

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2021

THESE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Efficacité d'un entraînement auditivo-cognitif pour la
compréhension de la parole en milieu bruyant chez le patient
implanté cochléaire**

Présentée et soutenue publiquement le 04 octobre 2021 à 16h00 au pôle
formation

Par Guillaume LLORET

JURY

Président :
Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Assesseurs :
Monsieur le Professeur Pierre FAYOUX
Madame le Docteur Fanny GAUVRIT

Directeur de thèse :
Monsieur le Professeur Christophe VINCENT

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

IC	Implant Cochléaire
PAP	Profil Auditif Personnalisé
RSB	Rapport Signal sur Bruit
SIB50	Seuil d'intelligibilité dans le bruit à 50%
G1	Groupe Entraînement
G0	Groupe Contrôle
T1	Test Initial
T2	Test Final à 2 mois
dB HL	Décibel Hearing Level
VRB	Vocale Rapide dans le Bruit
STMmeilleur	Score audiométrique tonal moyen de la meilleure oreille
DISSBILAT	Score d'intelligibilité binaural en champ libre avec des listes dissyllabiques à 45dB HL

Sommaire

Avertissement.....	2
Liste des abréviations.....	3
Sommaire	4
Résumé	7
1 Introduction.....	7
2 Matériels et Méthodes	7
3 Résultats	8
4 Conclusion.....	8
Introduction.....	9
1 Anatomie et physiologie de l'audition	9
2 Surdité	13
3 Implant cochléaire	13
3.1 Historique	14
3.2 Fonctionnement.....	14
3.3 Facteurs de performance	15
3.3.1 Facteurs liés aux patients	15
3.3.2 Facteurs chirurgicaux.....	15
3.3.3 Facteurs liés aux réglages	15
4 Entraînement auditivo-cognitif	15
4.1 Modalités de l'entraînement auditivo-cognitif.....	16
4.2 Contenu de l'entraînement auditivo-cognitif.....	16
5 G�ne en milieu bruyant	17
5.1 Audiométrie en milieu bruyant	17
5.2 Implant cochléaire et milieu bruyant	18
6 Objectif	19
Matériel et méthodes	20
1 Etude	20
2 Population	20
3 Recueil de données.....	20
3.1 Données biographiques et audiométriques	20
3.2 Données audiométriques de compréhension de la parole en milieu bruyant	20
4 Intervention : entraînement auditif de compréhension de la parole dans le bruit	21

5	Analyse statistique.....	22
5.1	Analyses univariées.....	22
5.2	Analyses bivariées.....	22
5.3	Significativité	22
6	Cadre réglementaire.....	22
	Résultats.....	24
1	Patients inclus	24
2	Données descriptives à l'inclusion.....	24
3	Critère d'intérêt principal.....	26
3.1	Comparabilité des groupes.....	26
3.1.1	Description des populations.....	26
3.1.2	Comparabilité au Profil Auditif Personnalisé T1	26
3.2	Résultats au Profil Auditif Personnalisé T2.....	27
3.3	Progression des deux groupes	27
3.3.1	Comparaison intra-groupe	27
3.3.2	Comparaison inter-groupe	28
4	Critère d'intérêt secondaire	29
4.1	Description des populations	29
4.2	Résultats au Profil Auditif Personnalisé T1.....	29
5	Données épidémiologiques	30
5.1	Données du profilage	30
5.2	Validité du protocole	30
	Discussion	31
1	Critère d'intérêt principal.....	31
1.1	Différence 7 environnements / 3 environnements	31
1.2	Limite : comparabilité des groupes.....	31
1.3	Impact de l'orthophonie	32
2	Critère d'intérêt secondaire	32
3	Validité de la méthode	33
3.1	Validité du test audiométrique dans le bruit du PAP.....	33
3.2	Validité de l'entraînement auditivo-cognitif	33
4	Perspectives.....	34
4.1	Application à une population générale de patients implantés.....	34
4.1.1	Recrutement	34
4.1.2	Assiduité	34

4.1.3	Surdité pré-linguale versus post-linguale	35
4.2	Multidisciplinarité	35
4.3	Evolution des résultats dans le temps	35
	Conclusion.....	36
	Liste des tables.....	37
	Liste des figures	38
	Références	39
	Annexe 1 : Cotation PAP	43
	Annexe 2 : Exercices de chaque séance d'entrainement	44
	Annexe 3 : Fiche de recrutement.....	52
	Annexe 4 : Fiche explicative remise au G1 � T1 et au G0 � T2.....	53
	Annexe 5 : Consentement	54
	Annexe 6 : Tableaux de comparabilité G1 et G0	55
	Annexe 7 : Comparabilité des 3 sous populations	56
	Annexe 8 : Comparaison des moyennes des 7 environnements pour les 3 sous-populations	57

Résumé

1 Introduction

L'implant cochléaire est un dispositif implantable utilisé en pratique courante qui permet la réhabilitation auditive des patients atteints de surdité sévère à profonde bilatérale. L'efficacité de l'implantation notamment pour la compréhension de la parole dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la réalisation d'un entraînement auditif intensif pour comprendre les signaux électriques délivrés par l'implant joue un rôle primordial.

L'audition en milieu bruyant est une problématique d'actualité et une difficulté majeure chez les patients implantés. De nombreux auteurs s'intéressent aux capacités de réorganisation neurologique pour essayer de répondre à cette problématique. Cependant le niveau de preuve de ces études reste faible car les protocoles de recherches manquent de rigueur et l'applicabilité chez les patients implantés reste limitée. Il y a en effet des carences dans la littérature sur l'évaluation de l'entraînement auditivo-cognitif chez le patient implanté cochléaire en milieu bruyant.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer si un entraînement auditif personnalisé à domicile sur support informatique pour une tâche de compréhension de la parole dans le bruit améliore les performances auditives dans le bruit des patients implantés.

L'objectif secondaire est de comparer les capacités auditives dans le bruit des différentes populations de patients implantés : ceux bénéficiant d'une audition binaurale par rapport à ceux ne possédant qu'une audition monaurale.

2 Matériels et Méthodes

Il s'agissait d'une étude prospective chez 63 patients implantés cochléaires répartis en deux groupes : un groupe bénéficiant d'un entraînement auditif en milieu bruyant à domicile pendant 2 mois (G1) et un groupe contrôle n'en bénéficiant pas (G0).

On a testé les performances auditives de compréhension de la parole en milieu bruyant avec un logiciel simulant 7 environnements sonores de la vie quotidienne :

- Dans le groupe entraînement : avant (T1 : test initial) et après (T2 : test final) l'entraînement auditif de 2 mois.
- Dans le groupe contrôle : à deux mois d'intervalle sans intervention.

L'entraînement auditivo-cognitif avait pour objectif de réaliser 3 séances de rééducation par semaine pendant 8 semaines en champ libre à domicile sur support informatique. Chaque séance de 15 à 20 minutes comprenait 7 exercices, basés sur les données de la littérature pour un entraînement optimal, dans le silence et dans des milieux bruyants personnalisés pour chaque patient.

Le critère principal d'intérêt était la comparaison des progressions des performances en milieu bruyant entre les deux groupes.

Le critère secondaire d'intérêt est la comparaison des performances au T1 entre les patients mono-implantés, bi-implantés et mono-implantés bénéficiant d'une prothèse auditive controlatérale.

3 Résultats

52 patients ont été inclus pour le critère d'intérêt principal. Avec l'entraînement on retrouvait un gain significatif de 4,8dB de RSB (Rapport Signal/Bruit) entre les deux tests ($p < 0,01$). Sans entraînement on ne retrouvait pas de progrès significatif ($p = 0,756$). On retrouvait une différence significative de progrès entre les deux groupes en faveur du groupe ayant bénéficié de l'entraînement ($p < 0,01$).

62 patients ont été inclus pour le critère d'intérêt secondaire. Il n'y avait pas de différence de performance au T1 entre les 3 sous populations (2,94/10 pour les mono-implantés, 3,29/10 pour les mono-implantés + prothèse controlatérale, 3,43/10 pour les bi-implantés).

4 Conclusion

On a donc montré la faisabilité et le bénéfice d'un entraînement auditif en milieu bruyant personnalisé à domicile sur support informatique pour des patients implantés.

On retrouve une tendance à une meilleure performance en milieu bruyant chez les patients bi-implantés et ceux mono-implantés avec prothèse controlatérale par rapport aux mono-implantés sans prothèse controlatérale sans qu'aucune différence significative n'ait pu être démontrée probablement à cause d'un manque d'effectif.

Introduction

1 Anatomie et physiologie de l'audition

L'oreille est divisée en 3 parties qui jouent chacune un rôle dans la transmission du message auditif. Sa fonction est de transformer une onde sonore mécanique en signal électrique. [1,2]

L'oreille externe composée du pavillon ou auricule et du conduit auditif externe qui se termine au tympan, amplifie les ondes sonores et sert à leur localisation.

L'oreille moyenne sert à transformer le message mécanique aérien en vibration liquidienne. Elle amplifie le son d'un facteur 15. Elle est composée du tympan et de 3 osselets composant la chaîne ossiculaire (marteau/malleus, enclume/incus et étrier/stapes) compris dans une cavité irrégulière de 1 à 2cm³. L'étrier s'articule sur la fenêtre ovale qui se situe contre l'oreille interne.

La deuxième communication entre l'oreille moyenne et l'oreille interne est la fenêtre ronde qui va être la voie d'abord de référence pour l'implantation cochléaire.

L'oreille interne est divisée en deux parties : le labyrinthe postérieur a une fonction dans l'équilibre et le labyrinthe antérieur constitué de la cochlée qui va transmettre le message auditif aux fibres nerveuses cochléaires constituant le nerf auditif. Figure 1

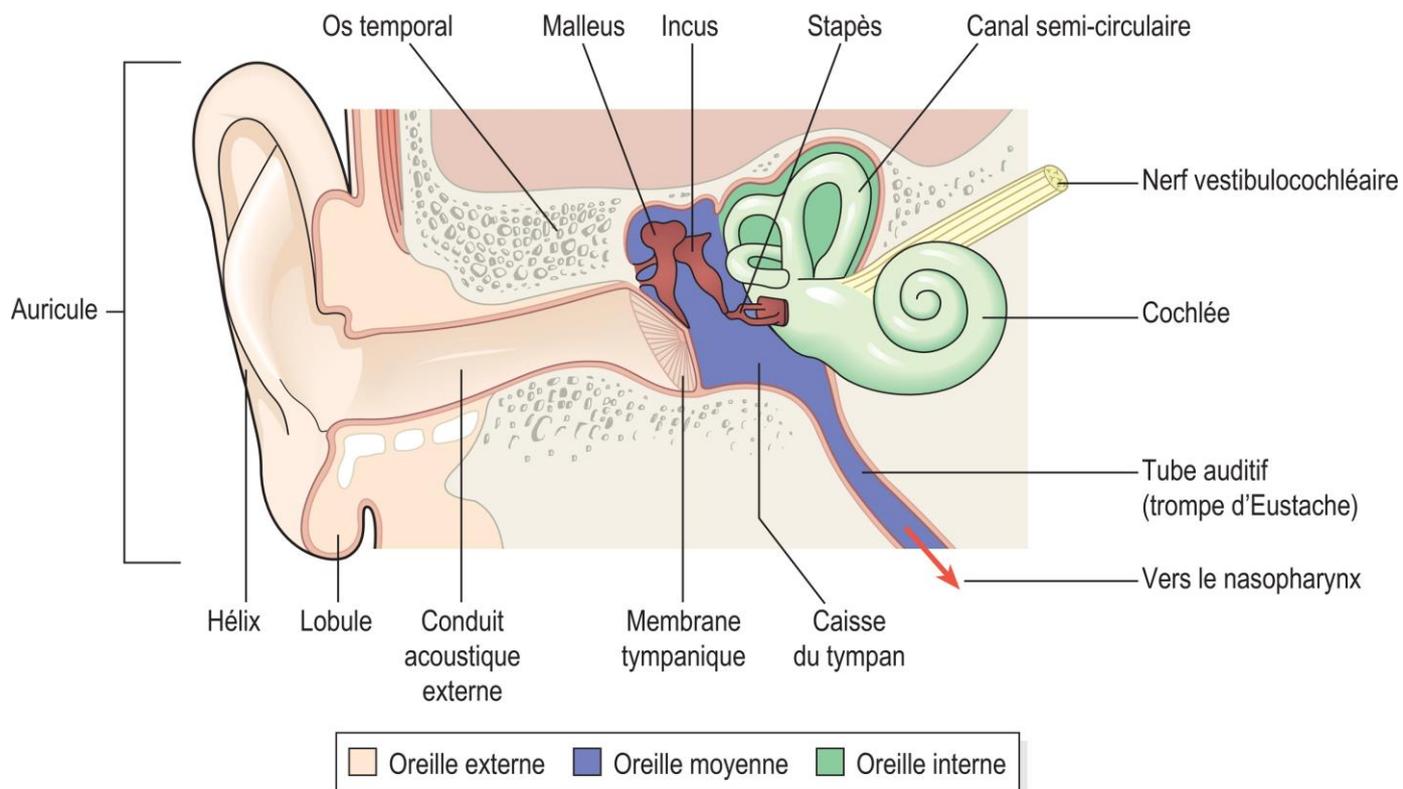


Figure 1 : Les sous divisions de l'oreille [3]

La cochlée est un cône haut de 35mm qui contient l'organe spiral (de Corti) dont la fonction est de transformer les vibrations des liquides de l'oreille interne en signal électrique : c'est la transduction mécano-électrique. L'organe de Corti est contenu dans le canal cochléaire rempli d'endolymphe entouré de la rampe vestibulaire qui commence à la fenêtre ovale et de la rampe tympanique qui s'abouche à la fenêtre ronde. Les deux rampes se réunissent au niveau de l'hélicotrème situé à l'apex de la cochlée et sont remplies de périlymphe. Figure 2

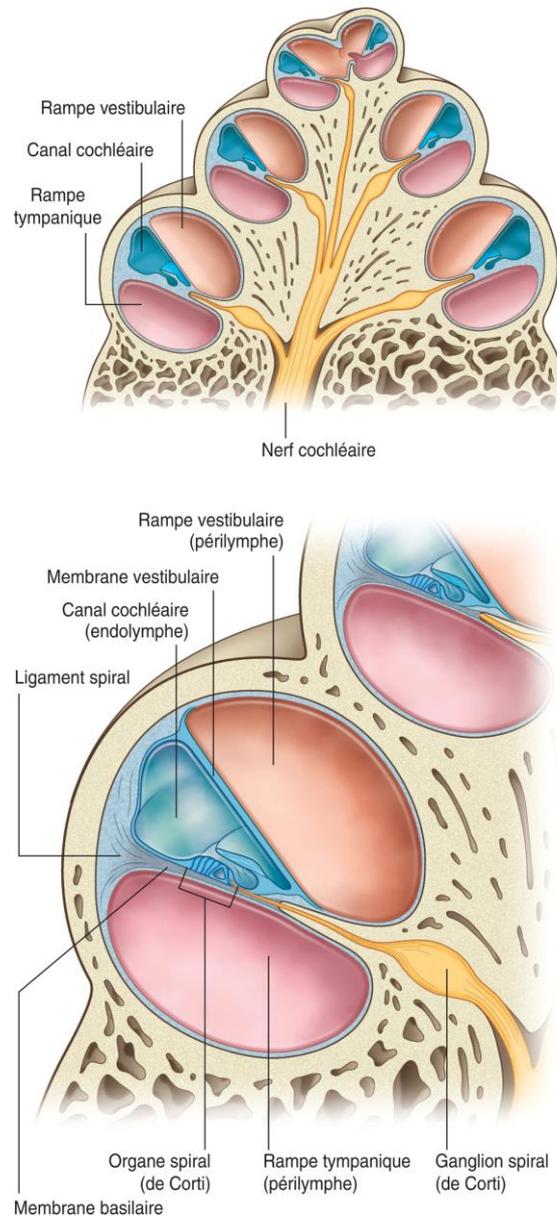


Figure 2 : Coupe transversale de la cochlée [4]

La transduction mécano-électrique est assurée par la membrane basilaire qui vibre avec les variations de pression de la périlymphe et active les cellules ciliées externes (15000 cellules pour l'amplification du signal) et les cellules ciliées internes (3500 cellules) qui vont activer des potentiels d'actions vers les noyaux des cellules nerveuses du nerf cochléaire au niveau du ganglion spiral. C'est l'inclinaison des stéréocils des cellules ciliées qui va provoquer une dépolarisation de la cellule et générer un potentiel cochléaire. Figure 3 et Figure 4

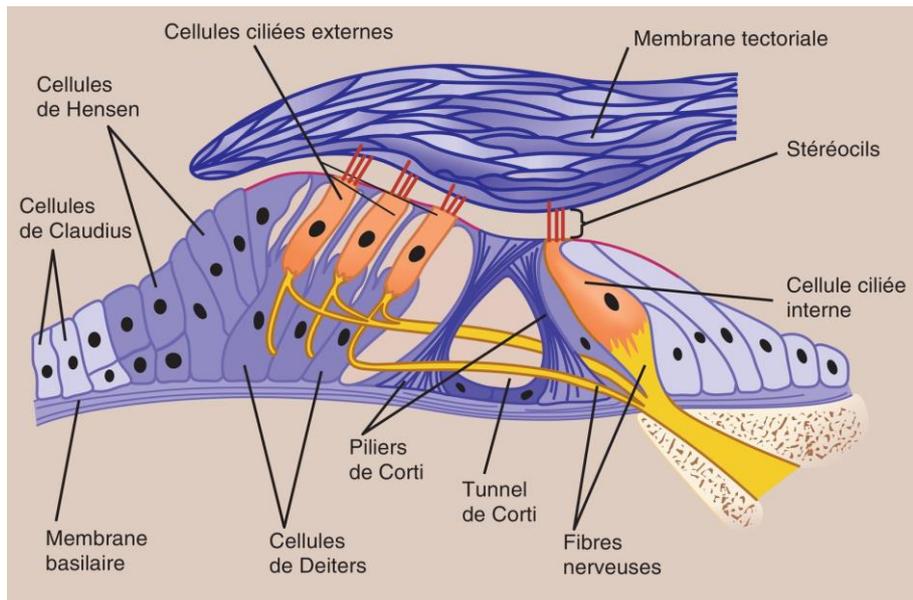
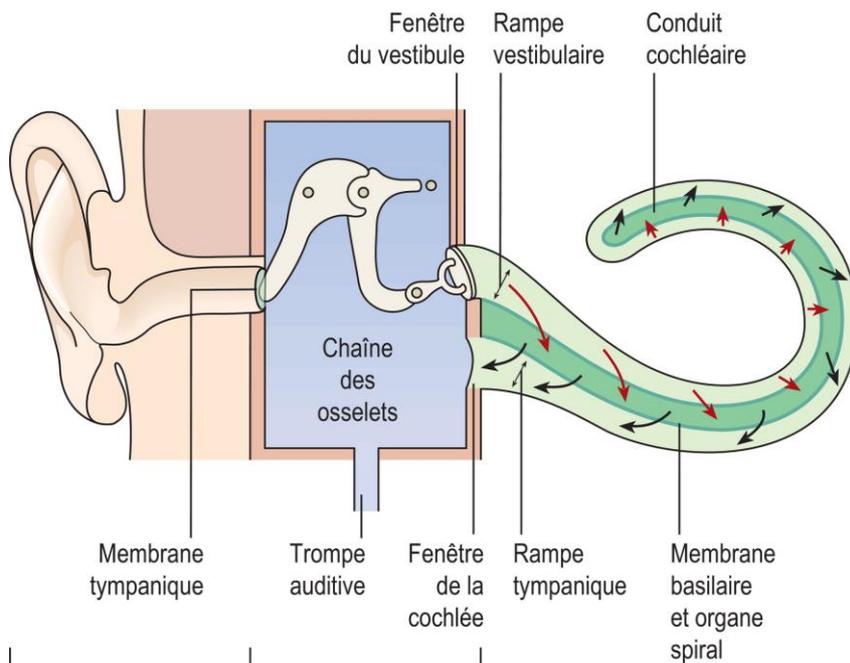


Figure 3 : Représentation schématique de l'organe spiral (organe de Corti) [1]



Oreille externe	Oreille moyenne	Oreille interne		
Ondes sonores dans l'air	Malleus → Incus → Stapès	Pérylimphe	Endolymphe	Pérylimphe
	Mouvement mécanique des osselets	Onde liquidienne	L'onde liquidienne stimule la membrane basilaire et l'organe spiral	Onde liquidienne
→	→	→	→	→
Membrane tympanique	Fenêtre du vestibule			Fenêtre de la cochlée

Figure 4 : Transmission du message sonore [5]

L'onde sonore est une variation de pression de l'air qui se mesure par sa fréquence et son amplitude. La fréquence en Hz définit la hauteur du son, plus elle est élevée, plus le son est aigu. L'amplitude en dB correspond à l'intensité du son.

Le signal sonore est codé de 3 façons par la cochlée :

- Le codage spatial déterminé par la fréquence de l'onde : varie en fonction de la zone de vibration de la membrane basilaire : les fréquences aiguës à la base car la membrane basilaire est plus épaisse donc moins déformable et les fréquences graves à l'apex. Les cellules ciliées internes le long de la cochlée répondent donc à des sons de fréquence bien déterminée : c'est la tonotopie cochléaire. Elle permet de coder des sons de 20 à 20000Hz. Figure 5
- Le codage temporel par synchronisation des potentiels d'action à la période de l'onde sonore : la durée du son correspond à la durée d'activation des fibres nerveuses.
- Le codage d'intensité par l'activation d'une population neuronale en stimulant plusieurs fibres nerveuses d'une région de la cochlée.

Le signal électrique est ensuite transporté par le nerf cochléaire constitué de 35 000 neurones également organisés de façon tonotopique. Il rejoint le noyau cochléaire homolatéral au niveau du tronc cérébral. L'information est ensuite envoyée au cortex auditif mais aussi aux voies d'intégrations polysensorielles et limbiques. Chaque hémisphère reçoit des informations des deux oreilles ce qui permet de localiser le son en analysant la différence entre le temps d'arrivée des informations et leurs intensités.

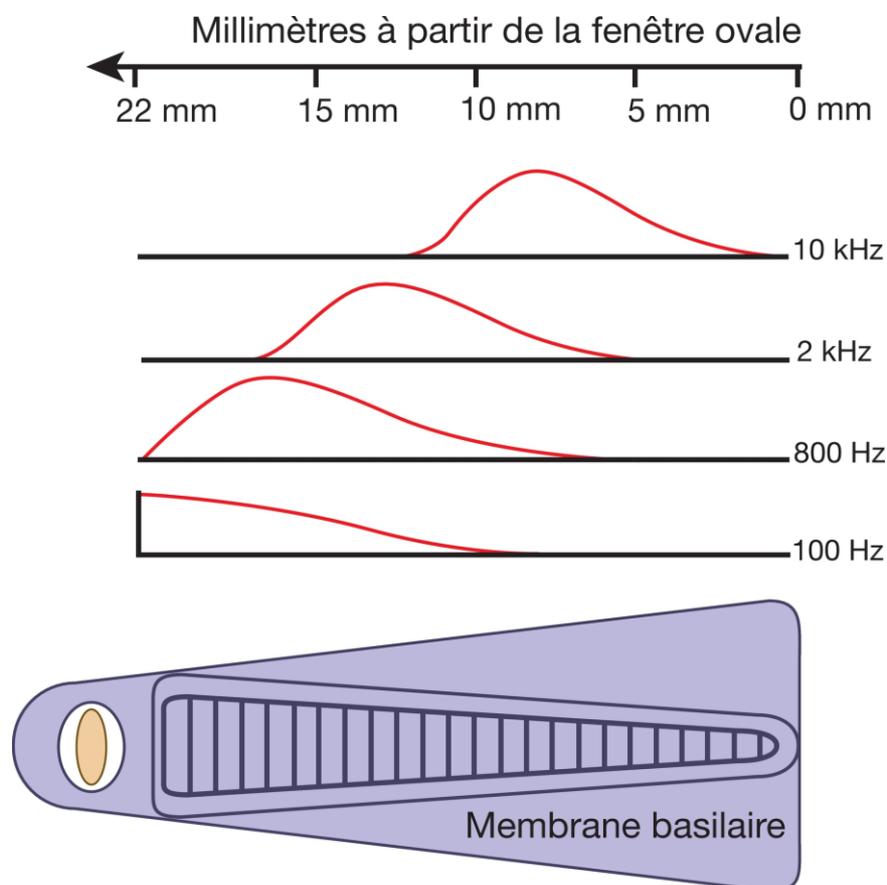


Figure 5 : Tonotopie cochléaire [6]

2 Surdité

L'hypoacousie est la 3^e affection chronique de l'adulte, elle touche 11,5% de la population et sa prévalence augmente fortement avec l'âge (entre 40 et 66% pour les plus de 75 ans) [7]. Le diagnostic et l'évaluation du degré de la surdité se fait grâce à l'audiométrie [8] :

- L'audiométrie tonale correspond à la mesure du seuil auditif en fonction de la fréquence en utilisant des sons purs allant de 250 à 8000Hz. Le degré de surdité est calculé en fonction de la moyenne des seuils obtenus.
- L'audiométrie vocale évalue la compréhension des mots ou intelligibilité.
- Chez le jeune enfant on peut utiliser des tests objectifs ne demandant pas la participation du patient : les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral (PEA) ou les potentiels évoqués auditifs stationnaires (ASSR) permettent de déterminer les seuils auditifs.

Une surdité sévère à profonde bilatérale a des conséquences importantes : chez l'enfant elle empêche le développement du langage (0,01% des enfants). Les causes principales sont génétiques et post infectieuses. Chez l'adulte elle entraine un déclin cognitif et un isolement social et est associée à la survenue de dépression, de chutes ou de démence. [9] Les causes principales sont le vieillissement de l'oreille ou presbyacousie [10], les atteintes toxiques (médicaments ou traumatismes sonores), la maladie de Ménière [11], les maladies systémiques inflammatoires.

Le déclin des capacités cognitives des patients atteints de surdité profonde pourrait être réversible comme l'affirment Mosnier et al qui ont suivi 70 patients implantés pendant 7 ans et ont montré qu'un tiers des patients avec une atteinte cognitive modérée ont pu regagner des performances cognitives normales après l'implantation [12].

L'implant cochléaire a donc un rôle de réhabilitation auditive mais permet par ce biais d'améliorer les performances cognitives, l'intégration sociale et la qualité de vie [13].

3 Implant cochléaire

L'implant cochléaire est un dispositif implantable utilisé en pratique courante qui permet la réhabilitation auditive des patients atteints de surdité sévère à profonde bilatérale. Il nécessite une intervention chirurgicale pour insérer un porte-électrodes dans la cochlée.

L'implantation cochléaire chez l'adulte est indiquée en cas de surdité sévère à profonde bilatérale sans bénéfice suffisant d'un appareillage conventionnel bien adapté avec un seuil d'intelligibilité en liste dissyllabique à 60dB HL en champ libre inférieur à 50%. Les surdités fluctuantes bilatérales handicapantes sont également une indication possible [14]. Il n'y a pas de limite d'âge supérieure sous réserve de réaliser un bilan neuropsychique pour éliminer une démence avérée.

Chez l'enfant en phase pré-linguale ou péri-linguale, on considère qu'une surdité sévère (>70dB HL) ne permettra pas d'obtenir une compréhension intelligibilité de la parole permettant le développement du langage. L'implantation doit être réalisée avant l'âge de 1 an pour obtenir les meilleurs résultats [15].

La technique d'implantation cochléaire est considérée comme peu risquée y compris chez des enfants de moins d'un an [16].

3.1 Historique

Les Français A. Djournio et C. Eyriès ont mis au point le 1^{er} précurseur d'implant cochléaire en 1957 en plaçant un fil électrique sur le nerf auditif d'un patient opéré pour cholestéatome.

En 1961 aux Etats Unis le Dr William House met en place des implants dans la cochlée de deux patients. Ceux-ci ne possédaient qu'une électrode. Ils ne permettaient pas la compréhension de la parole mais l'idée d'une prothèse pouvant stimuler le nerf cochléaire d'une oreille sourde était lancée. Son modèle sera le 1^{er} commercialisé en grande série à partir de 1972.

Cependant la technologie de l'implant développée d'abord par Blair Simmons aux Etats Unis (6 électrodes) puis par C.H. Chouard en France (8 canaux sur une seule antenne) remplacera bien vite les modèles à une seule électrode. En effet on se rend très vite compte de la possibilité de stimuler la cochlée à différents niveaux pour obtenir des sons de différentes fréquences.

En 1977, la société française MXM utilise le brevet du Dr Chouard pour concevoir l'implant cochléaire Digisonic.

La mise au point d'implants cochléaires multi-électrodes s'est ensuite faite progressivement par les équipes de différents pays. Actuellement le marché est composé de 4 marques : OTICON MEDICAL pour la France, MED-EL pour l'Autriche, ADVANCED BIONICS (AB) aux États- Unis et COCHLEAR en Australie.

450 000 personnes sont porteuses d'un ou de plusieurs implants cochléaires. Il s'agit du neurostimulateur le plus développé du corps humain. Cependant il reste encore beaucoup de recherches pour que la technologie puisse rivaliser avec l'oreille humaine. [17,18]

3.2 Fonctionnement

L'implant cochléaire comporte deux parties :

- Le processeur externe comprend des microphones et un processeur vocal qui a pour but de transformer les signaux sonores en signaux électriques.
- Le processeur interne implanté chirurgicalement sous la peau relié à un porte-électrodes inséré dans la rampe tympanique de la cochlée.

Le processeur externe vient s'aimanter sur le processeur interne permettant un contact entre leurs antennes.

Le message auditif est donc capté par les microphones, transformé en message électrique, transporté jusqu'aux électrodes qui vont stimuler électriquement le ganglion spiral et les fibres nerveuses cochléaires en respectant la tonotopie cochléaire en fonction de la fréquence du son transmis. Le signal auditif doit donc être décomposé par des filtres pour être réparti sur les différentes électrodes : c'est la dynamique électrique de l'implant.

La dynamique acoustique (environ 120dB SPL) doit être compressée dans la dynamique électrique : il y a donc une perte d'information auditive.

3.3 Facteurs de performance

L'efficacité de l'implantation cochléaire notamment pour la compréhension de la parole et en termes de qualité de vie a fait l'objet de nombreuses études pour identifier les facteurs expliquant les variations de résultats entre les patients [19,20].

3.3.1 Facteurs liés aux patients

Les facteurs liés à la privation d'information auditive sont les plus importants. Sont de mauvais pronostics :

- la durée de surdité sévère à profonde
- l'âge au moment de l'implantation (plus de 70 ans)
- l'âge lors de l'installation de la surdité
- l'étiologie (résultats moins bons pour les neuropathies)

Le maintien d'une audition résiduelle est un facteur de bon pronostic. Elle permettra une stimulation bimodale acoustico-électrique qui nécessitera une chirurgie d'implantation atraumatique pour ne pas léser les structures fonctionnelles restantes.

Les capacités cognitives liées au niveau d'éducation déterminent les capacités de plasticité cérébrale du patient qui lui permettront de s'adapter à ce nouveau moyen de transmission du message auditif.

3.3.2 Facteurs chirurgicaux

Lors de la chirurgie d'implantation, la caisse du tympan est abordée par tympanotomie postérieure afin d'introduire le porte-électrodes dans la rampe tympanique de la cochlée par la fenêtre ronde. Cette étape délicate peut occasionner des traumatismes cochléaires notamment en cas de mauvais enroulement des électrodes ou de translocation du porte-électrodes de la rampe tympanique vers la rampe vestibulaire.

Préserver les structures cochléaires résiduelles permet l'utilisation d'un système de stimulation auditif bimodal électro-acoustique. [21]

3.3.3 Facteurs liés aux réglages

Le réglage des seuils T (seuil minimal de détection du son) et C (seuil maximal n'entraînant pas d'inconfort) est essentiel pour l'utilisation optimale de la dynamique électrique pour préserver l'appréciation de l'intensité du son par le patient.

Le nombre d'électrodes implantées, leur type (modèle de l'implant), la distance avec les fibres nerveuses vont entraîner une discordance entre la tonotopie cochléaire et la bande fréquentielle attribuée lors du réglage. Cela va avoir comme conséquence un allongement de la durée d'adaptation à l'implant.

4 Entraînement auditivo-cognitif

La différence entre le spectre acoustique et le spectre de signaux électriques délivré par l'implant nécessite la réalisation d'un entraînement auditif intensif : il faut réapprendre au cerveau à bien entendre et bien comprendre. Pour cela le patient doit exploiter au mieux les informations transmises par l'implant.

L'implantation cochléaire nécessite donc une rééducation orthophonique intensive (3 séances par semaine la première année) associée à un travail cognitif quotidien [22].

Le travail doit se faire sur deux versants :

- Le mode perceptif : intégration du signal auditif par l'amélioration des capacités de traitement du son (discrimination de la fréquence, de l'intensité et du timbre).
- Le mode conceptuel : compréhension des mots par la sollicitation de l'attention et de la mémoire.

La plasticité cérébrale permet de pouvoir réorganiser les voies de traitement du signal auditif à tout moment de la vie [23].

4.1 Modalités de l'entraînement auditivo-cognitif

Les modalités de l'entraînement auditivo-cognitif sont très discutées en terme de fréquence et de durée : allant de 2 à 3 séances par semaine pour Humes et al [24] à 5 séances pour Tye-Murray et al [25]. Le point essentiel admis par tous est l'assiduité [26].

La rééducation orthophonique en cabinet constitue la base de l'entraînement auditif des patients implantés. Cependant le temps accordé aux patients par les professionnels est de plus en plus réduit du fait de la pénurie de professionnels et également par le contexte sanitaire. La possibilité de réaliser un entraînement à domicile sur support informatique apparaît donc comme une alternative très prometteuse.

Humes et al ont montré l'efficacité d'une rééducation à domicile sur support informatique chez des patients appareillés par rapport à un groupe contrôle seulement en attestant l'observance par des contrôles réguliers [27].

Fu et al ont montré chez 10 patients implantés qu'il était possible d'utiliser un support informatique à domicile comme alternative ou complément à la rééducation orthophonique [28].

4.2 Contenu de l'entraînement auditivo-cognitif

Il existe de nombreuses publications sur le contenu de l'entraînement. Les travaux de Sweetow [29] et Watson [30] permettent d'en établir les critères essentiels :

- Accès simple et pratique.
- Interactivité : posture active du patient.
- Travail du mode perceptif par des activités d'analyse des sons (fréquence, intensité).
- Travail sur la discrimination de phonèmes.
- Travail du mode conceptuel par des activités de synthèse cognitive comme la mémoire.
- Complexité croissante dans une tranche de difficulté adaptée : pas trop difficile pour éviter la frustration et la fatigue mais suffisamment compliqué pour maintenir l'intérêt et l'attention et stimuler la mémorisation.
- Fournir une correction et un suivi des performances pour stimuler l'apprentissage et aider à l'assiduité.
- Large variété de stimuli et locuteurs multiples.

5 Gène en milieu bruyant

5.1 Audiométrie en milieu bruyant

L'audition en milieu bruyant est une problématique d'actualité. En effet la mesure de l'audition dans le silence est très standardisée et facile d'accès mais elle ne permet pas de répondre à toutes les situations de gêne auditive. Certains handicaps auditifs ne surviennent que dans les situations bruyantes, notamment les surdités débutantes, les troubles centraux de l'audition ou l'audition monaurale [31].

La stéréophonie (audition binaurale) améliore l'intelligibilité de la parole dans le bruit. En effet les indices spatiaux des bruits perçus simultanément permettent au système auditif central d'y appliquer des traitements différents et de discriminer les sources sonores.

L'évaluation de l'indication et de l'efficacité des prothèses auditives passe également par l'évaluation des performances des patients dans le bruit. Celle-ci se fait en champ libre. Il est conseillé d'utiliser au moins 5 haut-parleurs.

Il conviendra donc de réaliser des tests audiométriques dans le bruit dans ces situations [32]. Les tests à base de phrases sont à privilégier pour mesurer la compréhension de la parole dans un environnement sonore. Le bruit masquant peut être un bruit stationnaire qui permettra un masquage uniforme et constant (à privilégier lorsque l'on souhaite des conditions de bruit reproductibles d'un test à l'autre). On peut également utiliser des bruits multi-locuteurs proches des bruits rencontrés dans la vie réelle qui permettent des évaluations en situation écologique.

On mesure l'intelligibilité de la parole dans le bruit en fonction du Ratio signal sur bruit (RSB), en décibel correspondant à la différence entre le niveau de la parole (signal) et du bruit. Celui-ci est positif quand le signal est plus fort que le bruit de fond. Cela permet de calculer le seuil d'intelligibilité dans le bruit (SIB50), c'est-à-dire le RSB autorisant 50% de reconnaissance du matériel verbal (Figure 6). Une variation de +3dB du SIB50 par rapport à la norme correspond à une gêne en milieu bruyant et indique un appareillage auditif.

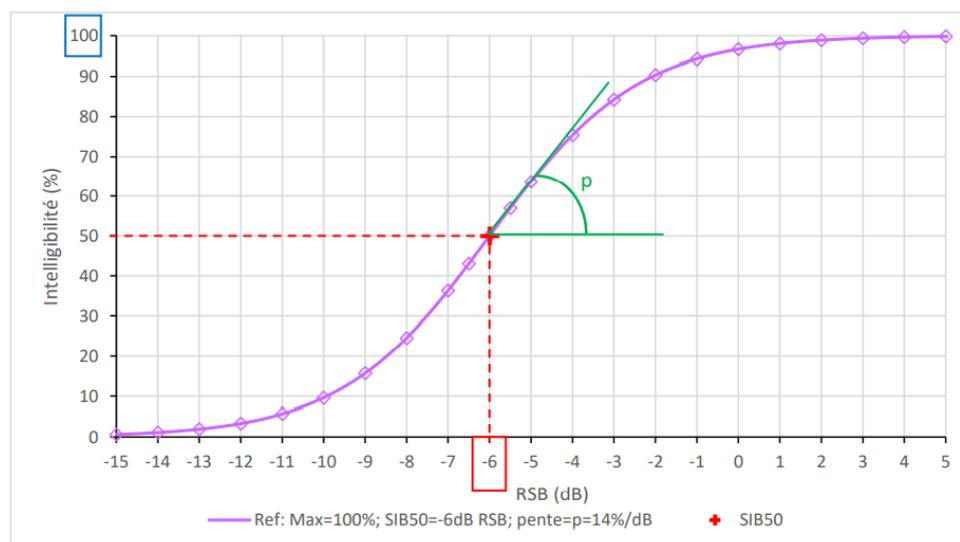


Figure 6 : Exemple de fonction d'intelligibilité avec un maximum d'intelligibilité de 100% et un SIB50 = -6dB de RSB [32]

Certains tests sont actuellement utilisés en pratique courante :

- Fra-matrix [33] : test de 15-20min avec bruit spectralement équilibré qui adapte la difficulté selon les résultats à différents niveaux de RSB pour comparer le SIB50 calculé avec celui de patients normo-entendant.
- Vocale Rapide dans le Bruit [34] : test de 5 minutes avec des bruits multi-locuteurs sur 5 hauts parleurs permettant le calcul de la perte de RSB par rapport au SIB50 de sujets normo-entendant calibré à 0.

La revue de la littérature par Wolters et al [35] a permis de caractériser plusieurs scénarios sonores de la vie courante (common sounds scenarios) en reprenant tous les travaux d'écologie sonore et d'acoustique environnementale. 7 tâches d'écoutes divisées en 14 environnements ont été décrites et proposées pour plusieurs applications dont notamment la création de tests auditifs réalistes pour l'évaluation des bénéfices apportés par les aides auditives.

5.2 Implant cochléaire et milieu bruyant

En ce qui concerne l'implant cochléaire, l'intelligibilité dans le bruit est une problématique majeure. Van Zon et al ont montré les bénéfices de l'implantation bilatérale par rapport à l'implantation unilatérale pour la localisation du son et la compréhension de la parole dans le bruit [36].

Rosen a décrit 3 composantes temporelles du langage : l'enveloppe, la périodicité et la structure fine [37]. L'équipe de D'Alessandro [38] a voulu montrer que les patients implantés se servaient de la structure fine du langage pour la discrimination dans le bruit comme chez le normo-entendant. Ils ont été parmi les premiers à utiliser des stimuli linguistiques pour cela.

L'utilisation de technologies pour améliorer le signal : directivité des micros, réducteurs de bruits, stratégies de réglage n'est pas suffisante pour compenser la gêne des patients [39]. De nombreux auteurs s'intéressent aux capacités de réorganisation neurologique pour essayer de répondre à cette problématique. Kappel et al décrivent la réorganisation du système auditif en réponse à une augmentation ou une diminution des stimuli [23]. De Villers et al détaillent les caractéristiques de la plasticité neuronale selon les différentes périodes de vie : chez le nourrisson celle-ci se fait spontanément en réponse à des stimuli répétés, chez l'adulte il faudra un entraînement intensif pour stabiliser les apprentissages [40]. Ponton et al ont montré chez des patients présentant une surdité unilatérale, qu'il s'opérait une modification asymétrique de l'activation du système auditif central se constituant en plusieurs années mais qui est réversible en cas de nouvelle stimulation [41].

Donc le patient implanté possède des compétences de discrimination en milieu bruyant et on pourrait attendre un bénéfice d'un entraînement cognitif pour les développer. Cependant le niveau de preuve des études sur le sujet reste faible car les protocoles de recherches manquent de rigueur et leur applicabilité chez les patients implantés reste limitée [42,43].

6 Objectif

L'introduction précédente a permis de mettre en évidence les carences de la littérature sur l'évaluation de l'entraînement auditivo-cognitif chez le patient implanté cochléaire en milieu bruyant.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer si un entraînement auditif personnalisé à domicile sur support informatique pour une tâche de compréhension de la parole dans le bruit améliore les performances auditives dans le bruit des patients implantés.

L'objectif secondaire est de comparer les capacités auditives dans le bruit des différentes populations de patients implantés : ceux bénéficiant d'une audition binaurale par rapport à ceux ne possédant qu'une audition monaurale.

Matériel et méthodes

1 Etude

Il s'agissait d'une étude prospective chez 63 patients implantés cochléaires répartis en deux groupes : un groupe bénéficiant d'un entraînement auditif en milieu bruyant à domicile pendant 2 mois (G1) et un groupe contrôle n'en bénéficiant pas (G0).

On a testé les performances auditives en milieu bruyant avant (T1) et après l'entraînement auditif de 2 mois (T2) dans le groupe entraînement ou à deux mois d'intervalle sans intervention dans le groupe contrôle.

Le critère principal d'intérêt est la comparaison des progressions des performances en milieu bruyant entre les deux groupes.

Le critère secondaire d'intérêt est la comparaison des performances au T1 entre les patients mono-implantés, bi-implantés et mono-implantés bénéficiant d'une prothèse auditive controlatérale.

2 Population

Les patients ont été recrutés parmi les patients suivis dans le service d'Otologie du CHU de Lille. Il s'agissait de patients adultes ayant bénéficié d'au moins une implantation cochléaire depuis plus d'un an et dont les performances auditives de compréhension dans le silence étaient bonnes (>50% d'intelligibilité en champ libre à 45dB HL). Une fiche expliquant le protocole leur était adressée avant la première consultation d'inclusion.

Les patients ont été répartis par tirage au sort entre les deux groupes (2/3 dans le G1 et 1/3 dans le G0).

3 Recueil de données

3.1 Données biographiques et audiométriques

Pour tous les patients on recueillait les données biographiques standards (âge, sexe) ainsi que les données en rapport avec l'implantation (durée d'implantation, marque de l'implant, mono/bi-implanté, nombre de séances d'orthophonie par semaine) et les scores auditifs (score tonal moyen, score d'intelligibilité binaural à 45dB HL, VRB).

3.2 Données audiométriques de compréhension de la parole en milieu bruyant

Les performances des patients étaient testées en cabine de stéréo-audiométrie pour établir un Profil Auditif Personnalisé par patient avec le logiciel développé par les laboratoires d'audioprothèse Renard.

On commençait par interroger les patients sur leurs expositions et leurs difficultés dans 7 environnements sonores de la vie quotidienne (Domicile, Groupe, Gare/Métro, Rue/Voiture, Musique, Restaurant, Télévision). On leur demandait de choisir les 3 environnements dans lesquels ils souhaitaient le plus progresser parmi les 7.

Ensuite on testait leurs performances de compréhension de la parole dans les 7 environnements sonores : l'objectif était de retrouver les 3 propositions d'une phrase avec indices (3 possibilités par proposition). Le test commençait avec une phrase à +20dB par rapport au bruit de fond et le niveau de difficulté augmentait si le patient trouvait la bonne réponse (6 paliers de 4dB). Le test s'arrêtait en cas d'erreur et passait à l'environnement sonore suivant.

Ils obtenaient par environnement une note sur 10 correspondant à la difficulté de RSB atteinte : 1,6 points /10 correspondant à une variation de 4dB de RSB. (Annexe 1 : Cotation PAP).

Le même test était réalisé 2 mois plus tard après entraînement auditif pour le G1 et sans intervention pour le G0.

On a calculé la moyenne des notes de chaque groupe à T1 et à T2 :

- pour chaque environnement sonore :
 - o E1 : Domicile
 - o E2 : Groupe
 - o E3 : Gare/Métro
 - o E4 : Rue/Voiture
 - o E5 : Musique
 - o E6 : Restaurant
 - o E7 : Télévision
- pour tous les 7 environnements sonores
- pour les 3 environnements sonores préférés

Puis on a calculé la différence des moyennes entre T2 et T1 dans les mêmes conditions.

4 Intervention : entraînement auditif de compréhension de la parole dans le bruit

Le groupe entraînement (G1) a bénéficié d'un entraînement auditif de compréhension de la parole dans le bruit, à domicile, sur support numérique au rythme de 3 séances de 15 à 20 minutes par semaine pendant 2 mois (24 séances au total).

Le logiciel respectait les 5 critères de Watson pour l'entraînement auditif [30]:

- Utilisation d'un feed-back correctif pour chaque réponse.
- Utilisation d'une large variété de stimuli émis par des interlocuteurs multiples.
- Inclusion conjointe d'activités synthétiques et analytiques.
- Un suivi de la performance pour que les patients continuent à suivre leur programme.
- Options d'entraînement de phonèmes spécifiques pour répondre aux difficultés d'un individu.

Chaque séance était composée de 7 exercices successifs de tâches dans le silence et dans le bruit (Annexe 2 : Exercices de chaque séance d'entraînement). Les patients travaillaient dans les 3 bruits de fonds préférés choisis lors du PAP.

La difficulté des exercices de compréhension de la parole dans le bruit était calculée selon les résultats du PAP initial pour la 1^{ère} séance (note PAP+4dB) puis ajustée à chaque séance selon les résultats de la séance précédente pour travailler dans une zone entre 50 et 70% de la performance maximale.

A la fin du protocole les patients recevaient un questionnaire de satisfaction afin de valider le format de rééducation.

Le groupe contrôle ne subissait pas d'intervention : consigne donnée de suivre sa vie quotidienne sans attention particulière à la compréhension en milieu bruyant. Il était proposé aux patients du groupe contrôle d'effectuer l'entraînement auditif après la première période de 2 mois sans intervention.

5 Analyse statistique

5.1 Analyses univariées

Les variables qualitatives sont exprimées en effectif et pourcentage.

Les variables quantitatives sont exprimées en moyenne et écart type (SD, *standard deviation*) si la distribution est normale, et médiane, premier et troisième quartile (Q1, Q3) dans le cas contraire. La distribution normale est prouvée par un histogramme révélant une distribution d'allure symétrique, une droite de Henry compatible et un Shapiro-Wilk test ($p > 0,10$).

5.2 Analyses bivariées

L'indépendance entre deux variables qualitatives est testée à l'aide d'un test du χ^2 .

L'indépendance entre une variable qualitative et une variable quantitative est testée à l'aide d'un test de Student ou d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney selon si les variables suivent une loi normale ou non.

La distribution normale est prouvée pour chaque variable dans chaque groupe par un histogramme révélant une distribution d'allure symétrique, une droite de Henry compatible, un Shapiro-Wilk test ($p > 0,10$) et une analyse de l'égalité des variances avec un test de Levene ($p > 0,05$).

5.3 Significativité

Les tests statistiques sont bilatéraux. Les p valeurs sont considérées comme significatives au seuil de 5%. Les intervalles de confiance sont calculés à 95%.

6 Cadre réglementaire

Financement et mise à disposition du logiciel par les laboratoires Renard. L'auteur déclare ne pas présenter de conflit d'intérêt vis-à-vis du laboratoire.

Informations données à tous les patients avant la première consultation T1 avec une fiche explicative (Annexe 3 : Fiche de recrutement). Puis fiche expliquant le protocole et les différents exercices de l'entraînement remise aux patients du G1 à T1 et à ceux du G0 à T2 (Annexe 4 : Fiche explicative remise au G1 à T1 et au G0 à T2)

Formulaires de consentements recueillis en double exemplaire pour tous les patients signés par l'investigateur principal et le patient à la date T1 (Annexe 5 : Consentement).

Résultats

1 Patients inclus

Les patients ont été inclus et testés pour le test initial T1 entre Mars et Mai 2021. Les tests T2 ont été effectués pour chaque patient 2 mois après entre Juin et Aout 2021.

62 patients ont pu passer le test T1 et 52 le T2. Les patients perdus de vue n'ont pas réalisé l'entraînement en totalité dans le groupe entraînement G1 (n=5), ou ne se sont pas présentés au T2 pour le groupe contrôle G0 (n=5).

On a donc inclus 52 patients pour le critère d'intérêt principal (comparaison de la progression entre les 2 groupes) et 62 pour le critère d'intérêt secondaire (comparaison des performances à T1 des 3 sous populations : bi-implantés, mono-implanté, mono-implanté + prothèse). (Figure 7)

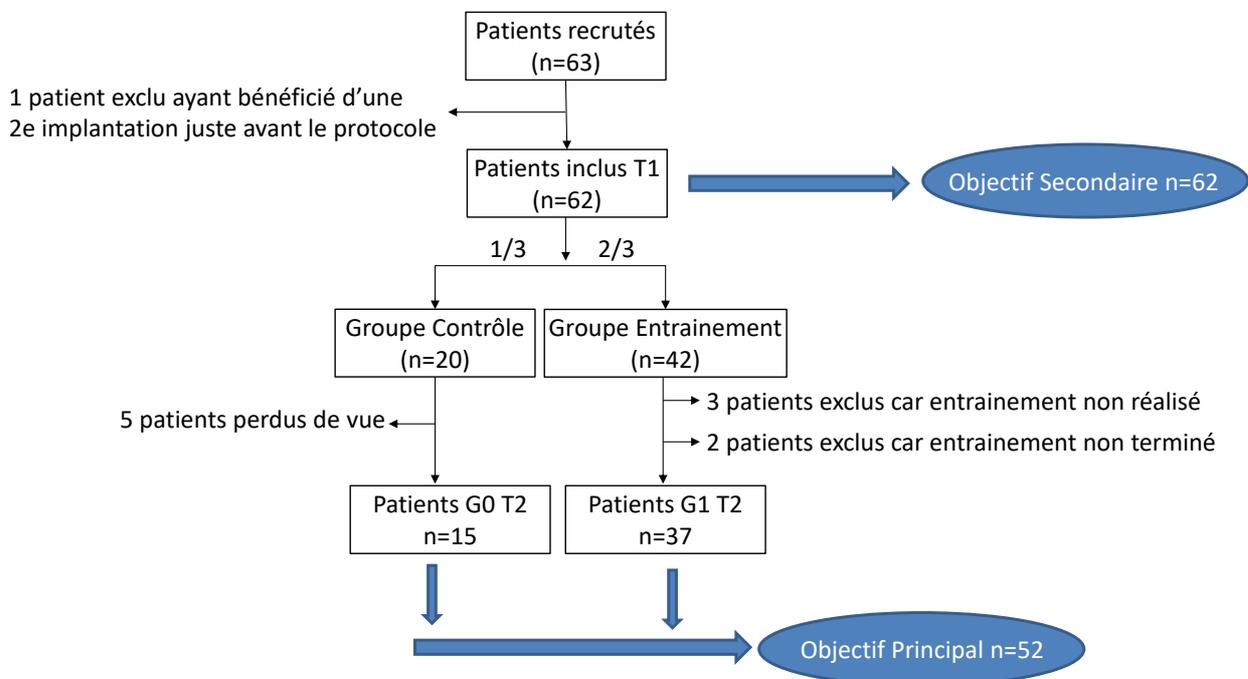


Figure 7 : Flowchart

2 Données descriptives à l'inclusion

(Tableau 1 et Tableau 2)

L'âge médian des 62 sujets inclus était de 60 ans (Q3-Q1 : [46,8 ; 67,8]). L'échantillon comportait 39 femmes (63%).

Les patients étaient implantés depuis une durée médiane de 4 ans (Q3-Q1 : [2 ; 6]). 32 (52%) étaient bi-implantés, 18 (29%) mono-implantés utilisant une prothèse auditive controlatérale et 12 (19%) mono-implantés sans utilisation de prothèse controlatérale. (Figure 8)

Le score audiométrique tonal de la meilleure oreille (STM meilleur) était en moyenne de 33dB HL (DS=7,1). Le score d'intelligibilité binaural en champ libre avec des listes dissyllabiques à 45dB HL (DISSBILAT) médian était de 80% (Q3-Q1 : [70 ; 97,5]). Le score en audiométrie vocale rapide dans le bruit (VRB) médian était d'une perte de 11dB de RSB (Q3-Q1 : [6,8 ; 14,5]).

Les patients réalisaient en moyenne 0,7 séances d'orthophonie par semaine même si la majorité des patients n'en réalisaient pas (n= 35, 56%).

Tableau 1 : Caractéristiques des patients inclus 1

Frequency Tables

Frequencies for SEXE

SEXE	Frequency	Percent
Hommes	23	37.097
Femmes	39	62.903
Missing	0	0.000
Total	62	100.000

Frequencies for IMPLANT

IMPLANT	Frequency	Percent
Mono-implanté	12	19.355
Implant+prothèse	18	29.032
Bi-implanté	32	51.613
Missing	0	0.000
Total	62	100.000

Frequencies for MARQUE

MARQUE	Frequency	Percent
Cochlear	17	27.419
Oticon	24	38.710
AB	8	12.903
Medel	13	20.968
Missing	0	0.000
Total	62	100.000

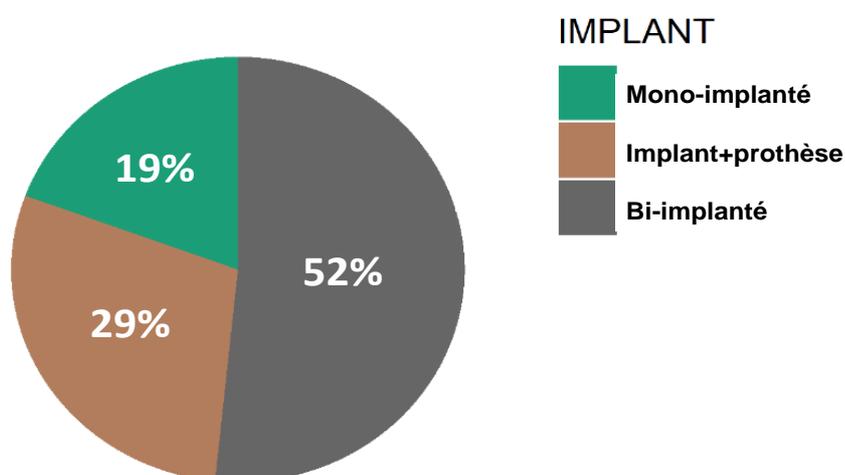


Figure 8 : Sous populations selon le type d'implantation

Tableau 2 : Caractéristiques des patients inclus 2

Descriptive Statistics

	AGE	DUREE_IMPLANTATION	DISSBILAT	STM_MEILLEUR	VRB	ORTHOHONIE
Valid	62	62	62	62	58	62
Missing	0	0	0	0	4	0
Mean	56.306	5.355	80.484	33.097	10.795	0.750
Median	59.500	4.000	80.000	34.000	11.200	0.000
Std. Deviation	15.925	5.396	17.123	7.158	4.835	0.987
Variance	253.593	29.118	293.205	51.236	23.382	0.973
Shapiro-Wilk	0.944	0.708	0.878	0.978	0.957	0.740
P-value of Shapiro-Wilk	0.007	< .001	< .001	0.343	0.040	< .001
Minimum	19.000	1.000	50.000	20.000	1.500	0.000
Maximum	82.000	27.000	100.000	50.000	19.000	3.000
25th percentile	46.750	2.000	70.000	28.000	6.750	0.000
50th percentile	59.500	4.000	80.000	34.000	11.200	0.000
75th percentile	67.750	6.000	97.500	38.000	14.500	1.750

3 Critère d'intérêt principal

L'objectif principal de l'étude était de comparer les progressions des performances en milieu bruyant entre les deux groupes entre le 1^{er} test (T1) et le 2^e test à 2 mois (T2) entre le groupe bénéficiant d'un entraînement auditif (G1) et le groupe sans intervention (G0).

3.1 Comparabilité des groupes

3.1.1 Description des populations

L'âge ainsi que les données en rapport avec l'implantation (durée d'implantation, marque de l'implant, mono/bi-implanté) et les scores auditifs (tonale, vocale, VRB) étaient comparables entre les deux groupes.

La proportion d'hommes était significativement plus élevée dans le G0 que dans le G1 (respectivement 60% et 29%).

Les sujets du groupe entraînement G1 réalisaient en moyenne plus de séances d'orthophonie par semaine que ceux du groupe contrôle (respectivement 0,8 et 0,1).

(Annexe 6 : Tableaux de comparabilité G1 et G0)

3.1.2 Comparabilité au Profil Auditif Personnalisé T1

Les moyennes des 7 notes des 7 environnements sonores étaient comparables entre les 2 groupes (3,8/10 pour le G0 et 3,2/10 pour le G1 $p=0,170$). Les moyennes de chaque groupe pour chaque environnement sonore étaient également comparables.

Les moyennes des 3 environnements préférés étaient significativement supérieures dans le G0 (3,7/10) que dans le G1 (2,8/10) ($p=0,044$). (Tableau 3)

Tableau 3 : comparaison des résultats du PAP à T1

Group Descriptives								
	Group	N	Mean	SD	SE			
DOMICILE_1	0	15	4.087	0.904	0.233			
	1	37	3.732	2.002	0.329			
GROUPE_1	0	15	2.867	1.633	0.422			
	1	37	2.214	1.641	0.270			
GARE_1	0	15	5.147	1.868	0.482			
	1	37	4.332	1.733	0.285			
VOITURE_1	0	15	3.367	1.494	0.386			
	1	37	2.884	1.966	0.323			
MUSIQUE_1	0	15	2.807	1.193	0.308			
	1	37	2.254	1.496	0.246			
RESTAURANT_1	0	15	4.093	1.088	0.281			
	1	37	3.049	1.784	0.293			
TELEVISION_1	0	15	4.467	3.119	0.805			
	1	37	3.754	2.319	0.381			
V7ENV_1	0	15	3.834	0.885	0.228			
	1	37	3.174	1.427	0.235			
V3PREF_1	0	15	3.672	0.996	0.257			
	1	37	2.821	1.530	0.252			

Independent Samples T-Test			
	W	df	p
DOMICILE_1	306.500		0.564
GROUPE_1	343.000		0.189
GARE_1	351.500		0.137
VOITURE_1	335.500		0.245
MUSIQUE_1	342.500		0.192
RESTAURANT_1	370.000		0.063
TELEVISION_1	314.000		0.466
V7ENV_1	346.000		0.170
V3PREF_1	377.500		0.044

Note. Mann-Whitney U test.

3.2 Résultats au Profil Auditif Personnalisé T2

La moyenne des 7 notes des 7 environnements sonores du groupe G1 était statistiquement supérieure à celle du G0 (5,1/10 pour le G1 et 4,0/10 pour le G0 $p=0,014$). La moyenne des 3 notes des 3 environnements préférés également (4,9/10 pour le G1 et 3,7/10 pour le G0 $p=0,015$). (Tableau 4)

Tableau 4 : comparaison des résultats du PAP à T2

Group Descriptives						Independent Samples T-Test			
	Group	N	Mean	SD	SE		W	df	p
DOMICILE_2	0	15	3.740	1.902	0.491				
	1	37	5.881	1.880	0.309				
GROUPE_2	0	15	2.620	1.629	0.421				
	1	37	3.795	1.758	0.289				
GARE_2	0	15	4.853	1.048	0.271				
	1	37	5.743	1.923	0.316				
VOITURE_2	0	15	4.247	1.361	0.351				
	1	37	5.084	2.281	0.375				
MUSIQUE_2	0	15	2.673	1.245	0.321				
	1	37	3.995	1.846	0.303				
RESTAURANT_2	0	15	4.127	1.429	0.369				
	1	37	5.019	2.021	0.332				
TELEVISION_2	0	15	5.447	2.960	0.764				
	1	37	6.054	2.444	0.402				
V7ENV_2	0	15	3.958	1.065	0.275				
	1	37	5.082	1.523	0.250				
V3PREF_2	0	15	3.733	1.317	0.340				
	1	37	4.857	1.433	0.236				

	W	df	p
DOMICILE_2	122.000		0.002
GROUPE_2	171.000		0.032
GARE_2	187.500		0.070
VOITURE_2	192.500		0.087
MUSIQUE_2	162.000		0.020
RESTAURANT_2	187.000		0.069
TELEVISION_2	250.500		0.592
V7ENV_2	155.000		0.014
V3PREF_2	156.500		0.015

Note. Mann-Whitney U test.

3.3 Progression des deux groupes

3.3.1 Comparaison intra-groupe

La moyenne des 7 notes des 7 environnements du G1 est passée entre T1 et T2 de 3,2 à 5,1/10 ($p<0,001$). Cela correspond à un gain de 4,8dB de RSB.

La moyenne des 3 notes des 3 environnements préférés du G1 est passée entre T1 et T2 de 2,8 à 4,9/10 ($p<0,001$). Cela correspond à un gain de 5,1dB de RSB.

Il y avait donc une progression significative du groupe entraînement en 2 mois.

(Erreur ! Source du renvoi introuvable.)

Tableau 5 : progression du G1

Group Descriptives						Independent Samples T-Test			
	Group	N	Mean	SD	SE		W	df	p
V7ENV	T1	37	3.174	1.427	0.235				
	T2	37	5.082	1.523	0.250				
V3PREF	T1	37	2.821	1.530	0.252				
	T2	37	4.857	1.433	0.236				

	W	df	p
V7ENV	260.500		< .001
V3PREF	231.500		< .001

Note. Mann-Whitney U test.

La moyenne des 7 notes des 7 environnements du G0 est passée entre T1 et T2 de 3,8 à 4,0/10 ($p=0,756$). Cela correspond à un gain de 0,3dB de RSB.

La moyenne des 3 notes des 3 environnements préférés du G0 est passée entre T1 et T2 de 3,67 à 3,73/10 ($p=0,967$). Cela correspond à un gain de 0,2dB de RSB.

Il n'y avait donc pas de progression du groupe contrôle en 2 mois. (Tableau 6)

Tableau 6 : progression du G0

Group Descriptives						Independent Samples T-Test		
	Group	N	Mean	SD	SE	W	df	p
V7ENV	T1	15	3.834	0.885	0.228	V7ENV	104.500	0.756
	T2	15	3.958	1.065	0.275	V3PREF	111.000	0.967
V3PREF	T1	15	3.672	0.996	0.257	<i>Note. Mann-Whitney U test.</i>		
	T2	15	3.733	1.317	0.340			

3.3.2 Comparaison inter-groupe

Sur les 7 environnements sonores, le groupe entraînement G1 a en moyenne plus progressé que le groupe contrôle G0 (respectivement de 1,9/10 pour 0,1/10 $p<0,001$).

Sur les 3 environnements sonores préférés, le groupe entraînement G1 a en moyenne plus progressé que le groupe contrôle G0 (respectivement de 2,0/10 pour 0,1/10 $p<0,001$).

(Tableau 7 et Figure 9)

Tableau 7 : comparaison de la progression des deux groupes

Group Descriptives						Independent Samples T-Test		
	Group	N	Mean	SD	SE	W	df	p
V7ENV_PROGRES	0	15	0.125	0.711	0.184	V7ENV_PROGRES	11.500	< .001
	1	37	1.906	0.708	0.116	V3PREF_PROGRES	48.000	< .001
V3PREF_PROGRES	0	15	0.060	1.132	0.292	<i>Note. Mann-Whitney U test.</i>		
	1	37	2.037	1.046	0.172			

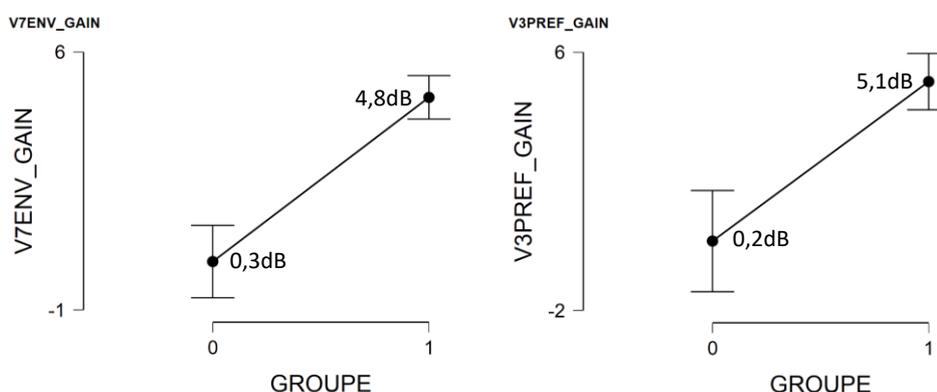


Figure 9 : Gain de RSB en dB entre T1 et T2 de chaque groupe pour les 7 environnements sonores à gauche et pour les trois environnements préférés à droite

4 Critère d'intérêt secondaire

L'objectif secondaire de l'étude était de comparer les performances au T0 entre les 3 sous populations de patients : mono-implantés sans prothèse controlatérale, bi-implantés et mono-implanté bénéficiant d'une prothèse auditive controlatérale.

4.1 Description des populations

Les données démographiques standard (âge et sexe) étaient comparables entre les 3 sous-populations.

La durée d'implantation était moins longue chez les patient mono-implantés avec prothèse (durée médiane à 2 ans contre 3,5 ans chez les mono-implantés seuls et 5 ans chez les bi-implantés).

Pour les scores auditifs : le score tonal de la meilleure oreille et le score en VRB étaient comparables entre les 3 sous populations. Le score d'intelligibilité en listes dissyllabiques à 45dB était moins bon chez les mono-implantés seuls (score médian à 65% contre 90% pour les deux autres sous-populations).

Le nombre de séances orthophonie par semaine variait entre les 3 sous populations car une majorité de patients n'en réalisaient pas (notamment chez les bi-implantés).

(Annexe 7 : Comparabilité des 3 sous populations)

4.2 Résultats au Profil Auditif Personnalisé T1

Il n'y avait pas de différence entre les moyennes des 7 environnements sonores entre les 3 sous populations (2,94/10 pour les mono-implantés, 3,29/10 pour les mono-implantés + prothèse, 3,43/10 pour les bi-implantés). (Figure 10)

(Annexe 8 : Comparaison des moyennes des 7 environnements pour les 3 sous-populations)

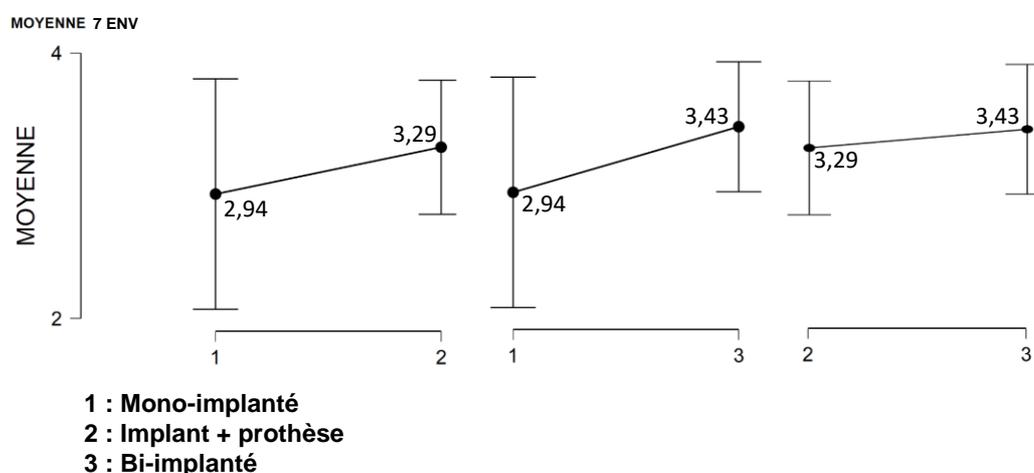


Figure 10 : Comparaison des moyennes aux 7 environnements pour les 3 sous-populations

5 Données épidémiologiques

5.1 Données du profilage

Les choix des environnements sonores préférés des patients ont été par ordre décroissant : conversations de groupe 97,4% ; télévision 51,3% ; ambiance restauration 46,2% ; ambiance musicale 38,5% ; bruits de circulation 35,9% ; bruits domestiques 28,2% ; bruits ferroviaires 2,5%.

5.2 Validité du protocole

35 patients (95%) ont répondu au questionnaire de fin de protocole.

88% ont réalisé le protocole sur ordinateur (mac ou pc), 12% sur tablette.

Les patients ont évalué en moyenne l'efficacité du programme à 8,3/10 et l'amélioration de la gêne dans les milieux sonores travaillés à 5,9/10.

Ils ont évalué la facilité d'utilisation du logiciel à 9,4/10 et la facilité à respecter le rythme du protocole (3 séances par semaine pendant 8 semaines) à 7,7/10. 91% des patients ayant répondu au questionnaire ont trouvé la durée des séances adaptée. 71% ont trouvé la durée du protocole adaptée et 25% l'ont trouvée trop courte.

Les différents exercices étaient jugés plaisants et intéressants par la majorité des patients (Figure 11).

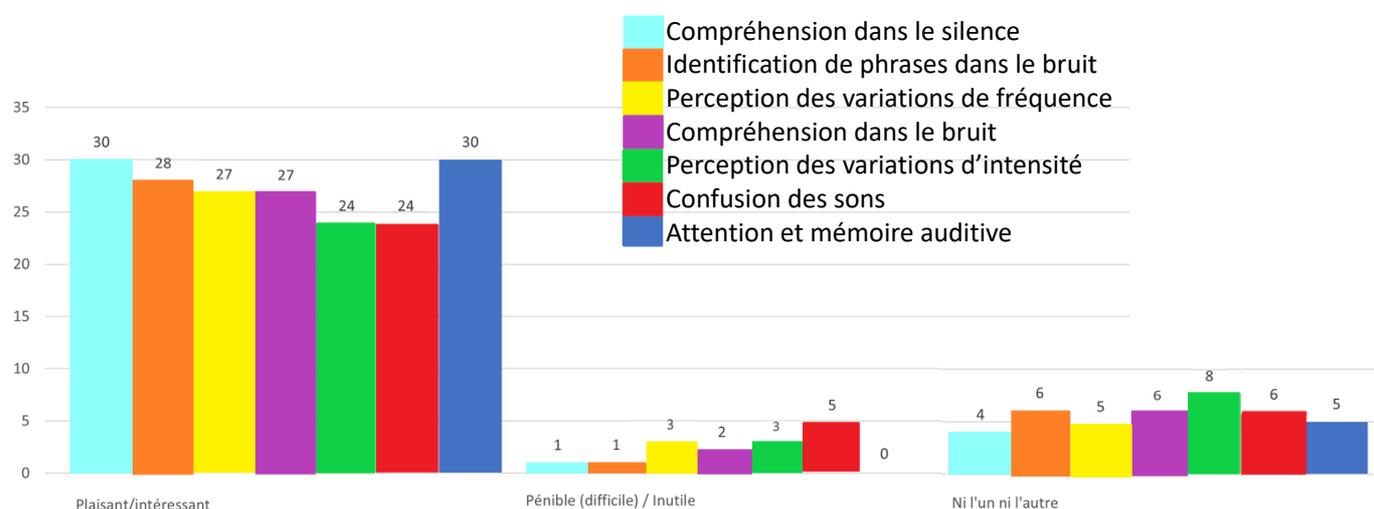


Figure 11 : Evaluation des 7 exercices

Discussion

1 Critère d'intérêt principal

L'objectif principal était de montrer que la réalisation d'un entraînement auditivo-cognitif pour la compréhension de la parole dans le bruit permettait d'améliorer les performances des patients.

On a fait réaliser à 37 patients 24 séances d'entraînement auditif avec un logiciel utilisable à domicile sur ordinateur ou tablette. Les performances des patients étaient testées avant et après l'entraînement. On retrouvait un gain significatif de 4,8dB de RSB par rapport au test initial.

On a réalisé les mêmes tests à 2 mois d'intervalle dans un groupe contrôle ne bénéficiant pas de l'entraînement. On ne retrouvait pas de progrès significatif dans ce groupe et une différence significative de progrès entre les deux groupes en faveur du groupe ayant bénéficié de l'entraînement.

On a donc montré un bénéfice à l'entraînement auditivo-cognitif en milieu bruyant à domicile chez les patients implantés cochléaires.

1.1 Différence 7 environnements / 3 environnements

Il avait été décidé de ne faire réaliser l'entraînement que dans 3 environnements sonores choisis par le patient pour limiter la durée des séances et pour cibler les besoins spécifiques de chaque patient.

On retrouve un gain significatif de performance dans les 3 environnements choisis de chaque patient mais également dans les performances des 7 environnements. Ce résultat est probablement dû à l'amélioration de la capacité des patients à discriminer la parole du bruit de fond.

Le résultat obtenu dans les 3 environnements sonores préférés est à nuancer car le groupe contrôle était en moyenne meilleur au premier test pour les 3 environnements préférés. Il a donc été plus facile de progresser pour le groupe entraînement car ils partaient d'un niveau de performances plus bas.

1.2 Limite : comparabilité des groupes

Le nombre de patients recrutés est un des principaux facteurs limitant de l'étude notamment pour la comparabilité des deux groupes.

En effet le G0 contient des patients implantés depuis plus longtemps ne réalisant pas de séance d'orthophonie à domicile. D'ailleurs leurs résultats dans les 7 environnements ont tendance à être meilleurs et cette différence est significative pour leurs trois environnements préférés. Ils ont probablement plus l'habitude d'être exposés à ces bruits du fait d'un port des implants plus long.

Il y a également plus de perdus de vue dans le G0 ce qui diminue aussi la comparabilité des deux groupes.

Il y a également plus d'hommes dans le G0 bien que ce facteur n'influence pas les performances auditives.

1.3 Impact de l'orthophonie

L'intérêt du protocole était de fournir une rééducation orthophonique personnalisée dans le bruit à des patients ne réalisant plus d'orthophonie en cabinet pour diverses raisons (rééducation dans le silence terminée, pénurie d'orthophonistes, crise sanitaire).

56% des patients inclus ne réalisaient pas de rééducation orthophonique, et ce chiffre augmente à 63% dans la population des 2 groupes comparés G1 et G0. Mais la proportion de patients ne réalisant pas de rééducation orthophonique est mal répartie entre G1 et G0 (respectivement 51% et 93%). Cela est probablement en rapport avec une durée d'implantation plus longue dans le G0 donc avec des patients ayant terminé la rééducation dans le silence.

On pourrait donc se demander si cette différence entre les deux groupes a pu jouer un rôle dans les différences de progression entre T1 et T2.

En moyenne les patients du G1 effectuaient 0,8 séances par semaine soit 48 minutes et il ne s'agissait pas de rééducation dans le bruit. La part de bénéfice semble limitée par rapport à l'utilisation du logiciel 3 fois par semaine pour une heure d'entraînement personnalisé centré sur le travail dans le bruit.

2 Critère d'intérêt secondaire

L'objectif secondaire était de comparer les performances de compréhension de la parole dans le bruit entre les patients mono-implantés sans prothèse controlatérale, ceux bi-implantés et ceux mono-implantés bénéficiant d'une prothèse auditive controlatérale.

62 patients ont été testés avec notre logiciel de simulation de bruits de la vie quotidienne. On ne retrouvait pas de différence significative de résultat entre les 3 sous populations de patients implantés.

Les résultats montrent une tendance à une meilleure performance chez les patients bi-implantés et ceux mono-implantés avec prothèse controlatérale que ceux chez les mono-implantés sans prothèse controlatérale sans qu'aucune différence significative n'ait pu être démontrée.

Les données de la littérature montrent que les patients ayant accès à une stéréophonie sont plus performants dans le bruit [36]. Culling et al ont réalisé plusieurs modèles de configurations spatiales pour comparer les compétences de patients bi-implantés par rapport aux mono-implantés et ont montré un large bénéfice de l'implantation bilatérale pour l'intelligibilité dans le bruit [39].

Il se peut que le manque de puissance n'ait pas permis de dégager de résultat significatif. En effet les effectifs de chaque population étaient réduits notamment chez les mono-implantés seuls (n=12) dont l'intervalle de confiance est très large.

On remarque aussi que les patients bi-implantés ont une durée d'implantation moyenne plus longue que les autres. En effet la plupart des implantations se faisant

de façon séquentielle, il est logique que ces patients aient bénéficié de leur premier implant depuis plus longtemps.

On observe une tendance à une meilleure performance chez les patients gardant une prothèse controlatérale que les patients mono-implantés probablement car ceux qui utilisent une prothèse controlatérale gardent une audition résiduelle meilleure sur l'oreille non implantée ce qui leur permet de conserver une part de stéréophonie. Dorman et al ont en effet montré chez 15 patients implantés qu'une simulation acoustique combinée à une simulation électrique augmentait les performances des patients dans le bruit par rapport à une simulation électrique seule [44]. Il est d'ailleurs indiqué de bilatéraliser l'implantation chez les patients mono-implantés seulement en cas d'inefficacité de la prothèse controlatérale sur la discrimination dans le bruit ou sur la localisation des sons [14].

On remarque donc des différences entre les 3 sous populations en rapport avec leur type d'implantation : les patients mono-implantés étaient désavantagés par rapport aux autres sous populations : les implantés + prothèse étaient des patients implantés depuis peu de temps dont l'audition résiduelle leur permettait de compenser ; les bi-implantés étaient des patients implantés depuis plus longtemps bénéficiant d'une stéréophonie. Ceci peut aussi expliquer le score moins bon des mono-implantés en audiométrie vocale.

3 Validité de la méthode

3.1 Validité du test audiométrique dans le bruit du PAP

En comparant le test aux recommandations de la Société Française d'ORL en ce qui concerne les tests auditifs dans le bruit [32], on peut discuter de la qualité du test.

L'utilisation de 3 hauts parleurs permettait l'évaluation du bénéfice binaural, car ils permettent de restituer les différences inter-aurales physiologiques d'intensité et de temps. L'utilisation de bruits multi locuteurs et de stimuli multiples proches des bruits rencontrés dans la vie réelle en reprenant les scénarii sonores de Wolters et al [35] permettait une utilisation très proche de la vie courante.

Il est recommandé de commencer un test auditif par des mesures blanches et de laisser une possibilité de retest au patient en cas d'erreur : le niveau de difficulté initial à +20dB de RSB permettait une adaptation du patient au test avant de monter en difficulté. Le patient avait la possibilité de réécouter une fois la phrase à comprendre en cas d'hésitation ce qui permettait un retest mais le test s'arrêtait ensuite en cas de mauvaise réponse.

3.2 Validité de l'entraînement auditivo-cognitif

Le logiciel d'entraînement validait les critères décrits par Sweetow [29] et Watson [30] en terme de contenu et de forme.

En ce qui concerne la forme, les patients ont été très satisfaits de l'entraînement : ils ont trouvé le logiciel facile d'accès. Un suivi des performances avait été mis en place pour favoriser l'assiduité et l'implication active des patients.

Un des objectifs était de valider la faisabilité d'un entraînement auditif personnalisé à domicile sur support informatique par des patients implantés à un rythme soutenu de 3 séances par semaine pendant 8 semaines. Ils ont trouvé que la durée de chaque séance était adaptée (15 à 20 minutes). Un quart a trouvé que la durée du protocole était trop courte. Il leur a été donné la possibilité de continuer les séances de rééducation après le 2^e test. 46% des patients (n=17) ont décidé de continuer l'entraînement après les 24 séances.

En ce qui concerne le fond, les différents exercices permettaient un travail d'analyse des sons, de discrimination des phonèmes et de synthèse cognitive. L'évolution de la difficulté permettait de maintenir l'intérêt et l'attention et de stimuler la mémorisation. Les patients ont trouvé le programme efficace et la totalité des exercices utiles.

4 Perspectives

La compréhension de la parole en milieu bruyant est un enjeu majeur chez les patients implantés cochléaires.

Notre étude a montré qu'un entraînement auditivo-cognitif personnalisé centré spécifiquement sur cet objectif permettait une amélioration des performances des patients et une diminution de leur gêne dans la vie quotidienne.

Nous avons également montré que la réalisation d'un entraînement auditif sur support informatique de façon régulière pendant 2 mois était possible chez les patients implantés.

4.1 Application à une population générale de patients implantés

Il faudrait donc pouvoir proposer ce type d'entraînement à une plus vaste population de patients implantés. Cependant l'application à une population générale de patients implantés peut être discutée.

4.1.1 Recrutement

On observe un biais de recrutement car tous les patients étaient volontaires. La moyenne d'âge des patients (60ans) est expliquée également par le recrutement : les patients inclus étaient pour la moitié des retraités bénéficiant de temps pour réaliser les séances d'entraînement.

Toutefois les autres patients actifs professionnellement ont réussi à réaliser les séances d'entraînement dont la durée avait été limitée à 15-20 minutes dans ce but. Il y a d'ailleurs autant de sujets actifs chez les perdus de vue du groupe entraînement que de sujets retraités. On peut donc penser que le protocole est réalisable chez les patients actifs comme chez les retraités.

4.1.2 Assiduité

L'inclusion dans un protocole d'étude a pu favoriser l'assiduité aux séances car les patients étaient contactés à la moitié de protocole en cas de retard dans celui-ci. On remarque en effet que seulement 2 patientes (4,8%) n'ont pas pu finir le protocole alors qu'elles l'avaient commencé. Et que la proportion de patients perdus de vue est deux fois supérieure dans le groupe sans intervention (25%) que dans le groupe entraînement (12%).

4.1.3 Surdité pré-linguale versus post-linguale

Les patients étaient en grande majorité atteints d'une surdité évolutive post-linguale. En effet seulement 3 patients avaient été implantés avant l'âge de 6 ans (5% des patients inclus). Ceci s'explique par le fait que les patients mineurs avaient été exclus de l'étude.

Il faudrait tester l'applicabilité du logiciel chez des patients atteints d'une surdité pré-linguale et implantés dans l'enfance. Toutefois le niveau de vocabulaire du logiciel n'est pas adapté à des enfants. On pourrait s'inspirer du travail de Jutras et al [45] qui ont créé un modèle d'entrainement auditivo-cognitif dans le bruit pour des enfants de 8 à 12 ans en utilisant 4 environnements sonores adaptés (bruits de groupe,  cole, quartier, extérieur) et en faisant évoluer le niveau de difficulté des exercices avec l'amélioration des performances des enfants.

4.2 Multidisciplinarité

Il faudrait imaginer un encadrement de l'entrainement par un orthophoniste, l'audioprothésiste réglant les implants et le médecin suivant le patient. En effet les résultats des différents exercices peuvent être utilisés par les différents intervenants :

Les exercices de discrimination d'intensité et de fréquence pourraient être utilisés par les audioprothésistes pour affiner les réglages.

Les exercices de confusions phonétiques pourraient être travaillés avec un orthophoniste en ciblant les difficultés spécifiques du patient dépistées par le logiciel. On pourrait donc imaginer une utilisation du logiciel en complément d'une rééducation orthophonique avec un professionnel effectuant des bilans réguliers.

4.3 Evolution des résultats dans le temps

Par ailleurs la durée de l'étude étant limitée à 2 mois, les bénéfices et la faisabilité de cet entrainement à long terme ne peuvent être démontrés. On pourrait cependant facilement continuer à évaluer la progression des patients continuant l'entrainement (46%).

Conclusion

L'implantation cochléaire a pour but de rétablir l'audition de patients sourds bilatéraux. Cependant l'audition dans le bruit chez ces patients reste un véritable défi. La réorganisation neuronale des centres auditifs est une piste solide pour envisager un moyen de faire progresser ces patients par le biais d'un entraînement auditivo-cognitif intensif.

Cette étude prospective auprès d'une cohorte de patients implantés a pu montrer la faisabilité et le bénéfice d'un entraînement auditivo-cognitif en milieu bruyant à domicile. Tout le protocole avait été réalisé pour personnaliser au maximum la rééducation et la rendre la plus pédagogique possible afin d'obtenir des résultats concrets sur la gêne quotidienne des patients.

Des travaux ultérieurs restent à réaliser pour s'affranchir des limites d'une étude prospective à petite échelle notamment en ce qui concerne le recrutement et la durée.

Liste des tables

Tableau 1 : Caractéristiques des patients inclus 1	25
Tableau 2 : Caractéristiques des patients inclus 2	25
Tableau 3 : comparaison des résultats du PAP à T1.....	26
Tableau 4 : comparaison des résultats du PAP à T2.....	27
Tableau 5 : progression du G1	27
Tableau 6 : progression du G0	28
Tableau 7 : comparaison de la progression des deux groupes	28
Tableau 8 : Comparaison des données descriptives quantitatives entre le G1 et le GO avec un test de Student ou un test de Mann-Whitney.....	55
Tableau 9 : Comparaison des données descriptives qualitatives entre le G1 et le GO avec un test du chi2.....	55
Tableau 10 : Comparaison des données descriptives des 3 sous populations avec des tests de Mann Whitney en les comparant 2 par 2. (1 : mono-implantés / 2 : implant + prothèse / 3 : bi-implantés).....	56
Tableau 11 : Comparaison des moyennes des 7 environnements entre les 3 sous populations avec des tests de Mann-Whitney en les comparant 2 par 2.....	57

Liste des figures

Figure 1 :Les sous divisions de l'oreille [3]	9
Figure 2 : Coupe transversale de la cochlée [4]	10
Figure 3 : Représentation schématique de l'organe spiral (organe de Corti) [1].....	11
Figure 4 : Transmission du message sonore [5].....	11
Figure 5 : Tonotopie cochléaire [6]	12
Figure 6 : Exemple de fonction d'intelligibilité avec un maximum d'intelligibilité de 100% et un SIB50 = -6dB de RSB [32].....	17
Figure 7 : Flowchart.....	24
Figure 8 : Sous populations selon le type d'implantation	25
Figure 9 : Gain de RSB en dB entre T1 et T2 de chaque groupe pour les 7 environnements sonores à gauche et pour les trois environnements préférés à droite	28
Figure 10 : Comparaison des moyennes aux 7 environnements pour les 3 sous-populations	29
Figure 11 : Evaluation des 7 exercices	30
Figure 12 : diagramme de notation de chaque environnement sonore lors du test. Note sur 10 en fonction du nombre de mots retrouvés à chaque palier de difficulté.	43

Références

- [1] Physiologie Lacour, Bernard © 2015, Elsevier Masson SAS. n.d.
- [2] Nouvian R, Malinvaud D, Van den Abbeele T, Puel J-L, Bonfils P, Avan P. Physiologie de l'audition. EMC - Oto-Rhino-Laryngol 2006;1:1–14. [https://doi.org/10.1016/S0246-0351\(06\)41885-7](https://doi.org/10.1016/S0246-0351(06)41885-7).
- [3] Les parties de l'oreille. (In : Waugh A., Grant A. Ross et Wilson Anatomie et physiologie normales et pathologiques. Paris : Elsevier-Masson ; 2011. n.d.
- [4] Coupe transversale de la cochlée. (In : Drake R.L., Vogl A.W., Mitchell A.W.M. Gray's Anatomie pour les étudiants. 2 e édition. Paris : Elsevier ; 2010.) n.d.
- [5] Transmission des vibrations dans la cochlée. Waugh A., Grant A. Ross et Wilson Anatomie et physiologie normales et pathologiques. Paris : Elsevier-Masson ; 2011 n.d.
- [6] Localisation des zones de vibration de la membrane basilaire. En haut, amplitude de vibration de la membrane. En bas, seuil de réponse des cellules ciliées correspondantes. Vibert J.-F. et al. Neurophysiologie. De la physiologie à l'exploration fonctionnelle. 2 e édition. Collection Campus illustré. Paris : Elsevier-Masson ; 2011 n.d.
- [7] Bakhos D, Aussedat C, Legris E, Aoustin J-M, Nevoux J. Les surdités de l'adulte : vers de nouveaux paradigmes. Presse Médicale 2017;46:1033–42. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2017.09.004>.
- [8] Sterkers-Artières F, Vincent C. Audiométrie de l'enfant et de l'adulte. Rapport de la SFORL. Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux; 2014.
- [9] Loughrey DG, Kelly ME, Kelley GA, Brennan S, Lawlor BA. Association of Age-Related Hearing Loss With Cognitive Function, Cognitive Impairment, and Dementia: A Systematic Review and Meta-analysis. JAMA Otolaryngol-- Head Neck Surg 2018;144:115–26. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2017.2513>.
- [10] Gates GA, Mills JH. Presbycusis. Lancet Lond Engl 2005;366:1111–20. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67423-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67423-5).
- [11] Sajjadi H, Paparella MM. Meniere's disease. Lancet Lond Engl 2008;372:406–14. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61161-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61161-7).
- [12] Mosnier I, Vanier A, Bonnard D, Lina-Granade G, Truy E, Bordure P, et al. Long-Term Cognitive Prognosis of Profoundly Deaf Older Adults After Hearing Rehabilitation Using Cochlear Implants. J Am Geriatr Soc 2018;66:1553–61. <https://doi.org/10.1111/jgs.15445>.
- [13] Castiglione A, Benatti A, Velardita C, Favaro D, Padoan E, Severi D, et al. Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults. Audiol Neurootol 2016;21 Suppl 1:21–8. <https://doi.org/10.1159/000448350>.

- [14] Hermann R, Lescanne E, Loundon N, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Recommandations de la SFORL. Indication de l'implant cochléaire chez l'adulte. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale* 2019;136:193–7. <https://doi.org/10.1016/j.aforl.2018.11.005>.
- [15] Simon F, Roman S, Truy E, Barone P, Belmin J, Blanchet C, et al. Recommandations de la SFORL (version courte) sur l'indication de l'implant cochléaire chez l'enfant. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale* 2019;136:376–82. <https://doi.org/10.1016/j.aforl.2019.01.004>.
- [16] Dazert S, Thomas JP, Loth A, Zahnert T, Stöver T. Cochlear Implantation. *Dtsch Arzteblatt Int* 2020;117:690–700. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0690>.
- [17] Chouard C-H. Histoire de l'implant cochléaire. *Ann Fr D'oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale* 2010.
- [18] Bergeron F. Petite histoire de l'implant cochléaire n.d.
- [19] Busby PA, Roberts SA, Tong YC, Clark GM. Results of speech perception and speech production training for three prelingually deaf patients using a multiple-electrode cochlear implant. *Br J Audiol* 1991;25:291–302. <https://doi.org/10.3109/03005369109076601>.
- [20] Dawson PW, Clark GM. Changes in synthetic and natural vowel perception after specific training for congenitally deafened patients using a multichannel cochlear implant. *Ear Hear* 1997;18:488–501. <https://doi.org/10.1097/00003446-199712000-00007>.
- [21] Khater A, El-Anwar MW. Methods of Hearing Preservation during Cochlear Implantation. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2017;21:297–301. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1585094>.
- [22] Fu Q-J, Galvin JJ. Maximizing cochlear implant patients' performance with advanced speech training procedures. *Hear Res* 2008;242:198–208. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2007.11.010>.
- [23] Kappel V, Moreno AC de P, Buss CH. Plasticity of the auditory system: theoretical considerations. *Braz J Otorhinolaryngol* 2011;77:670–4. <https://doi.org/10.1590/S1808-86942011000500022>.
- [24] Humes LE, Kinney DL, Brown SE, Kiener AL, Quigley TM. The effects of dosage and duration of auditory training for older adults with hearing impairment. *J Acoust Soc Am* 2014;136:EL224. <https://doi.org/10.1121/1.4890663>.
- [25] Tye-Murray N, Spehar B, Barcroft J, Sommers M. Auditory Training for Adults Who Have Hearing Loss: A Comparison of Spaced Versus Massed Practice Schedules. *J Speech Lang Hear Res JSLHR* 2017;60:2337–45. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-H-16-0154.
- [26] Chisolm TH, Saunders GH, Frederick MT, McArdle RA, Smith SL, Wilson RH. Learning to listen again: the role of compliance in auditory training for adults with hearing loss. *Am J Audiol* 2013;22:339–42. [https://doi.org/10.1044/1059-0889\(2013/12-0081\)](https://doi.org/10.1044/1059-0889(2013/12-0081)).
- [27] Humes LE, Skinner KG, Kinney DL, Rogers SE, Main AK, Quigley TM. Clinical Effectiveness of an At-Home Auditory Training Program: A Randomized

Controlled Trial. Ear Hear 2019;40:1043–60.
<https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000688>.

- [28] Fu Q-J, Galvin J, Wang X, Nogaki G. Effects of auditory training on adult cochlear implant patients: a preliminary report. *Cochlear Implants Int* 2004;5 Suppl 1:84–90. <https://doi.org/10.1179/cim.2004.5.Supplement-1.84>.
- [29] Sweetow RW, Sabes JH. The need for and development of an adaptive Listening and Communication Enhancement (LACE) Program. *J Am Acad Audiol* 2006;17:538–58. <https://doi.org/10.3766/jaaa.17.8.2>.
- [30] Watson CS, Miller JD, Kewley-Port D, Humes LE, Wightman FL. Training listeners to identify the sounds of speech: I. A review of past studies. *Hear J* 2008;61:26. <https://doi.org/10.1097/01.hj.0000339502.52055.d8>.
- [31] Carhart R, Tillman TW. Interaction of competing speech signals with hearing losses. *Arch Otolaryngol Chic Ill* 1960 1970;91:273–9. <https://doi.org/10.1001/archotol.1970.00770040379010>.
- [32] C-A. Joly^{1,2}, P. Reynard^{1,2}, K. Mezzi², , D. Bakhos³, , F. Bergeron⁴, , D. Bonnard^{1,5}, S. Borel⁶, , D., Bouccara⁷, et al. RECOMMANDATIONS DE LA SOCIETE FRANÇAISE D'AUDIOLOGIE (SFA) ET DE LA SOCIETE FRANÇAISE D'ORL ET DE CHIRURGIE CERVICO-FACIALE (SFORL) POUR LA PRATIQUE DE L'AUDIOMETRIE VOCALE DANS LE BRUIT CHEZ L'ADULTE n.d.
- [33] Houben R, Koopman J, Luts H, Wagener KC, van Wieringen A, Verschuure H, et al. Development of a Dutch matrix sentence test to assess speech intelligibility in noise. *Int J Audiol* 2014;53:760–3. <https://doi.org/10.3109/14992027.2014.920111>.
- [34] Leclercq F, Renard C, Vincent C. Audiométrie vocale dans le bruit : mise au point du test VRB (vocale rapide dans le bruit). *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale* 2018;135:309–13. <https://doi.org/10.1016/j.aforl.2018.02.005>.
- [35] Wolters F, Smeds K, Schmidt E, Christensen EK, Norup C. Common Sound Scenarios: A Context-Driven Categorization of Everyday Sound Environments for Application in Hearing-Device Research. *J Am Acad Audiol* 2016;27:527–40. <https://doi.org/10.3766/jaaa.15105>.
- [36] van Zon A, Smulders YE, Stegeman I, Ramakers GGJ, Kraaijenga VJC, Koenraads SPC, et al. Stable benefits of bilateral over unilateral cochlear implantation after two years: A randomized controlled trial. *The Laryngoscope* 2017;127:1161–8. <https://doi.org/10.1002/lary.26239>.
- [37] Rosen S. Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1992;336:367–73. <https://doi.org/10.1098/rstb.1992.0070>.
- [38] Dincer D'Alessandro H, Mancini P. Intonational cues for speech perception in noise by cochlear implant listeners. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol Off J Eur Fed Oto-Rhino-Laryngol Soc EUFOS Affil Ger Soc Oto-Rhino-Laryngol - Head Neck Surg* 2020;277:3315–21. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06055-y>.

- [39] Culling JF, Jelfs S, Talbert A, Grange JA, Backhouse SS. The benefit of bilateral versus unilateral cochlear implantation to speech intelligibility in noise. *Ear Hear* 2012;33:673–82. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182587356>.
- [40] de Villers-Sidani E, M Merzenich M. [Regulation of plasticity in the auditory cortex by sensory experience]. *Med Sci MS* 2009;25:21–4. <https://doi.org/10.1051/medsci/200925121>.
- [41] Ponton CW, Vasama J-P, Tremblay K, Khosla D, Kwong B, Don M. Plasticity in the adult human central auditory system: evidence from late-onset profound unilateral deafness. *Hear Res* 2001;154:32–44. [https://doi.org/10.1016/S0378-5955\(01\)00214-3](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(01)00214-3).
- [42] Manrique M, Valdivieso A, Ruba D, Gimeno-Vilar C, Montes-Jovellar L, Manrique R. [Review of audiometric criteria in treatment of neurosensorial deafness with hearing aids and implantable hearing devices]. *Acta Otorrinolaringol Esp* 2008;59:30–8.
- [43] Stropahl M, Besser J, Launer S. Auditory Training Supports Auditory Rehabilitation: A State-of-the-Art Review. *Ear Hear* 2020;41:697–704. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000806>.
- [44] Dorman MF, Gifford RH, Spahr AJ, McKarns SA. The benefits of combining acoustic and electric stimulation for the recognition of speech, voice and melodies. *Audiol Neurootol* 2008;13:105–12. <https://doi.org/10.1159/000111782>.
- [45] Jutras B, Owliaey M, Gagnon M, Phoenix C. IMPACT DE L'ENTRAÎNEMENT AUDITIF SUR LES HABILITÉS D'ÉCOUTE DANS LE BRUIT DES ENFANTS AYANT UN TROUBLE DE TRAITEMENT AUDITIF : RÉSULTATS D'UNE ÉTUDE PILOTE. *Can J Speech-Lang Pathol Audiol* 2015:346–61.

Annexe 1 : Cotation PAP

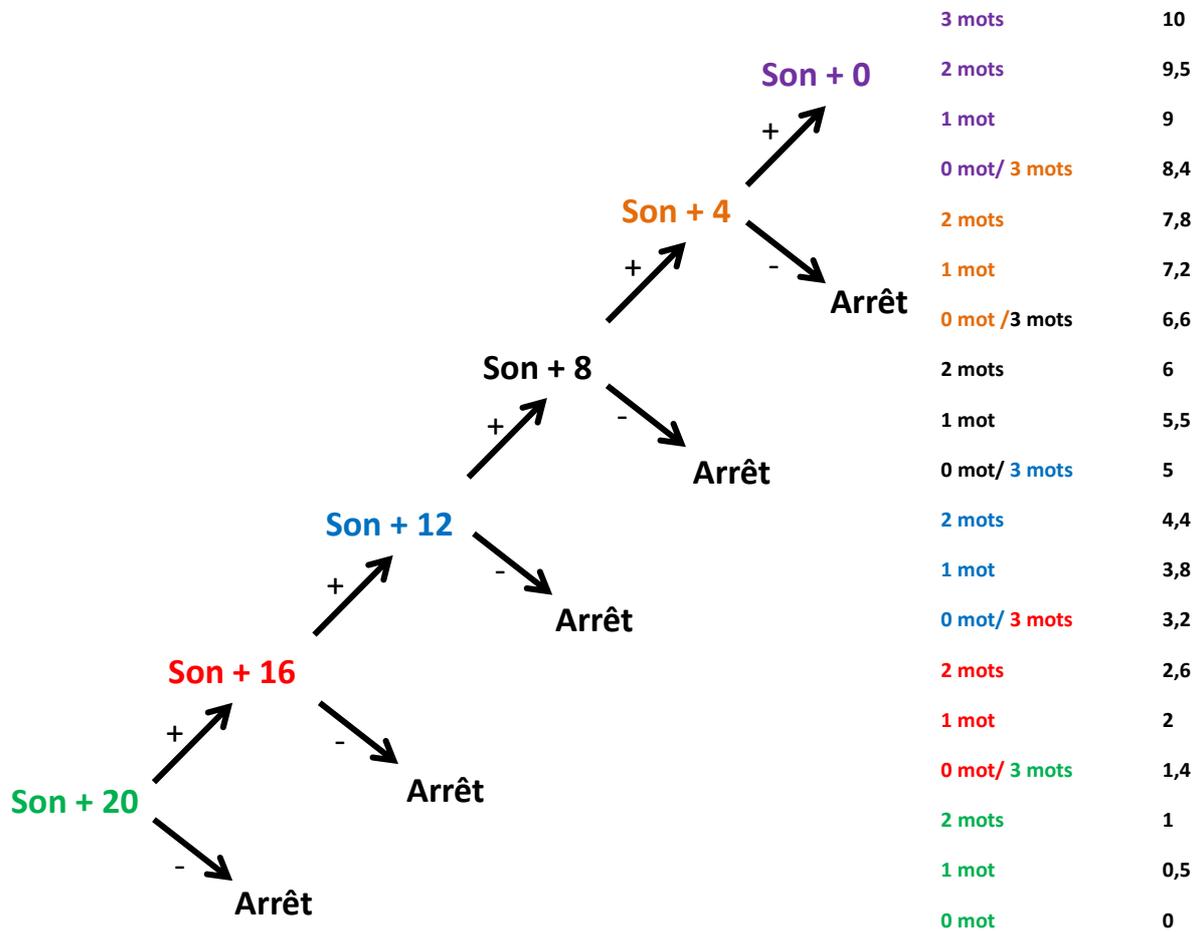


Figure 12 : diagramme de notation de chaque environnement sonore lors du test. Note sur 10 en fonction du nombre de mots retrouvés à chaque palier de difficulté.

Annexe 2 : Exercices de chaque séance d'entraînement

- **Partie 1 (1 minute)** : 10 phrases dans le silence à reconstituer à l'aide de propositions. Choix multiple. Score sur 10. Alternance voix d'homme, voix de femme.
- **Partie 2 (2 minutes)** : 9 phrases dans le bruit visibles du patient à retrouver (speech tracking avec un point lumineux). (3 par type de bruit de fond au RSB de référence). Pas de score.
- **Partie 3 (2 minutes)** : Travail du delta fréquentiel : 3 sons dont un de fréquence différente, trouver lequel diffère. Score/10.
- **Partie 4 (4 minutes)** : Compréhension dans le bruit : phrases à reconstituer à l'aide de différentes propositions. Pour chacun des bruits de fond. Score sur 15. Adaptation de la difficulté :
 - 1 phrase au RSB de référence + 2 dB
 - 1 phrase au RSB de référence + 1 dB
 - 1 phrase au RSB de référence
 - Si réussite 1 phrase au RSB de référence -1 dB sinon RSB de référence
 - Si réussite 1 phrase au RSB de référence -2 dB sinon RSB de référence
 - Ajustement du nouveau niveau de RSB de référence
- **Partie 5 (2 minutes)** : Exercice de delta d'intensité : 3 sons dont un plus ou moins fort, trouver lequel diffère. Score /10.
- **Partie 6 (1 minute)** : Confusions phonétiques (1 paire par séance). Trouver la bonne phrase en QCM, 2 dans le silence et 3 dans le bruit.
- **Partie 7 (3 minutes)** : Activités neuro-cognitives : Travail sur l'attention et la mémoire auditivo-verbale.

Annexe 3 : Fiche de recrutement

Bonjour,

Nous cherchons à améliorer les performances auditives des patients implantés cochléaires dans les milieux bruyants. Comme vous vous en rendez compte très probablement, les patients bénéficiant d'une implantation cochléaire sont gênés pour comprendre leurs interlocuteurs dans les milieux bruyants.

Pour améliorer cela nous pensons qu'une rééducation spécifique basée sur le travail en milieu bruyant peut être bénéfique. En association avec les laboratoires d'audioprothèse RENARD, nous avons mis en place un logiciel de rééducation utilisable à domicile sur internet.

Nous proposons donc aux patients performants dans le silence comme vous de venir effectuer un test de vos performances en milieu bruyant avec le Dr LLORET dans le service à l'hôpital Salengro (consultation de 30 minutes avec 15 minutes de test et 15 minutes d'explications). Et ensuite de pouvoir accéder au logiciel de rééducation à domicile pour effectuer une rééducation de 24 séances de 15 minutes au rythme de 3 séances par semaine pendant 2 mois (nécessité d'avoir accès à internet sur un ordinateur avec un système audio même basique). Vous serez ensuite re-testé en consultation par le Dr LLORET pour évaluer vos progrès.

L'ensemble du protocole est complètement gratuit (transport, consultation et accès au logiciel).

Si vous êtes intéressés par le projet merci de nous recontacter pour que nous puissions organiser la première consultation.

Guillaume LLORET

Service d'Otologie et otoneurologie

CHRU Lille

Annexe 4 : Fiche explicative remise au G1 à T1 et au G0 à T2

Madame, Monsieur,

Vous avez accepté de participer à une étude sur l'efficacité d'un entraînement auditif dans une tâche de compréhension de la parole dans le bruit.

Ce programme, issu d'un partenariat entre le Service d'Otologie, Oto-neurologie du CHRU de Lille et les Laboratoires d'Audiologie Renard, s'étale sur 8 semaines à raison de 3 séances de 15 minutes par semaine.

Vous recevrez par email votre identifiant personnel qui vous permettra de vous connecter au programme d'entraînement. Retenez-le, notez-le ou imprimez cet email car il vous sera demandé à chacune des 24 séances qui composent le programme.

Vous serez contacté(e) un mois après le début de l'entraînement auditif pour vérifier le bon déroulement des séances. Nous vous remercions d'avance pour votre implication, votre assiduité et vous souhaitons un bon travail.

En cas de question sur l'entraînement auditif, vous pouvez contacter le Dr LLORET Guillaume par email : consult.oto@chru-lille.fr

En cas de problème technique, vous pouvez contacter Jérôme ANDRE par email : j.andre@laborenard.fr

Déroulé de l'entraînement auditif :

24 séances à réaliser quand vous voulez en 2 mois (Il est fortement conseillé de suivre au maximum le rythme de 3 séances par semaine sur trois jours différents pour profiter au maximum de la rééducation)

Déroulé d'une séance :

- **Partie 1 (1 minute):** Vous allez entendre 10 phrases dans le silence. Vous devrez les reconstituer à l'aide des différentes propositions.
- **Partie 2 (2 minutes):** Vous allez entendre 9 phrases dans du bruit. Les phrases vous sont données, essayez de les retrouver. Un point lumineux vous indique quand elles commencent à être émises
- **Partie 3: (2 minutes)** : Vous allez pouvoir entendre 3 sons. Trouvez celui qui diffère.
- **Partie 4 (4 minutes.):** Compréhension dans le bruit. Pour chacun des bruits de fond choisis. Vous allez entendre une phrase. Vous devrez la reconstituer à l'aide des différentes propositions
- **Partie 5 (2 minutes):** Vous allez pouvoir entendre 3 sons. Trouvez celui qui diffère en terme d'intensité sonore.
- **Partie 6 (1 minute)** : Trouvez la bonne phrase dans le silence ou le bruit.
- **Partie 7: (3 minutes)** : Travail sur l'attention et la mémoire.

Annexe 5 : Consentement

Je, soussigné _____ déclare accepter, librement, et de façon éclairée, de participer comme sujet à l'étude intitulée : **Efficacité d'un entraînement auditif dans une tâche de compréhension de la parole dans le bruit chez le patient implanté cochléaire.**

Sous la direction de Mr le Pr VINCENT Christophe

Promoteur : Université Lille

Investigateur principal : Mr LLORET Guillaume (interne en médecine)

But de l'étude : Attester de l'intérêt de l'entraînement auditif pour la compréhension en milieu bruyant chez les patients implantés cochléaires.

Engagement du participant :

Nous cherchons à améliorer les performances auditives des patients implantés cochléaires dans les milieux bruyants. Comme vous vous en rendez compte très probablement, les patients bénéficiant d'une implantation cochléaire sont gênés pour comprendre leurs interlocuteurs dans les milieux bruyants.

Pour améliorer cela nous pensons qu'une rééducation spécifique basée sur le travail en milieu bruyant peut être bénéfique. En association avec les laboratoires d'audioprothèse RENARD, nous avons mis en place un logiciel de rééducation utilisable à domicile sur internet.

Nous proposons donc aux patients performants dans le silence comme vous de venir effectuer un test de vos performances en milieu bruyant avec le Dr LLORET dans le service à l'hôpital Salengro (consultation de 30 minutes avec 15 minutes de test et 15 minutes d'explications). Et ensuite de pouvoir accéder au logiciel de rééducation à domicile pour effectuer une **rééducation de 24 séances de 15 minutes au rythme de 3 séances par semaine pendant 2 mois** (nécessité d'avoir accès à internet sur un ordinateur avec un système audio même basique) . Vous serez ensuite re-testé en consultation par le Dr LLORET pour évaluer vos progrès.

Engagement de l'investigateur principal : en tant qu'investigateur principal, il s'engage à mener cette recherche selon les dispositions éthiques et déontologiques, à protéger l'intégrité physique, psychologique et sociale des personnes tout au long de la recherche et à assurer la confidentialité des informations recueillies. Il s'engage également à fournir aux participants tout le soutien permettant d'atténuer les effets négatifs pouvant découler de la participation à cette recherche.

Liberté du participant : le consentement pour poursuivre la recherche peut être retiré à tout moment sans donner de raison et sans encourir aucune responsabilité ni conséquence. Les réponses aux questions ont un caractère facultatif et le défaut de réponse n'aura aucune conséquence pour le sujet.

Information du participant : le participant a la possibilité d'obtenir des informations supplémentaires concernant cette étude auprès de l'investigateur principal, et ce dans les limites des contraintes du plan de recherche.

Confidentialité des informations : toutes les informations concernant les participants seront conservées de façon anonyme et confidentielle. Le traitement informatique n'est pas nominatif, il n'entre pas de ce fait dans la loi Informatique et Liberté (le droit d'accès et de rectification n'est pas recevable). Cette recherche n'ayant qu'un caractère psychologique, elle n'entre pas de ce fait dans la loi Huriot-Sérusclat concernant la protection des personnes dans la recherche bio-médicale. La transmission des informations concernant le participant pour l'expertise ou pour la publication scientifique sera elle aussi anonyme.

Déontologie et éthique : le promoteur et l'investigateur principal s'engagent à préserver absolument la confidentialité et le secret professionnel pour toutes les informations concernant le participant (titre I, articles 1,3,5 et 6 et titre II, articles 3, 9 et 20 du code de déontologie des psychologues, France).

Fait à _____ le _____ en 2 exemplaires

Signatures : Le participant

L'investigateur principal

Annexe 6 : Tableaux de comparabilité G1 et G0

Tableau 8 : Comparaison des données descriptives quantitatives entre le G1 et le G0 avec un test de Student ou un test de Mann-Whitney

Descriptive Statistics ▼

	AGE		DUREE_IMPLANTATION		DISSBILAT		STM_MEILLEUR		VRB		ORTHOHONIE	
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Valid	15	37	15	37	15	37	15	37	14	34	15	37
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
Mean	50.000	57.595	7.800	4.811	84.000	81.351	33.867	32.703	10.275	10.465	0.133	0.824
Median	51.000	58.000	5.000	4.000	90.000	80.000	34.000	33.000	10.600	11.200	0.000	0.000
Std. Deviation	18.528	14.681	7.674	4.434	16.818	16.357	5.878	8.124	4.465	4.827	0.516	0.988
Variance	343.286	215.526	58.886	19.658	282.857	267.568	34.552	65.992	19.938	23.301	0.267	0.975
Shapiro-Wilk	0.870	0.970	0.754	0.727	0.855	0.883	0.970	0.967	0.977	0.946	0.284	0.772
P-value of Shapiro-Wilk	0.034	0.405	0.001	< .001	0.020	0.001	0.865	0.332	0.953	0.094	< .001	< .001
Minimum	19.000	23.000	2.000	1.000	50.000	50.000	23.000	20.000	2.000	1.500	0.000	0.000
Maximum	70.000	82.000	27.000	21.000	100.000	100.000	44.000	50.000	17.500	18.500	2.000	3.000
25th percentile	35.000	49.000	2.500	2.000	75.000	70.000	31.000	26.000	7.375	5.500	0.000	0.000
50th percentile	51.000	58.000	5.000	4.000	90.000	80.000	34.000	33.000	10.600	11.200	0.000	0.000
75th percentile	66.000	69.000	8.000	6.000	100.000	90.000	37.500	38.000	13.675	14.250	0.000	2.000

^a All values are identical

Independent Samples T-Test

	t	df	p	Cohen's d
AGE	-1.565	50	0.124	-0.479
STM_MEILLEUR	0.503	50	0.617	0.154

Note. Student's t-test.

	W	df	p	Rank-Biserial Correlation
DUREE_IMPLANTATION	346.000		0.165	0.247
DISSBILAT	308.500		0.529	0.112
VRB	231.500		0.892	-0.027
ORTHOHONIE	163.500		0.008	-0.411

Note. For the Mann-Whitney test, effect size is given by the rank biserial correlation.

Note. Mann-Whitney U test.

Tableau 9 : Comparaison des données descriptives qualitatives entre le G1 et le G0 avec un test du chi2

Contingency Tables

SEXE	GROUPE		Total
	0	1	
0	9	11	20
1	6	26	32
Total	15	37	52

Contingency Tables

IMPLANT	GROUPE		Total
	0	1	
1	3	6	9
2	4	11	15
3	8	20	28
Total	15	37	52

Contingency Tables

MARQUE	GROUPE		Total
	0	1	
1	2	13	15
2	5	12	17
3	2	5	7
4	6	7	13
Total	15	37	52

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X ²	4.132	1	0.042
N	52		

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X ²	0.124	2	0.940
N	52		

Chi-Squared Tests

	Value	df	p
X ²	3.659	3	0.301
N	52		

Annexe 7 : Comparabilité des 3 sous populations

Tableau 10 : Comparaison des données descriptives des 3 sous populations avec des tests de Mann Whitney en les comparant 2 par 2. (1 : mono-implantés / 2 : implant + prothèse / 3 : bi-implantés)

Descriptive Statistics

	AGE			DUREE_IMPLANTATION			DISSBILAT		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Valid	12	18	32	12	18	32	12	18	32
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	50.333	59.778	56.594	6.833	2.500	6.406	68.333	85.000	82.500
Std. Deviation	20.575	18.271	12.035	8.299	1.543	4.983	16.422	13.827	17.413
Shapiro-Wilk	0.895	0.921	0.917	0.711	0.833	0.775	0.916	0.867	0.843
P-value of Shapiro-Wilk	0.135	0.132	0.017	0.001	0.005	< .001	0.251	0.016	< .001
Minimum	19.000	23.000	24.000	1.000	1.000	2.000	50.000	60.000	50.000
Maximum	75.000	82.000	71.000	27.000	6.000	21.000	100.000	100.000	100.000
25th percentile	29.000	50.250	49.750	2.000	1.250	3.000	57.500	72.500	77.500
50th percentile	56.500	63.000	58.500	3.500	2.000	5.000	65.000	90.000	90.000
75th percentile	66.750	74.250	66.250	6.250	3.000	7.000	80.000	97.500	100.000

	STM_MEILLEUR			VRB			ORTHOHONIE		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Valid	12	18	32	10	17	31	12	18	32
Missing	0	0	0	2	1	1	0	0	0
Mean	36.750	32.722	31.938	13.105	9.753	10.621	0.750	1.028	0.594
Std. Deviation	5.446	7.061	7.505	4.500	4.925	4.795	1.055	1.169	0.837
Shapiro-Wilk	0.953	0.961	0.968	0.868	0.916	0.969	0.748	0.800	0.672
P-value of Shapiro-Wilk	0.687	0.617	0.456	0.094	0.124	0.480	0.003	0.002	< .001
Minimum	29.000	21.000	20.000	5.500	3.000	1.500	0.000	0.000	0.000
Maximum	48.000	45.000	50.000	17.500	17.500	19.000	3.000	3.000	2.000
25th percentile	33.750	25.750	25.750	10.325	4.250	7.625	0.000	0.000	0.000
50th percentile	35.500	33.500	32.000	15.000	10.200	11.500	0.000	0.750	0.000
75th percentile	38.750	36.750	38.000	16.825	13.500	13.350	1.250	2.000	1.000

Independent Samples T-Test : Comparaison Mono-implantés / Implant + prothèse

	W	df	p
AGE	78.500		0.219
DUREE_IMPLANTATION	144.000		0.123
DISSBILAT	47.500		0.010
STM_MEILLEUR	141.500		0.161
VRB	123.000		0.059
ORTHOHONIE	92.500		0.495

Note. Mann-Whitney U test.

Independent Samples T-Test : Comparaison Mono-implantés / Bi-implantés

	W	df	p
AGE	170.000		0.571
DUREE_IMPLANTATION	148.500		0.253
DISSBILAT	106.000		0.022
STM_MEILLEUR	262.500		0.064
VRB	202.000		0.158
ORTHOHONIE	204.000		0.728

Note. Mann-Whitney U test.

Independent Samples T-Test : Comparaison Implant + prothèse / Bi-implantés

	W	df	p
AGE	336.500		0.332
DUREE_IMPLANTATION	98.500		< .001
DISSBILAT	302.500		0.771
STM_MEILLEUR	305.500		0.731
VRB	241.000		0.635
ORTHOHONIE	349.000		0.175

Note. Mann-Whitney U test.

Annexe 8 : Comparaison des moyennes des 7 environnements pour les 3 sous-populations

Tableau 11 : Comparaison des moyennes des 7 environnements entre les 3 sous populations avec des tests de Mann-Whitney en les comparant 2 par 2

Descriptive Statistics

	MOYENNE 7 ENV			
	1	2	3	
Valid	12	18	32	1 : Mono-implanté 2 : Implant + prothèse 3 : Bi-implanté
Missing	0	0	0	
Mean	2.938	3.291	3.432	
Std. Deviation	1.367	1.016	1.358	
Minimum	1.060	1.860	0.590	
Maximum	5.260	5.200	5.790	

Independent Samples T-Test : Comparaison Mono-implantés / Implant + prothèse

	W	df	p
MOYENNE	84.500		0.330

Note. Mann-Whitney U test.

Independent Samples T-Test : Comparaison Mono-implantés / Bi-implantés

	W	df	p
MOYENNE	148.000		0.252

Note. Mann-Whitney U test.

Independent Samples T-Test : Comparaison Implant + prothèse / Bi-implantés

	W	df	p
MOYENNE	257.000		0.538

Note. Mann-Whitney U test.

AUTEUR : Nom : LLORET / Prénom : Guillaume

Date de Soutenance : 4 Octobre 2021

Titre de la thèse : Efficacité d'un entraînement auditivo-cognitif pour la compréhension de la parole en milieu bruyant chez le patient implanté cochléaire

Thèse – Médecine – Lille 2021

Cadre de classement : Otologie et Otonéurologie

DES + spécialité : Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico Faciale

Mots clés : Implant cochléaire, Audition dans le bruit, Entraînement auditivo-cognitif.

Résumé :

Introduction : L'implant cochléaire permet la réhabilitation auditive des patients atteints de surdité sévère à profonde bilatérale. L'efficacité de l'implantation dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la réalisation d'un entraînement auditif intensif joue un rôle primordial. Par ailleurs l'audition en milieu bruyant est une difficulté majeure chez les patients implantés. L'objectif principal de ce travail était d'évaluer si un entraînement auditif personnalisé à domicile sur support informatique pour une tâche de compréhension de la parole dans le bruit améliore les performances des patients implantés. L'objectif secondaire était de comparer les capacités auditives dans le bruit des patients implantés bénéficiant d'une audition binaurale de ceux ne possédant qu'une audition monaurale.

Matériel et Méthodes : Il s'agissait d'une étude prospective chez 63 patients implantés cochléaires répartis en deux groupes : un groupe bénéficiant d'un entraînement auditif en milieu bruyant à domicile pendant 2 mois (G1) et un groupe contrôle n'en bénéficiant pas (G0). On a testé les performances auditives de compréhension de la parole en milieu bruyant avant (T1) et après l'entraînement auditif de 2 mois (T2) dans le groupe entraînement ou à deux mois d'intervalle sans intervention dans le groupe contrôle. L'entraînement auditivo-cognitif correspondait à réaliser 3 séances de rééducation par semaine pendant 8 semaines en champ libre à domicile sur support informatique.

Résultats : 52 patients ont été inclus pour le critère d'intérêt principal. Avec l'entraînement on retrouvait un gain significatif de 4,8dB de RSB entre les deux tests ($p < 0,01$). Sans entraînement on ne retrouvait pas de progrès significatif ($p = 0,756$). On retrouvait une différence significative de progrès entre les deux groupes en faveur du groupe ayant bénéficié de l'entraînement ($p < 0,01$). 62 patients ont été inclus pour le critère d'intérêt secondaire. Il n'y avait pas de différence de performance au T1 entre les 3 sous populations.

Conclusion : On a donc montré le bénéfice et la faisabilité d'un entraînement auditif en milieu bruyant personnalisé à domicile sur support informatique pour des patients implantés. On retrouve une tendance à une meilleure performance en milieu bruyant chez les patients bi-implantés et ceux mono-implantés avec prothèse contralatérale par rapport aux mono-implantés sans qu'aucune différence significative n'ait pu être démontrée probablement à cause d'un manque d'effectif.

Composition du Jury :

Président : M. le Pr. Dominique CHEVALIER

Assesseurs : M. le Pr. Pierre FAYOUX, Mme le Dr. Fanny GAUVRIT

Directeur de thèse : Mr. le Pr. Christophe VINCENT