HAL
open science

Comparaison entre les intra-auriculaires semi-profond (CIC) et les contours à écouteur dans le conduit (RITE)

Nicolas Bailly

To cite this version:

Nicolas Bailly. Comparaison entre les intra-auriculaires semi-profond (CIC) et les contours à écouteur dans le conduit (RITE). Médecine humaine et pathologie. 2010. hal-01882543

HAL Id: hal-01882543

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01882543v1

Submitted on 27 Sep 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université Henry Poincaré, Nancy I

Faculté de Pharmacie

Comparaison entre les intra-auriculaires semi-profond (CIC) et les contours à écouteur dans le conduit (RITE)

Mémoire en vue de l'obtention du

Diplôme d'Etat d'Audioprothésiste

BAILLY Nicolas

Année 2010

Je remercie Madame Sylvie Douet, audioprothésiste, de m'avoir accepté en stage de troisième année et d'avoir été ma maître de mémoire. Je la remercie également de m'avoir aiguillé tout au long de mon mémoire, de m'avoir fait part de ses observations, des questions qu'elle se posait en rapport avec mon sujet, et de m'avoir aidé pour le bon déroulement de ce dernier.

Je remercie Madame Mireille Coquelin, directrice régionale Audika Ouest, de m'avoir permis de réaliser mon mémoire au sein de leur centre, de m'avoir fourni le matériel nécessaire à mon étude, et de m'avoir orienté vers différentes personnes qualifiées pour répondre à mes questions.

Je remercie Monsieur Jacques Benzaquen, audioprothésiste référent chez Audika, de m'avoir aidé à sélectionner et à ordonner mes idées. Je le remercie également de m'avoir guidé dans mon protocole de test et d'avoir répondu à mes questions d'ordre technique.

Je remercie Monsieur Vincent Krause, audioprothésiste formateur chez Audika, de m'avoir aidé dans la structure, la sélection et l'organisation des idées de mon mémoire. Je le remercie également d'avoir répondu à toutes mes questions et de m'avoir prêté le matériel nécessaire.

Je remercie Monsieur Alexandre Poly, représentant Starkey de la région Ouest, d'avoir répondu à mes questions techniques sur les appareils Starkey et de m'avoir obtenu le financement de la fabrication des micro-embouts.

Je remercie le fabricant Starkey de m'avoir fabriqué gratuitement les micro-embouts dont j'avais besoin pour le bon déroulement de mon mémoire.

Je remercie Madame Bernadette Lefèbvre, directrice de l'université Starkey, d'avoir répondu à mes questions.

Table des matières

Introduction 3
I. Rappels anatomiques 5
1. Présentation générale de l'oreille 5
2. La physiologie de l'oreille 9
3. Les surdités 12
II. Le choix des différents paramètres 14
1. La technologie et les réglages 14
2. L'écouteur 15
3. La cavité résiduelle 15
III. Les différents tests 18
1. Réglages du RITE 18
2. Test de localisation 19
3. Test de compréhension dans le bruit 21
IV. Résultats des cas pratiques 25
1. Patient n°1 25
2. Patient n°2 30
3. Patient n°3 33
4. Patient n°4 36
5. Patient n°5 39
6. Patient n°6 41
7. Patient n°7 44
8. Patient n°8 48
9. Patient n°9 52
10. Patient n°10 56
11. Résumé de tous les patients 58
Conclusion 62
Bibliographie 64
Annexe : Fiche technique des aides auditives Starkey S-Series 65

Introduction

L'audioprothèse est un métier jeune, qui a connu et connaît de grandes évolutions. En effet, avec les progrès de l'électronique, de l'informatique et de la téléphonie, les aides auditives ont beaucoup progressé. L'ancienne génération d'audioprothésistes a connu les appareils boitiers au début des années cinquante, qui ont été suivis par les lunettes auditives vers 1955, puis les contours d'oreilles vers 1962 et enfin les intra auriculaires vers 1975. La dernière grande évolution qu'ils ont connue est l'arrivée des aides auditives numériques programmables au milieu des années quatre-vingt dix. [1]

Aujourd'hui, les aides auditives qui sont les plus vendues restent les contours d'oreille sous toutes leurs formes. En effet, depuis 2003, les systèmes anti-larsen performants permettent l'appareillage de type open. Il y a eu l'arrivée des tubes fins en 2003 et des écouteurs dans le conduit vers 2004-2005. Or en 2009, nous constatons que les intra auriculaires de type CIC (Completely In the Canal) et les contours de type RITE (Receiver In The Ear) représentent environ 50% des ventes. [2]

Cependant, je me suis aperçu pendant mes stages que les écouteurs des RITE (Receiver In The Ear) étaient très souvent montés sur micro-embouts pour plusieurs raisons même si les fréquences graves sont bien conservées :

- Pour une meilleure tenue dans le conduit,
- Pour éliminer le larsen,
- Pour une meilleure amplification des fréquences aiguës, ce qui influe sur la compréhension.

De plus, la miniaturisation d'aujourd'hui nous permet de réaliser des intra CIC discrets et ouverts sur un large panel de conduits.

C'est pourquoi je m'intéresse à une comparaison entre les contours de type RITE et les intra de type CIC. Une multitude de paramètres rentrent en compte comme la directivité, la cavité résiduelle, l'orientation de l'écouteur, la largeur de la bande

passante, la manipulation, les pannes, les pertes… Après réflexion, j'ai éliminé plusieurs points comme les pertes et les pannes qui seraient des mesures subjectives. Donc je me suis intéressé en particulier à la positon du microphone. Quelle est l'influence de la position microphonique sur l'appareillage ? Pour cette étude, les paramètres acoustiques comme la cavité résiduelle et l'orientation de l'écouteur doivent être comparables. Le pavillon apporte un gain que nous retrouvons naturellement avec le CIC mais qu'il faut corriger sur le RIC. Tous ces paramètres seront vérifiés par des mesures In Vivo. Les RIC et CIC sont de la même marque et même gamme pour avoir les mêmes puces avec des possibilités de réglages et de traitement de signal identiques. Les technologies étant similaires entre les marques, les résultats ne se cantonnent pas à une marque. La comparaison se fera avec des tests de localisation spatiale ainsi que de compréhension dans le bruit.

Dans un premier temps, nous verrons de brefs rappels anatomiques qui expliqueront le choix des patients. Ensuite, nous verrons en détail les différents paramètres qu'il faut modifier ou conserver pour avoir des résultats comparables entre les deux formes d'aide auditive. Puis, nous verrons les tests qui serviront de comparaison dans cette étude. Enfin, les résultats seront décrits puis interprétés.

I. Rappels anatomiques

Afin de comprendre le choix des patients sélectionnés pour mon étude, je vais faire de bref rappels anatomiques [3] sur l'oreille et son fonctionnement [4].

1. Présentation générale de l'oreille

L'oreille (figure 1) est constituée de trois parties :

- l'oreille externe (E)
- l'oreille moyenne (M)
- l'oreille interne (I)

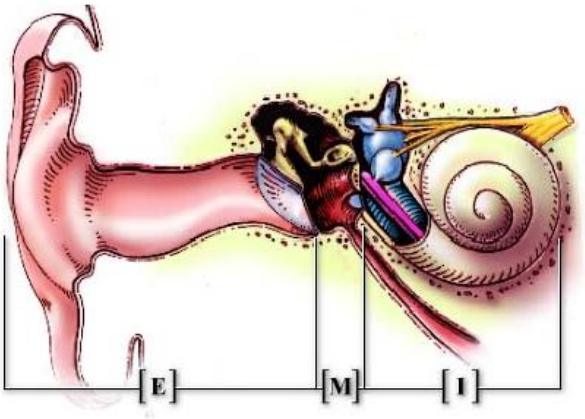


Figure 1 : Schéma présentant l'oreille [6]

a. L'oreille externe

L'oreille externe est la partie visible de l'oreille, observable avec un otoscope. Elle est constituée de deux parties (figure 2) :

- Le pavillon, qui est une lame fibro-cartilagineuse.
- Le conduit auditif externe est un canal long de 2.5 à 3 centimètres qui se termine par le tympan.

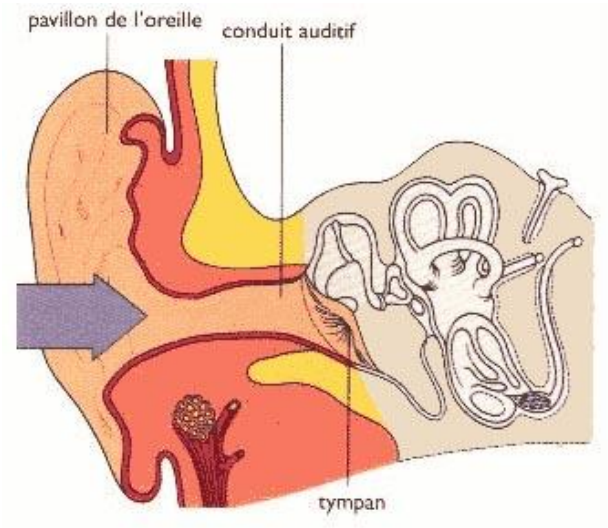


Figure 2 : Schéma de l'oreille externe [6]

Ses fonctions principales sont de capter les sons et d'apporter une amplification naturelle de certaines fréquences pour aider à la compréhension et à la localisation des sons. L'oreille externe est séparée de l'oreille moyenne par le tympan. Ainsi l'oreille externe transforme l'énergie acoustique en énergie mécanique.

b. L'oreille moyenne

L'oreille moyenne (figure 3) est la seconde partie de l'oreille. Elle est contenue dans une cavité, appelée caisse du tympan, qui est ouverte sur le rhinopharynx par la trompe d'Eustache. Elle est constituée par :

- Le tympan est une mince membrane qui vibre en fonction des ondes qui le percutent.
- Les osselets qui sont au nombre de trois : le marteau, l'enclume et l'étrier. Ils amplifient les ondes reçues par le tympan.

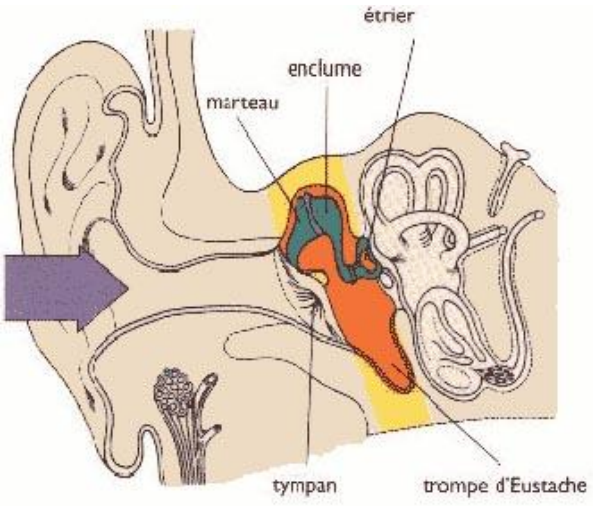


Figure 3 : Schéma de l'oreille moyenne [6]

Le tympan et le manche du marteau sont observables à l'otoscope. La trompe d'Eustache est un « tuyau » fermé qui s'ouvre à la déglutition. Elle sert à l'équilibre des pressions entre l'oreille moyenne et l'oreille externe. L'oreille moyenne transforme l'énergie mécanique en énergie hydromécanique.

c. L'oreille interne

L'oreille interne (figure 4) est la troisième et dernière partie de l'oreille. Elle est constituée de la cochlée et des canaux semi-circulaires. Seule la cochlée sera décrite car les canaux semi-circulaires servent à la fonction de l'équilibre. Nous nous intéressons à l'audition.

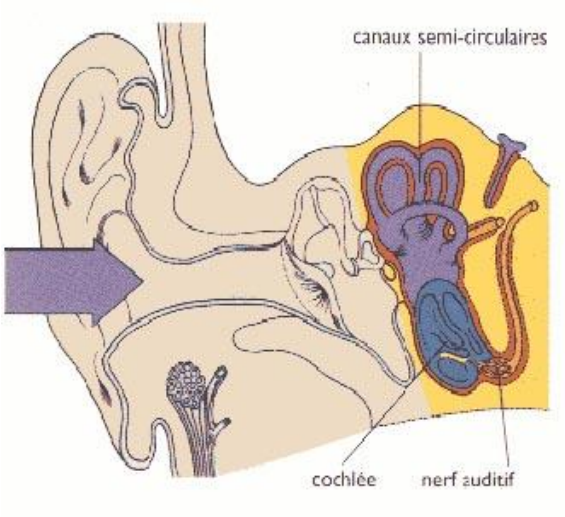


Figure 4 : Schéma de l'oreille interne [6]

La cochlée (figure 5) est un tube enroulé sur lui-même sur deux tours et demi de spire. Elle est séparée en deux par la membrane basilaire. En haut, se situe la rampe vestibulaire et le canal cochléaire. Ils sont séparés par la membrane de Reissner. La rampe vestibulaire se termine par la fenêtre ovale. En bas, se situe la rampe tympanique qui se termine par la fenêtre ronde. Les trois rampes sont remplies de liquide. Les rampes vestibulaire et tympanique sont remplies de périlymphe. Elles ont un rôle hydromécanique. Le canal cochléaire est rempli par l'endolymphe. A l'intérieur se situe l'organe de Corti qui est à l'origine de la transformation de l'énergie hydromécanique en énergie électrique et qui abrite les cellules ciliées internes et externes.

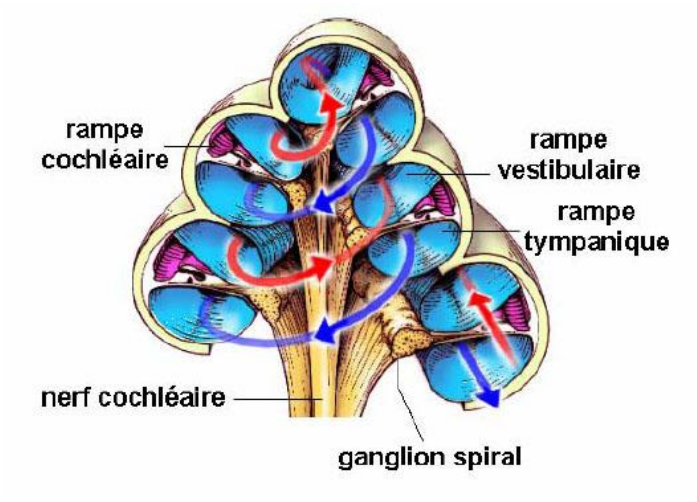


Figure 5 : Coupe schématique de la cochlée [6]

2. La physiologie de l'oreille

Pour l'oreille, le stimulus est un son. Il est caractérisé par sa fréquence, son amplitude et sa durée. Lorsqu'il entre dans le conduit auditif, certaines fréquences sont amplifiées par le pavillon et le conduit. Cette amplification atteint un maximum de 20/25 dB autour de 3000 Hz. Les ondes, qui constituent le son, frappent le tympan et le font vibrer. Les osselets rentrent en mouvement et transmettent la vibration à la rampe vestibulaire via la fenêtre ovale. Le liquide périlymphatique rentre en mouvement.

Pour une fréquence donnée, le liquide périlymphatique ne rentre pas en mouvement sur toute la longueur de la cochlée. En effet, lorsque qu'il vibre dans la région proche de la base de la cochlée, cela correspond aux fréquences aigües, le milieu, aux fréquences moyennes et l'apex aux fréquences graves. C'est ce qu'on appelle la tonotopie cochléaire (figure 6). Dans cette région, la rampe vestibulaire transmet les vibrations au canal cochléaire. Nous allons voir son fonctionnement en détail peu après. Enfin, le canal cochléaire transmet les vibrations à la rampe tympanique, qui laisse s'échapper les vibrations par la fenêtre ronde, évitant ainsi une pression trop importante dans la cochlée.

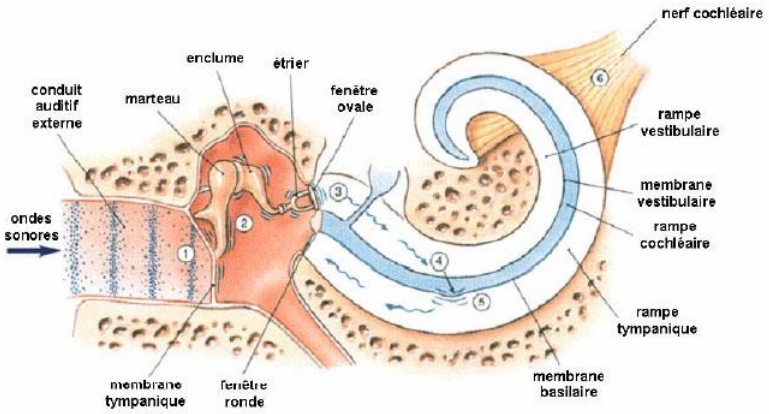


Figure 6 : Schéma du parcours d'une onde [6]

L'organe de Corti (figure 7) se situe dans le canal cochléaire. C'est lui qui transforme le message hydromécanique en message électrique. Lorsque le canal vibre, la membrane basilaire vibre. C'est ce qu'on appelle la tonotopie passive.

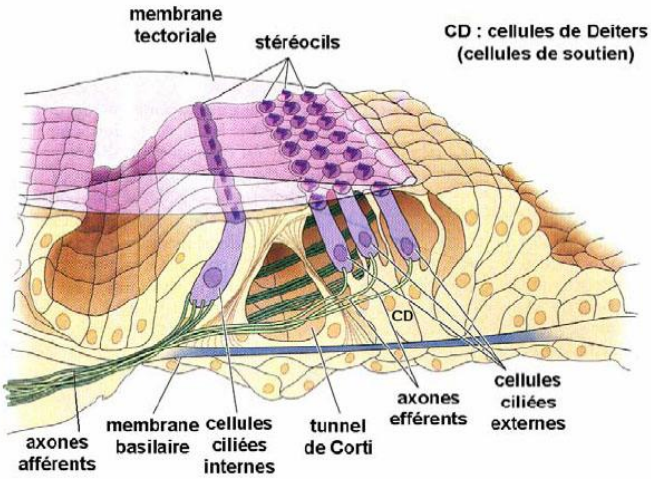


Figure 7 : Schéma de l'organe de Corti [7]

Lorsque la membrane basilaire vibre, les stéréocils des cellules externes, dont les plus grands sont implantés dans la membrane tectoriale, se déplacent horizontalement. Lors de l'élévation de la membrane tectoriale, les stéréocils se déplacent, laissant le libre passage aux ions potassium. L'ion potassium, chargé positivement, est présent dans le liquide endolymphatique. En grande quantité dans les cellules ciliées externes, il provoque leur dépolarisation et induit le potentiel microphonique cochléaire, ce qui entraine leur contraction. C'est ce qu'on appelle l'électromotilité des cellules ciliées externes. Le potentiel microphonique cochléaire traduit la variation de la concentration en ions potassium. Cela provoque ainsi une amplification du mouvement de la membrane basilaire, appelé phénomène actif rapide (figure 8). Il ne serait efficace que pour des stimulations sonores inférieures à 60 dB et n'a lieu que dans la portion de la cochlée où les vibrations, dues aux ondes, sont les plus importantes avec un décalage d'une demie-octave au dessus du maximum de stimulation. En parallèle au phénomène actif rapide, il existe le phénomène actif lent. Il module la compliance, qui est l'inverse de la raideur, d'une portion de l'organe de Corti. Il contrôle l'entrée en résonnance ou l'amortissement des déplacements de la membrane basilaire. Ainsi, les centres nerveux peaufinent le point

de fonctionnement du phénomène actif rapide. Cela constitue un filtre sélectif en fréquence. On parle alors de tonotopie active.

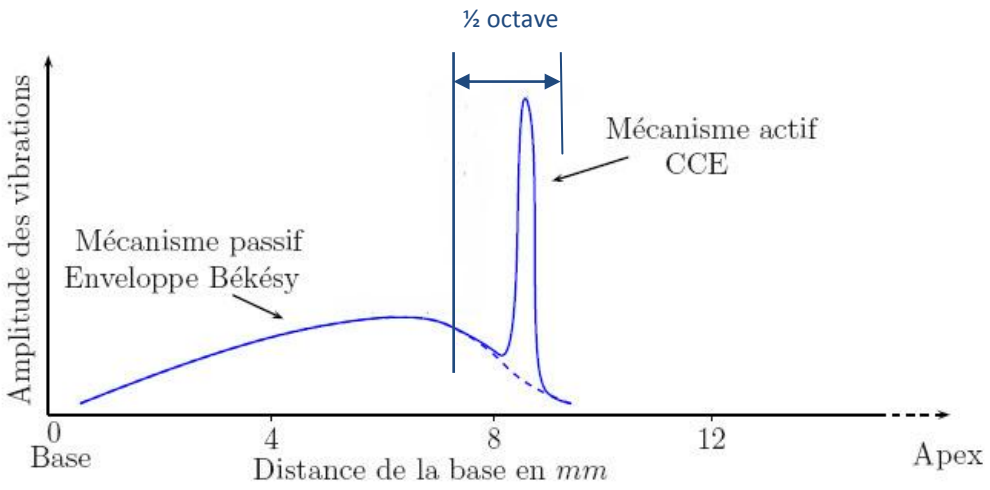


Figure 8 : Schéma du phénomène actif [7]

Ensuite, il y a stimulation des cellules ciliées internes, dans la zone de la cochlée concernée. Comme les cellules ciliées externes, elles sont coiffées de stéréocils, qui, lors de leur déplacement, laissent entrer les ions potassium. Ils provoquent une dépolarisation des cellules ciliées internes (figure 9) qui ouvre alors des canaux calciques. Ensuite, il y a une augmentation de la concentration intracellulaire en ions calcium qui provoque la libération d'un neurotransmetteur : le glutamate qui migre vers la membrane pré-synaptique. Dans la fente synaptique, la libération de glutamate provoque une dépolarisation des dendrites, ce qui donne naissance à un potentiel d'action : c'est un signal électrique qui se déplace le long du nerf auditif. C'est ce qui donne l'information aux centres nerveux supérieurs. Ensuite, l'analyse se fait dans le cortex auditif.

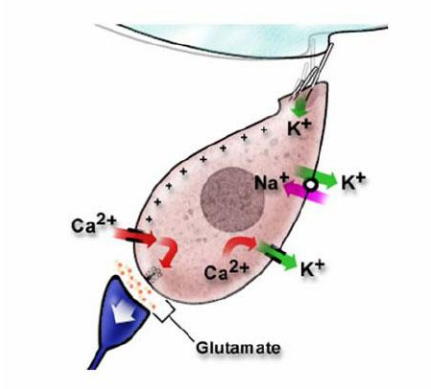


Figure 9 : Schéma d'une cellule ciliée interne stimulée [6]

3. Les surdités

Il existe plusieurs types de surdité, suivant l'origine de la déficience. [5]

a. Surdité endo-cochléaire

Ce sont les surdités dont l'origine vient de l'oreille externe, moyenne ou interne. En les corrigeant, nous pouvons observer une amélioration de l'intelligibilité [5].

Les causes sur l'oreille externe peuvent être une malformation du pavillon ou un bouchon de cérumen par exemple, l'oreille moyenne et interne fonctionnant normalement.

Les causes sur l'oreille moyenne peuvent être une otospongiose ou un tympan plus rigide suite aux otites moyennes aigues par exemple. L'oreille externe et interne étant normales.

Ces deux origines de surdité provoquent des pertes de transmission. L'audiogramme présente une meilleure courbe en conduction osseuse qu'en conduction aérienne.

Enfin, l'oreille externe et moyenne étant normales, l'atteinte peut provenir de l'oreille interne. Une zone de la cochlée est abîmée, soit de façon innée, surdité dès la

naissance, soit acquise, la presbyacousie par exemple. L'audiogramme présente des courbes en voie aérienne et osseuse superposées. C'est une surdité de perception.

Les causes peuvent aussi être multiples, de perception et de transmission ; c'est une surdité mixte.

b. Surdité rétro-cochléaire

Les surdités rétro-cochléaires proviennent d'une déficience des centres nerveux. Ce sont toutes les déficiences qui sont situées entre la cochlée et le cortex auditif. Il peut y avoir une lésion du nerf auditif ou des aires auditives. Cela se traduit par des troubles de l'intégration. C'est à dire que le patient a une mauvaise intelligibilité malgré une oreille externe, moyenne, ou interne normale ou bien corrigée. Ce sont des surdités que nous ne savons ni guérir ni corriger [5].

Afin d'avoir des résultats cohérents entre les patients, il faut donc sélectionner un panel de patients ayant le même type de perte auditive. Pour cette étude, tous ont une surdité de type endo-cochléaire et uniquement une perte de perception. C'est à dire, des graphiques de type presbyacousie avec des fréquences graves supérieures aux fréquences aiguës.

II. Le choix des différents paramètres

Les patients sélectionnés sont appareillés en CIC de marque Starkey modèle S Séries. Ils ont tous une surdité endo-cochléaire et de perception. Afin de réaliser des mesures comparables, chaque patient conserve les mêmes paramètres acoustiques entre le CIC et le RIC.

1. La technologie et les réglages

Il est important, avant de comparer, de connaître toutes les variables. Le but est d'étudier l'influence de la position du microphone et non pas de comparer des marques ou des gammes différentes. C'est pourquoi, la comparaison se fait sur des appareils de même marque et de même gamme.

En effet, d'une marque à une autre, la sonorité est différente. Les marques restent sur leur philosophie et expérience passées. Par exemple, les appareils de marque Widex ou Phonak ont une sonorité douce tandis que les appareils de la marque Beltone ont une sonorité plus agressive. Les logiciels de réglage sont différents suivant les fabricants et plus ou moins ouverts. Sur les logiciels Connex de Siemens ou Inspire de Starkey, nous avons accès à tous les réglages comme la compression, les seuils d'enclenchement… Tandis qu'avec Geni d'Oticon ou Aventa de Resound, le logiciel gère lui même les paramètres de la compression sans que nous puissions les contrôler directement.

De plus, il pourrait y avoir des différences sur le test de compréhension dans le bruit uniquement dues à une gamme différente. Le traitement de la parole dans le bruit n'étant pas le même et les options de réglages différentes. Un appareil entrée de gamme est bridé par rapport au haut de gamme. En effet, l'entrée de gamme peut se régler sur 6 canaux et le haut de gamme sur 16 canaux. Le nombre de canaux permet de régler plus finement les aides auditives par rapport à l'audiogramme. L'analyseur de scène a une efficacité croissante suivant la gamme. Le haut de gamme va reconnaître

des scènes de vie qui peuvent être ambiguës tandis que l'entrée de gamme ne va pas les reconnaître. Les réducteurs de bruit n'ont pas les mêmes options. L'entrée de gamme se limite à la mise en marche ou à l'arrêt. Le haut de gamme permet plusieurs niveaux de réglages. Par exemple, l'émergence de la parole dans le bruit, qui n'est pas présente sur l'entrée de gamme, va pouvoir être réglée sur 0 dB, +2.5 dB, +5 dB, +7.5 dB ou +10 dB. Toutes ces options ne sont pas sans conséquences sur les résultats d'un test de compréhension dans le bruit [8].

2. L'écouteur

L'élément qui a déclenché l'envie de comparer le CIC avec le RITE est la position de l'écouteur qui est la même. Dans les deux cas, l'écouteur est situé dans le conduit. En effet, le contour avec écouteur dans le conduit est un mix entre un contour et un intra-auriculaire. L'avantage est de diminuer la partie contour qui se place derrière l'oreille car l'écouteur est le deuxième plus gros composant après la pile.

Après prise de renseignements auprès de Madame Bernadette Lefebvre, directrice de l'Université Starkey, les écouteurs utilisés dans les CIC quels qu'ils soient, sont les mêmes que ceux utilisés pour les RITE. Ce sont les écouteurs qui donnent la puissance du système d'amplification. C'est à dire, pour chaque gamme de puissance, que ce soit en CIC ou en RITE, l'appellation est la même. Par exemple, un écouteur classique de 40 dB de gain est appelé : matrix 110/40. 110 signifie le niveau de sortie maximum en dB SPL. Les deux écouteurs utilisés pour les mesures sont le matrix 110/40 et le 115/50.

3. La cavité résiduelle

Afin de rester dans la même démarche, il n'est pas possible de comparer un appareillage en intra-auriculaire avec un appareillage en contour avec écouteur dans le conduit monté en open. C'est à dire que l'écouteur est inséré dans l'oreille avec une

ailette en silicone standard. En effet, en open, on ne peut déterminer ni taille d'évent ni cavité résiduelle. Ce sont deux paramètres ayant une forte influence sur l'acoustique de l'appareillage.

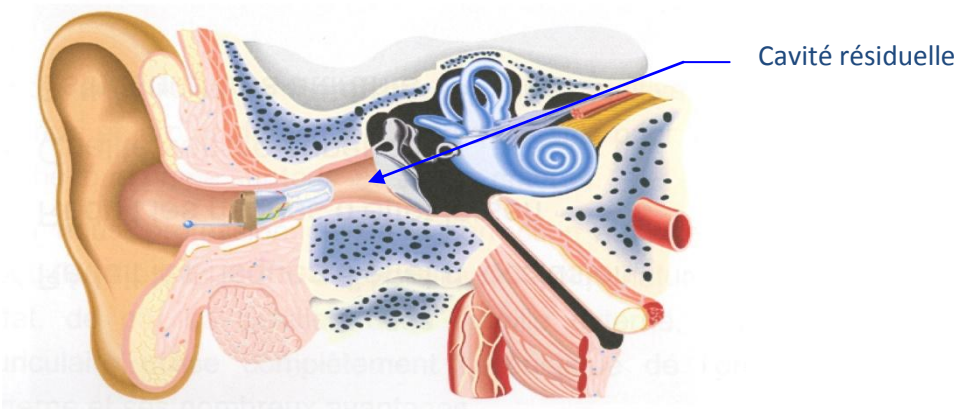


Figure 10 : Cavité résiduelle [9]

On appelle cavité résiduelle (figure 10) le volume restant entre l'embout et le tympan. La cavité résiduelle dépend de la longueur de l'embout ou de la coque de l'intra. Elle influence directement le gain sortant du système acoustique (figure 11). En effet, plus elle est petite, plus la pression est élevée, plus le gain sera important. Son volume influe aussi sur le pic de résonnance, pic de la courbe du niveau de pression arrivant au tympan. Plus il est petit, plus le pic se décale dans les aigus.

Pour conserver ce paramètre important, les écouteurs des RITE doivent être montés sur des micro-embouts. Pour des raisons de coût et de facilité, les patients choisis sont équipés en intra CIC semi profond de marque Starkey. La fabrication des micro-embouts a été réalisée chez le même fabricant. Pour toutes commandes, les empreintes des patients sont scannées et conservées informatiquement. Pour la fabrication des micro-embouts, il n'y a pas eu besoin de refaire d'empreinte, ce qui supprime un facteur variable pouvant provoquer des différences de conception. La fabrication des micro-embouts, réalisée à partir de leur fichier, permet de conserver ainsi les mêmes caractéristiques que les coques d'intra, c'est à dire la même longueur, la même orientation de l'écouteur, la même taille d'évent et le même écouteur. Les coques et embouts ont le même procédé de fabrication : la stéréolithographie. La

coque ou l’embout est travaillée à l’aide d’un logiciel où l’on visionne l’insertion dans le conduit. Une fois fini, les fichiers sont envoyés sur la machine qui va les fabriquer. Le procédé permet une meilleure finition, une meilleure précision, plus de rapidité et a la particularité d’être reproductible. [9]

III. Les différents tests

1. Réglages du RITE

Avant de procéder aux mesures, les contours avec écouteur dans le conduit doivent être réglés. Comme nous l'avons dit précédemment, ils doivent avoir les mêmes réglages que les intra-auriculaires. Les réglages des CIC sont donc injectés dans les RITE (gain, compression, seuil de compression, traitement du signal…). Si les réglages restent ainsi, il y aura une différence. Cette différence est due à l'amplification naturelle des hautes fréquences par le pavillon, c'est le gain éthymotique. Pour le mesurer afin de l'ajouter sur le RITE, nous utilisons la mesure In-Vivo.

L'échantillon de patient a été pris sur deux centres. Pour des raisons de matériel, tous n'ont pas pu avoir les mesures In-Vivo. Pour ces derniers, les réglages ont été équilibrés à l'aide du logiciel audirama. Nous testons l'ensemble des fréquences à un niveau confortable en champ libre. Suivant les appareils, nous pouvons régler le nombre de bandes que nous voulons tester (8,12,18,25 bandes). Le son envoyé n'est pas un son pur mais un signal bande étroite centrée sur une fréquence. L'appareil l'interprète alors comme de la parole. Nous demandons au patient s'il faut monter ou baisser le gain pour que ce soit confortable pour lui, et pour que toutes les fréquences soient au même niveau d'intensité. Puis une mesure In-vivo est réalisée à l'aide des mesures In-vivo intégrées Starkey.

Les mesures In-vivo sont faites avec la chaine Aurical de Gn Otometrics. Le but est de vérifier que l'intensité acoustique arrivant au tympan soit la même avec le CIC qu'avec le RIC. Les mesures sont faites avec un son large bande avec une intensité de 55 dB SPL. Le gain naturel de l'oreille est la première mesure. La seconde étant la perte d'insertion due à l'insertion du CIC. La troisième mesure est le gain dû au CIC. Les deuxième et troisième mesures sont recommencées avec le RIC. Lors de cette dernière mesure, le gain du RIC entre le 1 KHz et le 8 KHz est ajusté au mieux pour coller à la courbe du gain du CIC.

Pour commencer, il faut mesurer le REOR, réponse de l'oreille occluse. Cela nous sert à constater que la coque de l'intra-auriculaire et le micro-embout ont la même influence sur l'acoustique du conduit. Ensuite, il faut mesurer le REAR, réponse de l'oreille appareillée, avec le CIC et le RITE. Celle du CIC sert de base pour les modifications de gain du RITE.

2. Test de localisation

Pour le test de localisation, le matériel utilisé est simple. Il faut un ordinateur avec le logiciel Audirama version 2, connecté sur un amplificateur home-cinéma avec un kit enceinte 5.1. Le logiciel Audirama est un logiciel dérivé du logiciel sphère adapté par Audika. Le but est de vérifier si la position du microphone engendre une différence de réponse dans un test de localisation spatiale. Ce test est divisé en deux parties : le test de localisation spatiale horizontale et le test de localisation spatiale verticale. L'assemblage des deux donne la localisation spatiale volumétrique.

Deux fréquences sont testées dans le test de localisation : le 1500 et 3000 Hz sont deux des trois fréquences prédominantes dans le spectre de la parole (figure 12).

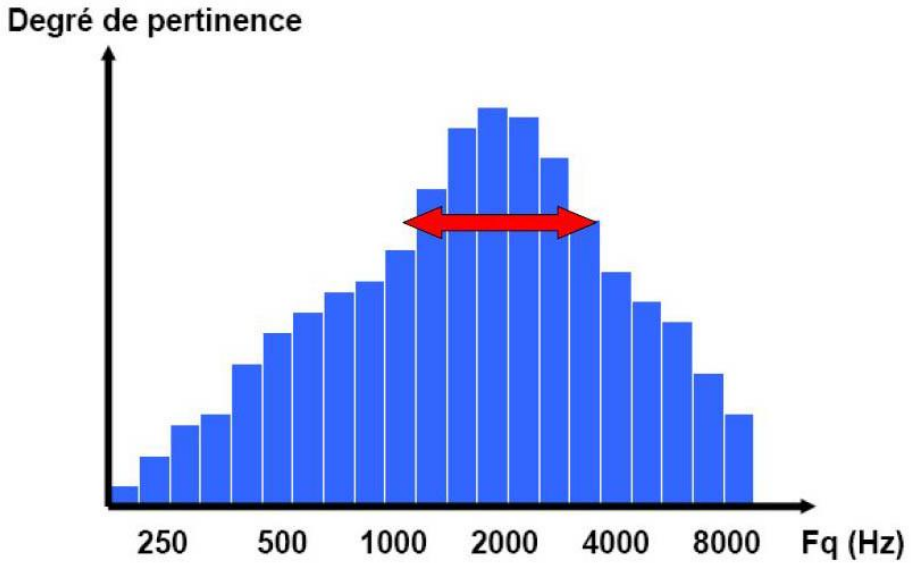


Figure 11 : Diagramme représentant la pertinence des bandes fréquentielles dans la paroles [10]

a. Test de localisation horizontale

Le test est réalisé avec les aides auditives du patient. Tous portent des CIC. La consigne est la suivante : « vous allez entendre un son, dites moi où l'entendez vous ? à gauche, mi-gauche, milieu, mi-droite ou droite. » (figure 12).

Le test est recommencé de la même manière mais avec un RITE avec les mêmes réglages que les CIC. Les seules modifications sont le gain éthymotique et le mode directionnel fixe, non disponible sur le CIC.

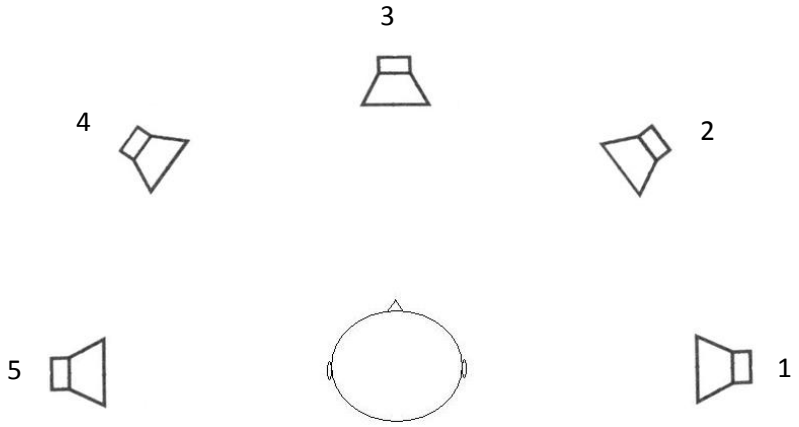


Figure 12 : Schéma présentant la numérotation des positions pour le test de localisation horizontale.

b. Test de localisation verticale

Le test est réalisé avec les aides auditives du patient (=CIC). La consigne est la suivante : « vous allez entendre un son, dites moi où l'entendez-vous ? devant, mi haut, en haut, mi arrière, derrière. » (figure 13).

Le test est recommencé de la même manière mais avec un RITE avec les mêmes réglages que les CIC. Les seules modifications sont le gain éthymotique et le mode directionnel fixe, non disponible sur le CIC.

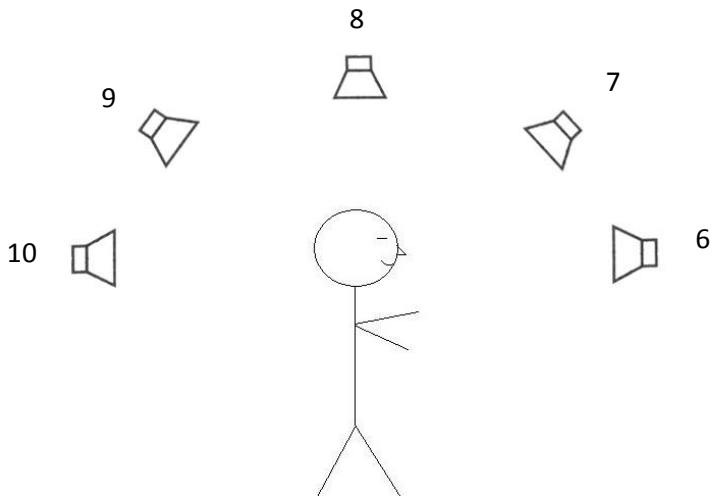


Figure 13 : Schéma présentant la numérotation des positions pour le test de localisation verticale.

3. Test de compréhension dans le bruit

Comme le test de localisation spatiale, l'audiométrie vocale nous permet d'évaluer l'audition de façon qualitative [11]. Cependant, l'interprétation des résultats n'est possible que s'ils sont reproductibles. C'est pourquoi, nous devons évaluer l'audition périphérique et non l'audition centrale. L'audition périphérique concerne uniquement l'oreille externe, moyenne et interne. L'audition centrale concerne le cortex auditif. Ce sont les informations qui arrivent de l'oreille interne, mais aussi les informations visuelles ou celles venant des autres aires. En effet, l'audition centrale

reçoit les informations venant de l'oreille interne et les recoupe avec d'autres informations comme la lecture labiale, la suppléance mentale (pour la reconstruction de phrase lorsqu'il y a des mots manquants). Pour ne mesurer que l'audition centrale, la lecture labiale et la suppléance mentale doivent être supprimées. Le passage des listes de mots se fait par l'intermédiaire d'un support CD et de haut parleur. L'utilisation des listes de logatomes de Dodelé permet d'éliminer la suppléance mentale [12]. Ce sont des listes de 50 logatomes de trois phonèmes voyelle-consonne-voyelle. En outre, ils sont équilibrés en difficulté, ce qui permet d'avoir des résultats reproductibles quelle que soit la liste utilisée. Cependant, avec un test de compréhension dans le silence, nous ne répondons pas aux attentes des malentendants. En effet, 87% des malentendant se plaignent de mal comprendre dans le bruit. C'est pourquoi, le test utilisé pour les comparaisons se déroule dans le bruit. De plus, la difficulté étant plus importante, les différences entre les mesures seront plus grandes.

Le test est adapté car les normo-entendants ont 100% de compréhension jusqu'à un rapport signal sur bruit de 3 dB et 95% pour un signal sur bruit de 0 dB (figure 15). La courbe de référence a été réalisée avec 51 normo-entendants.

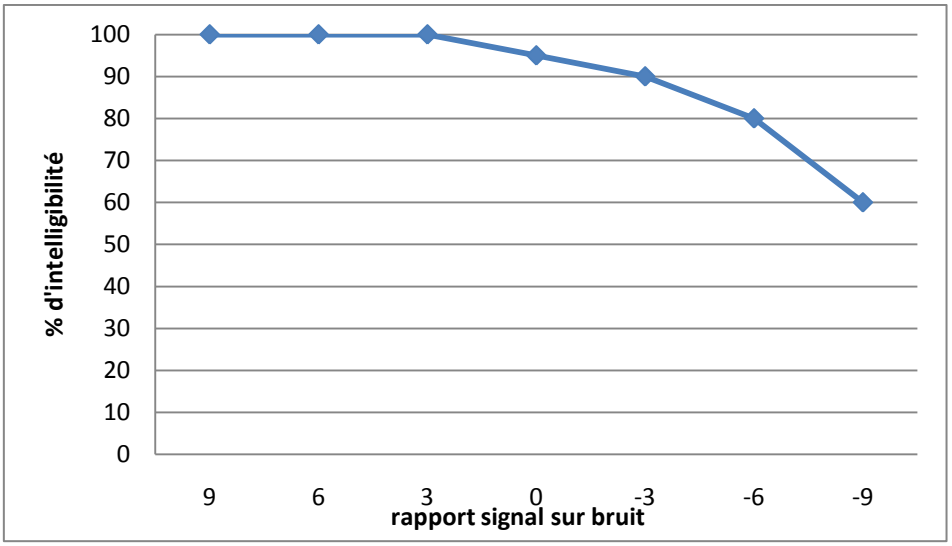


Figure 14 : Graphique représentant la courbe de référence de compréhension dans le bruit chez les normo-entendants [13]

Pour ce test, le matériel utilisé est simple. Il faut un ordinateur avec le logiciel Audirama version 2, connecté sur un amplificateur home cinéma avec un kit enceinte

5.1. Le logiciel donne accès à l'audiométrie vocale dans le bruit. Les listes utilisées sont les listes de logatomes de Dodelé avec un bruit de voix mêlée, appelé cocktail partie. C'est un bruit représentatif de la réalité, il reproduit un environnement bruyant comme une salle de réunion, un repas, une salle de restaurant avec beaucoup de personnes qui parlent en même temps. Il est perturbant, discontinu et proche du spectre à long terme de la parole. Ce sont deux couples, l'un parlant anglais et l'autre français, de façon incompréhensible pour ne pas être reconnaissable et donc fausser les mesures [13]. La consigne est primordiale pour le bon déroulement du test. Les patients peuvent être perturbés car les mots n'ont pas de signification. Nous commençons par une liste d'entrainement dans le silence. Le but du test est de vérifier si la position du microphone engendre une différence sur la compréhension dans le bruit.

Les patients répètent dans le bruit des listes de Dodelé avec un rapport signal sur bruit variable (figure 16). Le signal et le bruit sont envoyés par les haut-parleurs situés devant (figure 15). Le test est réalisé avec les CIC, puis avec les RITE en mode directionnel fixe. Le test de compréhension se fait en milieu bruyant. Dans cette situation, les contours, lorsqu'ils sont paramétrés en mode microphone adaptatif, se mettent en position directionnelle. C'est pourquoi les contours de type RIC ont été paramétrés avec des microphones directionnels. Dans ce cas, la comparaison entre CIC et RIC se fait avec les paramètres qu'ils ont lors de l'utilisation en situation réelle.

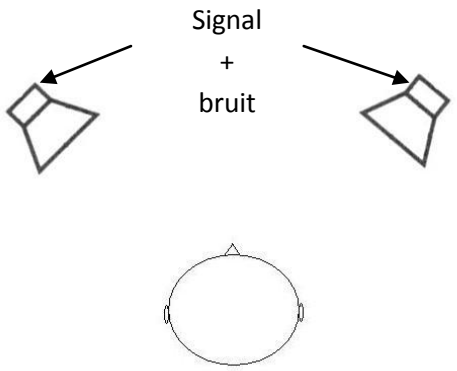


Figure 15 : Schéma présentant la situation du test de compréhension dans le bruit

Signal	Bruit	rapport signal/bruit
55 dB	45 dB	10
55 dB	50 dB	5
55 dB	55 dB	0
55 dB	60 dB	-5

Figure 16 : Tableau présentant les niveaux sonores du signal et du bruit dans le test

IV. Résultats des cas pratiques

Les mesures sont réalisées sur une dizaine de patients, âgés de 65 à 85 ans. Tous sont appareillés avec des intra-auriculaires semi-profond (CIC) de marque Starkey S-Series. Ils les portent depuis plus de trois mois. La période d'adaptation est passée et les réglages ont été affinés pendant cette période. Les résultats de tous les patients seront décrits puis résumés.

REUR représentant le gain naturel de l'oreille nue. REOR représente la perte d'insertion du au CIC. REIR 1 représente la mesure faite avec le CIC. REIR 5 représente la perte d'insertion due au micro-embout du RITE. REIR 2 représente la mesure faite avec le RITE.

1. Patient n°1

a. Mesure in-vivo

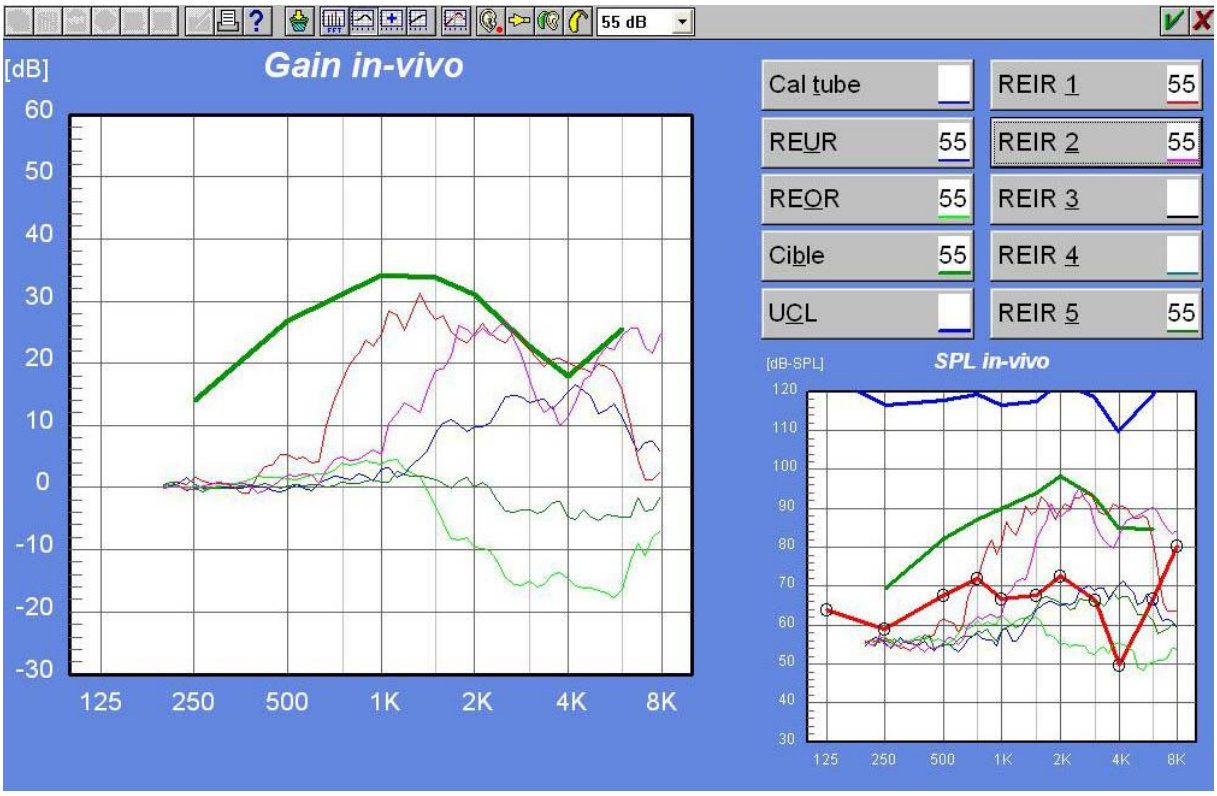


Figure 17 : Mesure in-vivo de l'oreille droite du patient n°1

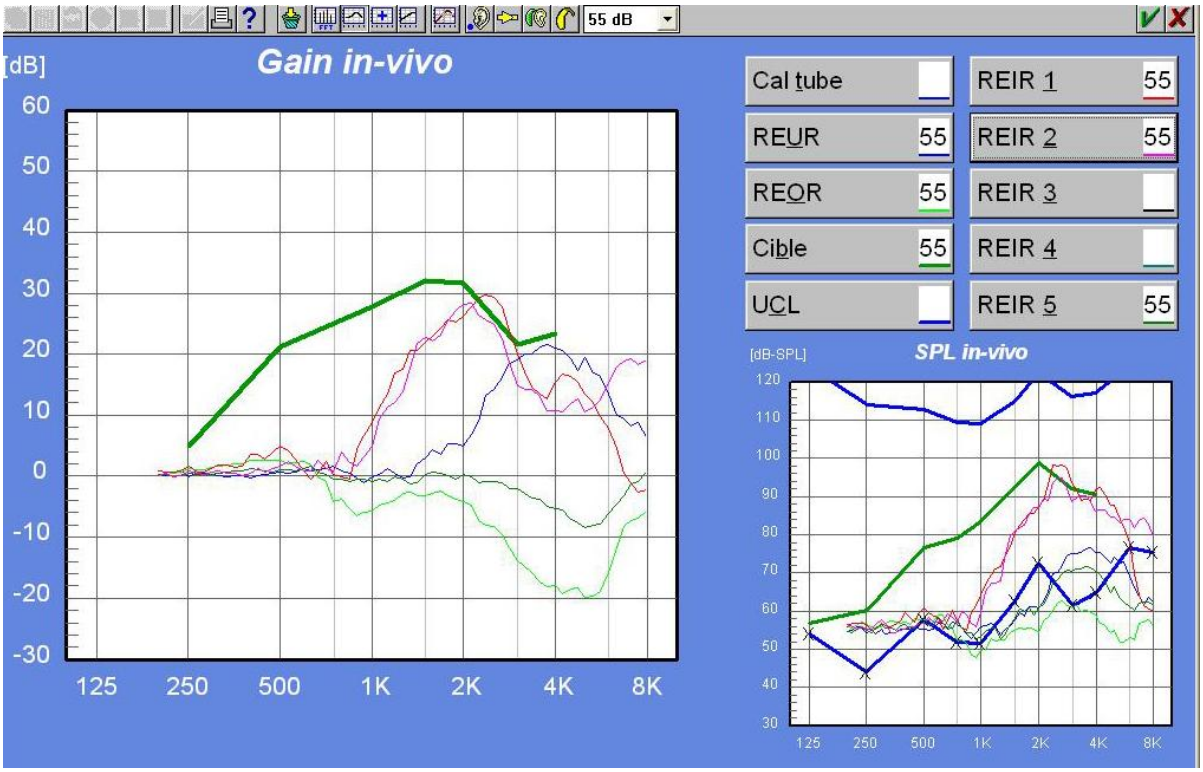


Figure 18 : Mesure In-vivo de l'oreille gauche du patient n°1

L'oreille droite présente une différence de gain importante sur le 1 KHz. Cette différence n'a pas pu être rattrapée par les réglages car l'évent demandé, un IROS, était plus important sur le RITE que le CIC. Pour l'oreille gauche, les deux courbes de gain sont très proches.

b. Le test de localisation

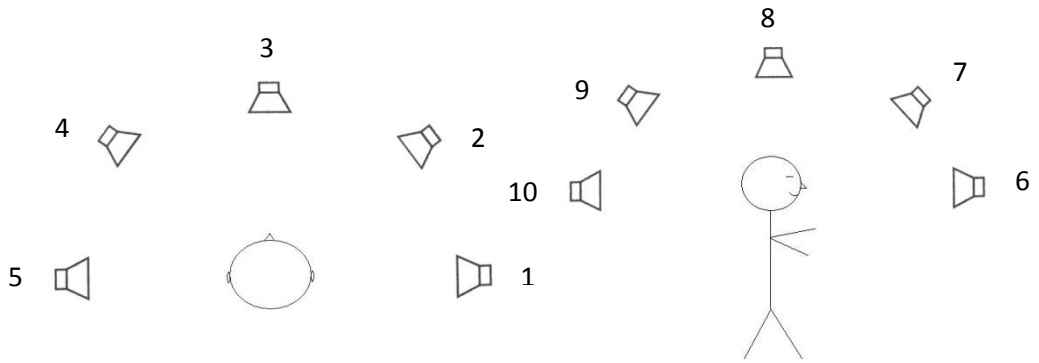


Figure 19 : Rappel de la numérotation pour la localisation spatiale

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	1

Figure 20 : Résultat du test de localisation avec une fréquence de 1500 Hz pour le patient n°1

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	0	0
8	1	0
9	1	0
10	1	1

Figure 21 : Résultat du test de localisation spatiale avec une fréquence de 3000 Hz pour le patient n°1

Les numéros de un à cinq représentent les différentes positions de la localisation horizontale. Pour les deux fréquences, dans le cas de ce patient représentatif, nous observons les mêmes résultats. Avec le CIC, le patient différencie chaque position. Avec le RITE, il ne différencie pas les positions intermédiaires.

Les numéros six à dix représentent les différentes positions de la localisation verticale. Nous observons une grande disparité des résultats entre les deux types d'aides auditives. Avec le CIC, le patient distingue quatre des cinq positions avec la fréquence de 1500 Hz et trois positions avec la fréquence de 3000 Hz. Avec le RITE, il ne distingue qu'une position quelle que soit la fréquence.

Globalement, pour le patient numéro 1, les résultats sont meilleurs avec le CIC. La différence est moins importante sur le plan horizontal que vertical.

c. La compréhension dans le bruit

Le test de compréhension dans le bruit a été réalisé en champ libre. Cela permet de se rapprocher des conditions réelles et de mieux répondre aux attentes des patients. Comme décrit dans la partie précédente, les mots et le bruit sont émis par les haut-parleurs de devant. D'habitude pour ce test, les mots sont émis par les haut-parleurs de devant et le bruit par ceux de l'arrière. Cette configuration ne reproduit pas la vie courante, une conversation au restaurant par exemple, et les résultats sont faussés. Dans la situation idéale, les mots devraient être émis par un haut-parleur devant et le bruit émis par des haut-parleurs devant et derrière, car dans la vie courante le bruit est rarement séparé du message que l'on veut écouter.

Rapport s/b	Compréhension En % d'erreurs
10	20%
5	24%
0	32%
-5	52%

Figure 22 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°1

Rapport s/b	Compréhension En % d'erreurs
10	20%
5	26%
0	34%
-5	60%

Figure 23 : Résultat du test de compréhension dans le bruit avec les RITE pour le patient n°1

Pour le patient n°1, les écarts ne sont pas très importants. Dans ce cas, le résultat est meilleur pour les CIC de 2% pour un rapport signal sur bruit de 10 à 0. Pour un rapport signal sur bruit de -5, l'écart augmente à 8%. Cela peut ne pas paraître important mais le résultat passe de 60% d'erreur pour le RITE contre 52% pour le CIC. Ainsi pour comprendre une phrase, il faut reconnaître au minimum 50% des mots, grâce à la suppléance mentale. Donc, avec un rapport signal sur bruit de -5, le patient pourrait comprendre une phrase avec les CIC mais pas avec les RITE.

2. Patient n°2

a. Mesures in-vivo

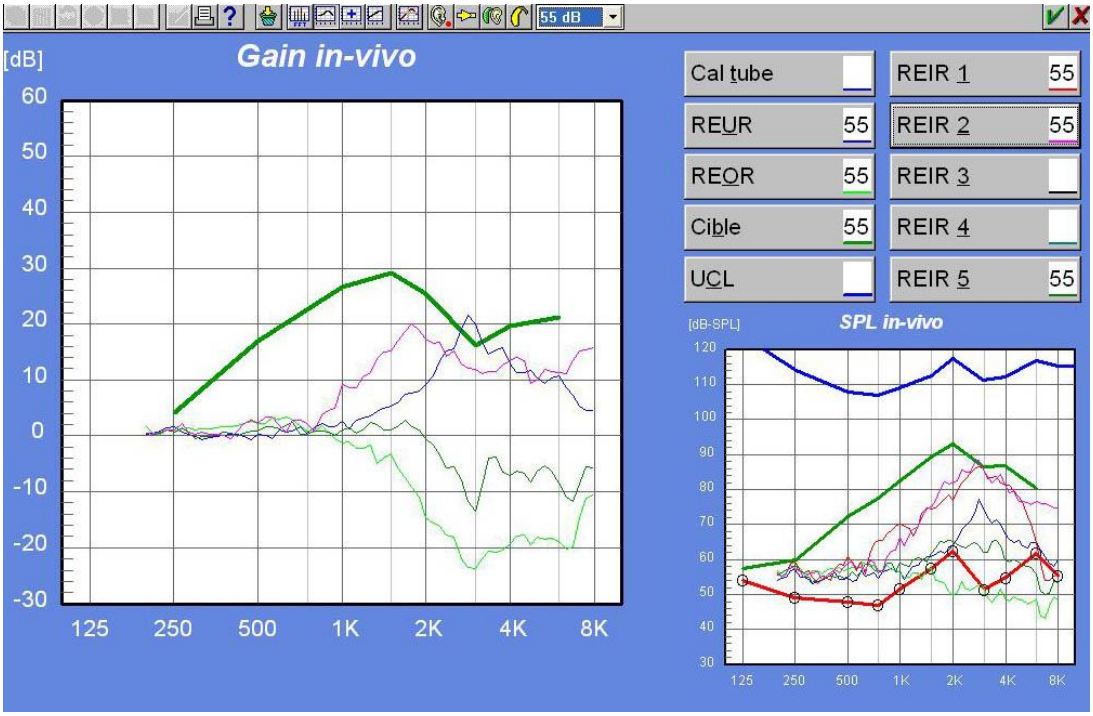


Figure 24 : Mesure in-vivo de l'oreille droit du patient n°2

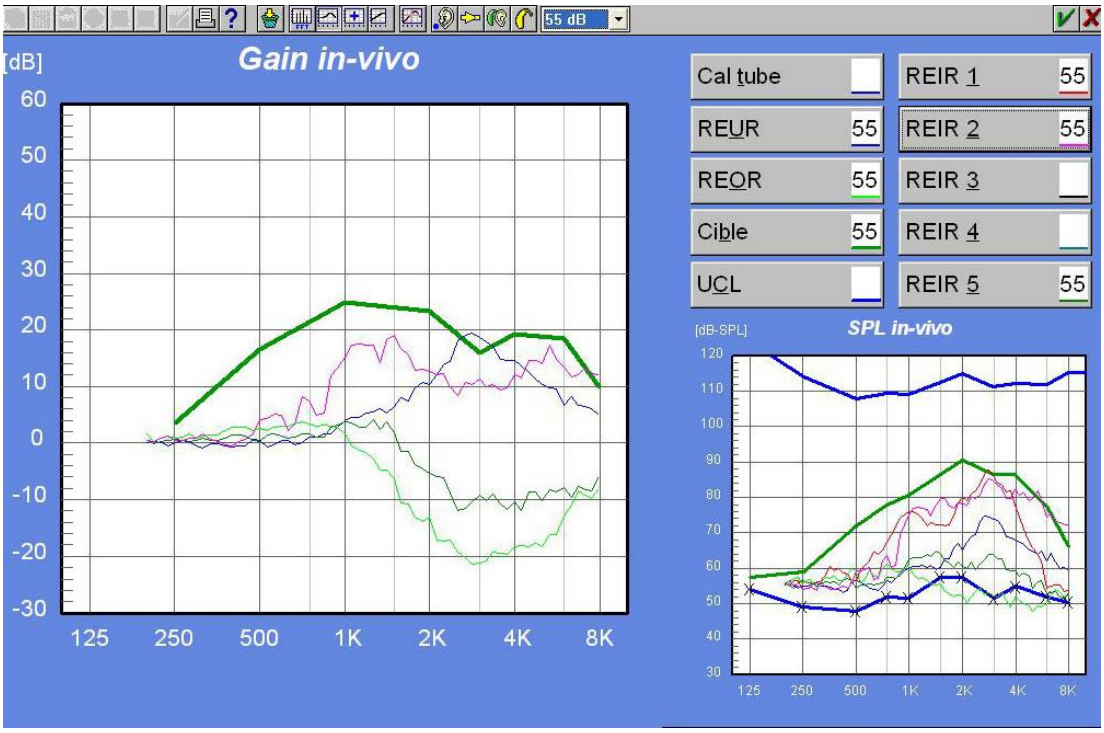


Figure 25 : Mesure in-vivo de l'oreille gauche du patient n°2

Pour ce patient, les courbes de gain sont parfaitement superposées malgré des courbes de pression acoustique qui ont de petites différences.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	0	0
2	1	1
3	1	0
4	1	1
5	0	0
6	1	1
7	0	0
8	0	0
9	1	0
10	1	1

Figure 26 : Résultat du test de localisation avec une fréquence de 1500 Hz pour le patient n°2

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	0
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	0
6	1	1
7	1	0
8	1	0
9	0	0
10	1	1

Figure 27 : Résultat du test de localisation avec une fréquence de 3000 Hz pour le patient n°2

Les résultats obtenus sont assez différents suivant la fréquence et le type d'aide auditive. Avec les CIC, le patient fait deux erreurs dans le plan horizontale contre trois avec les RITE pour la fréquence de 1500 Hz. Le constat est le même dans le plan verticale pour la fréquence de 1500 Hz.

Pour la fréquence de 3000 Hz, les résultats sont globalement meilleurs. Cela peut être expliqué par la mesure in-vivo : l'amplification est plus importante pour cette fréquence. Dans le plan horizontal, aucune erreur n'est relevée avec les CIC contre deux avec les RITE. Dans le plan verticale, une erreur est relevée avec les CIC contre trois pour les RITE.

Avec les RITE, le patient ne localise pas les sons qui s'élèvent, pour les deux fréquences.

c. Test de compréhension

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	6
5	14
0	30
-5	70

Figure 28 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°2

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	6
5	14
0	50
-5	79

Figure 29 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°2

Le nombre d'erreurs est le même quand le test est facile, pour des rapports signal sur bruit est de +10 et +5. Quand le test devient plus difficile, des différences sont observables. Pour un rapport signal sur bruit de 0, un écart de 20% d'erreurs est constaté. Pour un rapport signal sur bruit de -5, il y a un écart de 9%. Comme pour la localisation spatiale, les résultats sont meilleurs avec les CIC.

3. Patient n°3

a. Mesure in-vivo

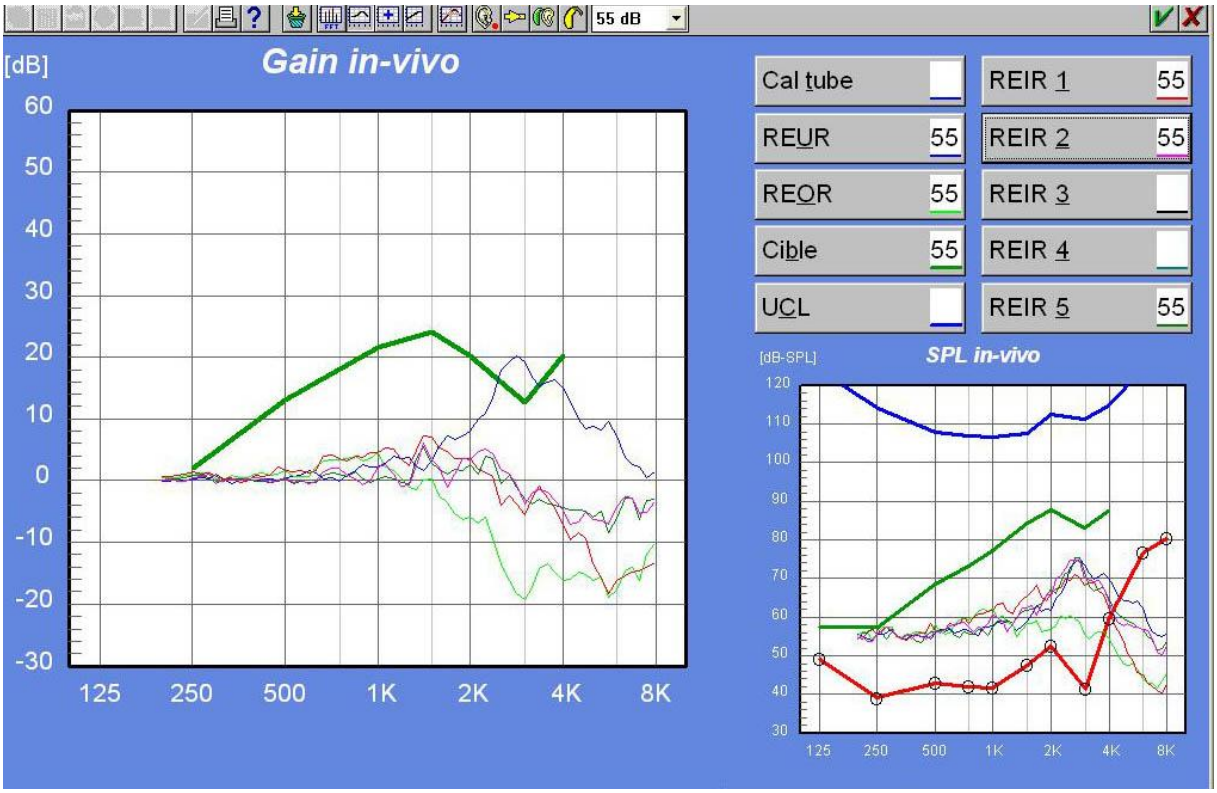


Figure 30: Mesure in-vivo de l'oreille droite du patient n°3

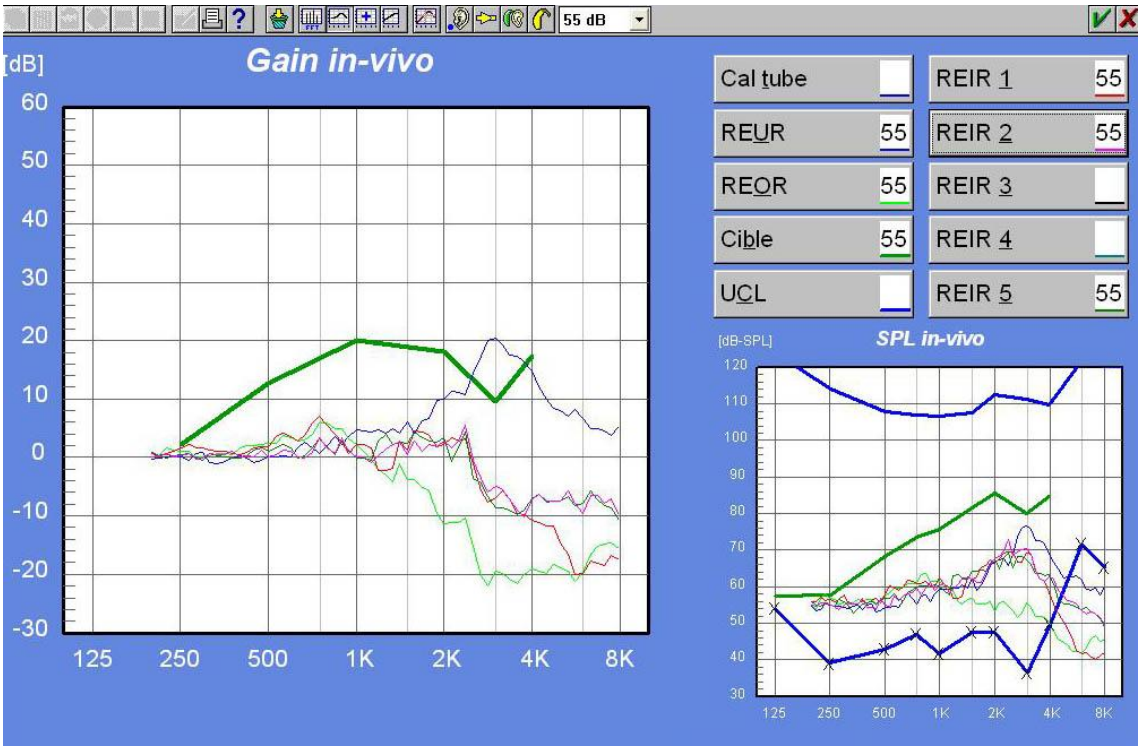


Figure 31 : Mesure in-vivo de l'oreille gauche du patient n°3

Les courbes de ce patient montrent des gains proches de zéro. Les mesures ont été recommencées plusieurs fois. Les courbes des pressions acoustiques ne sont pas cohérentes avec les courbes de gain. En effet, nous ne retrouvons pas les écarts observés entre le gain naturel de l'oreille, et les gains apporté par les aides auditives.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	0	0
3	1	1
4	0	0
5	1	1
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	1	0
10	1	0

Figure 32 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°3

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0
5	1	1
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	1	0
10	1	0

Figure 33 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°3

En localisation spatiale horizontale, il n'y a pas de différence de résultats entre les deux types d'aides pour la fréquence de 1500 Hz. Le patient ne distingue pas les positions intermédiaires. Pour la fréquence de 3000 Hz, il y a une différence d'une réponse en faveur du CIC.

En localisation spatiale verticale, aucune réponse n'a été donnée avec les RITE quelle que soit la fréquence. Deux bonnes réponses ont été données pour chacune des deux fréquences avec les CIC.

c. Test de compréhension

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	12
5	8
0	20
-5	30

Figure 34 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°3

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	4
5	8
0	24
-5	40

Figure 35 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°3

Les résultats du test de compréhension sont bons. Deux les deux cas, le patient serait capable de comprendre une phrase quel que soit le rapport signal sur bruit. Lorsque le test est facile, avec des rapports signal sur bruit de +10 et +5, le patient a obtenu de meilleurs résultats avec les RITE. Cependant, lorsque le test se complique, pour des rapports signal sur bruit de 0 et -5, les résultats sont meilleurs avec les CIC. Les écart vont de 4 à 10%, ce qui est important.

4. Patient n°4

a. Mesure in-vivo

Ce patient n'a pas eu de mesure in-vivo suite à des problèmes techniques. Les RITE ont été réglés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	1

Figure 36 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°4

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	0	0
8	1	1
9	1	0
10	1	1

Figure 37 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°4

Les résultats sont très différents entre les deux types d'aides auditives. Pour la fréquence de 1500 Hz, le patient obtient 9/10 avec les CIC contre 4/10 avec les RITE. En localisation spatiale horizontale, le patient, appareillé en RITE, ne différentie pas les

positions intermédiaires. En localisation spatiale verticale, le patient ne localise pas les sons.

Pour la fréquence de 3000 Hz, le patient obtient 8/10 avec les CIC contre 4/10 avec les RITE.

c. *Test de compréhension*

rapport s/b	compréhension
10	16
5	26
0	38
-5	50

Figure 38 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°4

rapport s/b	compréhension
10	20
5	30
0	46
-5	62

Figure 39 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°4

Le patient obtient de meilleurs résultats avec les CIC quel que soit le rapport signal sur bruit. La différence entre les deux types d'aides auditives augmente à mesure que le test devient plus difficile. L'écart augmente de 4 à 12%.

5. Patient n°5

a. Mesure in-vivo

Figure 40 : Mesure in-vivo avec les RITE pour le patient n°5

La mesure in-vivo de ce patient avec les CIC n'a pas pu être réalisée à cause d'un problème technique. Les réglages des RITE ont été affinés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

La courbe verte foncée représente la réponse réelle de l'oreille avec les RITE. La courbe verte représente la réponse calculé par le logiciel à partir des calculs de moyenne mesuré sur un échantillon de conduit.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0
5	1	1
6	1	1
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	1	1

Figure 41 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°5

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	0	0
3	1	1
4	0	0
5	1	1
6	1	0
7	0	0
8	1	0
9	1	0
10	1	1

Figure 42 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°5

Pour la fréquence de 1500 Hz, le patient a obtenu les mêmes résultats à une réponse près. En localisation horizontale, le patient ne distingue pas les positions intermédiaires. En localisation verticale, le patient ne distingue que la position avant et arrière.

Pour la fréquence de 3000 Hz, le patient a obtenu les mêmes résultats en localisation horizontale. En localisation verticale, les différences sont importantes. Le patient a obtenu 4/5 avec les CIC contre 1/5 avec les RITE.

c. *Test de compréhension*

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	10
5	24
0	32
-5	50

Figure 43 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°5

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	16
5	38
0	38
-5	60

Figure 44 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°5

Pour ce patient, les écarts sont importants même lorsque le test est facile, avec le signal plus fort que le bruit. Le patient a donné de meilleures réponses avec les CIC. Pour un rapport signal sur bruit de -5, le patient pourrait répéter une phrase avec les CIC mais pas avec les RITE.

6. Patient n°6

a. *Mesure in-vivo*

Ce patient n'a pas eu de mesure in-vivo suite à des problèmes techniques. Les RITE ont été réglés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	1
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	1

Figure 45 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°6

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	0
3	1	0
4	1	0
5	1	1
6	0	0
7	0	0
8	1	1
9	1	0
10	1	1

Figure 46 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°6

Les résultats sont différents suivant les aides auditives. En localisation horizontale, le patient distingue, avec les CIC, toutes les positions quelle que soit la fréquence. Avec les RITE, il ne distingue pas les positions intermédiaires.

En localisation verticale, le patient répond à quatre positions sur cinq avec les CIC tandis qu'avec les RITE, il ne donne qu'une bonne réponse pour la fréquence de

1500 Hz. Pour la fréquence de 3000 Hz, il y a moins de différence. Le patient donne trois bonnes réponses avec les CIC contre deux avec les RITE.

c. *Test de compréhension*

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	18
5	30
0	40
-5	56

Figure 47 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°6

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	24
5	36
0	48
-5	66

Figure 48 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°6

Les résultats sont différents suivant le type d'aides auditives comme pour les test de localisation. Pour des rapports signal sur bruit de 10 et de 5, l'écart est de 6% en faveur du CIC. Quand la difficulté augmente, l'écart augmente jusqu'à 10% pour un rapport signal sur bruit de -5 en faveur du CIC.

7. Patient n°7

a. Mesure in-vivo

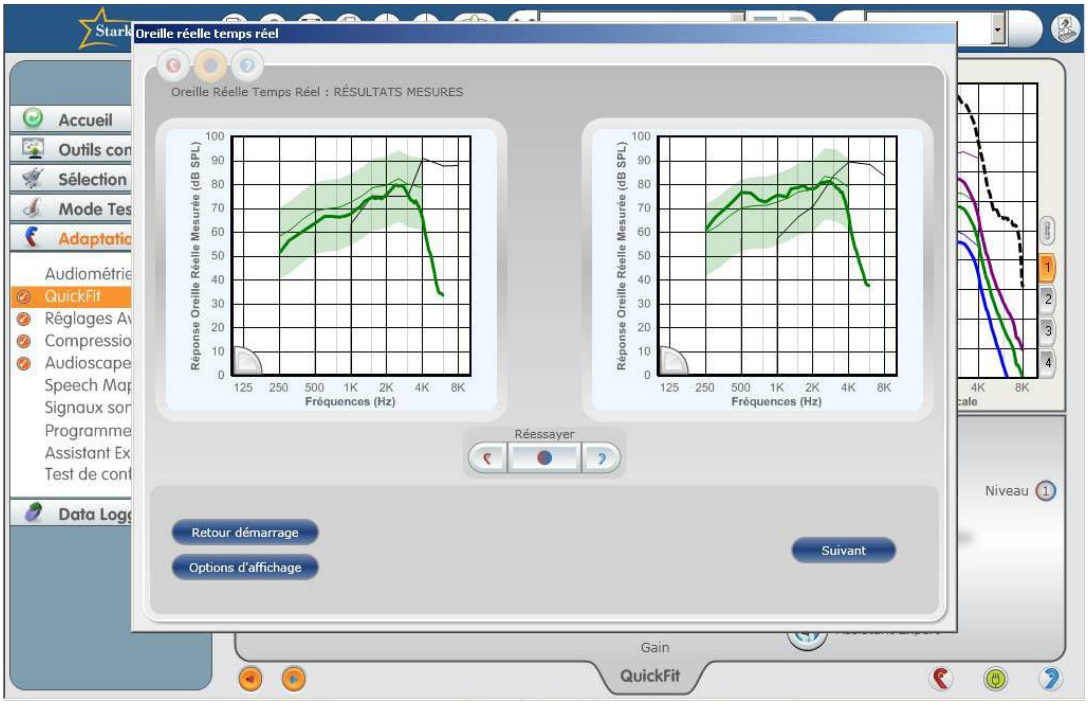


Figure 49 : Mesure in-vivo avec les CIC pour le patient n°7

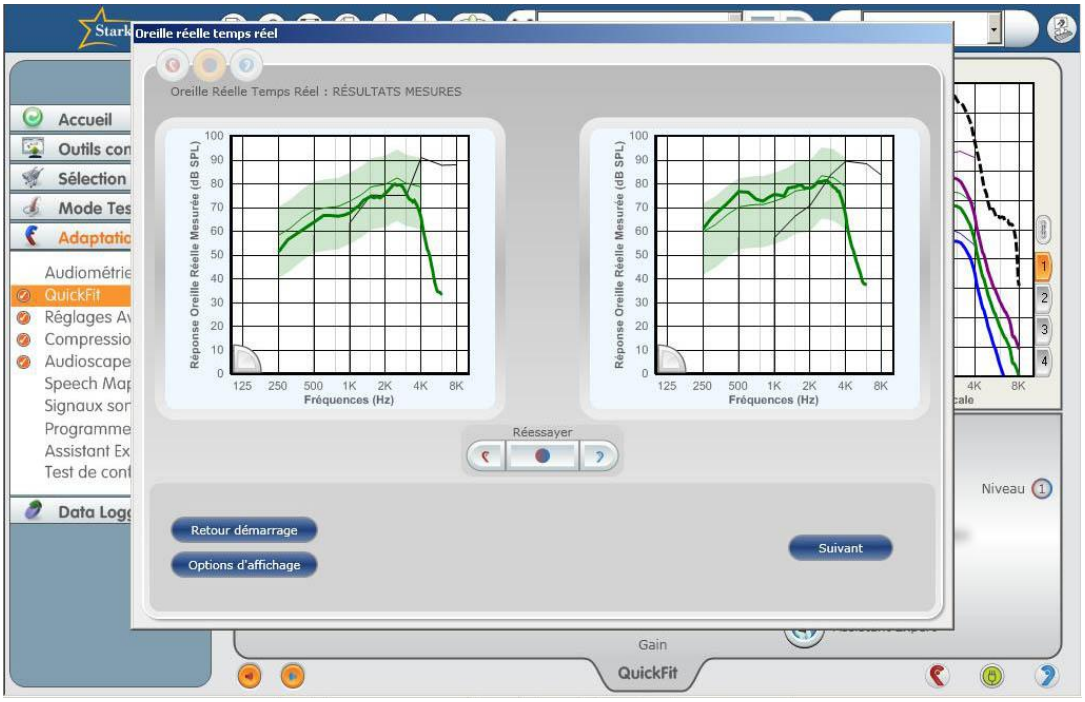


Figure 50 : Mesure in-vivo avec les RITE pour le patient n°7

Pour ce patient, les courbes avec les CIC et avec les RITE sont exactement les mêmes. Les coques des CIC et les micro-embouts des RITE ont la même influence sur l'acoustique du conduit.

Les RITE ont été réglés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	0	0
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	0	0
6	0	1
7	0	0
8	1	1
9	1	1
10	0	0

Figure 51 : Résultat du test de localsation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°7

HP	CIC	RITE directionnel
1	0	0
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	0	0
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	0	0
10	0	1

Figure 52 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°7

Pour ce patient, les résultats ne diffèrent que très peu suivant les aides auditives. Dans le plan horizontal, les résultats sont les mêmes quelle que soit la fréquence. Le patient ne distingue pas les positions latérales.

Dans le plan vertical, pour chaque fréquence, le patient donne une meilleure réponse de plus avec les RITE.

c. Test de compréhension

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	14
5	25
0	34
-5	45

Figure 53 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°7

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	36
5	40
0	56
-5	66

Figure 54 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°7

Malgré des résultats très proches pour les tests de localisations, les résultats des tests de compréhension sont différents et ne confirment pas les résultats précédents. Les tests de compréhension ont été commencés avec les CIC où les résultats sont globalement bon. Avec les RITE, le patient a fait 20% d'erreur en plus. Ces résultats sont à nuancer car le patient était malade. La fatigue a surement augmenté les écarts.

8. Patient n°8

a. Mesure in-vivo

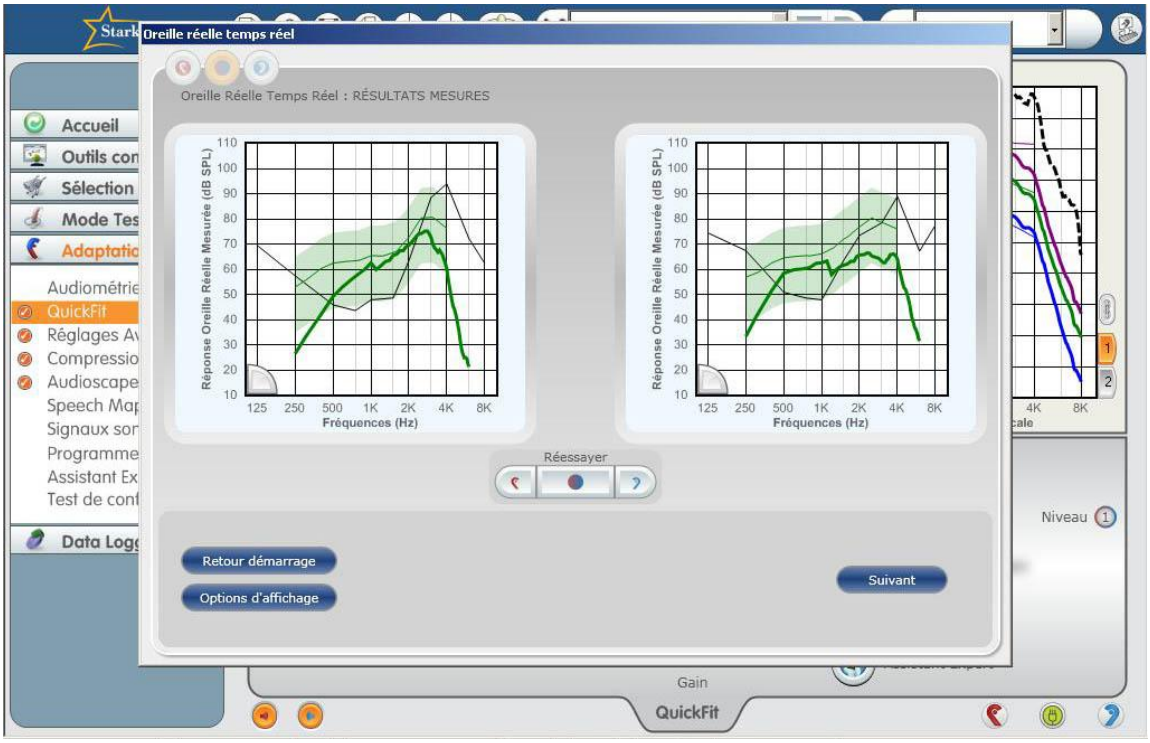


Figure 55 : Mesure in-vivo avec les CIC pour le patient n°8

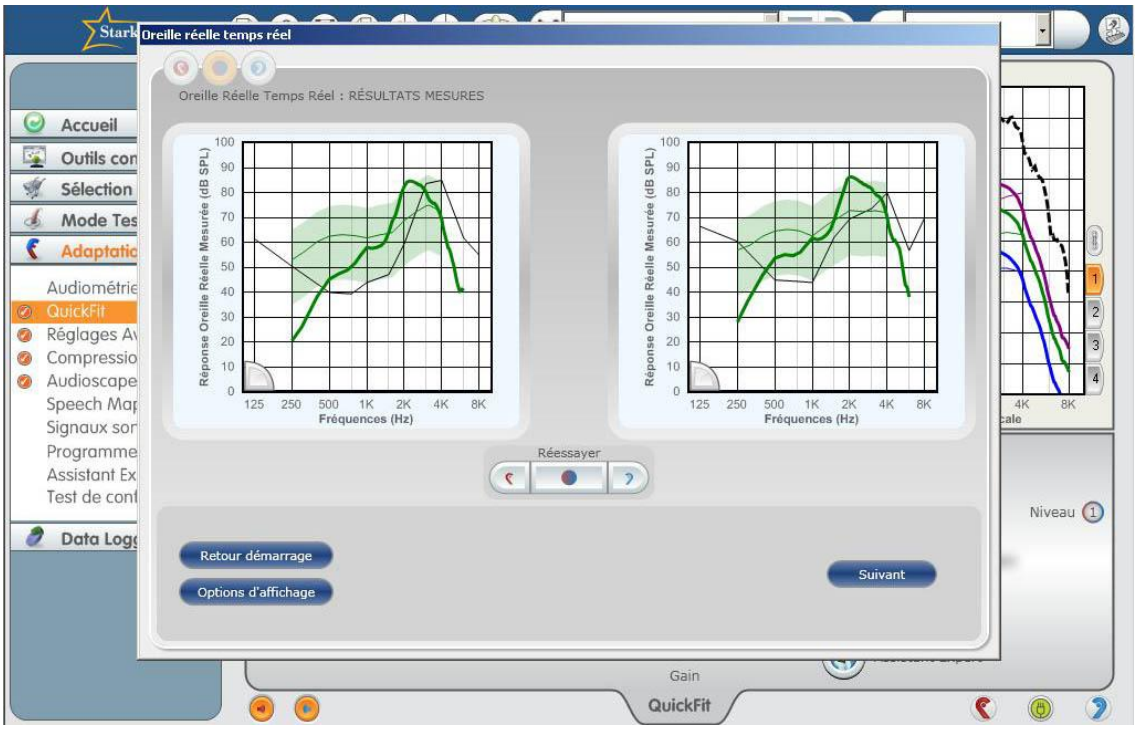


Figure 56 : Mesure in-vivo avec les RITE pour le patient n°8

Pour ce patient, il y a peu de différences entre le RITE et le CIC pour l'oreille droite (il y a une différence d'échelle entre les deux type d'aides auditives). Pour l'oreille gauche, on observe l'absence d'un pic entre le 2 KHz et le 4 KHz sur le CIC.

Les RITE ont été réglés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	0	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	0	0
6	1	1
7	1	0
8	0	0
9	0	0
10	1	0

Figure 57 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°8

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	0
2	1	1
3	1	1
4	0	1
5	1	0
6	1	1
7	1	0
8	1	0
9	0	0
10	1	0

Figure 58 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°8

En localisation spatiale horizontale, il y a peu de différence. Pour la fréquence de 1500 Hz, le patient distingue une position de plus avec les RITE qu'avec les CIC. Pour la fréquence de 3000 Hz, le patient distingue une position de plus avec les CIC qu'avec les RITE.

En localisation spatiale verticale, il y a plus de différences. Avec les RITE, il ne distingue que la position avant quelle que soit la fréquence. Avec les CIC, le patient distingue deux positions de plus pour la fréquence de 1500 Hz et trois positions de plus pour la fréquence de 3000 Hz.

c. Test de compréhension

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	16
5	26
0	38
-5	50

Figure 59 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°8

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	20
5	30
0	42
-5	60

Figure 60 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°8

Lorsque le test reste facile, pour un rapport signal sur bruit compris entre 10 et 0, l'écart est de 4% en faveur des CIC. Lorsque que le test se complique, pour un rapport signal sur bruit de -5, l'écart augment à 10% toujours en faveur des CIC.

9. Patient n°9

a. Mesure in-vivo

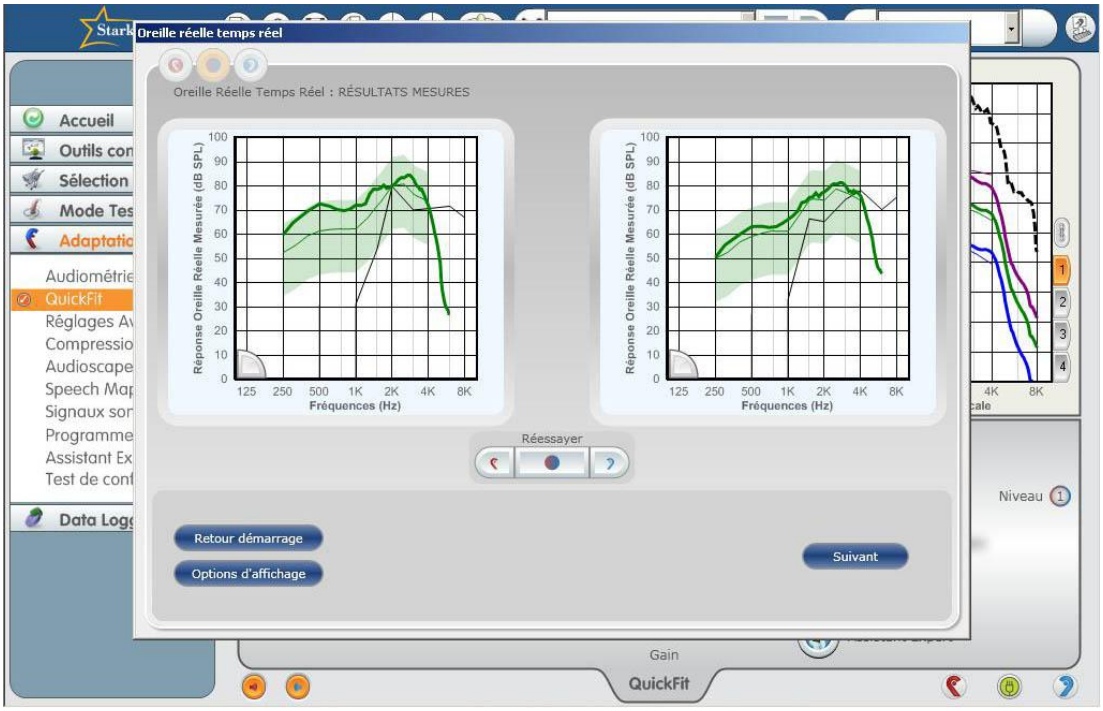


Figure 61 : Mesure in-vivo avec les CIC pour le patient n°9

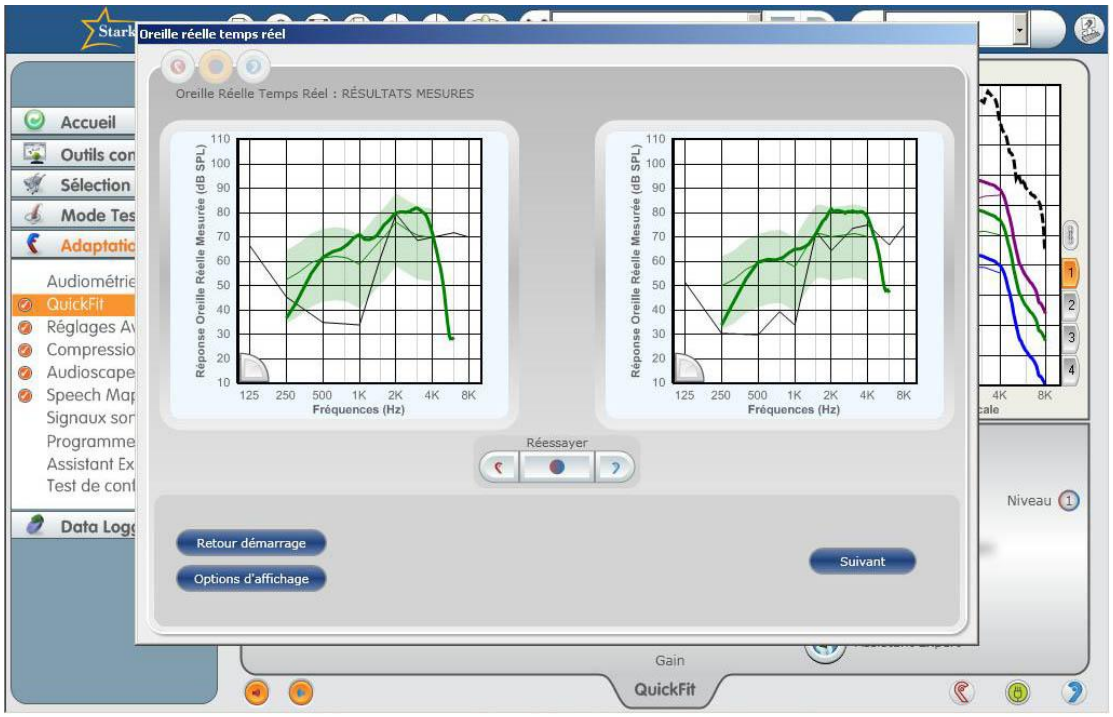


Figure 62 : Mesure in-vivo avec les RITE pour le patient n°9

Pour ce patient, on observe une différence sur les fréquences graves sur les deux oreilles entre les RITE et les CIC. Les évents sont des IROS et sont plus important sur les RITE, ce qui explique cette différence.

Les RITE ont été réglés avec le test audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. Test de localisation

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	0	1
6	1	1
7	1	0
8	0	0
9	1	0
10	1	1

Figure 63 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°9

HP	CIC	RITE directionnel
1	0	1
2	1	1
3	1	1
4	1	0
5	1	1
6	1	1
7	1	0
8	1	0
9	1	0
10	1	0

Figure 64 : Résultat du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°9

En localisation spatiale horizontale, le patient obtient les mêmes résultats avec les deux types d'aides auditives pour la fréquence de 3000 Hz. Pour la fréquence de 1500 Hz, le patient a donné une meilleure réponse avec les RITE qu'avec les CIC.

En localisation spatiale verticale, les résultats sont différents. Avec les CIC, le patient n'a pas fait d'erreur avec la fréquence de 3000 Hz. Avec la fréquence de 1500 Hz, le patient a fait une erreur. Avec les RITE, le patient ne donne que deux bonnes réponses quelle que soit la fréquence.

c. Test de compréhension

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	10
5	16
0	28
-5	46

Figure 65 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°9

Rapport s/b	Compréhension en % d'erreurs
10	16
5	22
0	34
-5	54

Figure 66 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°9

Plus le test devient plus difficile, plus l'écart de pourcentage d'erreurs augmente en faveur du CIC. Avec un rapport signal sur bruit de -5, le patient pourrait comprendre une phrase avec les CIC mais pas avec les RITE.

10. Patient n°10

a. *Mesure in-vivo*

Ce patient n'a pas eu de mesure in-vivo. Les RITE ont été réglés avec le test Audirama. Les fréquences sont équilibrées de la même manière que sur les CIC.

b. *Test de localisation*

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	1
2	1	1
3	0	0
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	0
8	1	0
9	0	1
10	1	1

Figure 67 : Réglage du test de localisation avec la fréquence de 1500 Hz pour le patient n°10

HP	CIC	RITE directionnel
1	1	0
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	0
7	1	1
8	1	0
9	1	1
10	1	1

Figure 68 : Réglage du test de localisation avec la fréquence de 3000 Hz pour le patient n°10

Pour la fréquence de 1500 Hz, ce patient a fait deux erreurs avec les CIC, une dans le plan horizontal et une dans le plan vertical. Avec les RITE, il a fait trois erreurs, une dans le plan horizontal et deux dans le plan vertical.

Pour la fréquence de 3000 Hz, il n'a fait aucune erreur avec les CIC dans les deux plans. Avec les RITE, il a fait trois erreurs, une dans le plan horizontal et deux dans le plan vertical.

Il y a peu de différence sur le plan horizontal mais plus sur le plan vertical.

c. *Test de compréhension*

rapport s/b	compréhension
10	26
5	28
0	46
-5	70

Figure 69 : Résultat du test de compréhension avec les CIC pour le patient n°10

rapport s/b	compréhension
10	28
5	30
0	52
-5	75

Figure 70 : Résultat du test de compréhension avec les RITE pour le patient n°10

Comme pour le test de localisation, il y a peu de différence entre les deux types d'aides auditives. Quand le test est facile, pour des rapports signal sur bruit de 10 et 5, le patient a obtenu 2 % d'erreur en moins avec les CIC. Quand le test se complique, l'écart augmente très peu, il passe à 6 et 5 % pour des rapports signal sur bruit de 0 et -5, toujours en faveur des CIC.

11. Résumé de tous les patients

a. Test de localisation

HP	CIC /10	RITE /10
1	7	8
2	9	5
3	9	7
4	8	5
5	6	7
6	5	5
7	6	0
8	5	2
9	7	2
10	9	7

Figure 71 : tableau récapitulatif du test de localisation spatiale pour la fréquence de 1500 Hz

HP	CIC /10	RITE /10
1	8	6
2	9	5
3	10	7
4	7	4
5	9	7
6	6	4
7	5	2
8	9	4
9	7	1
10	9	7

Figure 72 : tableau récapitulatif du test de localisation spatiale pour la fréquence de 3000 Hz

En localisation spatiale horizontale, les patients ont obtenu 7.8 bonnes réponses sur 10 en moyenne pour la fréquence de 1500 Hz avec les CIC. Avec les RITE, ils ont obtenu une moyenne de 6.4 sur 10. Les résultats avec les CIC sont supérieurs. Le constat est encore plus flagrant pour la fréquence de 3000 Hz. Avec les CIC, ils ont obtenu une moyenne de 8.6 sur 10 contre 5.8 sur 10 avec les RITE, malgré un niveau de pression acoustique arrivant au tympan quasiment le même entre les RITE et CIC.

En localisation spatiale verticale, les patients ont obtenu une moyenne de 6.4 sur 10 pour la fréquence de 1500 Hz avec les CIC. Avec les RITE, ils ont obtenu une moyenne de 3.2 sur 10, soit 50% d'erreur en plus avec les RITE. Le constat est le même avec la fréquence de 3000 Hz. Avec les CIC, ils ont obtenu une moyenne de 7.2 sur 10 contre 3.6 sur 10 pour les CIC.

Nous obtenons des différences notables sur le plan horizontal et très importantes sur le plan vertical quelle que soit la fréquence, ce qui est étonnant car les courbes de directivité des contours sont aujourd'hui aussi bonnes, voire meilleures, que celle du pavillon de l'oreille. Une hypothèse peut être faite suite aux résultats : la directivité des contours ne serait valable que dans le plan horizontal. Le pavillon a une forme en trois dimensions avec plusieurs vibrateurs comme le cymba de la conque, la conque… tandis que les microphones des aides auditives, quelle que soit la marque, sont toujours montés sur un même plan. De plus, les patients testés sont presbyacousiques. Ils ont été habitués à écouter avec leurs oreilles pendant plus de soixante ans, ce qui pourrait aussi expliquer ces différences. En effet, les fabricants essaient de se rapprocher de la directivité de l'oreille voire même de l'améliorer. Cependant, ils se basent sur une oreille moyenne. Or toutes n'ont pas les mêmes caractéristiques : les résonateurs du pavillon vont influencer des fréquences légèrement différentes. Les contours créent de nouvelles caractéristiques pour se repérer dans l'espace tandis que les intra-auriculaires semi profond conservent les caractéristiques du pavillon auxquelles sont habitués les patients.

b. Test de compréhension dans le bruit

Rapport s/b	Compréhension En % d'erreurs
10	14,8
5	22,1
0	33,8
-5	48,9

Figure 73 : Moyenne des résultats du test de compréhension dans le bruit des dix patients portant les CIC

Rapport s/b	Compréhension En % d'erreurs.
10	19
5	27,4
0	42,4
-5	62,2

Figure 74 : Moyenne des résultats du test de compréhension dans le bruit des dix patients portant les RITE

Les deux tableaux précédents, représentent la moyenne des résultats des dix patients avec les deux types d'aides auditives. Dans tous les cas, les résultats tournent à l'avantage de l'intra semi-profond. Comme le patient n°1, les écarts sont faibles, autour de 5%, quand le test est réalisé avec un rapport signal/bruit de 10 et 5 dB. Quand le bruit est au même niveau que le signal, l'écart augmente pour arriver à près de 10%. Enfin, quand les bruit est supérieur au signal de 5 dB, l'écart augmente encore, autour de 13.5%.

Les résultats des deux tests convergent vers la même conclusion. Les aides auditives de type intra-auriculaire semi-profond ont un avantage sur les contours à écouteur dans le conduit. Les fréquences choisies pour les tests de localisation spatiale n'ont pas été prises au hasard, 1 500 Hz et 3 000 Hz sont deux des trois fréquences majeures de la parole, la plus importante étant le 2 000 Hz. Il y aurait donc un lien

entre la compréhension et la localisation spatiale car les résultats convergent vers la même conclusion.

Conclusion

La question directrice de cette étude, était de connaître l'influence de la position du microphone sur l'appareillage, en particulier sur la localisation et la compréhension des patients. Comme décrit dans les rappels anatomiques, les patients ont des surdités de type endo-cochléaire, légères à moyennes, avec une presbyacousie. La liste des paramètres acoustiques a été dressée pour ne pas qu'ils interfèrent sur les résultats. Entre les deux types d'aides auditives pour chaque patient, ces paramètres acoustiques ont été conservés.

Les patients ont passé plusieurs tests. Le premier est un test de localisation avec les deux fréquences les plus prédominantes de la paroles. Le but est de voir si les résultats sont différents suivant le type d'appareil. Le second est un test de compréhension pour savoir s'il existe une différence de résultats entre les deux types d'aides et s'il existe une corrélation entre les deux tests.

Les résultats convergent tous vers la même conclusion. De fortes différences sont notées sur le test de localisation. L'ensemble des patients donne de meilleures réponses avec leurs CIC. La différence est plus importante dans le plan vertical que dans le plan horizontal. Les fabricants donnent uniquement des indications sur la directivité de leurs contours dans le plan horizontal, or les ondes se déplacent dans toutes les directions. A la vue des résultats, il semblerait que les patients aient plus de mal à se repérer dans le plan vertical. Ces résultats pourraient s'expliquer par plusieurs points :

- La forme particulière du pavillon de l'oreille en trois dimensions,
- Le fait que les patients se soient développés sans problèmes auditifs, la presbyacousie n'arrivant que tardivement.

Le test de compréhension donne les mêmes résultats que le test de localisation. Lorsque le bruit est inférieur au signal, la différence entre les deux types d'aides auditives n'est pas importante. Elle augmente lorsque le bruit est à la même intensité que le signal ou plus important. Il y aurait donc une relation entre la

localisation spatiale et la compréhension. Ce résultat pourrait s'expliquer par plusieurs points.

- Les contours auraient un déficit de directivité dans le plan vertical.
- Les CIC conservent la fonction du pavillon contrairement aux RITE qui essaient de reproduire la fonction du pavillon.

Il serait intéressant de refaire cette étude avec des patients appareillés en contours depuis l'enfance pour comparer les résultats. Cela permettrait de voir si l'hypothèse du développement se confirme.

Aujourd'hui, il existe de nouveaux types d'aides auditives. Le fabricant Gn Resound propose des intra-auriculaires avec microphone déporté dans le cymba de la conque, lorsqu'il y a un manque de place dans le conduit. Il propose également un model appelé Be, un intra-auriculaire avec un microphone déporté dans le cymba de la conque et une coque standard pour faire une adaptation immédiate. Il serait peut-être intéressant de faire une étude avec ces appareils.

Bibliographie

[1] Widex. Le son et l'audition, 2007

[2] Friant-Michel P., cours d'audioprothèse, première année DE d'audioprothésiste, 2007

[3] Parietti Winkler C., cours d'audiologie, première année DE d'Audioprothésiste, 2007

[4] Campo P., cours d'audiologie troisième année, DE d'audioprothésiste, 2010

[5] Simon C., cours d'audiologie, première année, DE d'audioprothésiste, 2007

[6] Site Internet : http://www.cochlée.org, consulté au mois de janvier 2010

[7] Pujol R., cours de neuroscience, faculté de médecine de Montpellier-Nîmes, avril 2005

[8] Fiche technique Starkey S-Series CIC et RIC, 2010

[9] Lefèbvre B. « l'intra-auriculaire semi-profond », cours d'audioprothèse, deuxième année DE d'audioprothésiste, 2008

[10] Cours de formation pour les audioprothésistes intégrant Audika.

[11] Dodele L., cours d'audioprothèse, troisième année, DE d'audioprothésiste, 2010

[12] Les Cahiers de l'Audition n°109 : « les listes de logatomes de Dodelé (LLD) », avril 2007

[13] Les Cahiers de l'Audition n°110 : « les test d'audiométrie vocale en présence de bruit de Dodelé », avril 2007

Annexe : Fiche technique des aides auditives Starkey S-Series

S series DRIVE ARCHITECTURE™ 11 • 9 • 7 • 5

Starkey.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

La plus large gamme de solutions auditives de haute technologie

Les aides auditives de la S Series bénéficient de la Drive Architecture, plate-forme ouverte multi-core associée à la nouvelle génération de traitement de signal BluWave 2.0. Sa technologie est conçue pour s'adapter aux modes de vie des patients les plus intenses.

MICRO-CONTOUR AVEC ECOUTEUR DEPORTE RIC & RIC AP (Pile 312)

CARACTERISTIQUES	RIC		RIC AP ABSOLUTE POWER	
S SERIES & E SERIES	Ecouteur 40 dB	Ecouteur 50 dB	Ecouteur 60 dB	Ecouteur 71 dB
Matrix maximum	110/40	115/50	123/60	131/71
Niveau de sortie maximum	Réduction jusqu'à 30 dB par pas de 2 dB (la plage varie selon les canaux)			
Compression	Plage de 24 dB par pas de 4 dB			
Facteur de compression	1:1 – 3:1 (la plage varie selon les canaux)			
Temps de mise en marche	Standard			

RIC Standard

RIC AP

INTRA-AURICULAIRES

CARACTERISTIQUES	INTRA-AURICULAIRES
Matrix maximum INTRA-CONQUE	131/71
Matrix maximum INTRA-CONDUIT	131/71
Matrix maximum SEMI-PROFOND	123/60
Niveau de sortie maximum	Réduction jusqu'à 20 dB par pas de 2 dB (la plage varie selon les canaux)
Compression	Plage de 24 dB par pas de 4 dB
Facteur de compression	1:1 – 3:1 (la plage varie selon les canaux)
Temps de mise en marche	Standard

S series DRIVE ARCHITECTURE™

11 - 9 - 7 - 5

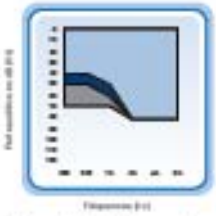
Intra-conque - Intra-conduit - Semi-profond

e series

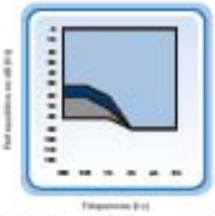
E Series 3

Intra-conque - Intra-conduit - Semi-profond

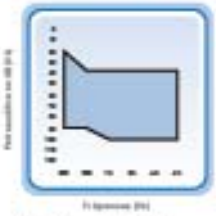
PLAGES D'APPLICATION



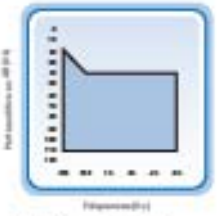
RIC Ecouteur 40 dB avec embout dôme ouvert (bleu clair), embout dôme fermé (bleu foncé) et embout sur-mesure (gris).



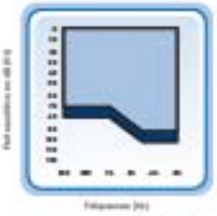
RIC Ecouteur 50 dB avec embout dôme ouvert (bleu clair), embout dôme fermé (bleu foncé) et embout sur-mesure (gris).



RIC AP Ecouteur 60 dB avec embout sur-mesure fermé.



RIC AP Ecouteur 71 dB avec embout sur-mesure fermé.



Intra-conque (bleu clair) et Intra-conduit, Semi-profond (bleu foncé).

S series DRIVE ARCHITECTURE™ — TABLEAU DES FONCTIONS

Starkey.

	S series 11 Intense	S series 9 Actif	S series 7 Dynamique	S series 5 Calme	e series 3
Clarté du son	Son haute-résolution optimum Réponse en fréquence 16 canaux - 16 bandes	Son haute-résolution Réponse en fréquence 12 canaux - 12 bandes	Réponse en fréquence 8 canaux - 8 bandes	6 canaux - 6 bandes	4 canaux - 4 bandes
PureWave Feedback Eliminator	○	○	○	○	○
Acoustic Scene Analyzer	Premium	Avancé	Standard	Basic	
AudioScape Précision	16 canaux adaptation environnementale	12 canaux adaptation environnementale	8 canaux adaptation environnementale	6 canaux adaptation environnementale	4 canaux adaptation environnementale
Contrôle Confort	○				
AudioScape	6	5	3 (on/off)	3 (on/off)	2 (on/off)
Parole	○				
Bruits mécaniques	○	○			
Paroles dans le bruit	○	○			
Vent	○	○	○	○	
Bruit	○	○	○	○	○
Calme	○	○	○	○	○
Niveaux de réglage	5	4			
Réglage des constantes de temps	○	○			
inVision Directionality	○	○	○	○	○
Solutions Téléphone Automatique	○	○	○	○	
Technologie T²	○	○	○	○	
Mesures in vivo "Temps réel"	○	○	○	○	
Speech Mapping 3D	○				
Speech Mapping	○	○	○	○	
Programmes de loisirs	○	○	○	○	
Musique	4 genres				
TV	○	○	○	○	
Rappel de rendez-vous	○				
Signaux sonores	○	○	○	○	○
Signal vocal	○				
Signal sonore	○	○	○	○	○
Self Check	○				
Audiométrie in vivo	○	○	○	○	
Auto Adaptation	○	○	○	○	
Test de confort	○	○	○	○	
Data Logging	○	○	○	○	
Programmes	2 ou 4	2 ou 4	2 ou 4	2 ou 4	2 ou 4

Couleurs disponibles RIC & RIC AP

Couleurs disponibles Intra-auriculaires

Plaque-circuit

Coque

Données Techniques ANSI ANSI S3.22 (2003)	RIC STANDARD		RIC AP	
	ECOUTEUR 40 dB	ECOUTEUR 50 dB	ECOUTEUR 60 dB	ECOUTEUR 71 dB
Niveau de sortie maximum (90 dB SPL)	110	115	123	131
Niveau de sortie maximum HFA (90 dB SPL)	102	109	115	108
Gain maximum (dB)	40	50	60	71
Gain maximum HFA (dB SPL)	31	44	52	64
Bande passante (Hz)	100 - 7900	100 - 7200	100 - 5400	100 - 5300
Fréquence de référence test HFA (kHz)	1.0 - 1.6 - 2.5	1.0 - 1.6 - 2.5	1.0 - 1.6 - 2.5	1.0 - 1.6 - 2.5
Gain de référence test HFA (dB)	36	31	39	49
Distorsion harmonique				
500 Hz	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
800 Hz	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
1600 Hz	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Bruit de fond équivalent (dB SPL)	< 25	< 25	<25	< 25
Test de la compression (55 – 90 ANSI)				
Temps d'attaque (ms)	20	20	20	20
Temps de retour (0.1-s) niveau normal court (ms)	5 - 150	5 - 150	5 - 150	5 - 150
Temps de retour (2.0-s) niveau normal long (ms)	5 - 150	5 - 150	5 - 150	5 - 150
Consommation (mA)	1.2	1.2	1.2	1.6
De repos (mA)	1.1	1.2	1.1	1.2
Estimation de la vie d'une pile (utilisation moyenne 16 h/j) Pile 312 Zinc Air	9 - 10 jours	7 - 10 jours	7 - 10 jours	5 - 9 jours

Données Techniques ANSI ANSI S3.22 (2003)	Semi-profond (Pile 10)	Micro CC (Pile 312)	Intra-conduit (Pile 312)	Intra-conque (Pile 13)
Niveau de sortie maximum (90 dB SPL)	110 - 123	110 - 131		115 - 121
Niveau de sortie maximum HFA (90 dB SPL)	106 - 126	106 - 126		111 - 126
Gain maximum (dB)	25 - 60	40 - 71		45 - 71
Gain maximum HFA (dB SPL)	31 - 65	36 - 65		41 - 65
Bande passante (Hz)	100 - 7000	100 - 7000		100 - 7000
Fréquence de référence test HFA (kHz)	1.0 - 1.6 - 2.5	1.0 - 1.6 - 2.5		1.0 - 1.6 - 2.5
Gain de référence test HFA (dB)	29 - 49	29 - 49		34 - 49
Distorsion harmonique				
500 Hz	< 3 %	< 3 %		< 3 %
800 Hz	< 3 %	< 3 %		< 3 %
1600 Hz	< 3 %	< 3 %		< 3 %
Bruit de fond équivalent (dB SPL)	< 28	< 28		< 28
Test de la compression (55 – 90 ANSI)				
Temps d'attaque (ms)	20	20		20
Temps de retour (0.1-s) niveau normal court (ms)	5 - 150	5 - 150		5 - 150
Temps de retour (2.0-s) niveau normal long (ms)	5 - 150	5 - 150		5 - 150
Sensibilité de la bobine d'induction magnétique				
HFA (ANSI-96) (dB SPL)	NA	99 - 109		94 - 109
Consommation (mA)	1.1 - 1.7	1.1 - 1.7		1.1 - 1.7
De repos (mA)	1.0 - 1.3	1.0 - 1.3		1.0 - 1.3
Estimation de la vie d'une pile (utilisation moyenne 16 h/j)	5 - 7 jours	7 - 10 jours		12 - 17 jours

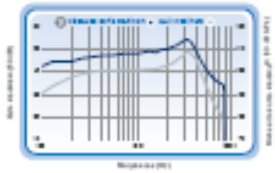
Conditions de mesure et Recommandations

Ces données techniques ont été obtenues en utilisant les normes ANSI S3.22 (2003), IEC 60118-7 (2005) et IEC 60118-0 (1983) avec l'amendement 1 (1994-01). Ces mesures ont été obtenues avec un équipement Analyseur en temps réel et un Système automatisé de vérification de test (SADVTS) propriété Starkey utilisant les tests basiques. Ces données peuvent changer si elles sont effectuées avec un autre équipement.

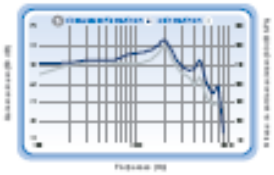
Les aides auditives peuvent être testées via le Mode Test du Logiciel Inspire. Par la lecture et le choix du Mode Test dans la barre de navigation de gauche. Cliquez sur le bouton Gain Maximum ou sur le bouton Gain Utilisateur sur l'écran de test pour configurer l'aide auditive, en désactivant les fonctions avancées. En raison des capacités du traitement du signal, vous devez effectuer ces mesures au Gain maximum ou Gain utilisateur pour comparer vos données avec ces caractéristiques.

NIVEAU IMMUNITE RADIO FREQUENCE : Les aides auditives en application à la norme IEC 60118-13 (2004-11) sont conformes aux 2 niveaux de classe d'immunité exigés : "Compatibilité pour la présence" et la classe "Compatibilité pour une utilisation personnelle".

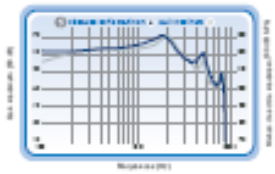
Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, RIC matrix 110/40.



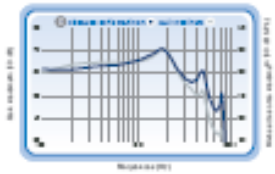
Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, RIC matrix 115/50.



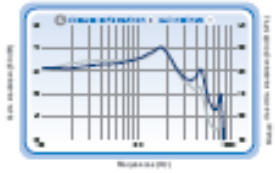
Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, RIC AP matrix 123/60.



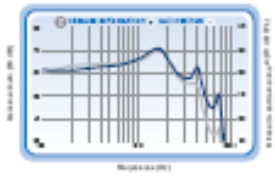
Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, RIC AP matrix 131/71.



Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, Semi-profond matrix 131/71.



Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, Intra-conduit matrix 131/71.



Courbes de niveau de sortie maximum (90 dB SPL) en bleu et gain maximum en gris, Intra-conque matrix 131/71.

Comparaison entre les intra-auriculaires semi-profond (CIC) et les contours à écouteur dans le conduit (RITE)

Résumé

L'idée directrice est de connaître l'influence de la position du microphone sur l'appareillage. Après de brefs rappels sur le fonctionnement de l'oreille et les différents types de surdité, les différents paramètres de réglages des aides auditives sont décrits.

Pour cette étude, l'amplification des CIC et des RITE sont comparées à l'aide de la mesure in-vivo. Le but étant d'avoir la même pression acoustique arrivant au tympan. Ensuite deux tests de localisation spatiale sont réalisés, le premier, dans le plan horizontal, et le second, dans le plan vertical. Enfin un test de compréhension dans le bruit est réalisé. Une dizaine de patient ont participé à cette étude.

En conclusion, il apparaît que les tests localisation spatiale et de compréhension dans le bruit converge vers les mêmes résultats. Le CIC aurait l'avantage sur le RITE.

Mots clés

CIC, RITE, intra-auriculaire, contour à écouteur dans le conduit, cavité résiduelle, mesure in-vivo, localisation spatiale, liste de Dodelé, compréhension dans le bruit, écouteur, réglage, fréquence.