différents critères portant sur l'outil, sur les sensations auditives ainsi que sur la qualité de vie (cf. Annexe X). Ils ont également indiqué la situation d'écoute dans laquelle ils étaient lors des utilisations de l'application : 16,67% d'entre eux n'utilisaient que leur implant le plus récent, alors que la majorité (66,67%) utilisaient l'implant avec l'appareil auditif controlatéral activé. 16,67% ont alterné entre ces deux situations.

Concernant l'outil, les personnes évaluent en moyenne la présentation à sur 3,86 sur 5, puis la qualité sonore des extraits musicaux à 4 sur 5. La note moyenne concernant le contenu des exercices est de 3,57 tandis que la progression par niveaux de difficulté est évaluée à 3,43 sur 5.

Au sein de la partie sur les sensations auditives quotidiennes, les patients ont noté l'évolution de leurs capacités auditives entre le début et la fin de la période d'entraînement. Le chiffre 0 correspond à "aucune amélioration" et le chiffre 5 correspond à une "amélioration phénoménale" des capacités auditives, illustrée par le passage d'une "compréhension nulle" à une compréhension auditive totale au bout de huit semaines. Les patients ont estimé l'évolution de l'appréciation de la musique à 3,33 sur 5. L'évolution de la compréhension de la parole dans le calme a été évaluée à 2,83 sur 5 tandis que celle de la compréhension dans le bruit l'a été à 3,17 sur 5 de même que celle de la compréhension au sein d'un groupe. Enfin, l'évolution de la discrimination de sources sonores différentes correspond à une moyenne de 3,67 sur 5.

A propos de l'évaluation de la qualité de vie, les patients ont également noté l'évolution entre le début et la fin de la période d'entraînement. L'échelle utilisée débutait au numéro 0 correspondant à "aucune amélioration", et le 5 correspondait à "une amélioration phénoménale". Le coût énergétique de l'entraînement a été évalué en moyenne à 2,83 sur 5. L'évolution des capacités au sein des exercices d'entraînement a été estimée à 3,17 sur 5. Les patients ont évalué en moyenne à 3 sur 5 l'évolution de la qualité de leurs sensations auditives à la suite d'un entraînement. Ils ont cependant évalué à 2,5 sur 5 l'évolution du plaisir lié à une session d'entraînement. Ils ont jugé à 3,5 sur 5 l'évolution de leur vie sociale. Dans leur milieu professionnel, ils ont noté les difficultés actuelles rencontrées à 3,83 sur 5.

2.2. Retours quantitatifs : épreuves de tests

Nous avons récupéré les données quantitatives des bilans orthophoniques et audiométriques avant l'entraînement par le biais de différents tests : le test orthophonique des *Mille points*, la MBAA, les tests audiométriques ainsi que le test PEPA-ir (André, 2017) pour certains patients. Nous n'avons cependant pu procéder à l'évaluation quantitative des résultats post entraînement en raison du contexte particulier d'un confinement national. Ainsi, nous n'avons pu comparer les scores aux épreuves quantitatives.

Discussion

1. Analyses des résultats

1.1. Critiques des résultats de l'outil

L'élaboration de l'application a été suffisamment conforme aux prévisions, ce qui a permis d'aboutir à sa mise en situation. Cependant, plusieurs exercices ont été pensés mais n'ont pu être réalisés pour différentes raisons. Tout d'abord la réalité temporelle nous a incités à renoncer à un certain nombre d'exercices. En effet le traitement, l'analyse et la sélection des extraits musicaux qui ont servi à la création des exercices, ont nécessité un temps considérable. Il ne nous était pas possible de réaliser convenablement l'entièreté du programme pour cette version. Nous avons sélectionné un panel d'exercices qui nous semblait permettre de travailler l'ensemble des objectifs d'éducation auditive définis, sous les deux axes préconisés, analytique comme fonctionnel. En outre, les patients à qui nous allions proposer d'effectuer l'entraînement ne connaissent pas préalablement l'outil. Il nous a donc paru essentiel que son utilisation soit simplifiée par cette sélection. Nous avons pu, au cours de la période d'entraînement, proposer des versions avec de nouveaux exercices et items.

La collaboration avec les différents acteurs a été source d'enrichissement tant pour la découverte des compétences de chacun que pour le travail coopératif. Cela a permis de réaliser des exercices écologiques et accessibles qui n'auraient pu être aussi précis et pertinents sans l'expertise propre à chaque profession. La base de données musicale est ainsi extrêmement fournie et permet de créer une multitude d'exercices et d'items, nous n'en avons concrétisé qu'un exemplaire. La réalité technique nous a menés à choisir de ne pas traiter l'intégralité des exercices à composante visuelle malgré l'intérêt qu'ils représentent. En effet, le traitement de l'ensemble des vidéos et leur intégration à l'outil nécessitaient une expertise complexe que nous n'avons pas mobilisée dans le cadre de cette étude. La modalité visuelle n'a donc pas été intégrée autant que cela était envisagé, malgré l'enregistrement vidéo des musiciens.

1.2. Analyse des retours de patients

Nous n'avons pas donné de consignes concernant la situation d'audition préconisée pour effectuer l'entraînement, ce qui peut expliquer la disparité des réponses. Nous relevons cependant que la littérature scientifique préconise de désactiver l'appareil controlatéral lors du travail d'un implant pour optimiser son efficacité. Nos résultats sont donc à relativiser car la majorité ne se trouvait pas dans cette situation, seulement 16,67% ont travaillé avec l'implant seul. Nous pouvons donc supposer que de meilleurs résultats seraient observés si nous avions

demandé aux patients de s'entraîner uniquement avec l'implant. Les patients se disent satisfaits de la présentation, de l'organisation et de la qualité sonore de l'outil. Les notes concernant le contenu et la difficulté des exercices, respectivement 3,57/5 et 3,43/5 suggèrent cependant que des modifications seraient appréciables pour les patients. Certains estiment que les exercices sont très faciles lorsque d'autres se trouvent en grande difficulté. Cela atteste la pertinence d'avoir plusieurs niveaux différents. Néanmoins, davantage d'exercices pourraient être proposés, avec des niveaux intermédiaires, de façon à pouvoir s'adapter à chaque profil. Les patients relèvent une amélioration générale dans toutes les situations d'écoute, ce qui suggère que l'entraînement a un effet bénéfique sur les capacités auditives. Les améliorations les plus importantes sont relevées lors de la reconnaissance de sources simultanées ainsi que lors de l'écoute musicale. La compréhension de la parole dans le bruit et au sein d'un groupe est également perçue comme facilitée à la suite de la période d'entraînement. Ces évolutions s'accordent avec la littérature qui indique que la formation musicale est bénéfique pour ces situations d'écoute complexes. L'amélioration de la compréhension de la parole dans le calme, évaluée à 2,83/5, est moins éminente. Cela concorde avec nos attentes, d'une part parce que les patients étaient d'ores et déjà satisfaits de cette compréhension, d'autre part car ce travail n'a pas été élaboré pour entraîner cette situation d'écoute. Ces résultats suggèrent néanmoins une amélioration globale des capacités de compréhension. L'entraînement nécessite moins d'énergie de la part du patient grâce à la familiarisation de l'outil, ainsi qu'un plaisir croissant au fil du temps. Cependant, l'amélioration s'avère modérée. Cela met en avant le potentiel intérêt d'une diversification de l'outil et d'un accompagnement plus adapté. Cela permettrait que le travail ne demande pas excessivement d'énergie et que le patient soit guidé et suivi tout au long du programme. Les patients estiment que leur qualité de vie s'est généralement améliorée au cours de la période d'utilisation, notamment sur le plan de la socialisation, avec une évaluation à 3,5 sur 5. Nous relevons cependant une variabilité interindividuelle pour l'ensemble du questionnaire, qui s'accorde avec la littérature scientifique. Les résultats doivent donc être interprétés en conséquence et ne permettent pas de valider des postulats.

2. Confrontation avec hypothèses de travail

Hypothèse 1 : Des exercices ont effectivement été élaborés conformément aux différentes étapes et principes de l'éducation auditive. La conception s'est faite à l'instar de la littérature scientifique, elle reprend ainsi les axes de rééducation préconisés et intègre un travail à la fois analytique et fonctionnel. Une base importante de matériel musical a été confectionnée, ce qui a permis de fonder l'intégralité de ce travail sur des données musicales.

Hypothèse 2 : D'après les retours des patients utilisateurs, l'outil conçu répond aux différentes attentes : ludique, attractif, accessible et adapté à la personne implantée. Ils expriment leur satisfaction face à l'outil d'auto-entraînement, au support et à la présentation du travail auditif. Nous émettons cependant une réserve en raison du nombre restreint de patients participants à l'étude, les avis pouvant ainsi ne pas être représentatifs de l'ensemble de la population des personnes implantées cochléaires adultes.

Hypothèse 3 : L'outil élaboré permet effectivement de travailler son audition avec l'implant, d'entraîner le cerveau à associer de nouvelles images sonores. Les patients semblent estimer que ce travail leur a permis d'améliorer leurs capacités auditives lors de situations complexes. Nous ne pouvons cependant pas valider cette hypothèse en raison du manque de données quantitatives résultants de l'entraînement avec l'outil. De plus, conformément aux travaux scientifiques auparavant effectués, nous relevons une hétérogénéité des résultats chez les participants, ce qui ne nous permet pas d'établir une validation de cette hypothèse.

3. Intérêt professionnel de l'outil

Ce support d'entraînement permet de proposer un travail reprenant une partie des objectifs d'une rééducation orthophonique post implantation cochléaire. Cela permet de s'exercer sur un support différent, la musique, qui n'était jusqu'alors accessible seulement à des patients avec un niveau très avancé dans la compréhension auditive. Cet outil peut ainsi être proposé par les orthophonistes à leurs patients pour compléter et intensifier leur prise en soin. L'orthophoniste peut d'une part conseiller les exercices à travailler quotidiennement en fonction de ses axes rééducationnels, puis d'autre part suivre la progression du patient au fil des séances. Le professionnel peut également choisir d'utiliser l'outil en séance comme support de travail. Cet outil peut par ailleurs être proposé en fin de prise en soin orthophonique lorsque les objectifs de rééducation sont atteints et que le patient est en demande d'une continuité dans le travail. De plus, l'étendue de la difficulté des exercices permet de travailler l'audition tant pour une personne débutante que pour une personne ayant de très bonnes capacités de compréhension qui souhaiterait affiner sa perception auditive. Les professionnels ayant testé l'outil nous partagent leur intérêt concernant l'application et nous font part de la pertinence qu'il pourrait avoir dans les rééducations auditives.

4. Limites du projet

Le matériel musical a été sélectionné de façon à solliciter autant que possible les souvenirs et émotions positives liés à des musiques communément connues et appréciées.

L'idéal aurait été de pouvoir utiliser directement les différentes pistes instrumentales et vocales des musiques originales de façon à optimiser la reconnaissance des musiques auparavant écoutées. Il n'est cependant pas possible d'avoir accès à ces pistes qui sont la propriété des maisons de disques. Nous n'avons que peu considéré le fait que les enregistrements n'étaient pas parfaitement conformes aux morceaux originaux (interprètes différents, simplification des informations sonores, différences d'instruments). Ces caractéristiques peuvent en effet empêcher la mise en lien avec l'image sonore du morceau qui est stockée en mémoire. De plus, nous avons cherché à sélectionner des musiques potentiellement appréciées par l'utilisateur de façon à favoriser chez lui des émotions positives lors de l'écoute musicale. Nous n'avons néanmoins pas pris en compte la singularité de chacun des patients, puisque malgré un panel diversifié de musiques, il se peut que les musiques ne leur conviennent pas. Ainsi, il aurait été intéressant de sélectionner les musiques en fonction des goûts des patients testés. Nous aurions pu par ailleurs choisir d'élargir davantage le panel de musiques, de façon que le patient puisse sélectionner les musiques à utiliser pour son entraînement personnalisé.

Les mises en situations ne permettent pas de quantifier l'évolution des capacités de perception auditive des patients, l'outil ne peut pas être validé dans ce contexte. Nous n'avons par ailleurs pas tenu compte des éventuelles pratiques et connaissances musicales antérieures des patients. Or, cela aurait pu être intéressant à analyser afin de voir si une formation musicale précédant l'implantation permettrait d'optimiser l'entraînement auditif. La qualité de vie étant l'objectif principal de la réhabilitation auditive (implantation et rééducation auditive), il serait intéressant de comparer les évaluations personnelles des patients avant et après l'entraînement par le biais d'une échelle d'évaluation de qualité de vie. Nous avons commencé cette démarche mais nous n'avons pu récupérer les évaluations post entraînement.

Plusieurs éléments propres aux individus n'ont pas été considérés dans l'élaboration de cet outil tels que l'histoire de la surdité, la marque de l'implant, l'audition résiduelle ou l'audition controlatérale (avec prothèse auditive ou non). Cependant il s'agit de points essentiels à la rééducation auditive. Leur prise en compte permettrait d'ajuster l'entraînement en préconisant par exemple la situation d'écoute la mieux adaptée.

Des limites liées à la forme informatique de cet outil existent, comme l'illustre le renoncement de l'un des patients à effectuer l'entraînement. Les personnes implantées ne sont pas nécessairement habituées à utiliser le support informatique, encore moins le téléphone portable, ce qui peut compliquer la compréhension des exercices. Pour certains patients, il sera donc essentiel d'être accompagnés dans la découverte de cet outil et surtout dans les explications des conditions requises pour un entraînement de qualité.

L'attrait musical permet de favoriser la motivation et la ténacité du patient dans l'entraînement. L'absence d'un tel attrait pourrait donc constituer une limite importante à l'outil qu'il est nécessaire de prendre en compte. Cela ne nous a pas posé de difficulté car l'ensemble des patients de cette étude indiquent qu'ils appréciaient la musique avant l'apparition de leur surdité.

5. Perspectives

Une étude scientifiquement rigoureuse pourrait faire l'objet d'un futur travail dans l'intention de valider l'outil. Cela permettrait d'évaluer précisément les conséquences d'un tel entraînement, et de spécifier les axes d'amélioration pertinents. Il serait nécessaire d'établir un protocole strict avec des évaluations à la fois qualitatives et quantitatives. Pour ces dernières, un test spécifique sur les caractéristiques acoustiques entraînées serait nécessaire tel que le PEPA-ir (André, 2017). Cet outil, destiné aux orthophonistes et audioprothésistes, a pour intention d'optimiser les réglages des implants cochléaire. Plusieurs épreuves le composent, qui concernent notamment le balayage fréquentiel, le traitement vocal, les paramètres fréquentiels, temporels, d'intensité et de timbre. Une évaluation émanant de la coopération entre audioprothésistes et orthophonistes permettrait en effet d'avoir davantage de précision et d'information sur l'évolution auditive des patients. Une population contrôle permettrait également d'évaluer l'intérêt de la complémentarité de l'outil aux côtés de la rééducation orthophonique actuelle.

Le développement de l'outil serait à envisager de façon à proposer davantage d'exercices, avec des niveaux plus nombreux et plus spécifiques afin de permettre un entraînement plus ajusté et individualisé. Cela pourrait également comprendre la personnalisation des exercices avec la prise en compte des goûts musicaux de la personne (styles, époques), de ses capacités auditives et de son histoire musicale. Ainsi, nous pourrions concevoir des profils adaptés aux enfants.

L'intégration de musiques avec des paroles étrangères permettrait de répondre à des attentes de patients bilingues ou non francophones. L'intégration de la langue anglaise en particulier serait intéressante aux vues de la proportion de musiques anglophones populaires, ainsi qu'en raison de son utilisation au niveau mondial.

La mise à disposition de cet outil en amont de l'implantation pourrait s'envisager afin que le patient accède à une formation musicale préalable. Les musiques seraient alors récemment mémorisées, ce qui permettrait de limiter certains biais liés à la méconnaissance des extraits utilisés et ainsi d'optimiser l'entraînement.

Conclusion

Notre travail a consisté en l'élaboration d'une application mobile d'éducation auditive sur le support de la musique. Cet outil d'auto-entraînement est destiné aux personnes implantées cochléaires ainsi qu'aux professionnels les prenant en soins afin de compléter la rééducation orthophonique.

L'intérêt d'un tel outil a émané de l'exploration de la littérature scientifique dans les domaines de la surdité, de la musique et de la réhabilitation auditive avec l'implant cochléaire. Il en ressort des difficultés de compréhension persistantes lors de situations auditives complexes, qui nécessiteraient un traitement plus fin du signal acoustique. La musique s'avère être un support pertinent pour étudier ces notions spécifiques. Cependant, le recensement des outils actuellement disponibles a mis en évidence l'insuffisance de dispositifs adaptés.

Dans la perspective de proposer un entraînement pertinent et accompli, nous avons élaboré des exercices reprenant l'ensemble des principes d'éducation auditive. Nous y avons intégré les axes de travail analytique et fonctionnel tel qu'au sein d'une rééducation orthophonique. Pour ce faire, nous avons enregistré et traité une importante base de données musicales pour l'élaboration de ce travail, grâce à l'expertise de nombreux professionnels (musiciens, ingénieurs du son, informaticiens, designer, orthophonistes). Ce travail s'est concrétisé sous la forme d'une vingtaine d'exercices comprenant environ quatre-vingts items, qui permettent de travailler distinctement l'ensemble des paramètres acoustiques du son, de même que l'écoute de plusieurs sources sonores simultanées. Cette dernière est entraînée grâce à la possibilité de modifier en temps réel le volume de chaque source, de façon indépendante.

Le projet a abouti à une mise en situation de l'application à laquelle neuf patients adultes implantés ont participé. À la suite d'une période d'entraînement de huit semaines, ils nous ont adressé des retours d'expérience qualitatifs par le biais d'un questionnaire. Les patients se disent enthousiasmés par cette application mobile musicale. Ils indiquent avoir perçu une évolution positive de leurs capacités auditives générales à la suite de l'entraînement, principalement en situations d'écoute complexes. Cet outil semble également favoriser la motivation et l'implication dans leur rééducation auditive, grâce à son originalité, son approche ludique et son accessibilité.

Les professionnels nous ont fait part d'un réel intérêt pour l'outil et souhaiteraient le voir mis à disposition. Ils mettent en avant l'utilité de cet auto-entraînement pour accompagner la rééducation des personnes implantées qu'elles soient adultes ou enfants, et nous encouragent donc à l'adapter à divers profils. Nous envisageons ainsi de faire perdurer le projet.

Références bibliographiques

- Abercrombie, D. (1967). *Elements of General Phonetics*. Chicago: Aldine.
- Ambert-Dahan, E. (2011). *Optimisation du mode de réhabilitation des surdités sévères et profondes de l'adulte : de nouveaux outils pour une réhabilitation auditive optimale*. (pp.68-78). Paris, France : Entretiens de Bichat.
- Ambert-Dahan, E., Daoud, C., Galère, F., & Toffin, C. (2005). Prise en charge du devenu-sourd par l'orthophoniste. In B. Meyer, C. Morisseau & C. Toffin (Eds). *Education auditive : de la parole à la musique* (pp.51-62). Paris, France : Amplifon.
- Ambert-Dahan, E., et Borel, S. (2013). Réadaptation à la communication dans les surdités acquises appareillées et/ou apprentissage de la lecture labiale. 105-124. *Isbergues : Ortho Edition, Approches thérapeutiques en orthophonie*, pp.105-123.
- Amieva, H., & Ouvrard, C. (2020). Does Treating Hearing Loss in Older Adults Improve Cognitive Outcomes? A Review. *Journal of Clinical Medicine*, 9(3), 805. doi :10.3390/jcm9030805
- Amieva, H., Ouvrard, C., Meillon, C., Rullier, L., & Dartigues, J.-F. (2018). Death, Depression, Disability, and Dementia Associated With Self-reported Hearing Problems: A 25-Year Study. *The Journals of Gerontology: Series A*, 73(10), 1383-1389. doi : 10.1093/gerona/glx250
- Amitay, S., Irwin, A., & Moore, D. R. (2006). Discrimination learning induced by training with identical stimuli. *Nature Neuroscience*, 9(11), 1446–1448. doi:10.1038/nn1787
- André, J. (2017). PEPA-IR, un outil pour l'optimisation des réglages des implants cochléaires. *Connaissances surdités*, 1(59), 21-24. Consulté à l'adresse <https://www.acfos.org/connaissances-surdites-n59-10-2017>
- Arbonés, J., & Milrud, P. (2013). *L'harmonie est numérique : Musique et mathématiques* (Le monde est mathématique éd.). Paris, France : RBA France. 161p.
- Baungaard, L. H., Sandvej, M. G., Krøijer, J. S., Hestbaek, M. K., Samar, C. F., Percy-Smith, L., & Cayé-Thomasen, P. (2019). Auditory verbal skills training is a new approach in adult cochlear implant rehabilitation. *Danish Medical Journal*, 66(3). 57-2. Consulté à [https://research.regionh.dk/da/journals/danish-medical-bulletin-online\(f2a9adc9-73ca-4998-9c8b-4774787791b5\).html](https://research.regionh.dk/da/journals/danish-medical-bulletin-online(f2a9adc9-73ca-4998-9c8b-4774787791b5).html)

- Belouard, Y. (2017). L'orthophonie pour soutenir le patient dans son appareillage : adaptation, localisation et compréhension dans le bruit. *Audiology Direct*, 6(1). doi : 10.1051/audiol/201701006
- Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Transfer of Training between Music and Speech: Common Processing, Attention, and Memory. *Frontiers in Psychology*, 2. doi : 10.3389/fpsyg.2011.00094
- Bernard, J. (2017). *La concurrence des sentiments : une sociologie des émotions*. Paris : Éditions Métailié
- Bianchin, G., Tribi, L., Formigoni, P., Carmela, R., & Valeria, P. (2017). Sequential pediatric bilateral cochlear implantation: The effect of time interval between implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 102, 10-14. doi : 10.1016/j.ijporl.2017.08.025
- Bigand, E., Habib, M., & Brun, V. (2012). *Musique et cerveau : nouveaux concepts, nouvelles applications*. Montpellier : Sauramps médical.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(10), 11818-11823. doi : 10.1073/pnas.191355898
- Bosnyak, D. J., Eaton, R. A., & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, 14(10), 1088-1099. doi : 10.1093/cercor/bhh068
- Boothroyd, A. (2010). Adapting to Changed Hearing: The Potential Role of Formal Training. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(9), 601-611. doi:10.3766/jaaa.21.9.6
- Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2005). The Neural Basis of Human Dance. *Cerebral Cortex*, 16(8), 1157-1167. doi : 10.1093/cercor/bhj057
- Busquet, D., Gaillard, D., Groh, V., (2009). *Implant cochléaire et rééducation orthophonique*. Paris, France : Flammarion.
- Caplain, R. (2017). *Techniques de prise de son* (7^e éd.). Malakoff, France : Dunod.
- Cardon, M., & Collet, C. (2010). Manuel d'entraînement à l'éducation auditivo-verbale de l'adulte sourd implanté cochléaire. (Mémoire de Master). Université de Lille 2 Droit et Santé, Lille. Consulté à l'adresse : <http://pepitem.univ-lille2.fr/notice/view/UDSL2-workflow-6627>

- Centre d'Information sur la surdité et l'Implant Cochléaire [CISIC]. (2012) *L'implant cochléaire au quotidien*. Consulté à l'adresse http://www.cisic.fr/CISIC/media/doccisic/synthese_questionnaire_cisic2012.pdf.
- Chouard, C.-H. (2010). Histoire de l'implant cochléaire. *Annales françaises d'Oto-rhinolaryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 127(6), 288-296. doi : 10.1016/j.aforl.2010.09.003
- Cox, R. M., & Alexander, G. C. (1995). Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit. *PsycTESTS Dataset*. doi : 10.1037/t63895-000
- Danhauser, A. (1996). *Théorie de la musique* (Henry Lemoine éd.). Paris, France : Lemoine.
- Dauman, R., Carbonnière, B., Soriano, V. Berger-Lautissier, S., Bouyé, J., Debruge, E., (...) & Bébéar, J.-P. Implants cochléaires chez l'adulte et l'enfant. *Encycl Med Chir, Elsevier, Paris, Oto-Rhino-Laryngologie 20-185-D-10,1998*, 12 p.
- Dawes, P. (2019). Hearing interventions to prevent dementia. *HNO*, 67(3), 165-171. doi : 10.1007/s00106-019-0617-7
- Djourno, A. & Eyries, C. (1957). *Protheses auditive par excitation électrique à distance du nerf sensorial à l'aide d'un bobinage inclus à demeure*. Presse Medicale. 65, 63. Dolnick, E. 1993. Deafness as culture. *The Atlantic*. 272(3), 37-53.
- Douthe, L., Fray, B., & Olive, C. (2019). *Enseignement scientifique Ire*. pp 230-231. Consulté à l'adresse <https://www.livrescolaire.fr>
- Drake, C., Penel, A., & Bigand, E. (2000). Tapping in Time with Mechanically and Expressively Performed Music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 18(1), 1-23. doi : 10.2307/40285899
- Driscoll, V. D., Oleson, J., Jiang, D., & Gfeller, K. (2009). Effects of Training on Recognition of Musical Instruments Presented through Cochlear Implant Simulations. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20(1), 71-82. doi : 10.3766/jaaa.20.1.7
- Drennan, W. R. & Rubinstein, J. T. (2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 45(5), 779-790. doi : 10.1682/jrrd.2007.08.0118
- Dumont, A. (2008). *Orthophonie et surdité : communiquer, comprendre, parler*. Issy-les-Moulineaux, France : Elsevier Masson, impr. 2008.

- Dumont, A., & Calbour, C. (2002). *Voir la parole : Lecture labiale perception audiovisuelle de la parole*. Issy les Moulineaux, France : Masson.
- Ernst, E. (2014). Prise en charge orthophonique du sujet adulte malentendant appareillé. *Les cahiers de l'audition*, 27, pp. 7-21. Consulté à l'adresse <http://www.college-nat-audio.fr/cdlapdf/2014-3.pdf>
- Eskridge, E., Oba, S., Fu, Q.-J., & Galvin, J., III. (2012). Melodic Contour Identification Training in Cochlear Implant Users with and without a Competing Instrument. *Seminars in Hearing*, 33(04), 399-409. doi : 10.1055/s-0032-1329227
- Estienne, F., & Sponar-De Barelli, T. S. D. (2019). *Remédiation orthophonique par la musique*. Berchem, Belgique : De Boeck.
- Finke, M., Bönitz, H., Lyxell, B., & Illg, A. (2017). Cochlear implant effectiveness in postlingual single-sided deaf individuals: what's the point? *International Journal of Audiology*, 56(6), 417-423. doi : 10.1080/14992027.2017.1296595
- Finke, Mareike, Strauß-Schier, A., Kludt, E., Büchner, A., & Illg, A. (2017). Speech intelligibility and subjective benefit in single-sided deaf adults after cochlear implantation. *Hearing Research*, 348, 112-119. doi : 10.1016/j.heares.2017.03.002
- Ford, A. H., Hankey, G. J., Yeap, B. B., Golledge, J., Flicker, L., & Almeida, O. P. (2018). *Hearing loss and the risk of dementia in later life*. *Maturitas*, 112, 1–11. doi:10.1016/j.maturitas.2018.03.004
- Forti, S., Filipponi, E., Di Bernardino, F., Barozzi, S., & Cesarani, A. (2010). The influence of music on static posturography. *Journal of vestibular research. Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, 20(5), 351-356. doi : 10.3233/VES-2010-0361
- Foucaut, J., & Marguet, M. (2019). *Adaptation francophone et évaluation du logiciel d'auto-entraînement Angel Sound pour l'adulte implanté cochléaire* (Mémoire de Master). Université de Tours, Tours.
- France Net Info. (2018, 23 décembre). Les 100 chansons préférées des français. France Net Info Actu en ligne. Consulté à l'adresse <https://www.francenetinfos.com/les-100-chansons-preferees-des-francais-187756/>
- Fraysse, B., Dillier, N., Klenzner, T., Laszig, R., Manrique, M., Morera-Perez, C., Morgon, A.-H., Müller-Deile, J., & Ramos-Macias, A. (1998). Cochlear Implants for Adults Obtaining Marginal Benefit From Acoustic Amplification: A European Study. *American Journal of Otolaryngology*, 19(5), 591-597. Consulté à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9752966?report=abstract>

- Fu, Q. J., et Galvin III, J. J. (2007). Perceptual learning and auditory training in cochlear implant recipients. *Trends in Amplification*, 11(3), 193-205. doi : 10.1177/1084713807301379
- Fukui, H. (2001). Music and testosterone: A new hypothesis for the origin and function of music. *Annals of the New York Academy of Science*, 930(1), 448-451. doi : 10.1111/j.1749-6632.2001.tb05767.x
- Fukui, H., & Toyoshima, K. (2008). Music facilitate the neurogenesis, regeneration and repair of neurons. *Medical Hypotheses*, 71(5), 765-769. doi : 10.1016/j.mehy.2008.06.019
- Gallego, S. (1999). *Contrainte Psycho-Physiques et Electrophysiologiques sur le codage de la stimulation électrique chez les sujets porteurs d'un implant cochléaire* (Thèse de doctorat n°325-99). Université Claude-Bernard, Lyon I.
- Gallois, Y. (2017). *Prise en Charge de la surdité unilatérale de l'enfant : effet sur l'audition binaurale et la qualité de vie* (Thèse de doctorat). Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Gfeller, K. (2001). Aural Rehabilitation of Music Listening for Adult Cochlear Implant Recipients: Addressing Learner Characteristics. *Music Therapy Perspectives*, 19(2), 88–95. doi:10.1093/mtp/19.2.88
- Gfeller, K., Driscoll, V., & Looi, V. (2012). Music Appreciation and Training for Cochlear Implant Recipients: A Review. *Seminars in Hearing*, 33(04), 307–334. doi:10.1055/s-0032-1329222
- Gfeller, K., Oleson, J., Knutson, J. F., Breheny, P., Driscoll, V., & Olszewski, C. (2008). Multivariate Predictors of Music Perception and Appraisal by Adult Cochlear Implant Users. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19(2), 120–134. doi:10.3766/jaaa.19.2.3
- Gil, D., et Iorio, M. C. M. (2010). Formal auditory training in adult hearing aid users. *Clinics*, 65(2), 165-174. doi : 10.1590/S1807-59322010000200008
- Giner, B., & Choquard, A. (2009). *Manuel pratique pour l'études des clés* (Dandelot éd.). paris, France : Max Eschig.
- Gorog, F., Laborit, J., Renard, U., Pinto, T., Querel, C., Rengifo, F., (...) & Hoffmann, C. (2009). Les effets psychopathologiques de l'implant cochléaire. *L'Évolution Psychiatrique*, 74(2), 277-289. doi : 10.1016/j.evopsy.2009.03.005
- Habib, M., & Besson, M. (2008). Langage, musique et plasticité cérébrale : Perspectives pour la rééducation. *Revue de Neuropsychologie*, 18(1-2), 103-126.

- Hage, C. (2005). De la communication au langage : Développement du langage oral chez l'enfant atteint de déficience auditive profonde. In C. Transler, J. Leybaert, & J.-E. Gombert (Eds.), *L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit* (pp. 121–146). Marseille : Solal.
- Haas, F., Distenfeld, S., & Axen, K. (1986). Effects of perceived musical rhythm on respiratory pattern. *Journal of Applied Physiology*, *61*(3), 1185-1191. doi : 10.1152/jappl.1986.61.3.1185
- Haumann, S., Lenarz, T., & Büchner, A. (2010). Speech Perception with Cochlear Implants as Measured Using a Roving-Level Adaptive Test Method. *ORL*, *72*(6), 312-318. doi : 10.1159/000318872
- Haute Autorité de Santé (HAS). (2012). *Bon usage des technologies médicales : Le traitement de la surdité par implants cochléaires ou du tronc cérébral*. Consulté le 20 février 2020, à l'adresse https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/fiche_bon_usage_implants_cochleaires.pdf
- Haute Autorité de Santé. (2007). *Evaluation du dépistage néonatal systématique de la surdité permanente bilatérale*. Consulté à l'adresse https://www.hassante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/rapport_evaluation_du_depistage_neonatal_systematique_de_la_surdite_permanente_bilaterale.pdf
- Hermann, R., Lescanne, E., Loundon, N., Barone, P., Belmin, J., Blanchet, C., (...) & Truy, É. (2019). Recommandations de la SFORL. Indication de l'implant cochléaire chez l'adulte. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, *136*(3), 193-197. doi : 10.1016/j.aforl.2018.11.005
- Hidalgo, C. (2018). *Rythme de parole dans l'interaction langagière : bénéfice d'un entraînement rythmique musical chez l'enfant sourd* (Thèse de doctorat). Aix-Marseille Université, Marseille. Consulté à l'adresse http://theses.univ-amu.fr.lama.univ-amu.fr/181220_HIDALGO_9vi153nkree786fdhpe745ujdt_TH.pdf
- Hilario, P. (2019, 6 novembre). *Chansons françaises préférées des Français 2017*. Statista. Consulté à l'adresse <https://fr.statista.com/statistiques/703086/chansons-francaises-preferees-france/>
- Hugo, V. (1864). *William Shakespeare*. Tours, Paris : Lib. Internationale.
- Huron, D. (2001). Is Music an Evolutionary Adaptation? *Annals of the New York Academy of Sciences*, *930*(1), 43-61. doi : 1111/j.1749-6632.2001.tb05724.x
- Illg, A., Giourgas, A., Kral, A., Büchner, A., Lesinski-Schiedat, A., Lenarz, T. (2013). Speech Comprehension in Children and Adolescents After Sequential Bilateral Cochlear

Implantation With Long Interimplant Interval. *Otology & Neurotology*, 34(4), 682-689.
doi : 10.1097/MAO.0b013e31828bb75e

Institute of Medicine (US) Committee on Technological Innovation in Medicine; Rosenberg N, Gelijns AC, Dawkins H, editors. (1995). Sources of Medical Technology: Universities and Industry. Washington (DC): National Academies Press (US); 1995. 5, *Cochlear Implantation: Establishing Clinical Feasibility, 1957–1982*. Consulté à l'adresse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232047/>

Ingvalson, E. M., Lee, B., Fiebig, P., & Wong, P. C. M. (2013). The Effects of Short-Term Computerized Speech-in-Noise Training on Postlingually Deafened Adult Cochlear Implant Recipients. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(1), 81-88.
doi : 10.1044/1092-4388(2012/11-0291)

Janata, P., Tomic, S. T., & Rakowski, S. K. (2007). Characterization of music-evoked autobiographical memories. *Memory*, 15(8), 845-860. doi : 10.1080/09658210701734593

Jäncke, L. (2008). Music, memory and emotion. *Journal of Biology*, 7(6), 21. doi : 10.1186/jbiol82

Jäncke, L., Schlaug, G., & Steinmetz, H. (1997). Hand Skill Asymetry in Professional Musicians. *Brain and Cognition*, 34(3), 424-432. doi : 10.1006/brcg.1997.0922

Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *The Behavioral and Brain Sciences*, 31(5), 559-575; discussion 575-621. doi : 10.1017/S0140525X08005293.

Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Éd.). (2001). *Music and emotion: theory and research*. Oxford; New York: Oxford University Press.

Kennaway, J. (2014). *Music and the Nerves, 1700-1900* (2014^e éd.). Londres, Royaume-Uni: Palgrave Macmillan.

Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2003). Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words? *Memory and Cognition*, 31(8), 1169-1180. doi : 10.3758/bf03195800

Khalifa, S., Bella, D. S., Roy, M., Peretz, I., & Lupien, S. J. (2003). Effects of relaxing music on salivary cortisol level after psychological stress. *Annals of the New York Academy of Science*, 999(1), 374-376. doi : 10.1196/annals.1284.045

Kim, J.-S., Kim, L.-S., & Jeong, S.-W. (2013). Functional benefits of sequential bilateral cochlear implantation in children with long inter-stage interval between two implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 77(2), 162-169.
doi : 10.1016/j.ijporl.2012.10.010

- Koelsch S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131-137. doi : 10.1016/j.tics.2010.01.002
- Larousse. (s. d.). Musique. Dans *Le Dictionnaire Larousse en ligne*. Consulté le 2 mai 2020 sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/musique/53415>
- Lazard, D. S., Giraud, A.-L., Gnansia, D., Meyer, B., & Sterkers, O. (2012). Understanding the deafened brain: Implications for cochlear implant rehabilitation. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, 129(2), 98-103. doi : 10.1016/j.anorl.2011.06.001
- Limb, C. J., & Roy, A. T. (2014). Technological, biological, and acoustical constraints to music perception in cochlear implant users. *Hearing Research*, 308, 13-26. doi : 10.1016/j.heares.2013.04.009
- Limb, C. J., & Rubinstein, J. T. (2012). *Current Research on Music Perception in Cochlear Implant Users*. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 45(1), 129–140. doi:10.1016/j.otc.2011.08.021
- Lin, F. R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T. B., Purchase-Helzner, E., ... Health ABC Study Group, for the. (2013). *Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults*. *JAMA Internal Medicine*, 173(4), 293. doi:10.1001/jamainternmed.2013.1868
- Looi, V., & She, J. (2010). Music perception of cochlear implant users: A questionnaire, and its implications for a music training program. *International Journal of Audiology*, 49(2), 116–128. doi:10.3109/14992020903405987
- Lorenzi, C., Wallaert, N., Gnansia, D., Leger, A. C., Ives, D. T., Chays, A., (...), & Cazals, Y. (2012). Temporal-Envelope Reconstruction for Hearing-Impaired Listeners. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 13(6), 853-865. doi : 10.1007/s10162-012-0350-3
- Loundon, N., & Busquet, D. (2009). *Implant cochléaire pédiatrique et rééducation orthophonique : Avant-propos du Professeur E.-N. GARABEDIAN*. Paris : Médecine-Sciences Flammarion.
- Magne C., Schön D., & Besson M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language: Behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(2), 199-211. doi : 10.1162/089892906775783660
- Marques, C., Moreno, S., Luís Castro, S., & Besson, M. (2007). Musicians Detect Pitch Violation in a Foreign Language Better Than Nonmusicians: Behavioral and

- Electrophysiological Evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(9), 1453-1463. doi : 10.1162/jocn.2007.19.9.1453
- McDermott, H. J. (2004). Music Perception with Cochlear Implants: A Review. *Trends in Amplification*, 8(2), 49-82. doi : 10.1177/108471380400800203
- Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28, 175-184. doi : doi:10.1016/j.neuroimage.2005.05.053
- Meyer, B. M., Morisseau, C. M., & Toffin, C. T. (2005). *Education auditive : de la parole à la musique*. Paris, France : Amplifon.
- Mirza, S., Douglas, S., Lindsey, P., Hildreth, T., & Hawthorne, M. (2003). Appreciation of music in adult patients with cochlear implants: a patient questionnaire. *Cochlear Implants International*, 4(2), 85-95. doi : 10.1179/cim.2003.4.2.85
- Mithen, S. (2009). The music instinct: the evolutionary basis of musicality. *Annals of the New York Academy of Science*, 1169(1), 3-12. doi : 10.1111/j.1749-6632.2009.04590.x
- Mithen, S. (2005). *The singing Neanderthals: The origins of music, language, mind and body*. London: Weidenfeld and Nicholson.
- Moore, D., & Amitay, S. (2007). Auditory Training: Rules and Applications. *Seminars in Hearing*, 28(2), 099–109. doi:10.1055/s-2007-973436
- Moore, D. R., Rosenberg, J. F., & Coleman, J. S. (2005). Discrimination training of phonemic contrasts enhances phonological processing in mainstream school children. *Brain and Language*, 94(1), 72–85. doi:10.1016/j.bandl.2004.11.009
- Moussard, A., Rochette, F. & Bigand, E. (2012). La musique comme outil de stimulation cognitive. *L'Année psychologique*, vol. 112(3), 499-542. doi :10.4074/S0003503312003077.
- Moussard, A., Rochette, F., & Bigand, E. (2012). La musique comme outil de stimulation cognitive. *L'Année Psychologique*, 112(03), 499-542. doi : 10.4074/S0003503312003077
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(40), 15894-15898. doi : 10.1073/pnas.0701498104
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(40), 15894-15898. doi : 10.1073/pnas.0701498104

- Nabil, K. M. (2019). *Apport du Smartphone dans la pratique médicale* (Thèse de doctorat). Université Cadi Ayyad, Marrakech.
- Nakata, T., Trehub, S., Mitani, C., Kanda, Y., Shibasaki, A., & Schellenberg E. G. (2005). Music recognition by Japanese children with cochlear implants. *Journal of Physiological Anthropol. Applied Human Sciences*, 24(1), 29-32. doi : 10.2114/jpa.24.29
- Nanjundaswamy, M., Prabhu, P., Rajanna, R., Ningegowda, R., & Sharma, M. (2017). Computer-Based Auditory Training Programs for Children with Hearing Impairment – A Scoping Review. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 22(01), 088-093. doi: 10.1055/s-0037-1602797
- Nielsen, L. H. (2007). *Schall & Hören* (3^e éd.). Champlan, France : Widex.
- Oechslin, M. S., Meyer, M., & Jancke, L. (2009). Absolute Pitch : Functional Evidence of Speech-Relevant Auditory Acuity. *Cerebral Cortex*, 20(2), 447-455. doi : 10.1093/cercor/bhp113
- Olson, A. D. (2015). Options for auditory training for adults with hearing loss. In *Seminars in hearing*, 36(4), 284-295. doi : 10.1055/s-0035-1564461
- Organisation Mondiale de la Santé [OMS]. (2019). *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*; 97:647-647A. doi: 10.2471/BLT.19.243683
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelen, A., & Ross, B. (2001). Timbre specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *NeuroReport*, 12(1), 169-174. doi : 10.1097/00001756-200101220-00041
- Patel, A. D., Wong, M., Foxton, J., Lochy, A., & Peretz, I. (2008). Speech Intonation Perception Deficits in Musical Tone Deafness (Congenital Amusia). *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 25(4), 357-368. doi : 10.1525/mp.2008.25.4.357
- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, 163, 226-238. doi : 10.1007/s00221-004-2159-8
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada D., Andreolli G., Rovelli R., Baldoli, C., & Koelsch, S. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(10), 4758-4763. doi : 10.1073/pnas.0909074107
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32. doi:10.1016/j.cognition.2005.11.004

- Peretz I. (2010). Towards a neurobiology of musical emotions. In Juslin P. N. & Sloboda J. (Eds.), *Handbook of Music and Emotion: Theory, research, applications*. Oxford: Oxford University Press. Consulté à https://www.researchgate.net/publication/284821288_Toward_a_neurobiology_of_musical_emotions
- Pike, K. L. (1947). On the Phonemic Status of English Diphthongs. *Language*, 23(2), 151-159. doi : 10.2307/410386
- Pizarek, R., Shafiro, V., & McCarthy, P. (2013). Effect of computerized auditory training on speech perception of adults with hearing impairment. *Perspectives on Aural Rehabilitation and Its Instrumentation*, 20(3), 91–106. doi : 10.1044/arri20.3.91
- Plantinga, J., & Trainor, L. J. (2005). Memory for melody : Infants use a relative pitch code. *Cognition*, 98, 1-11. doi:10.1016/j.cognition.2004.09.008
- Ray, M., Denning, T., & Crosbie, B. (2019). *Dementia and hearing loss: A narrative review. Maturitas*. doi:10.1016/j.maturitas.2019.08.001
- Risoud, M., Hanson, J.-N., Gauvrit, F., Renard, C., Lemesre, P.-E., Bonne, N.-X., & Vincent, C. (2018). *Localisation sonore spatiale. Annales Françaises d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Pathologie Cervico-Faciale*, 135(4), 251–257. doi:10.1016/j.aforl.2017.11.004
- Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological research*, 68(4), 252-270. doi : 10.1007/s00426-003-0143-8
- 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*, 104(17), 7295-7300. doi : 10.1073/pnas.0609419104
- Rousseau, J.-J. (1781). Essai sur l'origine des langues. In Collection complète des oeuvres, Genève, 8(4). Consulté à <http://www.rousseauonline.ch/Text/essai-sur-l-origine-des-langues.php>
- Roy, M., Peretz, I., & Rainville, P. (2008). Emotional valence contributes to music-induced analgesia. *Pain*, 134(1-2), 140-147. doi : 10.1016/j.pain.2007.04.003
- Saglier, C. (2007). *Psychologie et psychopathologie des malentendants* (Thèse de doctorat n°140600477). Paris 8, Paris. Consulté le 18 février 2020, à l'adresse <https://octaviana.fr/document/140600477>
- Schellenberg, E. G. (2004). Music Lessons Enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514. doi : 10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x

- Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 457-468. doi : 10.1037/0022-0663.98.2.457
- Schön, D., Magne, C., & Besson, M. (2004). The music of speech: Music training facilitates pitch processing in both music and language. *Psychophysiology*, 41(3), 341-349. doi : 10.1111/1469-8986.00172.x
- Shenfield, T., Trehub, S., & Nakata, T. (2003). Maternal singing modulates infant arousal. *Psychology of Music*, 31(4), 365-375. doi : 10.1177/03057356030314002
- Sibold, P. (2009, mai 17). *Tessiture et fréquences des instruments*. Consulté le 2 avril 2020, à l'adresse <https://www.bertet-musique.com/lecons-musique/251-tessiture-frequences-instruments>
- Siron J. (2004). *Dictionnaire des mots de la musique: des traditions musicales et instruments du monde entier ; des différents domaines de la musique ; du son, de l'audio et de l'informatique musicale ; des termes utiles à la pratique quotidienne ; dictionnaire multilingue de et vers l'anglais, l'italien et l'allemand* (2nd ed.). Paris: Outre Mesure.
- Sousa, A. F., Couto, M., Tsuji, R., Goffi-Gomez, M., Bento, R., Matas, C., (...) & Carvalho, A. (2014). Telephone Usage and Cochlear Implant: Auditory Training Benefits. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 19(03), 269-272. doi : 10.1055/s-0034-1390301
- Styns, F., Van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, 26(5), 769-785. doi : 10.1016/j.humov.2007.07.007
- Sweetow, R. W., & Sabes, J. H. (2006). The need for and development of an adaptive listening and communication enhancement (LACE™) program. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(8), 538-558. doi : 10.3766/jaaa.17.8.2
- Trainor, L. J., & Heinmiller, B. M. (1998). The development of evaluative responses to music: Infants prefer to listen to consonant over dissonance. *Infant Behavior & Development*, 21(1), 77-88. doi : 10.1016/S0163-6383(98)90055-8
- Trehub, S. E., Schneider, B. A., & Henderson, J. L. (1995). Gap detection in childhood. *Journal of Acoustical Society of America*, 98, 2532-2541. doi : 10.1121/1.414396
- Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6(7), 669-673. doi : 10.1038/nn1084
- Tréville-Portain, N., Touati, S., Poncet-Wallet, C., & Ernst, E. (2019). Identification des sons environnementaux et parole en milieu bruyant chez les adultes implantés: quel lien? *Glossa*, 1(126), 39-62. Consulté à l'adresse <https://glossa.fr/userdata/9828cf123f9d248eb5ed15ede44baed1.pdf>

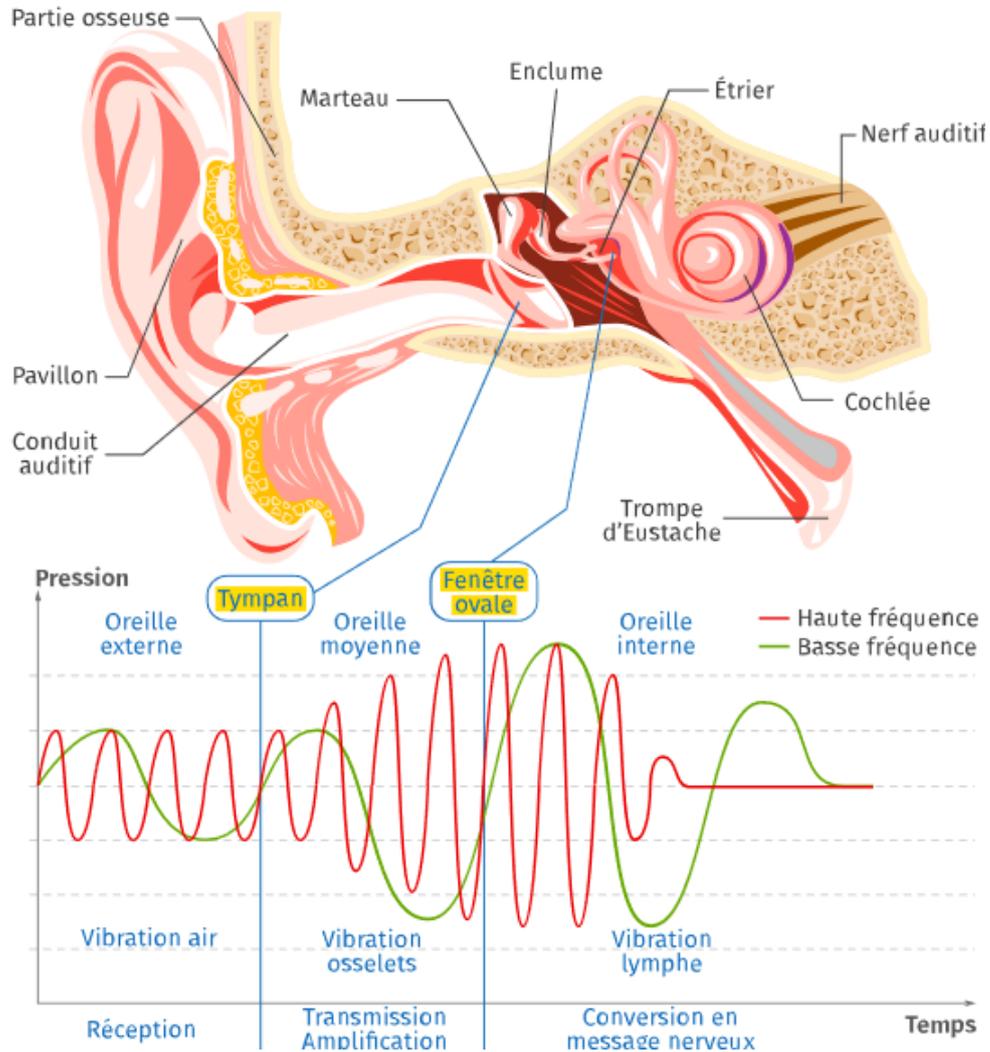
- van Schoonhoven, J., Sparreboom, M., van Zanten, B. G. A., Scholten, R. J. P. M., Mylanus, E. A. M., Dreschler, W. A., (...) & Maat, B. (2013). The Effectiveness of Bilateral Cochlear Implants for Severe-to-Profound Deafness in Adults. *Otology & Neurotology*, 34(2), 190-198. doi: 10.1097/MAO.0b013e318278506d
- Vitti, S. V., Blasca, W. Q., Sigulem, D., et Pisa, I. T. (2015, August). Web-based auditory self-training system for adult and elderly users of hearing aids. *MedInfo*, 216, 168-72. Consulté à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26262032>
- Vongpaisal, T., Trehub, S., & Schellenberg, E. G. (2006). Song recognition by children and adolescents with cochlear implants. *Journal of Speech Language Hear Research*, 49(5), 1091-1103. doi : 10.1044/1092-4388(2006/078)
- Vormes, E., Fugain, C., Frachet, B., Meyer, B., Chouard, C., (1990), Présentation d'un protocole francophone d'évaluation de l'amélioration de la communication chez les sourds implantés. *Annales d'oto-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale*, 107(7), 466-468. Consulté à l'adresse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2256625>
- Vuilleumier, P., & Trost, W. (2015). Music and emotions: from enchantment to entrainment: Musical emotions and entrainment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 212-222. doi : 10.1111/nyas.12676
- Wathour, J., Nyssen, E., Deggouj, N., & BARTH, C. (2019). *La lecture labiale en groupe*. Maarssen, Pays-Bas : Elsevier Gezondheidszorg. pp15-16.
- Weihing, J., Chermak, G. D., et Musiek, F. E. (2015). Auditory training for central auditory processing disorder. In *Seminars in hearing*, 36(4), 199-215. doi : 10.1055/s-0035-1564458
- Wilson, B. S., & Dorman, M. F. (2008). Cochlear implants: A remarkable past and a brilliant future. *Hearing Research*, 242(1-2), 3-21. doi : 10.1016/j.heares.2008.06.005
- Witvliet, C. V. O., & Vrana, S. R. (2007). Play it again Sam: Repeated exposure to emotionally evocative music polarises liking and smiling responses, and influences other affective reports, facial EMG, and heart rate. *Cognition and Emotion*, 21(1), 3-25. doi : 10.1080/02699930601000672
- World Health Assembly WHA.70.13. (2017). *World Health Assembly resolution on prevention of deafness and hearing loss*. In: Seventieth World Health Assembly, Geneva, 31 May 2017. Resolutions and decisions, annexes. Available from: http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA70/A70_R13-en.pdf?ua=1 [cited 2020 March 23].
- World Health Organization [WHO]. (1984). *Report of the working group on concept and principles of health promotion*. Copenhagen : WHO. Consulté à l'adresse <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107835>

Zeng, F.-G. (2004). Trends in Cochlear Implants. *Trends in Amplification*, 8(1), 1-34. doi : 10.1177/108471380400800102

Zeng, F.-G., Rebscher, S., Harrison, W., Sun, X., & Feng, H. (2008). Cochlear Implants: System Design, Integration, and Evaluation. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 1, 115-142. doi : 10.1109/rbme.2008.2008250

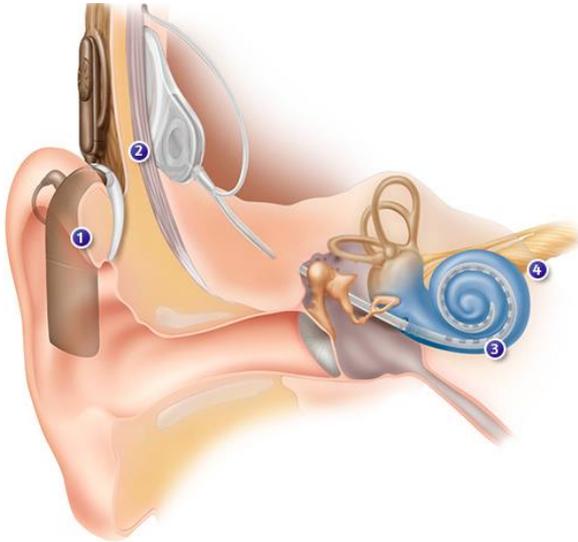
Annexes

Annexe I : fonctionnement de l'oreille humaine



Fonctionnement de l'oreille humaine. (Douthe, Fray, & Olive, 2019).

Annexe II : mécanisme de l'implant cochléaire



1 : le microphone capte les sons de l'environnement, ensuite les sons sont analysés par le processeur.

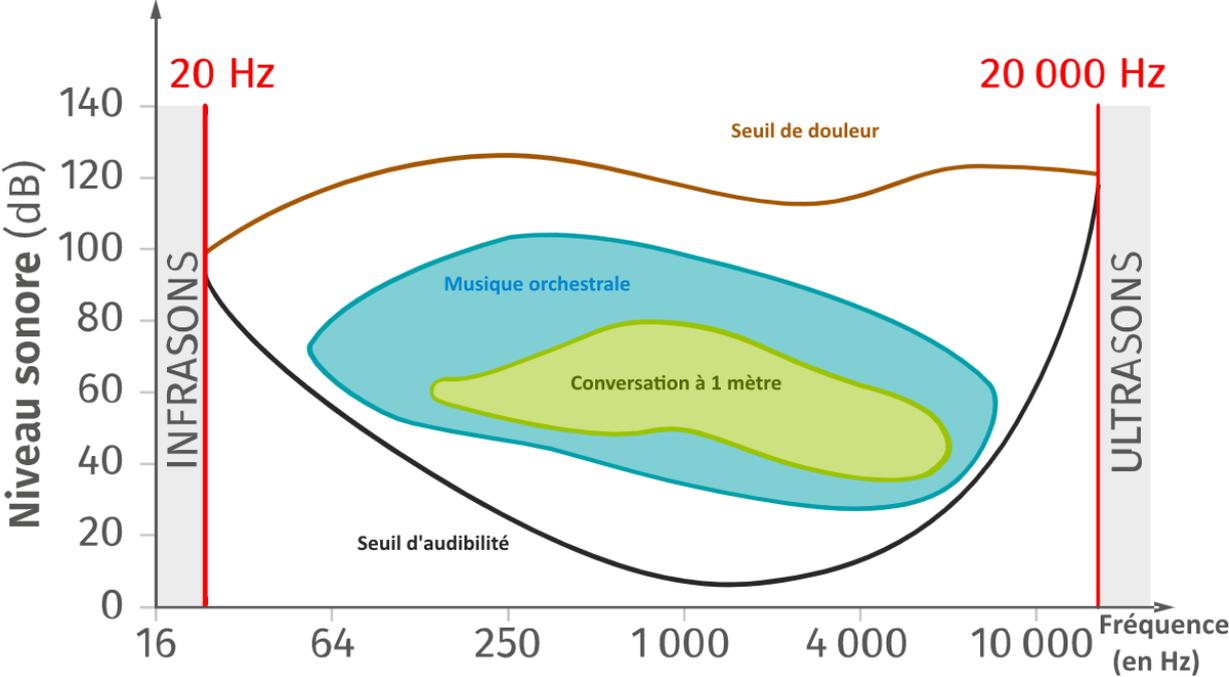
2 : les sons codés sont transmis à la partie interne, celle-ci les transforme en impulsion électrique.

3 : les impulsions électriques sont dirigées vers les électrodes.

4 : les électrodes stimulent le nerf auditif qui envoie l'information au cerveau.

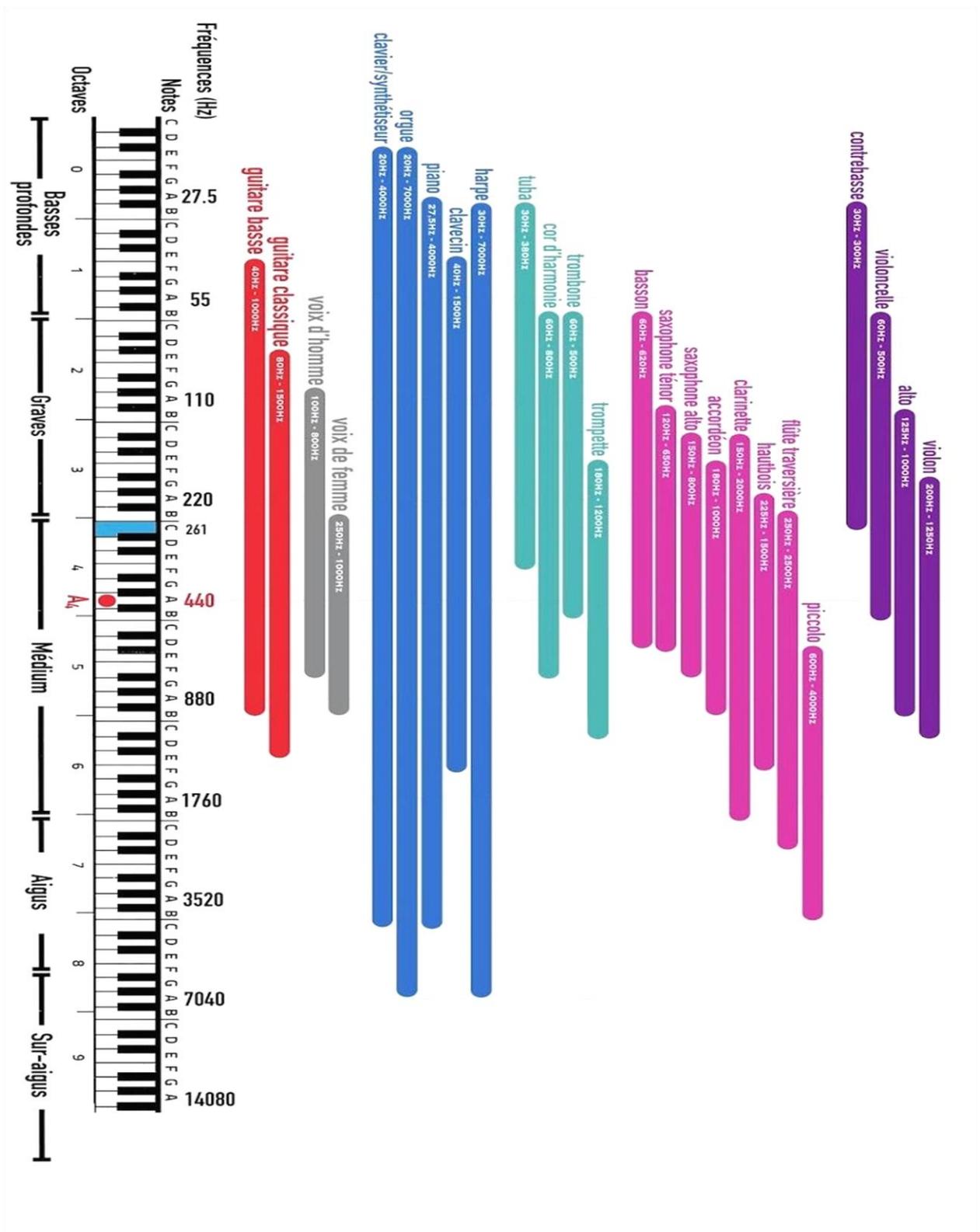
A typical modern cochlear implant system that converts sound to electric impulses delivered to the auditory nerve (Zeng et al., 2008).

Annexe III : champ auditif humain



Le champ auditif de l'homme (Douthe, Fray, & Olive, 2019).

Annexe IV : spectre de fréquences des instruments de musique et de la voix chantée



Tessiture et fréquence des instruments et voix (Sibold, 2009)

Annexe V : liste des chansons enregistrées

Chansons populaires et comptines :

- *Santiano* - Hugues Aufray
- *La Marseillaise* - Hymne national français
- *Vive le vent*
- *Frère Jacques*
- *Aux Champs Elysées* - Joe Dassin
- *J'ai du bon tabac*
- *A la clairefontaine*
- *Comptine d'un autre été* - Yann Tiersen

Morceaux pour présentation d'instruments :

- *River Flows in You* - Yiruma
- *7 Nations Army* – The White Stripes
- *When you wish upon a star*
- *Demeurez en mon amour* - Hélène Goussebayle
- *Il était une fois dans l'ouest* - Ennio Morricone
- *Mon amant de st Jean* - Lucienne Delyle
- *Nine by nine* - John Dummer's
- *Frappe* d'appel Ivoirienne

Morceaux internationaux :

- *7 Nations Army*
- *Stand by me*
- *I Can't Get No Satisfaction*
- *Hit the road Jack*
- *Hallelujah* - Jeff Buckley

Chansons françaises :

- *Mistral Gagnant* - Renaud
- *Je t'emmène au vent* - Louise Attaque
- *J'ai demandé à la lune* - Indochine
- *Cendrillon* - Téléphone
- *Petite Marie* - Francis Cabrel
- *Ne me quitte pas* - Jacques Brel
- *Le vent nous portera* - Noir Désir
- *La vie en rose* - Edith Piaf
- *Les copains d'abord* - G. Brassens
- *Non je ne regrette rien* - Edith Piaf
- *L'aigle noir* - Barbara
- *Emmenez-moi* - Charles Aznavour
- *Je te donne* - Jean-Jacques Goldman
- *Dommage* - Big Flo et Oli
- *La Corrida* - Francis Cabrel
- *SOS d'un terrien en détresse* - Daniel Balavoine
- *Au bout de mes rêves* - Jean-Jacques Goldman
- *Manhattan Kaboul* - Renaud et Axelle Red
- *Il jouait du piano debout* - France Gall

Annexe VI : liste des instruments et voix enregistrés

Instruments :

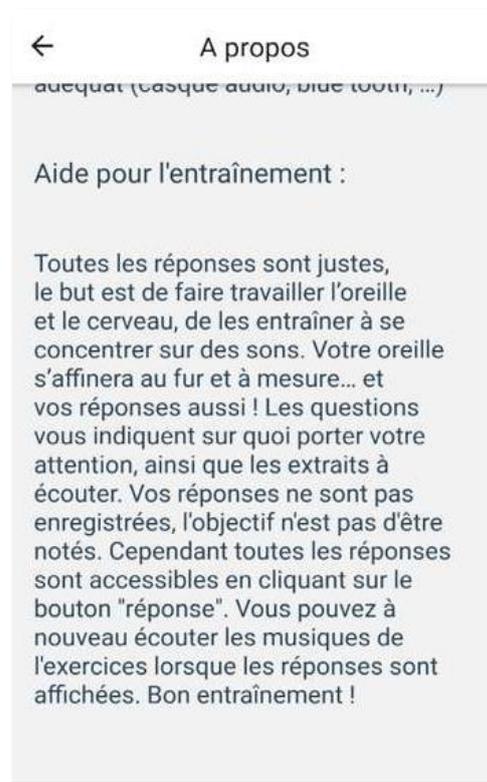
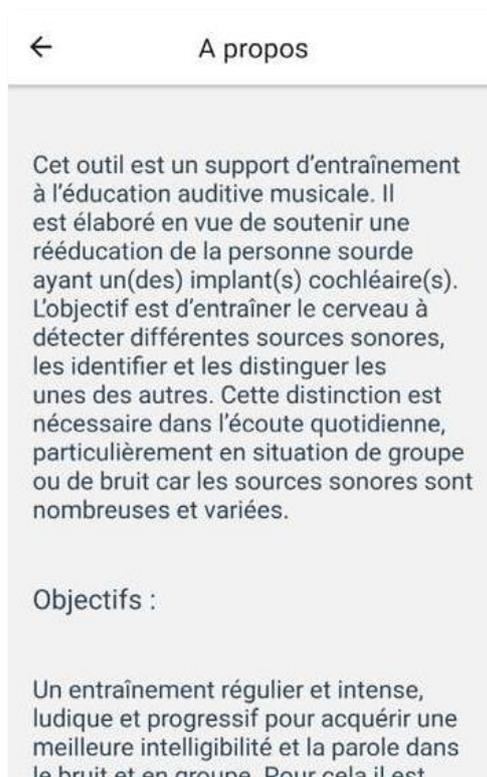
- Piano
- Guitare classique
- Guitare électrique
- Guitare basse
- Flûte à bec
- Flûte traversière
- Djembé
- Batterie
- Triangle
- Saxophone
- Violon
- Violoncelle
- Harmonica
- Accordéon

Voix :

- Femme mezzo
- 2 femmes alto
- Femme soprano
- Homme ténor
- Homme baryton
- Homme basse
- Une enfant de 3 ans
- Un enfant de 5 ans

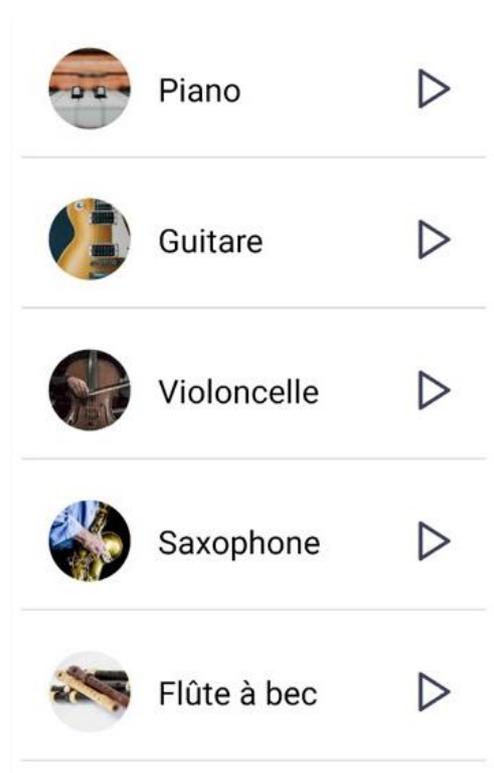
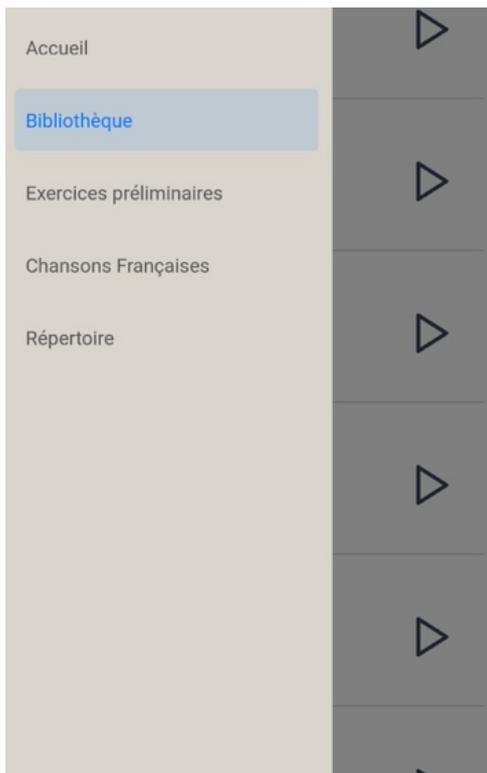
Annexe VII : captures d'écran de l'application mobile créée

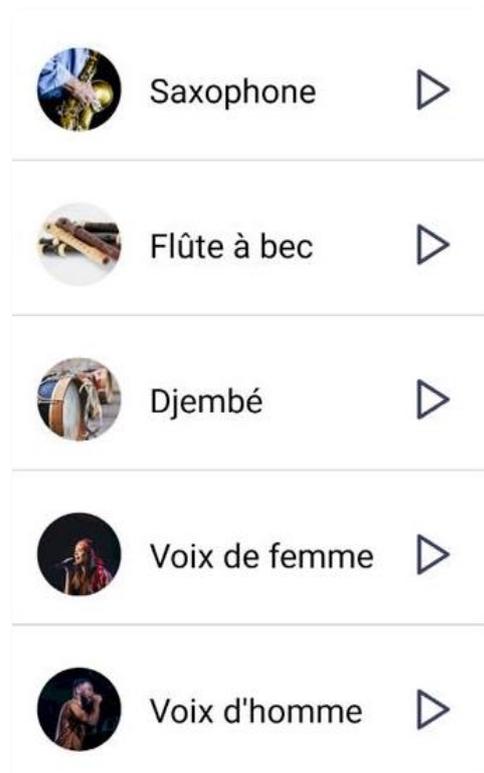
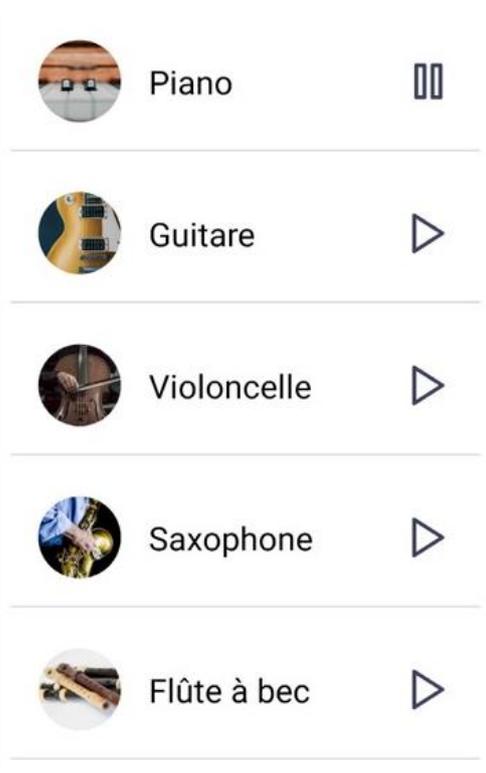
L'accueil



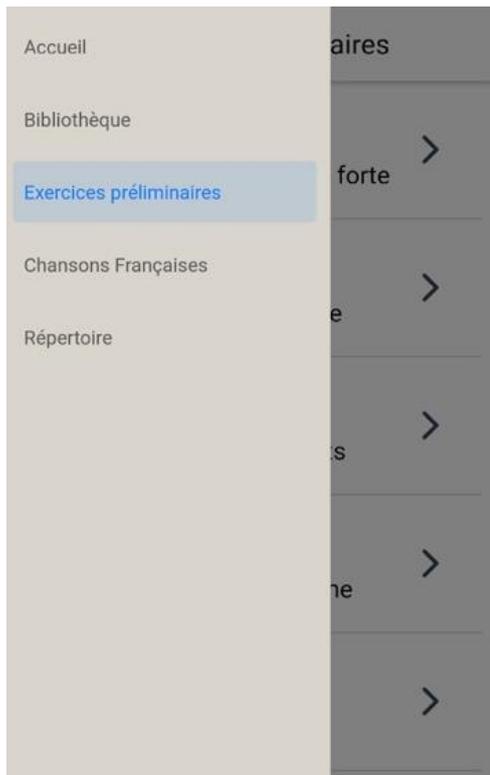


La bibliothèque d'instruments





Les exercices préliminaires = travail analytique



- Les intensités :

← Les intensités

Premier Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus forte ?

		Réponse

Deuxième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est

← Les intensités

Premier Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus forte ?

		Réponse

Deuxième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est

← Les intensités

		Réponse
--	--	---------

Deuxième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus forte ?

		Réponse

← Les intensités

		Réponse
--	--	---------

Troisième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus forte ?

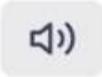
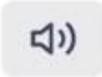
		Réponse

- *La hauteur :*

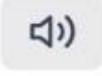
← La hauteur

Premier Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus aigüe ?

  Réponse

  Réponse

  Réponse

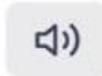
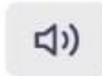
Deuxième Niveau :

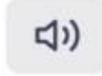
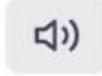
Laquelle de ces deux musiques est la plus aigüe ?

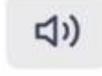
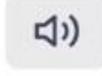
← La hauteur

Deuxième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus aigüe ?

  Réponse

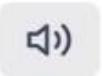
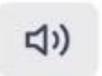
  Réponse

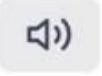
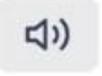
  Réponse

Troisième Niveau :

Laquelle de ces deux musiques est la plus aigüe ?

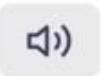
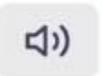
← La hauteur

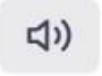
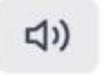
  Réponse

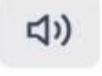
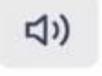
  Réponse

Troisième Niveau :

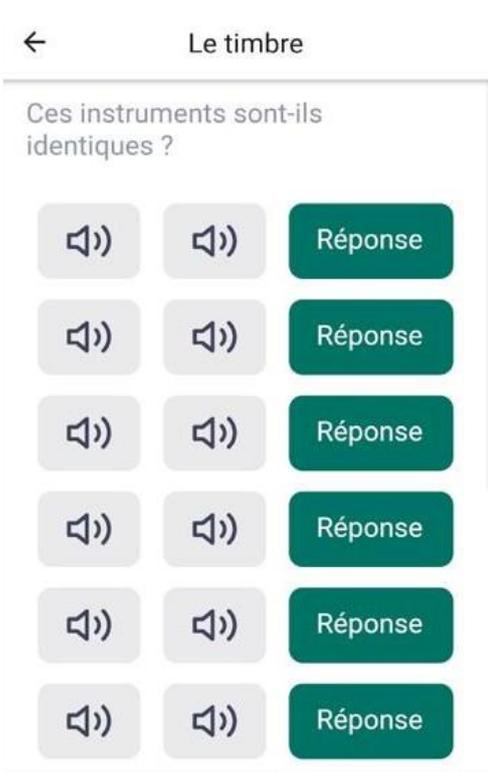
Laquelle de ces deux musiques est la plus aigüe ?

  Réponse

  Réponse

  Réponse

- *Le timbre :*



- *Le rythme :*

← Le rythme

Premier Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
		Réponse
		Réponse

Deuxième Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
--	--	---------

← Le rythme

Premier Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
		Réponse
		Réponse

Deuxième Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
--	--	---------

← Le rythme

Deuxième Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
		Réponse
		Réponse

Troisième Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
--	--	---------

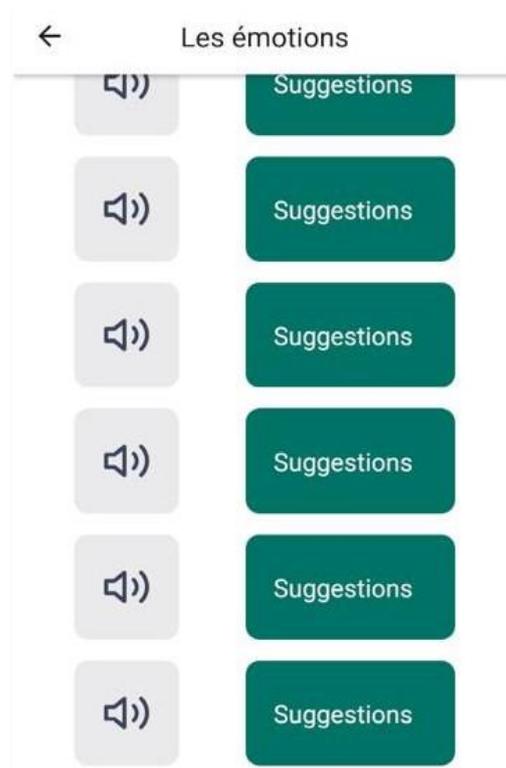
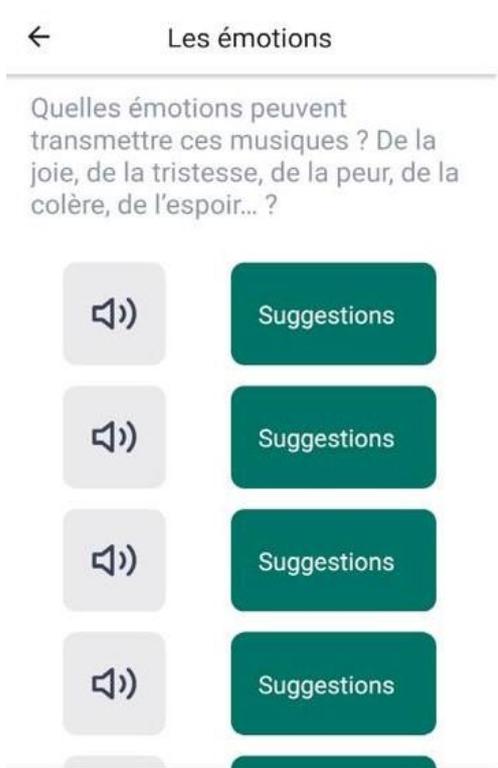
← Le rythme

		Réponse
		Réponse

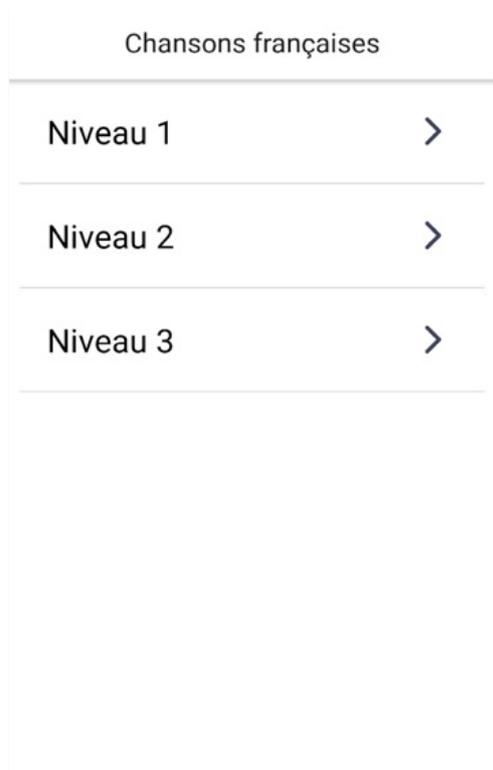
Troisième Niveau :
L'un de ces deux sons est soit plus court, soit plus rapide. Lequel ?

		Réponse
		Réponse
		Réponse

- Les émotions :



Les chansons françaises = première partie du travail fonctionnel



- *Premier niveau :*



← Chansons françaises

Cendrillon 

(Téléphone)

Instrument 1 

Instrument 2 

Afficher les réponses

Au bout de mes rêves 

(Jean-Jacques Goldman)

Instrument 1 

Instrument 2 

Cendrillon 

(Téléphone)

Guitare 

Voix Femme 

Afficher les réponses

Au bout de mes rêves 

(Jean-Jacques Goldman)

Instrument 1 

Instrument 2 

← Chansons françaises

Petite Marie 

(Francis Cabrel)

Voix de femme 

Voix d'homme 

Afficher les réponses

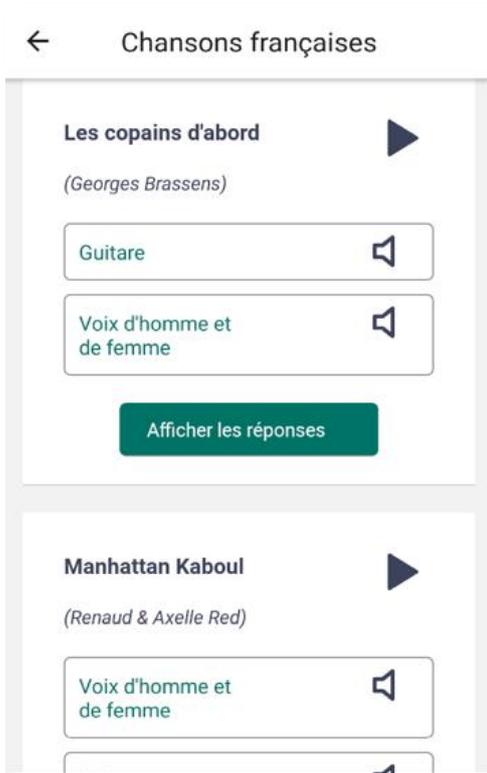
Santiano 

(Hugues Aufray)

Voix d'homme 

Guitare 

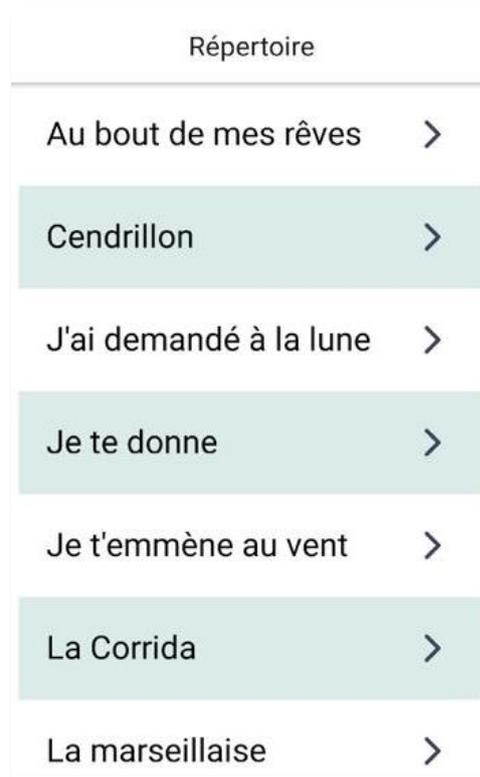
- *Deuxième niveau :*



- *Troisième niveau :*



Le répertoire des musiques = deuxième partie du travail fonctionnel



← Répertoire



La Corrida
(Francis Cabrel)

Guitare :

Djembe :

Voix Homme :



← Répertoire



La Corrida
(Francis Cabrel)

Guitare :

Djembe :

Voix Homme :



← Répertoire



La Corrida
(Francis Cabrel)

Guitare :

Djembe :

Voix Homme :



← Répertoire



La Corrida
(Francis Cabrel)

Guitare :

Djembe :

Voix Homme :



← Répertoire



SOS d'un terrien en détresse
(Daniel Ballaivoine)

Violoncelle :
0% 100%

Piano :
0% 100%



← Répertoire



Manhattan Kaboul
(Renaud & Axelle Red)

Guitare :
0% 100%

Voix Femme :
0% 100%

Voix Homme :
0% 100%



← Répertoire



Mistral Gagnant
(Renaud)

Piano :
0% 100%

Violoncelle :
0% 100%

Voix Femme :
0% 100%



← Répertoire



Petite Marie
(Francis Cabrel)

Guitare :
0% 100%

Voix Femme :
0% 100%

Voix Homme :
0% 100%



Annexe VIII : tableau récapitulatif de présentation des patients

	Âges	Date de la dernière activation	Marque de l'implant	Plaisir antérieur d'écoute musicale	Pratique antérieure musicale	Souhait de réécouter de la musique
1	63 ans	10/18	Oticon	oui	oui	oui
2	50 ans	12/19	Cochlear	oui	oui	oui
3	48 ans	12/19	Oticon	oui	oui	oui
4	60 ans	10/19	Cochlear	oui	non	oui
5	49 ans	02/20	Cochlear	oui	oui	oui
6	81 ans	12/19	Oticon	oui	non	non
7	68 ans	05/19	Oticon	oui	non	oui
8	40 ans	07/19	Oticon	oui	non	oui
9	49 ans	02/19	Medel	oui	oui	oui

Annexe IX : questionnaire d'évaluation qualitative de l'utilisation de l'outil

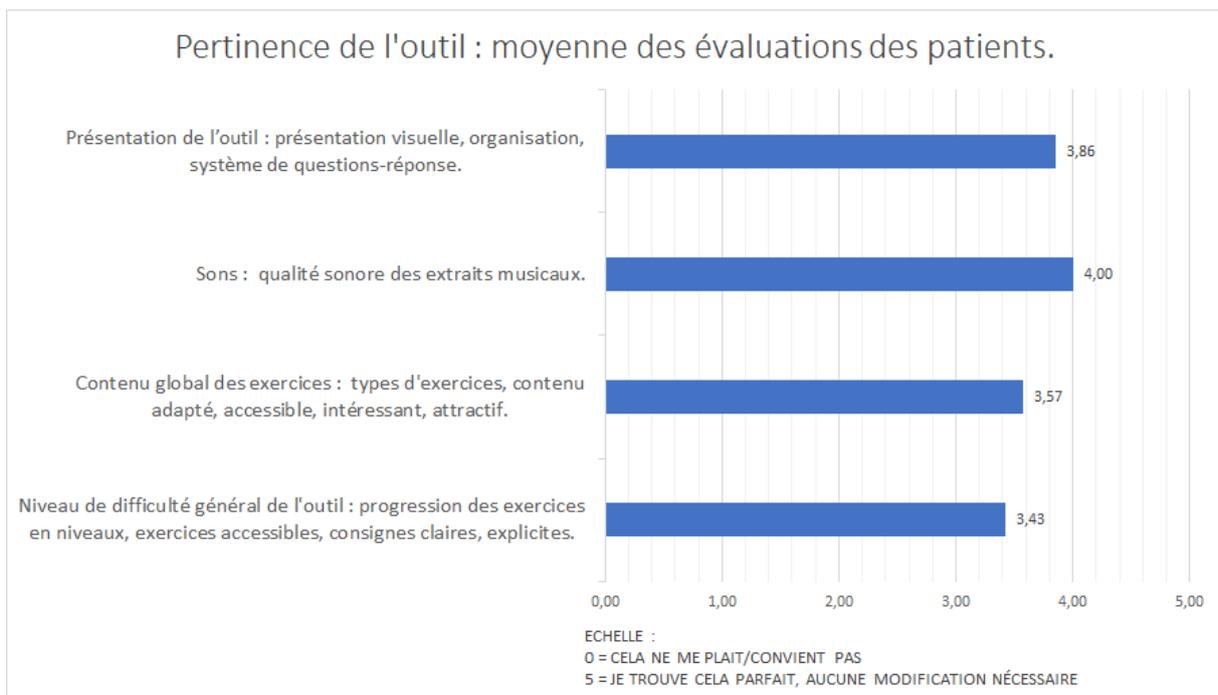
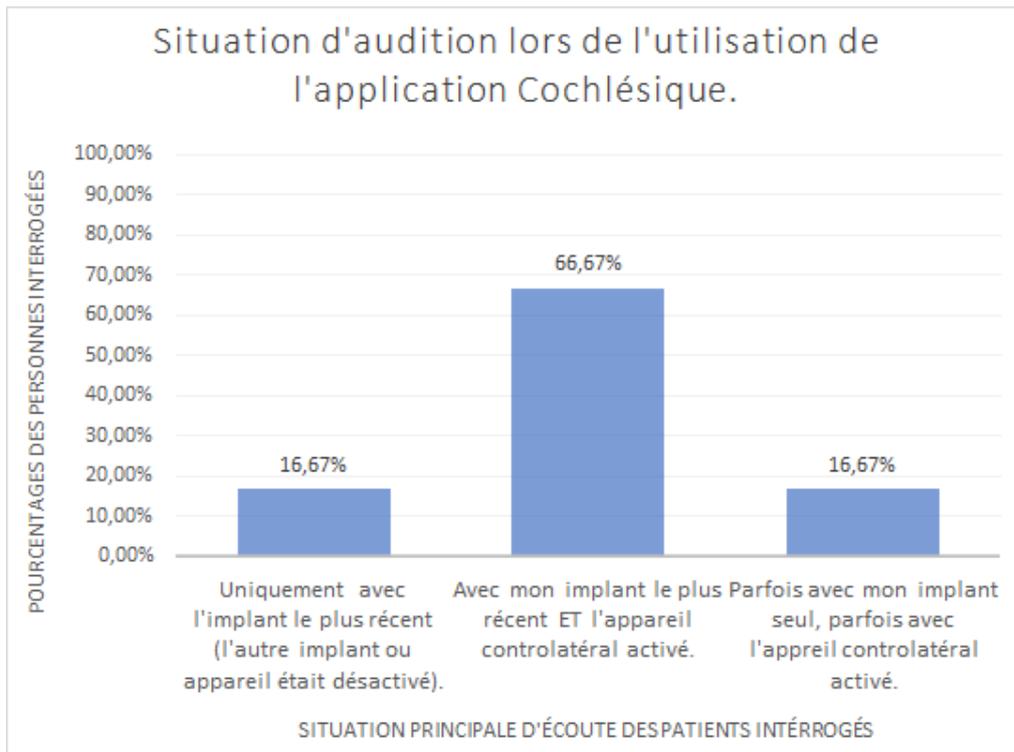
	Item évalué	Critères d'évaluation évalué en QCM
Utilisation	Situation d'écoute	<p><i>Dans quelle situation d'écoute étiez-vous lors de l'utilisation de l'outil Cochlésique ?</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Uniquement avec l'implant le plus récent (l'appareil controlatéral était désactivé). - Avec mon implant le plus récent ET l'appareil controlatéral activé. - Parfois avec mon implant seul, parfois avec l'appareil controlatéral activé.

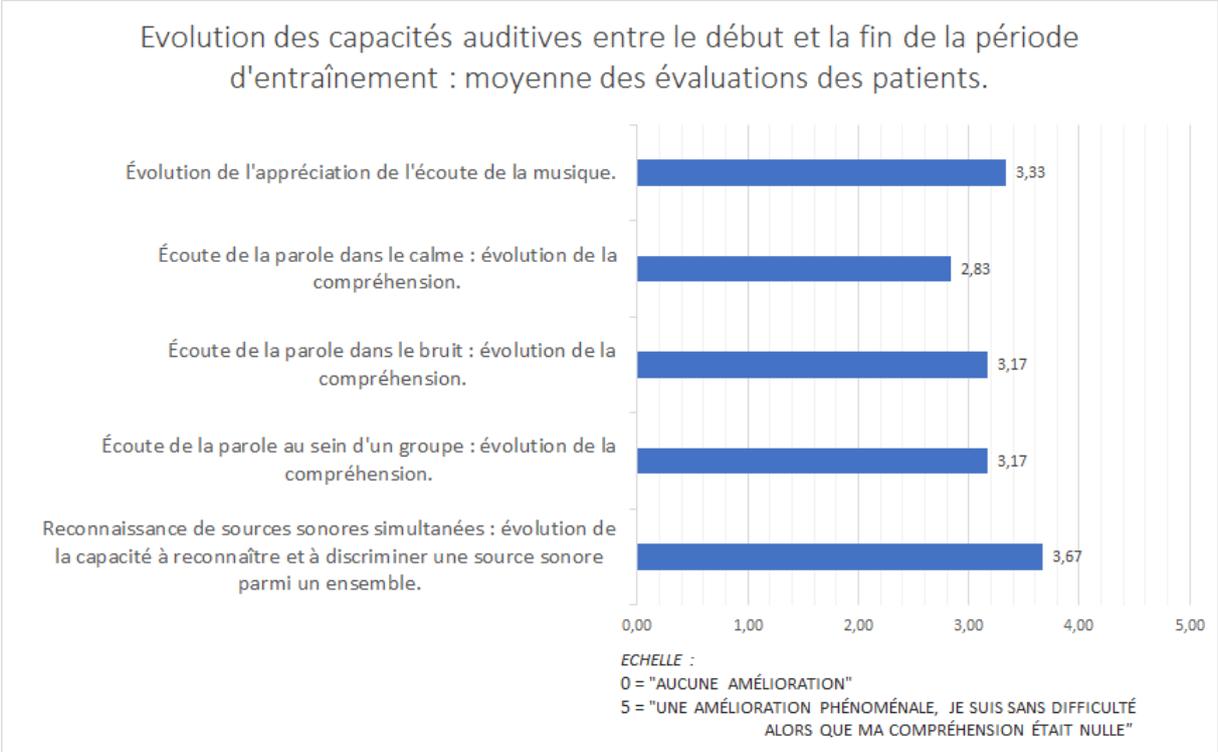
	Items évalués	Critères d'évaluation notés entre 0 et 5
		<p>Avec 0 = Cela ne me plait/convient pas. Et 5 = Je trouve cela parfait, aucune modification nécessaire !</p>
Outil	Présentation de l'outil	<i>Quelle note donneriez-vous à la présentation générale de l'outil ? (Présentation visuelle, organisation, système de questions-réponse)</i>
	Son	<i>Quelle note donneriez-vous à la qualité sonore des extraits musicaux ?</i>
	Contenu des exercices	<i>Quelle note donneriez-vous au contenu global des exercices ? (Types d'exercices, contenu adapté, accessible, intéressant, attractif)</i>
	Niveau de difficulté	<i>Quelle note donneriez-vous au niveau de difficulté général de l'outil ? (Progression des exercices en niveaux, exercices accessibles, consignes claires, explicites)</i>

	Items évalués	Critères d'évaluation notés entre 0 et 5 Avec 0 = Aucune amélioration Et 5 = Amélioration phénoménale, je suis sans difficulté alors que ma compréhension était nulle !
Sensations auditives au quotidien	Écoute de la musique	<i>Si vous deviez évaluer l'évolution de votre appréciation de la musique suite à l'entraînement, quelle note donneriez-vous ?</i>
	Écoute de la parole dans le calme	<i>Si vous deviez évaluer l'évolution de votre compréhension de la parole dans le calme suite à l'entraînement, quelle note donneriez-vous ?</i>
	Écoute de la parole dans le bruit	<i>Si vous deviez évaluer l'évolution de votre compréhension de la parole dans le bruit suite à l'entraînement, quelle note donneriez-vous ?</i>
	Écoute en situation de groupe	<i>Si vous deviez évaluer l'évolution de votre compréhension de la parole au sein d'un groupe suite à l'entraînement, quelle note donneriez-vous ?</i>
	Reconnaissance de sources sonores	<i>A combien évalueriez-vous l'évolution de votre capacité à reconnaître et à discriminer une source sonore parmi plusieurs informations sonores depuis l'entraînement ?</i>

	Items évalués	Critères d'évaluation notés entre 0 et 5 Avec 0 = Aucune amélioration. Et 5 = Amélioration phénoménale, je suis sans difficulté alors que ma compréhension était nulle !
Qualité de vie	Energie	<i>A combien évalueriez-vous le coût énergétique nécessaire à cet entraînement auditif à la fin de cette période ? (Fatigue, effort, énergie, sensibilité)</i>
	Evolution	<i>A combien évalueriez-vous l'évolution de vos capacités au cours de l'entraînement ?</i>
	Audition	<i>A combien évalueriez-vous l'évolution de vos sensations auditives lors de la période qui suit un entraînement ?</i>
	Plaisir	<i>Quelle note donneriez-vous à votre appréciation actuelle de l'entraînement par rapport au début de la période d'entraînement ?</i>
	Socialisation	<i>Quelle note donneriez-vous à l'évolution de votre vie sociale depuis le début de l'entraînement ?</i>
	Profession	<i>Comment évalueriez-vous les difficultés rencontrées au sein de votre profession ?</i>

Annexe X : extraction des résultats du questionnaire





Education auditive avec implant cochléaire chez l'adulte sourd post-lingual : Création d'une application mobile d'auto-entraînement musical.

RESUME

La formation musicale s'avère bénéfique face aux difficultés de compréhension auditives qui persistent à la suite d'une implantation cochléaire. L'efficacité de la réhabilitation semble en partie dépendante de l'implication du patient et de l'intensité de son entraînement. Notre objectif était d'élaborer une application mobile d'auto-entraînement spécifique à l'éducation auditive musicale, pouvant compléter une thérapie orthophonique classique. Les exercices ont été élaborés en regard de la littérature scientifique, sur une base musicale que nous avons enregistrée. Une cohorte de neuf patients adultes implantés a testé l'outil sur une période d'entraînement de huit semaines, puis a évalué sa pertinence par le biais d'un questionnaire qualitatif. L'étude révèle que l'implication et la motivation des patients sont augmentées, et qu'ils estiment avoir perçu une amélioration de leurs capacités auditives.

MOTS-CLES

Implant cochléaire, éducation auditive, musique, auto-entraînement, application mobile, surdité post-linguale

ABSTRACT

Musical education is proven to be effective to further reduce hearing comprehension difficulties after a cochlear implantation. The rehabilitation effectiveness seems to be partially dependent on the patient's involvement and his training's intensity. Our goal was to design and develop a self-training mobile application dedicated to the education of musical hearing, complementary to classical speech therapy. We created training exercises designed according to the scientific literature, using on self registered musical matériel. A group of nine cchlear implanted adults tested the tool during a eight weeks period, before rating its relevance using a qualitative evaluation form. The study reveals an increase of the patients involvement and motivation following the use of the app, as well as percieved improvement on their hearing abilities.

KEY WORDS

Cochlear implant, hearing education, music, self-training, mobile application, post-lingual deafness