



HAL
open science

Résultats d'appareillage en Lyric 2

Johanna Korchia

► **To cite this version:**

Johanna Korchia. Résultats d'appareillage en Lyric 2. Médecine humaine et pathologie. 2014. hal-02109728

HAL Id: hal-02109728

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02109728>

Submitted on 25 Apr 2019

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.



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-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

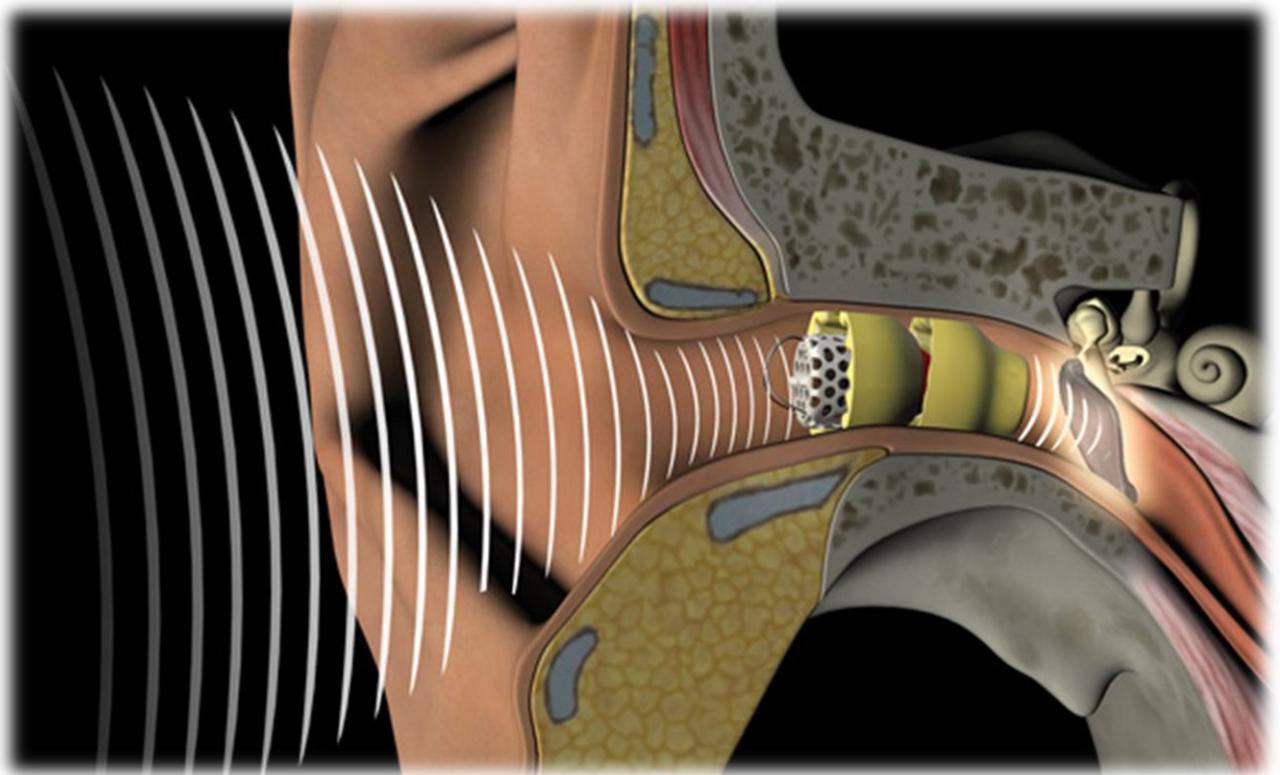
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**Université de Lorraine
Faculté de Pharmacie**

**RESULTATS D'APPAREILLAGE
EN LYRIC 2**



**Mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
d'Audioprothésiste**

Par KORCHIA Johanna

Année 2014

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier **Monsieur Joël Ducourneau** pour sa gentillesse, son dévouement et sa compétence. C'est un directeur toujours à l'écoute, bienveillant et qui donne à chaque instant le meilleur de lui-même pour faire de la scolarité de ses élèves trois années de bonheur.

Je remercie mon maître de stage et maître de mémoire **Monsieur Gilles Coscas**. C'est parce qu'il a cru, depuis le début, en l'efficacité du Lyric, que j'ai eu la chance de découvrir cette innovation. Monsieur Gilles Coscas a su me conseiller et me guider dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également **Mademoiselle Rebecca Deray**, audioprothésiste dans l'un des centres *Coscas Audition*. Parce qu'elle est l'audioprothésiste qui adapte le plus de Lyric en France, elle a une grande connaissance du sujet. Ses conseils et son aide m'ont été précieux dans la réalisation de mon étude pratique.

Un grand Merci à **Madame Sylvie Griffond** pour sa gentillesse et sa disponibilité. Durant ces trois années passées à l'école, elle n'a cessé de nous accompagner et ce, toujours avec le sourire.

Enfin, je remercie tous les professeurs qui sont intervenus pendant notre formation. Chacun a eu à cœur de nous transmettre son savoir et de nous donner les clés de la réussite.

Introduction

Le secteur de l'audioprothèse est en constante évolution : les fabricants consacrent en moyenne 10% de leur chiffre d'affaires annuel à la recherche, non seulement afin d'améliorer la technologie mais aussi afin de proposer des prothèses de plus en plus miniaturisées. Avec les appareils RIC (Receiver In the Canal), les intra-auriculaires ou encore les appareils péritympaniques tels que le Soundlens de Starkey, l'ère des appareils de correction auditive comparés au sonotone est définitivement terminée. Pourtant, nous sommes encore et toujours en recherche de plus de miniaturisation.

C'est dans cette optique qu'InSound Medical a travaillé, dès sa création en 1998 et pendant dix ans, au développement d'une prothèse auditive totalement invisible. Dans un article paru le 11 août 2000 dans le *Business Editors & Health/Medical Writers* [1], InSound Medical a d'ailleurs annoncé sa collaboration avec le groupe Microsemi Corporation afin de développer la plus petite et la plus « insoupçonnable » aide auditive jamais inventée, qui sera aussi la première prothèse à port continu.

En 2008, la Food and Drug Administration (FDA) valide la commercialisation du Lyric, qui sort alors pour la première fois aux Etats-Unis.

Le Lyric a donc de révolutionnaire qu'il est complètement invisible et à port permanent : il n'est ni besoin de le retirer tous les soirs, ni de le nettoyer et encore moins de changer la pile. Pour réussir cette dernière prouesse, il a été nécessaire de revenir à un traitement du signal analogique.

Les questions qui arrivent alors sur toutes les lèvres sont : « Comment peut-on revenir à un traitement du signal analogique, après avoir tant fait évoluer la technologie du numérique ? N'est-ce pas synonyme de régression ? Le Lyric offre-t-il de réels bénéfices audioprothétiques ? »

Ce mémoire a pour but de vérifier les résultats d'appareillages en Lyric 2. Un mémoire a déjà été rédigé par une élève de l'école de Paris, sous la tutelle de M.

Coscas également, afin de démontrer les avantages d'une insertion profonde [2]. Pour réaliser les tests, l'étudiant avait choisi de désactiver les traitements de signal et les réducteurs de bruit, afin de ne tester que l'apport d'une insertion profonde.

Avec M. Coscas, il a alors été décidé d'aller plus loin, et de comparer l'élément final que le patient avait dans l'oreille en fin d'adaptation : soit un appareil de correction auditive numérique, avec traitements du signal et réducteurs de bruit activés, soit un Lyric. Nous comparons donc les deux entités telles qu'elles sont dans l'oreille du patient, sans en modifier aucun paramètre.

Les différents tests ont été effectués dans l'optique de répondre à la problématique suivante : « La technologie analogique du Lyric porte-t-elle préjudice aux résultats audioprothétiques ? »

Après quelques rappels anatomo-physiologiques centrés sur l'oreille externe, nous présenterons le Lyric 2 dans son ensemble. Nous poursuivrons avec la démonstration des avantages acoustiques d'une insertion profonde. Enfin, nous exposerons l'étude pratique réalisée pour répondre à notre problématique afin d'y apporter une réponse précise.

Remerciements.....	1
Introduction.....	2
PARTIE I : RAPPELS ANATOMO – PHYSIOLOGIQUES	8
I. Le pavillon	10
1) Anatomie du pavillon.....	10
a) Situation.....	10
b) Configuration extérieure	10
c) Structure du pavillon	12
2) Physiologie du pavillon.....	14
a) Les rôles du pavillon.....	14
b) La localisation des sons	15
II. Le conduit auditif externe (CAE)	18
1) Anatomie du conduit auditif externe	19
a) Dimensions, forme et direction	19
b) Structure du CAE	19
2) Physiologie du CAE.....	21
III. La fonction de transfert de l’oreille externe	24
PARTIE II : PRESENTATION DU LYRIC 2	26
I. Présentation générale	27
1) Ce qu’est le Lyric	27
2) L’anatomie du Lyric 2	30
3) Traitement du signal	30
4) Données techniques (3).....	32
5) Le logiciel de gestion : ALPS	33
II. Critères de sélection des patients Lyric.....	33
1) La plage d’application.....	34
2) L’anatomie du conduit auditif.....	35

a)	Sa longueur	35
b)	Son diamètre	35
3)	Les antécédents médicaux, principalement O.R.L., et la condition de santé générale	36
a)	Les antécédents ORL.....	36
b)	La condition de santé générale	36
4)	Le style de vie.....	37
III.	Processus d'appareillage	37
1)	La prise de décision d'appareillage en Lyric.....	37
2)	L'adaptation d'un Lyric : les différentes manipulations.....	38
a)	La prise de mesures.....	38
b)	La mise en place	40
c)	Le retrait.....	41
IV.	Réglage et programmation d'un Lyric	44
1)	Les paramètres de réglage.....	44
a)	Le volume	45
b)	Le gain des sons faibles.....	45
c)	Le renforcement des aigus.....	46
d)	La coupure des graves	47
2)	Programmation par le patient	47
PARTIE III : THEORIE SUR LES AVANTAGES ACOUSTIQUES D'UN APPAREILLAGE EN LYRIC : BENEFICES D'UNE INSERTION PROFONDE.....		
		50
I.	Effets bénéfiques sur le gain.....	51
1)	Amélioration du gain	51
2)	Effets du positionnement et de l'orientation du microphone et de l'écouteur	53
II.	Effets bénéfiques sur d'autres paramètres acoustiques	54
1)	Réduction de l'autophonation et de l'effet d'occlusion	54

2)	Réduction de l'effet Larsen	56
3)	Déplacement dans les aigus de la fréquence de résonance du conduit 56	
4)	Préservation de la directivité.....	59
Partie IV : ETUDE PRATIQUE.....		61
1 ^{ère} PARTIE : Les tests		62
I.	Choix de l'échantillon.....	62
1)	Critères de sélection des patients.....	62
2)	Composition de l'échantillon	63
II.	Protocole	64
III.	Gain prothétique.....	66
1)	Profil audiométrique des patients	66
a)	Profil audiométrique tonal	66
b)	Profil audiométrique vocal	68
2)	Résultats de gain prothétique.....	69
IV.	Test d'intelligibilité en milieu bruyant : le test AVB de DODELE.....	72
1)	Objectifs du test	72
2)	Le matériel vocal.....	73
a)	Le signal : les LLD (Listes de Logatomes de Dodelé)	73
b)	Le bruit.....	75
3)	Passation du test	77
a)	Conditions de test	77
b)	Consignes de test.....	79
4)	Résultats	79
a)	Résultats en pourcentages d'intelligibilité	79
b)	Statistiques : moyenne et écart-type	82
2 ^{ème} PARTIE : Le questionnaire de satisfaction.....		84
I.	Intérêt du questionnaire	84

II. Elaboration du questionnaire	85
III. Présentation des résultats.....	86
1) Confort de port.....	86
2) Qualité d'écoute	87
3) Intelligibilité en milieu bruyant	91
4) Appréciation globale subjective du patient sur son appareillage.....	92
IV. Interprétation des résultats.....	92
1) Analyse et interprétation du questionnaire :	92
a) Le confort de port.....	92
b) La qualité d'écoute	93
c) L'intelligibilité dans le bruit	96
2) Analyse de l'appréciation globale subjective de l'appareillage	97
Conclusion.....	98
Table des illustrations.....	99
Table des tableaux.....	101
Bibliographie.....	102
Webographie.....	104
Annexes.....	105

PARTIE I : RAPPELS ANATOMO – PHYSIOLOGIQUES

Les rappels anatomo–physiologiques que je m’apprête à rédiger ont pour but de mettre en lumière les avantages acoustiques apportés par le positionnement du Lyric dans l’oreille.

En effet, nous verrons plus tard que le Lyric se différencie des autres prothèses auditives conventionnelles par de nombreux points, et notamment par son placement.

Le schéma ci–dessous montre le positionnement du Lyric dans le conduit auditif externe :

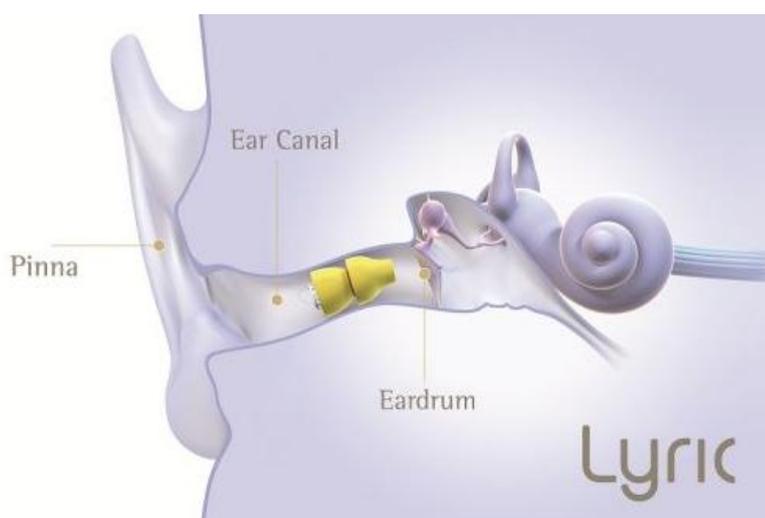


Figure 1– Le Lyric

Sans rentrer maintenant dans les détails de la composition de l’appareil, que nous verrons plus tard, on voit d’ores et déjà que le microphone se place après le pavillon et loin dans le conduit. Autrement dit, avant d’être capté par le microphone, le son traverse l’oreille externe.

Les rappels anatomo–physiologiques de ce mémoire visent donc à expliquer la physiologie et le rôle de l’oreille externe, composée du pavillon et du conduit auditif externe, lorsque cette dernière est traversée par une onde acoustique.

Les ouvrages d’anatomie sont multiples et tous les rappels faits ici sont tirés du livre qui s’intitule « Anatomie humaine descriptive, topographique et fonctionnelle, tome 1, tête et cou » rédigé par H. Rouvière et A. Delmas pour les éditions Masson. [3]

I. Le pavillon

Le pavillon, appelé aussi dans les anciens livres d'anatomie « auricule », est une lame plissée sur elle-même en divers sens, ayant dans son ensemble la forme d'un pavillon de cornet acoustique, destiné à recueillir les ondes sonores et à les diriger vers le conduit auditif externe.

De forme et de taille variables d'un individu à l'autre, ses dimensions sont de l'ordre de 60 à 65 mm dans l'axe vertical, et de 30 à 35 mm dans l'axe horizontal.

1) Anatomie du pavillon

a) Situation

Le pavillon est situé sur la partie latérale de la tête, en arrière de l'articulation temporo-mandibulaire, en avant de la région mastoïdienne et au-dessous de la région temporale. Il forme avec la paroi crânienne un angle céphalo-auriculaire (angle de Testut) ouvert en arrière d'environ 30°.

b) Configuration extérieure

On observe sur le pavillon une série de saillies alternant avec des dépressions qui circonscrivent une excavation profonde : la conque. Ces saillies sont l'hélix, l'anthélix, le tragus et l'antitragus.

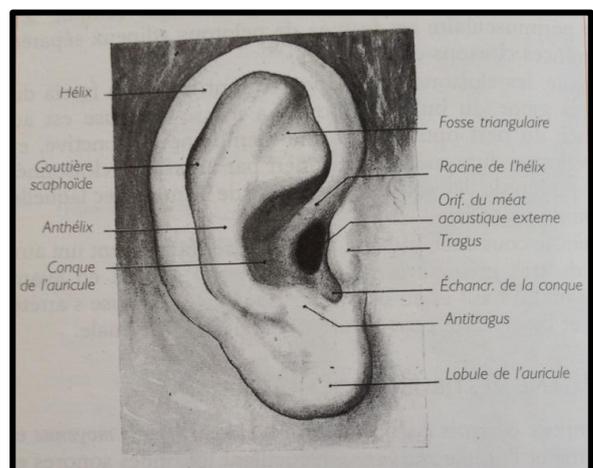


Figure 2– Anatomie du pavillon [3]

La conque :

Cette profonde cavité est délimitée :

- En avant par le tragus et la racine de l'hélix,
- En arrière par l'anthélix et l'antitragus,
- En haut par la branche inférieure de l'anthélix,
- En bas par le tragus et l'antitragus.

L'hélix :

C'est la plus excentrique des saillies du pavillon. Il commence dans la concavité de la conque par une crête oblique en haut et en avant, la racine de l'hélix. L'hélix longe ensuite la moitié supérieure de la circonférence du pavillon d'abord en avant, puis en haut, puis en arrière, et se termine dans la partie supérieure du lobule.

L'anthélix :

L'anthélix, concentrique à l'hélix, monte parallèlement au segment postérieur de celui-ci et se divise en haut en deux branches qui limitent une dépression appelée la fosse de l'anthélix ou encore la fosse triangulaire.

Entre l'hélix et l'anthélix se dessine un sillon curviligne, la gouttière scaphoïde.

Le tragus :

C'est une saillie aplatie, triangulaire, placée en avant de la conque et au-dessous de l'hélix et qui se projette à la manière d'un opercule en avant et en dehors du méat auditif.

L'antitragus :

C'est une petite éminence triangulaire située en-dessous de l'anthélix et en arrière du tragus. Tragus et antitragus sont séparés par une échancrure profonde en forme de V, l'échancrure de la conque dite aussi incisure intertragienne.

Le lobule :

Le lobule est un repli cutané sans cartilage situé sous dans la partie inférieure du pavillon, sous l'antitragus.

c) Structure du pavillon

Le pavillon est constitué par un fibro-cartilage, des ligaments, des muscles et un revêtement cutané.

Le cartilage :

C'est une lame mince élastique de 0.5 à 1 mm d'épaisseur, qui occupe toute l'étendue du pavillon excepté le lobule. Ses reliefs suivent ceux du pavillon, cependant il se caractérise par quelques structures qui ne sont visibles qu'une fois le revêtement cutané retiré. Ainsi, il existe entre le tragus et l'hélix une solution de continuité qui va en s'élargissant vers la paroi supérieure du conduit auditif externe, alors que le cartilage du pavillon se prolonge en dedans et forme la paroi antéro-inférieure du conduit auditif externe.

Le schéma ci-dessous nous montre les particularités du cartilage :

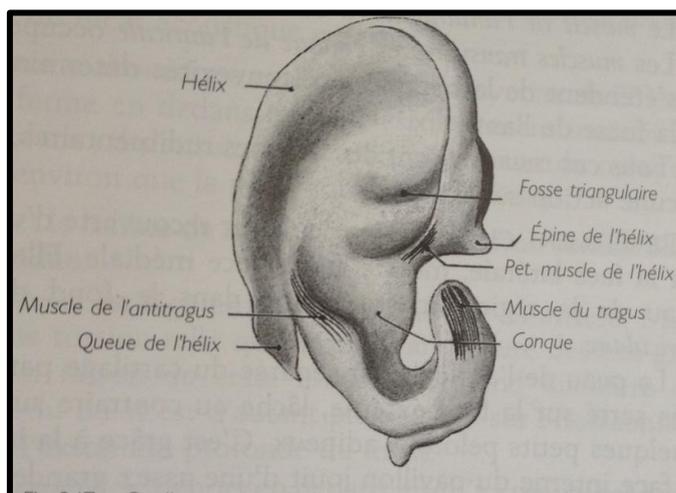


Figure 3– Muscles du Pavillon [3]

- L'épine de l'hélix : petite saillie implantée sur l'hélix en regard du bord supérieur du tragus
- La gueue de l'hélix : languette cartilagineuse séparée de l'extrémité inférieure de l'anthélix par une profonde échancrure

Les ligaments :

On distingue les ligaments du pavillon en deux groupes : les ligaments extrinsèques et les ligaments intrinsèques.

- Les ligaments extrinsèques : ils rattachent le pavillon à l'os temporal.
- Les ligaments intrinsèques : ils maintiennent les reliefs du cartilage et relient entre elles les saillies que celui-ci présente.

Les muscles :

De même que pour les ligaments, on distingue deux groupes de muscles : les muscles extrinsèques et les muscles intrinsèques.

- Les muscles extrinsèques ou muscles auriculaires : Il en existe trois : l'antérieur, le postérieur et le supérieur. Très minces, ils sont destinés à être dilatateurs du conduit auditif externe et orientateurs du pavillon. Ces actions sont en réalité nulles chez l'homme en raison de l'atrophie de ces muscles.
- Les muscles intrinsèques : Ils s'étendent du cartilage à la peau du pavillon, ou bien relient deux parties du cartilage. Au nombre de six, ces muscles sont des organes rudimentaires, en voie de régression, et n'ont aucune action sur le pavillon.

Le revêtement cutané :

La peau est fine et adhérente au cartilage sur la face latérale (externe), alors qu'elle est plus épaisse et mobile sur la face médiale.

Elle est séparée du cartilage par un tissu cellulaire sous-cutané très serré sur la face externe, et lâche au contraire sur la face interne. C'est grâce à la laxité de ce tissu que la peau de la face interne du pavillon jouit d'une assez grande mobilité.

2) Physiologie du pavillon

a) Les rôles du pavillon

Le pavillon est la première structure anatomique de l'oreille que le son rencontre : il joue donc un rôle essentiel dans le cheminement de l'onde sonore du monde extérieur jusqu'au tympan.

De par sa forme, il a un rôle de captation et de redirection du son vers l'intérieur du conduit : c'est une véritable antenne acoustique qui sert à la diffraction des ondes. Afin de capter les rayons sonores de façon optimale, l'humain va se tourner instinctivement en direction de la source sonore, la mobilité de son pavillon due aux muscles extrinsèques étant rudimentaire (contrairement à celle des animaux).

Les schémas ci-après modélisent le comportement des rayons sonores lorsqu'ils rentrent en contact avec le pavillon :

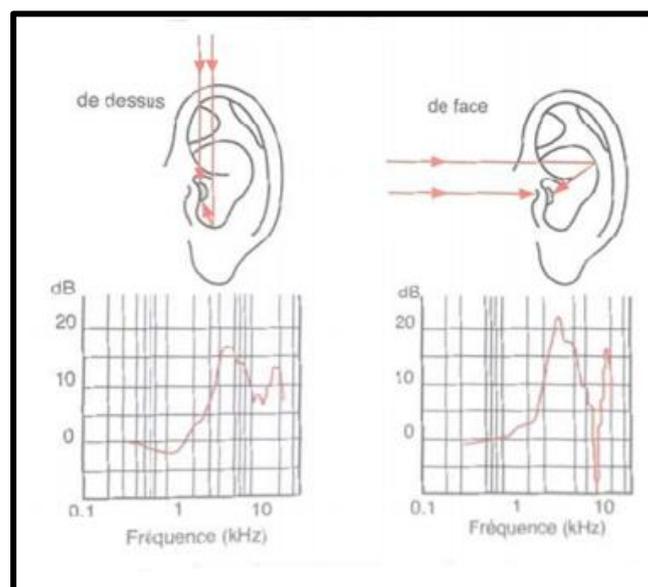


Figure 4– Amplification et comportement de l'onde sonore en fonction de la position de la source [4]

Les différents reliefs du pavillon lui confèrent aussi un rôle d'amplificateur. En effet, la conque constitue un résonateur qui amplifie d'environ 10 dB les fréquences autour de 5000 Hz. La profondeur de la conque est un paramètre qui influence ce phénomène de résonance [5]. Enfin, le pavillon joue un rôle essentiel dans la localisation des sons.

b) La localisation des sons

La localisation spatiale se réfère à la capacité d'un individu à identifier l'emplacement ou l'origine d'une source sonore, ainsi que sa direction et son éloignement. Le système auditif utilise trois principaux indices pour la localisation des sons :

- La différence interaurale de temps (ITD),
- La différence interaurale de niveau sonore (ILD),
- Les informations spectrales de pics et creux spectraux.

Si les deux premiers indices sont apportés grâce à la stéréophonie, le troisième est quant à lui directement lié à ce qu'on appelle l'effet pavillonnaire.

Le pavillon réfléchit les hautes fréquences (celles dont la longueur d'onde est inférieure aux dimensions de l'oreille externe). La latence de ces réflexions est fonction de l'incidence et de la direction de la source sonore. Ces réflexions interagissent entre elles et créent ainsi des pics et des creux spectraux. La fréquence avec laquelle ces pics et ces creux spectraux vont apparaître va donner des indications précises sur la provenance de la source sonore. [6]

Une thèse qui s'intitule « Holophonie binaurale » a été rédigée par Raphaël Greff, candidat à l'obtention du grade de docteur de l'Université de Paris VI en septembre 2011. Elle traite de la spatialisation sonore sur réseaux de haut-parleurs circumauraux (casques dotés de larges oreillettes qui englobent le lobe de l'oreille et prennent appui sur le crâne). Son auteur y explique l'apport des pics et des creux spectraux dans la localisation sonore. Je me propose ici de résumer ses dires à ce sujet.

Résumé de la thèse sur « l'holophonie binaurale » à propos des pics et des creux spectraux [7] :

Définition de l'holophonie binaurale : L'holophonie est une technique de reproduction sonore qui consiste à recréer un champ acoustique dans un volume à partir de la connaissance du champ acoustique à la surface délimitant ce volume.

La capacité de l'homme à localiser les sons est grandement liée à sa morphologie. En effet, les modifications que subit une onde sonore, générée par une source sonore placée en une position donnée de l'espace, et se propageant jusqu'à l'entrée des conduits auditifs, constituent un codage du positionnement de cette source.

Les indices acoustiques de localisation, appelés en anglais *Head-Related Transfer Functions* (HRTF), littéralement les fonctions de transfert liées à la tête, sont spécifiques à chaque incidence, et constituent l'empreinte des transformations subies par le son lorsqu'il rencontre les obstacles formés par le torse, la tête et les oreilles. Chaque individu possède ses propres HRTF, relatives à sa propre anatomie.

Les HRTF caractérisent la propagation acoustique de la source vers les oreilles d'un auditeur. Les différences de temps d'arrivée (ITD) et de niveau de pression (ILD) au niveau des tympans sont des indices de localisation primordiaux pour estimer de la latéralité d'une source, mais sont insuffisants pour la situer précisément en élévation. Le contenu spectral des HRTF contient les indices permettant cette discrimination, notamment les pics et creux spectraux en hautes fréquences induits par les effets de diffraction au sein des pavillons d'oreille.

Les HRTF traduisent donc les effets de filtrage réalisé par le corps tout entier. Elles permettent de définir deux classes d'indices spectraux : des indices spectraux monauraux, qui s'appuie sur le fait que le système auditif pourrait analyser l'information spectrale présente à chaque oreille indépendamment, ainsi que les indices spectraux interauraux, qui seraient liés à une analyse conjointe des spectres monauraux ou à partir de la différence interaurale de spectre (ISD pour *Interaural Spectral Difference*).

Le propos est ici de se pencher sur le **rôle des indices spectraux monauraux**.

Les travaux qui ont examiné la capacité d'un auditeur à localiser les sons en utilisant l'information présente à une seule oreille montrent à la fois la

suffisance et la nécessité des indices spectraux monauraux. Ces études ont généralement consisté en des tests de localisation menés sur des sujets sourds d'une oreille (que nous qualifierons de « déficients ») ou des sujets sains dont une oreille avait été rendue sourde artificiellement (que nous qualifierons de « dégradés »). Elles montrent que la localisation monaurale, à l'aide d'une seule oreille, est moins précise que la localisation binaurale, à l'aide de deux oreilles, mais qu'il est possible que des sujets déficients estiment l'élévation d'une source aussi bien que des auditeurs binauraux normaux et que des auditeurs dégradés peuvent apprendre à discerner l'élévation aussi précisément que des auditeurs binauraux normaux non entraînés.

La localisation monaurale semble être plus précise pour une source ipsilatérale, c'est-à-dire positionnée du côté de l'oreille intacte par rapport au plan médian, que pour une source contralatérale, c'est-à-dire placée du côté opposé. Ceci soulève la question de la contribution relative de l'information spectrale ipsi et contralatérale. En remplissant les cavités des deux pavillons, la capacité de localisation en élévation et la distinction avant/arrière sont abolies. En remplissant les cavités de l'oreille ipsilatérale, la précision de localisation en élévation et la discrimination entre les hémisphères avant et arrière sont fortement dégradées. Cependant, lorsque les reliefs d'une seule oreille sont estompés et que la source est positionnée du côté contralatéral par rapport à celle-ci, la dégradation de la localisation en élévation et de la distinction avant/arrière est moins marquée, et l'est d'autant moins que la source s'éloigne du plan médian. Il semblerait donc, en situation d'écoute binaurale normale, que plus une source est latéralisée, plus le système auditif se sert de l'information spectrale monaurale de l'oreille ipsilatérale.

Relation entre indices spectraux et identification du timbre :

La localisation auditive à partir des indices spectraux laisse supposer que le système auditif effectue la déconvolution du spectre de la source et des indices spectraux liés à la morphologie et à la position de la source.

Plusieurs études ont mis en évidence que de meilleures performances de localisation sont obtenues lorsque le stimulus est une voix familière plutôt qu'une voix inconnue. Il se passe donc une identification conjointe de la position d'une source sonore et de son timbre.

Précisions sur la nature des indices spectraux :

L'effet de filtrage induit par les pavillons engendre de fortes variations au niveau des spectres présents aux oreilles, à savoir des pics et des creux de fortes amplitudes. On peut expliquer ces variations dans le spectre des HRTF de deux

manières différentes : soit on voit le pavillon d'oreille comme un résonateur, les pics et les creux sont alors respectivement les résonances et anti-résonances du pavillon ; soit on voit le pavillon comme un réflecteur, les pics et les creux étant alors induits respectivement par des réflexions constructives et destructives sur le pavillon.

Des études ont montré que la localisation auditive serait sensible principalement à la position des résonances des indices spectraux, et d'autres que ce serait plutôt les anti-résonances qui gouverneraient la localisation.

Quelque soit la nature exacte des indices spectraux, des zones spectrales ont pu être associées à différentes dimensions spatiales et différentes parties morphologiques.

Ainsi :

- Les informations spectrales perceptivement prédominantes pour localiser des sources dans le plan médian sont situées dans les hautes fréquences. Suivant l'axe haut/bas, elles se situeraient dans la bande de 6 kHz à 12kHz, suivant l'axe devant/derrière dans la bande 4 kHz à 16 kHz. Ces indices sont a priori liés aux modifications spectrales engendrées par la diffraction de l'onde sonore sur les pavillons d'oreille.
- Les informations spectrales perceptivement prédominantes pour localiser des sources dans le plan frontal sont situées dans les basses fréquences, en dessous de 3 kHz, et associées au phénomène de diffraction par le corps et la tête.

Conclusion :

Cette thèse sur l'holophonie binaurale a donc permis de préciser le rôle du pavillon, et plus particulièrement des indices spectraux monauraux, dans la localisation spatiale.

II. Le conduit auditif externe (CAE)

Le conduit auditif externe est un canal qui s'étend de la conque jusqu'au tympan.

1) Anatomie du conduit auditif externe

a) Dimensions, forme et direction

Le conduit auditif externe mesure en moyenne 25 mm et son diamètre varie le long du conduit. En effet, d'une manière générale le conduit est légèrement aplati d'avant en arrière et il subit, de dehors en dedans, une torsion. Le calibre diminue progressivement de dehors en dedans puis augmente ensuite jusqu'au tympan. Le grand diamètre mesure en moyenne 8 mm et le petit diamètre est de 6 mm.

Le CAE n'est pas rectiligne mais décrit des sinuosités à la fois dans le plan horizontal et dans le plan vertical. Composé de deux coudes, il a une forme de « S » dont la direction générale est oblique de dehors en dedans et d'arrière en avant.

b) Structure du CAE

Le CAE est constitué par une charpente fibro-cartilagineuse au niveau de son tiers externe, et par une charpente osseuse au niveau de ses deux tiers internes. Il est intégralement recouvert par un prolongement de la peau du pavillon.

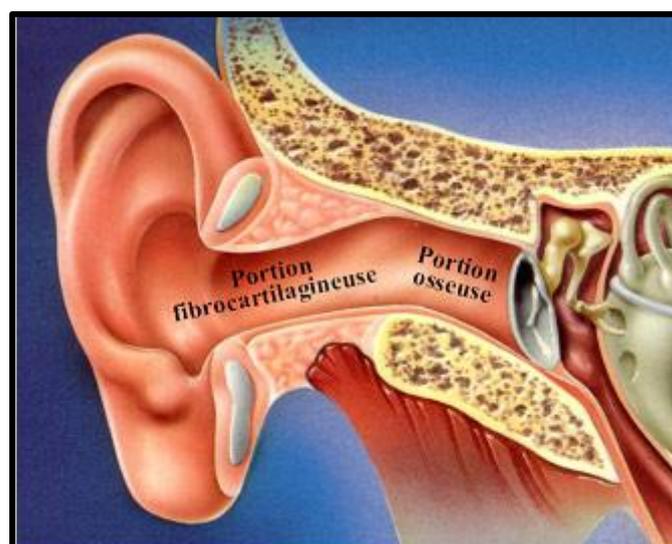


Figure 5– Structure du CAE (1)

La portion fibro-cartilagineuse :

En continuité de la racine de l'anthélix, elle représente le premier tiers du CAE. Par sa structure fibro-cartilagineuse, elle se caractérise par sa souplesse et son élasticité. La peau qui la recouvre est épaisse et tient un rôle dans la physiologie du conduit.

En effet, le derme du revêtement cutané contient des glandes sébacées et le tissu sous-cutané contient des glandes cérumineuses.

Les desquamations de l'épiderme, les débris de poils, les sécrétions des glandes sébacées et cérumineuses constituent le cérumen, sécrété dans cette portion du CAE.

La portion osseuse :

Elle représente les deux tiers internes de CAE et mesure en moyenne 16 mm.

Elle est constituée :

- En haut : par la partie squameuse de l'écaille temporale
- En bas, en avant et en arrière : par la gouttière de l'os tympanal

La peau qui la recouvre est plus lisse, sans poils, et dépourvue de glandes sébacées et cérumineuses. Elle s'amincit au fur et à mesure qu'on se rapproche du tympan.

Remarque :

Le cérumen a pour fonction la lubrification du CAE, empêchant ainsi qu'il s'assèche et soit l'objet de démangeaisons. Il a également un rôle antibactérien puisqu'il constitue à la fois une barrière chimique (son pH bas, c'est-à-dire son acidité, constitue un environnement hostile aux bactéries) et une barrière physique dans laquelle les impuretés (poussières, corps étrangers) sont piégées. Cependant, la présence abondante de cérumen dans le conduit peut parfois devenir une contre-indication à l'appareillage avec un intra-auriculaire. Le cérumen viendrait en effet constamment boucher l'écouteur de l'appareil, malgré un nettoyage journalier et correct de la part du patient. Le Lyric étant positionné dans la portion osseuse du CAE, il n'est pas exposé au cérumen et son adaptation n'est donc pas compromise par la présence de celui-ci.

2) Physiologie du CAE

Si l'utilité du conduit auditif est de transmettre le son du méat auditif jusqu'au tympan, il a néanmoins un autre rôle que celui de la transmission : l'amplification. En effet, le CAE amplifie sélectivement certaines fréquences par un phénomène de résonance. Il produit ainsi un gain supplémentaire de 10 dB entre les fréquences 1500 et 7000 Hz, avec un maximum vers 2800 Hz chez l'adulte. Cette fonction d'amplification est appelée fonction de transfert du conduit auditif externe. Elle dépend de plusieurs paramètres qui sont les dimensions du CAE, c'est-à-dire son volume et sa longueur, mais aussi l'axe d'incidence de l'onde sonore.

Le schéma ci-dessous nous montre les différentes amplifications du conduit auditif en fonction de l'angle d'incidence de l'onde, avec pour 0°, une onde arrivant de face, et pour -45° une onde arrivant de côté sur l'oreille opposée.

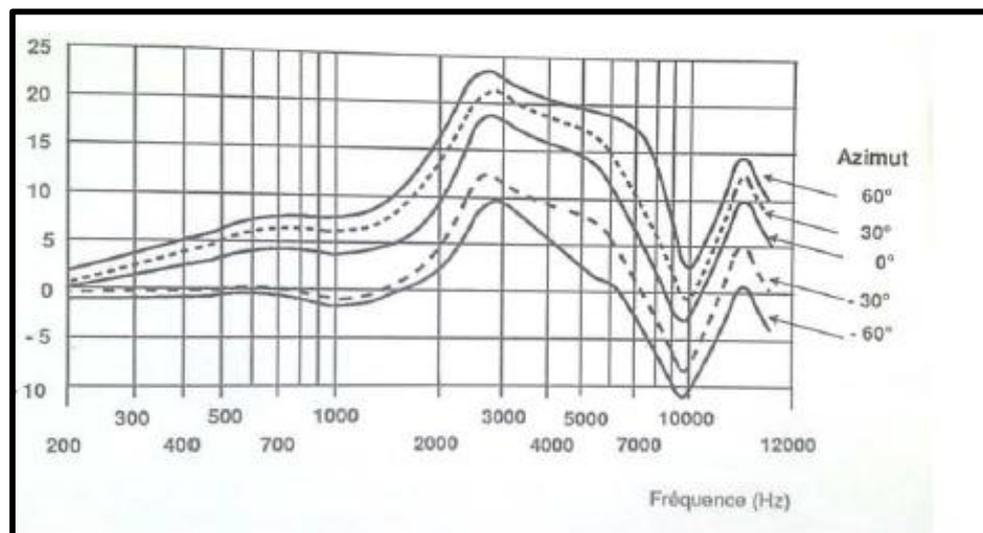


Figure 6– Fonction transfert de l'entrée du conduit auditif par rapport au champ libre [4]

Le graphique nous permet de constater que l'amplification réalisée par le CAE est maximale lorsque l'onde sonore arrive avec un angle d'incidence de 60° par rapport à l'axe de la tête, c'est-à-dire lorsqu'on est à 60° par rapport à la position de face, du côté de l'oreille testée. Cela est dû au fait qu'à 60°, le rayon sonore entre directement dans le conduit sans que sa progression ne soit perturbée par un obstacle.

Au contraire, l'amplification décroît fortement lorsqu'on passe dans des azimuts négatifs, c'est-à-dire lorsqu'on se rapproche de l'oreille opposée à l'oreille testée. Cette diminution d'amplification s'explique par l'effet d'ombre de la tête.

Calcul théorique de la fréquence de résonance du CAE :

Le CAE peut être assimilé à un tube de Kundt : un tube fermé à une extrémité et ouverte à une autre.

Modélisation de l'oreille :

- Le CAE est assimilé à un cylindre de section $S=80 \text{ mm}^2$ et de longueur $l=25 \text{ mm}$
- Le tympan est assimilé à un système masse-ressort de raideur $k=3000 \text{ N.m}^{-1}$ et de masse $m=6 \text{ mg}$.

Dans le cadre de ce calcul théorique, on négligera les forces de frottement.

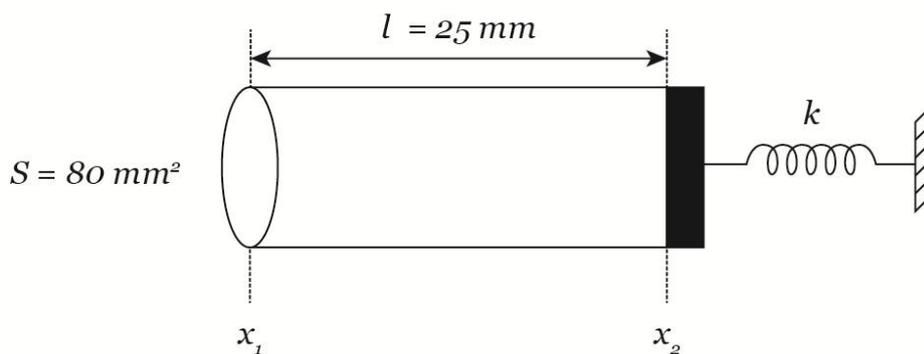


Figure 7- modélisation de l'oreille par un système masse-ressort

Déterminons l'impédance acoustique spécifique en x_2

• Les conditions aux limites sont :

$p(x_1, t) = 0$ car l'extrémité en x_1 est libre

• Or la formule de l'impédance acoustique spécifique réduite est :

$$z = \frac{p(x, t)}{\rho c v(x, t)} \quad (\text{avec } \rho: \text{masse volumique de l'air})$$

• D'où $z_1 = 0$

• D'après la formule des impédances ramenées :

$$z_2 = \frac{z_1 + j \cdot \tan(kl)}{1 + j \cdot z_1 \cdot \tan(kl)} \quad (\text{avec } k : \text{vecteur d'onde } k = \frac{\omega}{c})$$

• Avec $z_1 = 0$, on obtient $z_2 = j \tan(kl)$

Déterminons l'impédance mécanique du conduit

• $Z_{m \text{ conduit}} = \rho S c z_2$

• $Z_{m \text{ conduit}} = \rho S c j \tan(kl)$

Déterminons l'impédance mécanique du tympan

• $Z_{m \text{ tympan}} = (m\omega - \frac{k}{\omega} j) + f'$

Déterminons l'impédance mécanique totale

• $Z_{m \text{ total}} = Z_{m \text{ conduit}} + Z_{m \text{ tympan}}$

• $Z_{m \text{ total}} = \rho S c j \tan(kl) + (m\omega - \frac{k}{\omega} j) + f'$

Déterminons la fréquence de résonance

A la résonance la partie imaginaire s'annule

• on résoud : $Z_{m \text{ total}} = \rho S c \tan(kL) + m\omega - \frac{k}{\omega} = 0$

• Soit : $m\omega - \frac{k}{\omega} + \rho S c \tan(\frac{2\pi f L}{c}) = 0$

Application numérique :

$$6 \times 2\pi f \times 10^{-6} - (3000/2\pi f) + 1,2 \times 340 \times 80 \times 10^{-6} \times \tan[(2\pi f) \times 0,025] = 0$$

On isole ω : $\omega = \sqrt{\frac{K}{(m + S\rho_0 l)}} = \sqrt{\frac{3000}{6 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-5} \times 1,3 \times 0,025}} = 19\,835,39$

Or, $\omega = 2\pi f$, d'où $f = \frac{\omega}{2\pi}$

On trouve : $f = 3\,156,90 \text{ Hz}$

III. La fonction de transfert de l'oreille externe

Les rappels précédents ont expliqué que l'oreille externe capte, diffracte et amplifie les ondes acoustiques : c'est la fonction de transfert de l'oreille externe. En fonction de l'incidence et de la fréquence d'une source, des modifications de phase et d'amplitude sont induites.

Le graphique ci-dessous montre l'amplification apportée par chacune des parties de l'oreille externe ainsi que l'amplification totale.

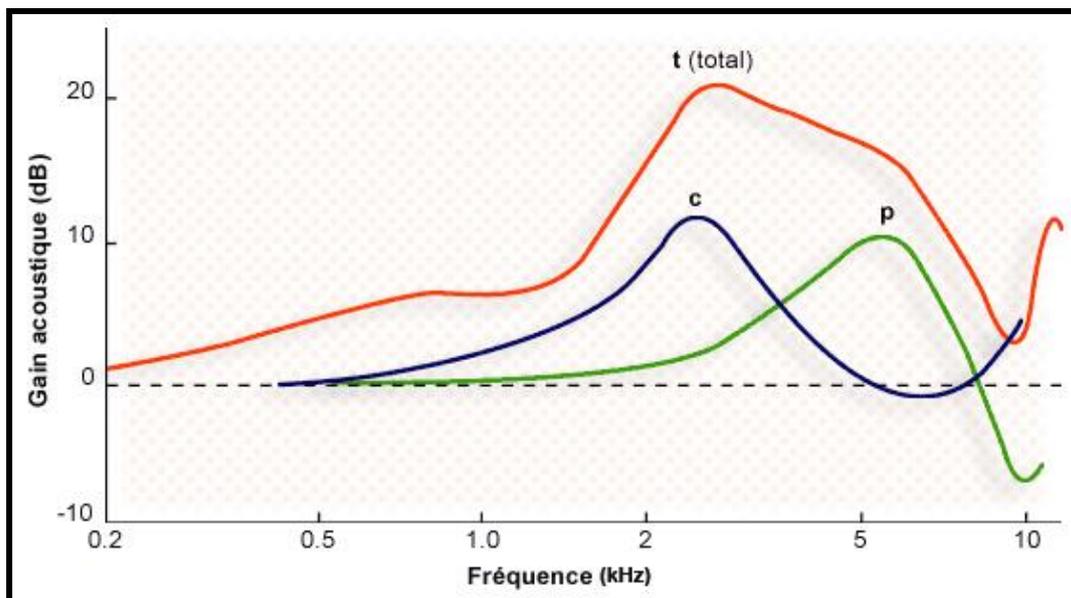


Figure 8- Représentation du gain acoustique en dB du CAE (c), du pavillon (p) et du gain total de l'oreille externe (t) en fonction de la fréquence en kHz (2)

L'oreille externe amplifie donc le signal de 20dB en moyenne, sur des fréquences allant de 2500Hz à 5500Hz.

CONCLUSION SUR LA PARTIE I :

Tous ces rappels ont eu pour but de d'expliquer le rôle de l'oreille externe et de mettre en lumière le comportement des ondes sonores avant que celles-ci ne rencontrent le microphone du Lyric. Les reliefs structuraux du pavillon jouent un rôle prépondérant dans la captation et la localisation des sons ; le conduit auditif, associé à la conque, apporte quant à lui une amplification naturelle du son. Toutes ces fonctions sont abritées sous le terme de « fonction de transfert de l'oreille externe » et dans le cas d'un appareil positionné loin vers le tympan, comme cela est le cas du Lyric, cette fonction de transfert est conservée.

PARTIE II : PRESENTATION DU LYRIC 2

Le Lyric présent sur le marché au moment de la réalisation de ce mémoire est le Lyric 2, commercialisé en 2012. Il est l'évolution du Lyric 1 quant à lui commercialisé pour la première fois aux Etats-Unis en 2008. La présentation faite ici concerne le Lyric 2, bien que beaucoup d'informations soient communes aux deux versions.

I. Présentation générale

1) Ce qu'est le Lyric

Le Lyric est la première aide auditive non implantable à port permanent, c'est-à-dire portée 24/24 heures et 7/7 jours. Il est fabriqué et commercialisé par Phonak, fabricant suisse très implanté sur le marché de l'audioprothèse.

Le port permanent :

Le Lyric ne nécessite aucune manipulation de la part du porteur qui le garde dans le conduit depuis le jour de sa mise en place jusqu'au jour du retrait. Ceci nous amène à expliquer que la pile n'a pas besoin d'être changée, sa durée de vie étant fixée par le fabricant à 120 jours théoriques. Toutefois, en pratique elle se situe entre deux et trois mois et les chercheurs de chez Phonak s'affairent activement à essayer de faire en sorte que la pile dure effectivement les 120 jours annoncés, notamment en renforçant l'étanchéité au niveau du logement de la pile.

Il est à noter que la durée de vie de la pile dépend de plusieurs facteurs liés au porteur :

- le degré de sa surdité (nécessité de plus ou moins de gain),
- son environnement sonore (évolution dans un milieu plus ou moins bruyant nécessitant un fonctionnement plus ou moins intense du dispositif),
- son mode de vie : des séances de piscine trop fréquentes et l'humidité qui en découle peut endommager l'appareil malgré le port des bouchons,
- la sécrétion plus ou moins importante de cérumen qui, en grande quantité, peut attaquer l'appareil par son acidité,

- l'utilisation occasionnelle du mode veille ou l'arrêt de l'appareil la nuit.

Le port du Lyric est compatible avec la pratique de tous les sports excepté des activités pouvant induire des déformations du conduit auditif dues aux changements de pression, telles que la plongée sous-marine et le parachutisme. Si les sports de contact comme la boxe ou le catch ne sont pas explicitement proscrits par Phonak, ils sont tout de même déconseillés car un choc violent au niveau du conduit pourrait faire bouger le Lyric en place et l'avancer vers le tympan, pouvant alors endommager ce dernier.

L'invisibilité :

L'argument marketing fort du Lyric est sa totale invisibilité. Il y a cependant de conditions anatomiques précises à remplir pour qu'il soit effectivement totalement invisible. Le Lyric 2 mesure 12 mm de long et il est inséré jusqu'à 4 mm du tympan. Pour qu'il soit invisible, il doit être à un minimum de 4 mm de l'entrée du conduit, c'est-à-dire que le conduit auditif externe doit avoir une longueur minimale de 20 mm.



Figure 9– Invisibilité (3)

L'étanchéité :

Dire que le Lyric est étanche est un abus de langage puisqu'il est en réalité résistant à l'eau. Ainsi, marcher sous la pluie ou prendre sa douche avec est possible. Toutefois, nager avec n'est pas possible sans le port d'embouts anti-eau en silicone réalisés sur mesure. Il est à noter que la prise d'empreinte pour ces embouts est réalisée avec un gabarit Lyric (c'est-à-dire un factice) correctement placé dans le conduit afin que le placement du bouchon soit optimal et non trop profond.

L'achat d'un appareil :

Le schéma classique que nous connaissons aux appareils conventionnels est l'achat de l'un d'eux pour une durée moyenne de 5 à 7 ans. Durant cette période, la pile sera changée un très grand nombre de fois, certaines pannes pourront survenir et l'appareil pourra être réparé.

Il n'en va pas du tout de même pour le Lyric. Sa pile a une durée théorique de 120 jours. Une fois celle-ci épuisée, elle n'est pas remplaçable et c'est alors tout l'appareil qui est remplacé par un neuf. De même, si avant que la pile ne soit épuisée, l'appareil tombe en panne pour quelque raison que ce soit, il est immédiatement retiré et remplacé.

Il est à noter que les appareils retirés ne sont pas jetés mais tous renvoyés à Phonak dans un boîtier sur lequel on renseigne le nom du porteur, le numéro de série de l'appareil et la cause du retrait (ces informations sont également saisies sur le logiciel de gestion mis à disposition par Phonak, ce que nous verrons par la suite). Les piles sont recyclées et les appareils analysés dans le but de trouver l'origine d'une panne pour ensuite améliorer la technologie de l'appareil.

Le patient va être amené à remplacer plusieurs fois son appareil au cours d'une année. Ainsi l'achat d'un Lyric se fait par souscription à un abonnement annuel donnant droit au porteur à sept appareils dans l'année.

Le Lyric est un dispositif technologique en perpétuelle évolution et le patient a droit à la dernière technologie disponible, qu'il recevra au prochain changement d'appareil suivant sa commercialisation.

En termes de prix, celui-ci varie en fonction du mode de paiement (mensuel ou annuel) et du nombre d'années souscrit ; mais pour donner un ordre de grandeur il est d'environ 1680 euros par an. C'est proche du prix d'un appareil conventionnel, excepté qu'au lieu de déboursier cette somme tous les 6 ou 7 ans, le porteur effectue cette dépense tous les ans. Pour un assuré dont l'assurance complémentaire ne couvrirait pas l'intégralité des frais, s'appareiller en Lyric implique donc un investissement financier à prendre en compte.

2) L'anatomie du Lyric 2

Le Lyric est un appareil mesurant 12 mm de long dont l'électronique est renfermée et protégée par deux corolles jaunes souples. Le schéma ci-dessous détaille son anatomie :

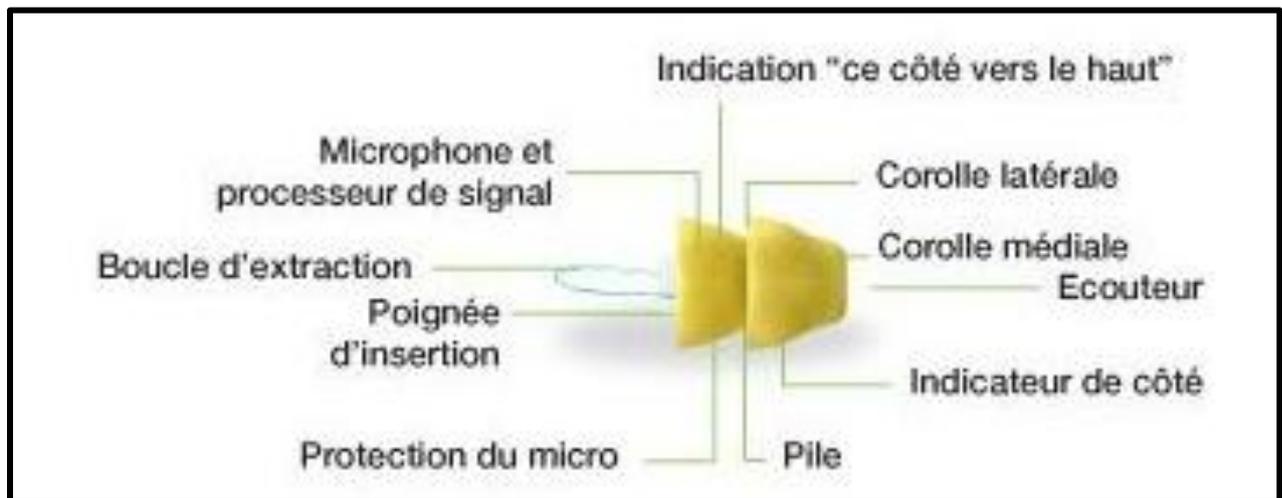


Figure 10- Anatomie du Lyric (3)

Si sa longueur est invariante, le diamètre du Lyric est variable, choisi parmi cinq tailles (XS, S, M, L, XL) en fonction de la largeur du conduit auditif.

Le Lyric 2 n'est pas spécifique à un côté, ce qui est une évolution par rapport au Lyric 1 et facilite la gestion des stocks pour l'audioprothésiste. Avec les Lyric 1, il fallait toujours qu'il s'assure qu'il disposait de toutes les tailles pour chaque côté (la capacité à pouvoir changer immédiatement son appareil à un patient qui viendrait en urgence au laboratoire est un service que l'audioprothésiste doit assurer). La non spécificité à un côté du Lyric 2 permet de diviser le stock par deux.

3) Traitement du signal

Le Lyric est un appareil de correction auditive analogique à contrôle numérique. En 2003, le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec a chargé L'Agence d'Évaluation des Technologies et des Modes d'Intervention en Santé

(AETMIS) de réaliser une étude sur l'*Efficacité des prothèses auditives analogiques à contrôle numérique* afin de statuer sur celle-ci. (Annexe 1)

Cette étude fournit plusieurs définitions :

Appareil de correction auditive analogique (traditionnel) :

Appareil de correction auditive mettant à contribution des circuits électroniques pour réaliser l'amplification et le contrôle du signal acoustique incident.

Appareil de correction auditive linéaire :

Appareil de correction auditive procurant un niveau d'amplification fixe quelle que soit l'intensité du signal acoustique incident. Par définition, ces appareils ne possèdent pas de circuits de compression permettant un traitement plus ou moins perfectionné de la gamme dynamique de l'environnement sonore.

Appareil de correction auditive analogique à contrôle numérique :

Appareil de correction auditive mettant à contribution des circuits électroniques pour réaliser l'amplification du signal acoustique incident et des algorithmes numériques programmés dans un ou des microprocesseurs pour le contrôler.

Cette dernière définition est celle qui correspond au Lyric :

Le circuit analogique intègre deux types de compression : un traitement du signal WDRC (Wide Dynamic Range Compression) et une limitation du niveau de sortie AGC-O (Automatic Gain Control Output).

Dans le cas de la compression WDRC, le CK (point d'enclenchement de la compression) est compris entre 45 dB et 60 dB. Ainsi, le gain maximal est diminué mais le gain appliqué aux intensités de la voix parlée moyenne est augmenté. La WDRC a donc pour but d'augmenter l'intelligibilité de la parole.

La compression AGC-O surveille le niveau de sortie. Elle s'enclenche quand le niveau de sortie atteint la valeur du seuil d'enclenchement.

4) Données techniques (3)

Les données acoustiques renseignées par Phonak sont le niveau de sortie, le gain acoustique, les caractéristiques dynamiques (compression), les distorsions harmoniques, la bande passante et le bruit équivalent. Elles sont relevées sur trois coupleurs différents :

- Le coupleur 0,4 cm³ (FRYE coupleur CIC)
- Le coupleur 2 cm³ (ANSI S3.22–2009)
- Le simulateur d'oreille (EN / IEC 60118 et IEC 60711)

Le coupleur 2 cc et le simulateur d'oreille sont normalisés et fournissent donc des mesures normalisées. Le coupleur 0,4 cc n'est pas normalisé mais fournit des valeurs beaucoup plus proches de la réalité car le volume résiduel estimé dans l'oreille avec Lyric est de 0,3 cm³.

Données mesurées	Coupleur 0,4 cm ³	Coupleur 2 cm ³	Simulateur d'oreille
NIVEAU ACOUSTIQUE DE SORTIE			
Niveau d'entrée	90 dB SPL	90 dB SPL	90 dB SPL
Niveau maximum de sortie (MPO)	111 dB SPL	95 dB SPL	103 dB SPL
Niveau maximum de sortie moyen = HFA OSPL 90	104 dB SPL	89 dB SPL	96 dB SPL à 1600 HZ
GAIN ACOUSTIQUE			
Gain maximal (entrée 50 dB SPL)	46 dB SPL	30 dB SPL	41 dB SPL
Gain maximal moyen = HFA	38 dB SPL	23 dB SPL	29 dB SPL à 1600HZ
RTG	27 dB SPL	12 dB SPL	21 dB SPL
BANDE PASSANTE	160 Hz – 10 000 Hz	140 Hz – 10 000 Hz	220 Hz – 10 000 Hz
DISTORSION HARMONIQUE TOTALE			
500 Hz	1,5 %	1,5 %	1,5 %
800 Hz	1 %	1 %	1,5 %
1600 Hz	1 %	1 %	1,5 %
BRUIT D'ENTREE EQUIVALENT	26 dB SPL	28 dB SPL	30 dB SPL
CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES = COMPRESSION			
Temps de réponse	5 ms	5 ms	3 ms
Temps de retour	90 ms	90 ms	60 ms

Tableau 1 – Données techniques du Lyric 2

5) Le logiciel de gestion : ALPS

Nous avons vu que l'achat d'un Lyric ne fonctionnait pas comme celui d'un appareil conventionnel, mais se faisait sous forme de souscription à un abonnement annuel (ou pour trois ans). De ce fait, un outil de gestion est nécessaire à l'audioprothésiste tout comme au fabricant. Phonak met ainsi à disposition des audioprothésistes l'accès à un portail web sécurisé accessible à partir de leur site internet dédié aux professionnels, www.phonakpro.com : ALPS (Authorized Lyric Partner Solution). L'ALPS permet la gestion des stocks (appareils en dépôt-vente, renouvellements, renvoi des appareils usagés au fournisseur...) et permet également à l'audioprothésiste de répertorier tous ses « patients-Lyric » sous un seul fichier.

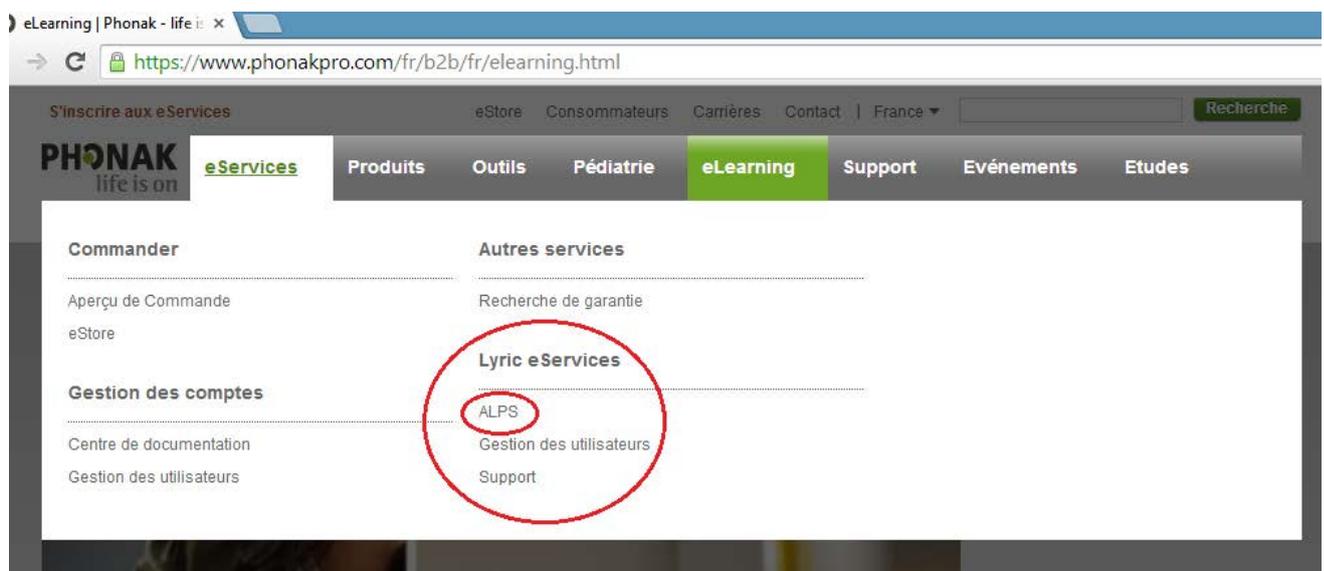


Figure 11 – : Logiciel ALPS (3)

II. Critères de sélection des patients Lyric

La réussite d'un appareillage en Lyric implique une bonne sélection du patient au départ. La candidature au Lyric est évaluée sur la base de quatre critères principaux :

- 1- La plage d'application,
- 2- L'anatomie du conduit auditif,

- 3- Les antécédents médicaux, principalement O.R.L., et la condition physique générale,
- 4- Le style de vie.

La candidature au Lyric est validée si le patient correspond à chacun de ces critères.

1) La plage d'application

Dans la fiche descriptive du Lyric 2, Phonak renseigne sa plage d'application :

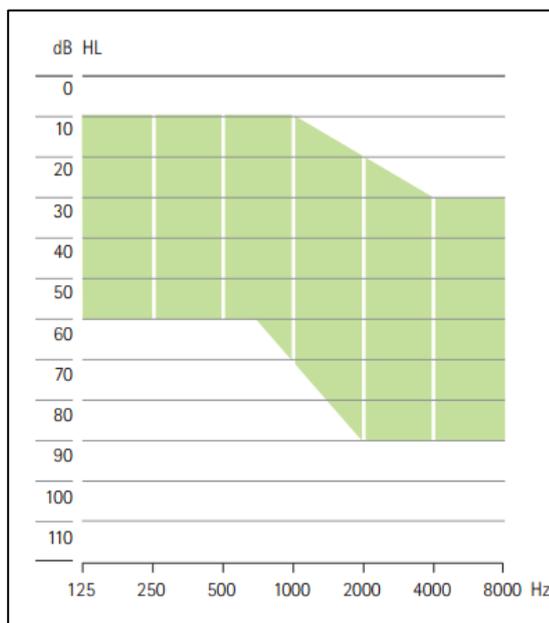


Figure 12- Plage d'application (3)

Le texte qui l'accompagne indique que le Lyric 2 est adaptable aux pertes légères à moyennement sévères. Or, selon la classification des pertes auditives du BIAP (Bureau International d'AudioPhonologie), une perte sévère correspondrait à une perte tonale moyenne comprise entre 71 et 90 dB. Ainsi, on déduit qu'une perte « moyennement sévère » s'étend de 71 à 80 dB. En fonction de la pente de la courbe et des fréquences les plus atteintes, une perte moyennement sévère pourra ne pas rentrer dans les limites d'application du Lyric et seul l'essai d'adaptation sera parlant.

Le Lyric étant un appareil monocanal, il est contre-indiqué pour les pertes de plus de 30 dB par octave.

2) L'anatomie du conduit auditif

a) Sa longueur

Le Lyric 2 nécessite un conduit auditif d'une longueur minimale de 20 mm (contre 24 mm pour le Lyric 1). Le dispositif est long de 12 mm, il doit être positionné de telle sorte que l'écouteur soit à 4 mm du tympan et doit être enfoncé à 4 mm en avant du méat auditif (place du microphone).

Il est à noter qu'il est possible d'essayer d'adapter un Lyric sur un conduit plus court, dans quel cas le microphone ne sera pas à 4 mm du méat acoustique mais tout juste à son entrée. Acoustiquement, ce placement n'engendre pas de modifications notoires, mais l'appareil ne sera alors plus totalement invisible ; on l'apercevra en regardant l'entrée du conduit.

b) Son diamètre

Il existe cinq tailles de Lyric 2 : XS, S, M, L et XL. Par rapport au Lyric 1, le Lyric 2 est adaptable à des conduits plus fins ainsi qu'à des conduits plus larges.

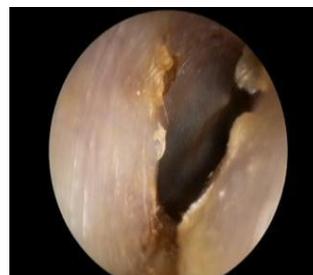
Cependant, il faut noter que la conformation du conduit auditif rentre aussi en ligne de compte puisque celle-ci doit permettre l'étanchéité des corolles contre les parois du conduit. Ainsi, un conduit en forme de sablier, de V, avec une protubérance importante ou avec une forme impropre au maintien en place du Lyric ne permettra pas d'obtenir l'étanchéité.



Conduit en forme de sablier



Conduit avec une protubérance



Conduit en forme de « V »



Conduit en forme de tobogan

Figure 13 – Conduits inadaptés au placement d'un Lyric [8]

3) Les antécédents médicaux, principalement O.R.L., et la condition de santé générale

a) Les antécédents ORL

Certaines affections du CAE constituent des contre-indications : aplasie majeure ou mineure du conduit, bouchons épidermiques, otites chroniques de l'oreille externe, exostoses et ostéomes.

Des affections de l'oreille moyenne et du tympan constituent également des contre-indications : pathologies inflammatoires et infectieuses (otites moyennes chroniques, otorrhées, cholestéatome), perforations tympaniques et drains tympaniques, tumeurs bénignes et malignes de la zone de l'oreille, traumatismes divers (blast, barotraumatisme...).

b) La condition de santé générale

L'état de santé du patient peut être une contre-indication à l'appareillage en Lyric.

- Le Lyric comportant des composants magnétiques, il ne pourra être adapté à un patient atteint d'une pathologie qui nécessite une surveillance régulière par IRM.
- Une personne dont les fonctions cognitives sont atteintes, telle qu'une personne atteinte d'Alzheimer, ne sera pas appareillable avec un Lyric car sa condition l'empêche d'en comprendre ou d'en respecter les consignes d'utilisation (exemple : enfoncement d'un coton-tige dans l'oreille lors de la sensation d'une démangeaison, faisant bouger le Lyric de son emplacement).

4) Le style de vie

Le Lyric peut convenir presque à tout type de patient, du moment que ce dernier est motivé. En effet, si le Lyric ne présente pas les contraintes des aides auditives classiques liées au changement des piles, au retrait quotidien et au nettoyage régulier, il présente cependant d'autres contraintes liées à l'adaptation. Il n'est pas facile pour tout le monde de tolérer une présence constante dans l'oreille, et la contrainte de ne pas pouvoir le changer mais de devoir aller chez l'audioprothésiste en moyenne tous les trois mois (voire tous les deux mois car la pile ne tient pas encore toutes ses promesses de durée) sont des inconvénients à prendre en compte.

Le Lyric est contre-indiqué aux patients qui pratiquent des sports pouvant occasionner son déplacement dans le conduit sous l'effet de modifications de pression : parachutisme, plongée sous marine. Les sports de combats sont également à proscrire puisqu'un choc près de l'oreille pourrait entraîner un déplacement du Lyric, qui s'il se produisait vers le tympan, risquerait de le blesser.

Le Lyric convient donc à des **patients motivés** pour s'y adapter, **en recherche d'invisibilité et de confort.**

III. Processus d'appareillage

1) La prise de décision d'appareillage en Lyric

Elle est le résultat d'une concertation entre l'audioprothésiste, l'O.R.L. et le patient.

En premier lieu, l'audioprothésiste évalue la possibilité pour le patient d'être appareillé en Lyric selon les quatre grands critères cités plus tôt. C'est seulement si ces critères sont remplis qu'il proposera un Lyric.

Si le patient semble partant, l'O.R.L. est alors le deuxième intervenant de cette prise de décision. C'est grâce à son observation qu'il pourra donner à l'audioprothésiste le « feu vert médical » pour la pose d'un Lyric.

Enfin, si les deux premiers protagonistes sont d'accord, il reste au patient la liberté de choisir ou non le Lyric.

2) L'adaptation d'un Lyric : les différentes manipulations

a) La prise de mesures

La prise de mesures est la première étape du protocole de mise en place du Lyric. Elle permet tout d'abord de vérifier que le conduit auditif du patient peut recevoir un Lyric, et dans un second temps elle permet de déterminer la profondeur d'insertion de l'appareil ainsi que son diamètre.

DETERMINATION DE LA PROFONDEUR D'INSERTION

Elle s'effectue à l'aide du « **gabarit de longueur** » : une sonde souple semblable à celle utilisée pour la Mesure In Vivo, graduée par des traits colorés.



Figure 14– Gabarit de longueur

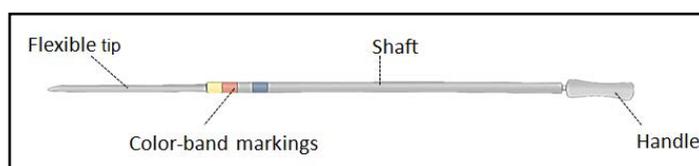


Figure 15– Gabarit de longueur

On tient la sonde entre l'index et le majeur et on l'enfonce progressivement en positionnant le regard au niveau du méat auditif, jusqu'à ce que l'extrémité de la sonde vienne s'immobiliser contre le tympan (le patient peut d'ailleurs sursauter ou prévenir qu'il sent la sonde toucher son tympan). On regarde alors la couleur de la graduation au niveau du méat auditif.

Le code de couleur fourni dans le kit d'adaptation du Lyric donne l'équivalence numérique en millimètres d'insertion de la couleur relevée au niveau du méat auditif.

Il est à noter qu'un certain savoir-faire est nécessaire pour prendre cette mesure : il ne faut aller ni trop loin ni pas assez.

En effet, la sonde, par sa souplesse, peut se plier lorsqu'elle bute contre le tympan et si l'œil n'est pas assez aiguïté pour s'en rendre compte, on relève alors une profondeur d'insertion trop grande.

De même, si on n'enfonce pas la sonde assez profondément, par exemple par peur d'aller trop loin, aucun indice visuel ne nous permettra de le savoir et on aura alors relevé une profondeur d'insertion trop petite.



Figure 16– Insertion du gabarit de longueur



Figure 17– Insertion du gabarit de longueur

DETERMINATION DE LA TAILLE DE L'APPAREIL

Elle s'effectue à l'aide des « **gabarits d'appareil** » : des Lyrics factices qui ressemblent extérieurement en tous points au vrai, mais qui ne contiennent pas d'électronique et qui sont néanmoins différenciables d'un vrai Lyric grâce à leur « corps » dont la couleur change en fonction de la taille du gabarit.

Il existe cinq tailles de gabarits non spécifiques au côté de l'oreille : XS, S, M, L, XL.

L'outil d'insertion du gabarit est le même que celui d'un vrai Lyric 2 : une pince spécialement conçue par Phonak pour cette manipulation. Les graduations le long de la pince, équivalentes à celles de la sonde de prise de mesure de la profondeur d'insertion, servent de repère lors de l'insertion du gabarit. On arrête d'introduire l'appareil lorsque l'indicateur de profondeur est arrivé au niveau du méat auditif.

Lorsque le gabarit est en place, on peut alors déterminer si sa taille est adaptée au diamètre du conduit grâce à certains indices visuels :

- Si la corolle arrière (seule des deux corolles qui est visible) fait des plis, cela indique que le gabarit est trop grand.
- Si l'on observe des interstices entre la paroi du conduit et le gabarit, cela indique que ce dernier est trop petit et ne permet donc pas l'étanchéité.
- Si les corolles épousent parfaitement la paroi du conduit, c'est que la taille du gabarit correspond bien à celle du conduit.



Lyric bien adapté



Lyric trop grand



Lyric trop petit

Figure 18 – Schémas de l'adaptation d'un gabarit de largeur [8]

Avec l'expérience, l'œil aiguisé de l'audioprothésiste sait prévoir quelle sera la bonne taille de gabarit. Dans le cas contraire, il commencera par insérer un gabarit de taille S et ajustera ensuite en fonction de ses observations.

b) La mise en place

On accroche l'appareil au bout de la pince d'insertion grâce à la boucle d'extraction, en vérifiant bien que le point indicateur de la partie supérieure soit bien vers le haut ; le Lyric est alors maintenu au bout de la pince. On commence l'insertion en effectuant des mouvements légèrement rotatoires qui facilitent la mise en place.

Le Lyric est placé lorsque le curseur de profondeur est arrivé au niveau du méat acoustique.

On libère enfin le Lyric de la pince et on vérifie au microscope qu'il est bien posé.



Figure 19- Accroche du gabarit sur la pince d'insertion



Figure 20- Insertion du gabarit de taille

c) Le retrait

Le retrait peut être fait soit par l'audioprothésiste soit par le patient.

➤ Retrait par le patient

S'il ressent une douleur ou si l'appareil s'éteint, le patient aura besoin de retirer lui-même son Lyric, sans attendre la visite chez l'audioprothésiste.

Pour ce faire il dispose d'un outil dénommé SoundLync, fourni systématiquement dans le kit Lyric du patient. L'une des extrémités possède un aimant et nous expliquerons ultérieurement comment il sert à la programmation de l'appareil par le patient. L'autre extrémité possède des petits crochets qui permettent d'accrocher la boucle d'extraction du Lyric. Le patient n'a alors plus qu'à tirer délicatement pour extraire l'appareil, comme l'illustrent les schémas ci-après :



Figure 21 – Le Soundlync (3)

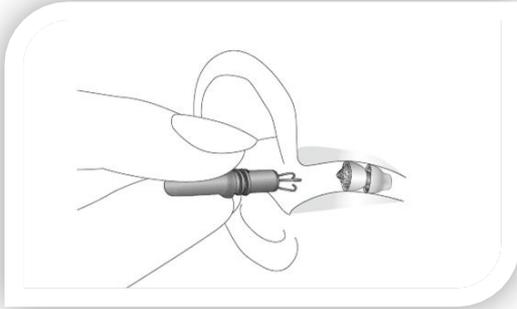


Figure 22- Extraction du Lyric - étape 1 (3)

Etape 1 : Attraper la boucle d'extraction de l'appareil

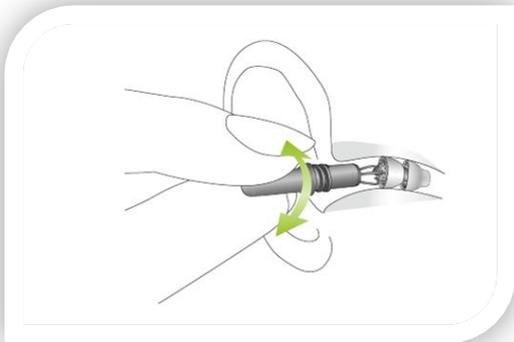


Figure 23- Extraction du Lyric - étape 2 (3)

Etape 2 : Tirer en faisant des mouvements de rotation avec le poignet pour ne pas brusquer la paroi du conduit

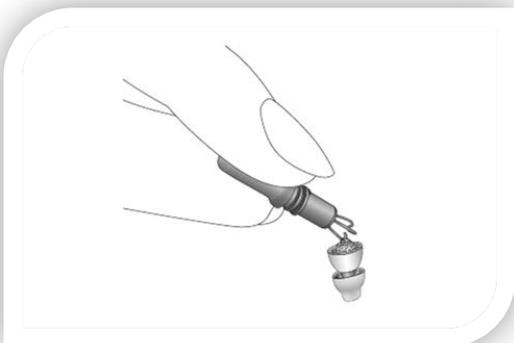


Figure 24- Extraction du Lyric - étape 3 (3)

Etape 3 : Sortir complètement le Lyric de l'oreille

➤ Retrait par l'audioprothésiste

L'audioprothésiste peut retirer le Lyric soit avec une pince Hartmann soit à l'aide de la pince d'insertion, dont l'extrémité vient coincer la boucle d'extraction. Une fois la boucle bien coincée dans la pince, il faut retirer doucement l'appareil et vérifier l'état du conduit.

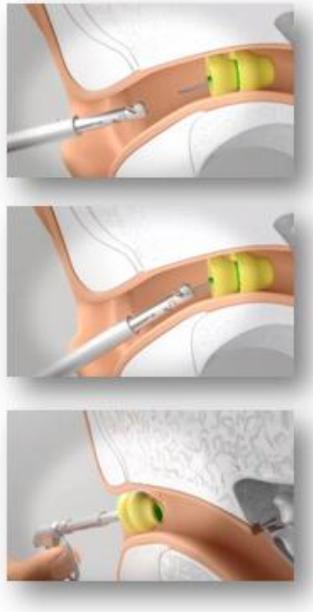


Figure 25– Retrait par la pince d'insertion Lyric
[8]



Figure 26– Pince Hartmann

IV. Réglage et programmation d'un Lyric

1) Les paramètres de réglage

L'audioprothésiste dispose de quatre paramètres sur lesquels il peut agir pour régler l'appareil :

- Le niveau de volume général,
- Le gain des sons faibles,
- Le renforcement des aigus,
- La coupure des graves.

Il ne peut pas régler le gain fréquence par fréquence puisque Lyric est un appareil monocanal, ce qui explique qu'il est contre-indiqué pour les surdités en pente de ski avec plus de 30 dB de perte par octave.

a) Le volume

Dans le cas du Lyric, régler le volume revient à régler le gain puisque c'est un appareil monocanal.

Le volume est réglable sur sept positions allant de 1 à 7 et chaque pas est de 3 dB SPL, ce qui donne une plage totale de 18 dB.

Le logiciel de Phonak, Target, se base sur l'audiogramme du patient pour proposer un volume cible (notifié par une icône en forme de cible). L'audioprothésiste programme ensuite le volume de son choix en fonction des tests d'efficacité prothétique et du ressenti dont le patient lui fait part.

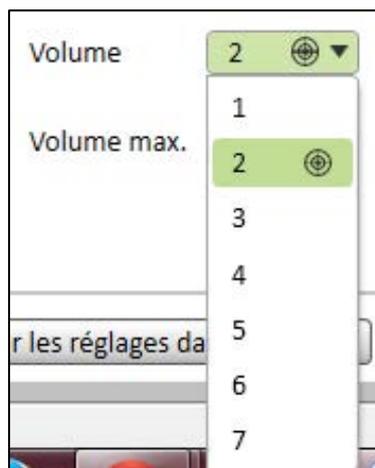


Figure 27- Réglage du volume (4)

b) Le gain des sons faibles

Régler le gain des sons faibles d'un Lyric revient à régler l'expansion d'une aide auditive classique. Il est possible de régler ce paramètre sur quatre niveaux : Bas, Moyen, Fort et Max, dont la différence entre chacune est de 4 dB et offre ainsi une plage de 12 dB.

Le circuit analogique du Lyric intègre deux types de compression : un traitement du signal WDRC (Wide Dynamic Range Compression) dont la fixation du TK est gérée par le gain des sons faibles, et une limitation du niveau de sortie AGC-O (Automatic Gain Control Output) dont le facteur de compression CR est fixé à 10.

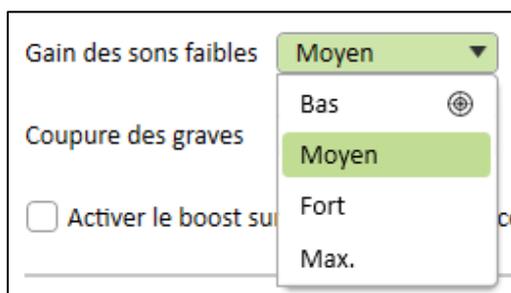


Figure 28- Réglage gain des sons faibles (4)

c) Le renforcement des aigus

Ce paramètre se présente comme une option que l'on peut cocher dont l'intitulé est « Activer le boost sur les hautes fréquences ». Lorsque l'option est cochée, elle permet d'augmenter le gain de 4 à 6 dB en fonction des fréquences, à partir de 2000 Hz.

Il est déconseillé de la cocher si le patient se plaint de Larsen ou dans le cas d'une nouvelle adaptation à cause de la sonorité trop métallique que le renforcement des fréquences aigus provoque.



Figure 29- Commande des aigus (4)

d) La coupure des graves

Elle est réglable parmi sept fréquences allant de 200 Hz à 2000 Hz. La coupure des graves agit tel un filtre passe-haut dont la fréquence de coupure correspond à la fréquence sélectionnée. Plus la fréquence de coupure est basse, plus l'appareil apporte de l'amplification dans les graves et inversement.

Pour savoir sur quelle fréquence régler ce paramètre, on se réfère à l'audiogramme du patient et on choisit la fréquence à laquelle la pente de la courbe s'accroît.

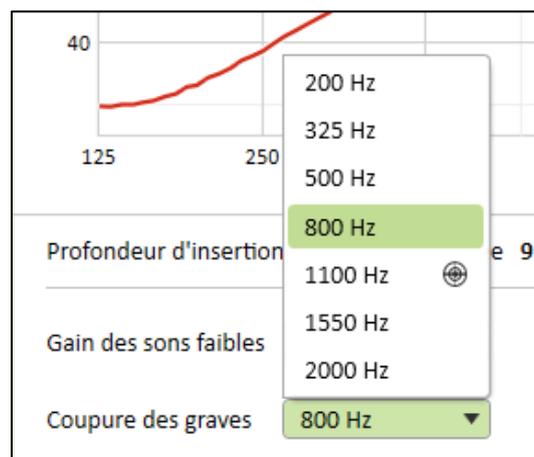


Figure 30– Réglage des graves (4)

2) Programmation par le patient

Le patient a la possibilité d'allumer, d'éteindre, de mettre en veille et de modifier lui-même le volume de son appareil grâce à l'accessoire mentionné précédemment : le *Soundlync*.

Voici comment il doit procéder :

➤ Allumer le Lyric

- Tenir l'aimant *SoundLync* à l'intérieur du conduit auditif, sans forcément toucher l'appareil,
- Attendre d'entendre un « bip »,
- Retirer immédiatement l'aimant de l'oreille.

➤ **Eteindre le Lyric**

- Pendant que l'appareil est allumé, tenir l'aimant à l'intérieur du conduit auditif,
- Attendre d'entendre deux « bips »,
- Continuer de maintenir l'aimant en place, jusqu'à entendre quatre « bips » supplémentaires (Il y aura une courte pause entre les deux premiers et les quatre derniers bips.),
- Retirer l'aimant de l'oreille.

➤ **Mettre le Lyric en VEILLE**

- Pendant que l'appareil est allumé, tenir l'aimant à l'intérieur du conduit auditif,
- Attendre d'entendre deux « bips »,
- Retirer immédiatement l'aimant de l'oreille.

➤ **Régler le volume du Lyric**

- Régler l'appareil en mode VEILLE : deux « bips ». Retirer l'aimant,
- Allumer l'appareil : un « bip ». Garder l'aimant à l'intérieur du conduit auditif,
- Continuer de maintenir l'aimant à l'intérieur du conduit auditif, jusqu'à entendre une série de « bips » dont le volume augmentera crescendo. Si le patient laisse l'aimant en place, la séquence de « bips » recommencera,
- Retirer l'aimant de l'oreille lorsque le niveau de volume désiré est atteint.

Il est important de préciser au patient que le Lyric est alors réglé au niveau de volume sonore désiré. Lorsqu'il mettra son appareil en veille ou qu'il l'éteindra, puis le rallumera, le niveau du volume sonore restera inchangé jusqu'à ce qu'il le modifie à nouveau (cela est l'inverse des prothèses auditives classiques qui reviennent toujours au réglage de base lors de la déconnexion et de la reconnexion de la pile).

Remarque : le paramètre « Volume Maximum »

Si le patient peut augmenter le volume sonore, c'est-à-dire le gain général de son Lyric, il y a néanmoins un paramètre qui permet de brider cette augmentation ; il s'agit du paramètre « Volume Maximum », grâce auquel l'audioprothésiste fixe le volume que ne peut pas dépasser le patient. D'ordinaire on fixe ce paramètre sur deux niveaux de volume au dessus du réglage de base, soit sur 6 dB supplémentaires (chaque pas est de 3 dB).

Lorsque le patient touche au volume de son appareil, il ne modifie aucun autre paramètre et l'allure générale de la courbe de gain n'est pas modifiée mais simplement translatée.

CONCLUSION SUR LA PARTIE II :

Le Lyric est un appareil qui diffère en de très nombreux points d'un appareil classique, tant par son mode d'utilisation mais aussi par son placement et son algorithme. Ce sont ces deux derniers points que nous étudierons par la suite afin de montrer les résultats d'un appareillage en Lyric 2.

**PARTIE III : THEORIE SUR LES
AVANTAGES ACOUSTIQUES
D'UN APPAREILLAGE EN
LYRIC : BENEFICES D'UNE
INSERTION PROFONDE**

Il est impossible de prétendre étudier les résultats d'appareillage en Lyric sans étudier d'abord les avantages de son insertion profonde. En effet, cet appareil n'est pas efficace uniquement grâce à son traitement du signal mais aussi et surtout grâce à son placement profond dans le conduit.

Le tome III des *Précis d'Audioprothèse* [9] définit une insertion longue comme une insertion dépassant le second coude et plaçant l'embout principalement dans la partie osseuse du conduit.

I. Effets bénéfiques sur le gain

1) Amélioration du gain

➤ La loi de Boyle–Mariotte

La loi de Boyle–Mariotte est une des lois de la thermodynamique qui relie le volume à la pression d'un gaz réel. Elle modélise qu'à température constante, l'augmentation de la pression d'un gaz réel passe par la diminution de son volume.

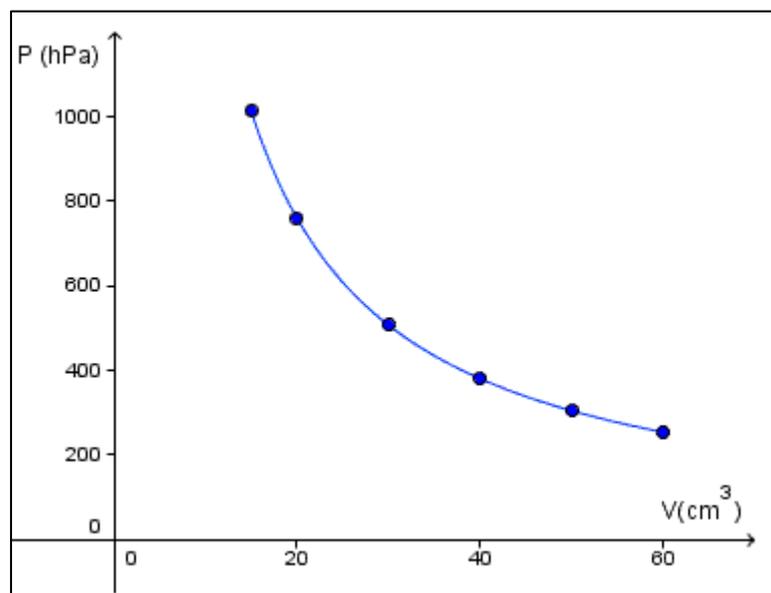


Figure 31– Courbe représentative de la loi de Boyle–Mariotte (5)

Dans le cas présent, cela se traduit par le fait que la pression sonore varie inversement proportionnellement au volume de la cavité résiduelle dans l'oreille après insertion d'un embout. Ce phénomène est modélisé par le schéma ci-dessous, avec un piston-plan et un manomètre.

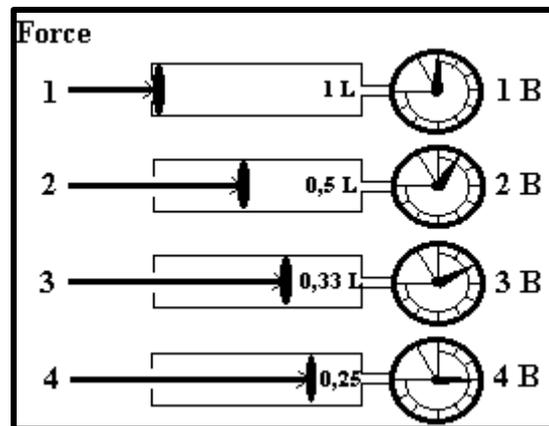


Figure 32– Schématisation de la loi de Boyle–Mariotte (6)

Ainsi, dans le cas de l'insertion profonde du Lyric, la cavité résiduelle entre l'appareil et le tympan est réduite et procure un niveau de gain ressenti comme supérieur pour un niveau d'émission égal.

Il sera donc nécessaire de fournir moins de gain pour atteindre le niveau de sortie souhaité.

➤ **Augmentation de la réserve de gain**

L'augmentation de la réserve de gain est une conséquence directe de l'amélioration du gain : puisque moins de gain est nécessaire pour compenser la perte auditive, l'appareil garde une réserve de gain plus importante.

2) Effets du positionnement et de l'orientation du microphone et de l'écouteur

➤ Le positionnement du microphone :

Le microphone du Lyric étant placé théoriquement à 4mm en avant du méat acoustique, il préserve l'effet pavillonnaire, la résonance du conduit et celle du pavillon (surtout de la conque). Le gain lié à ces propriétés anatomiques, expliqué précédemment dans les rappels anatomo-physiologiques, agit donc de paire avec l'appareil auditif pour compenser la perte, ce qui n'est pas le cas de la plupart des appareils auditifs classiques.

➤ Le positionnement et l'orientation de l'écouteur :

L'écouteur du Lyric est théoriquement situé à 4mm du tympan, ce qui réduit la cavité résiduelle à 0,3 cm³. Comme expliqué précédemment grâce à la loi de Boyle-Mariotte, plus le volume de la cavité résiduelle diminue, plus la pression sonore arrivant sur le tympan augmente.

Il peut parfois arriver que la mauvaise orientation de l'écouteur d'un intra-auriculaire, ou de l'embout d'un BTE, soit la cause de l'échec d'un appareillage. En effet, si le moulage n'est pas assez profond, le son est délivré non pas dans l'axe du tympan mais au contraire il vient buter contre la paroi du CAE. Tout le gain est alors perdu. Dans le cas où l'audioprothésiste ne se rend pas compte de l'erreur, il essaie de compenser la perte de gain en en mettant davantage, ce qui peut engendrer des distorsions. S'il se rend compte de l'erreur d'orientation du moulage, il refait l'embout.

Le Lyric ayant son écouteur placé à 4mm du tympan, le son ne vient jamais buter contre la paroi du CAE. Il arrive directement dans l'axe du tympan. L'orientation de l'écouteur optimise donc le gain arrivant au tympan.



Figure 33- Placement du microphone et de l'écouteur (7)

II. Effets bénéfiques sur d'autres paramètres acoustiques

1) Réduction de l'autophonation et de l'effet d'occlusion

De prime abord, expliquons la distinction entre autophonation et effet d'occlusion. Si un patient se plaint d'entendre sa voix résonner lorsqu'il parle ou mastique avec ses appareils, il faut suspecter les deux problèmes. Pour savoir s'il s'agit d'autophonation ou d'effet d'occlusion, on éteint l'appareil et on vérifie si le problème persiste.

Avec l'appareil éteint, il s'agit d'effet d'occlusion.

Avec l'appareil allumé, il s'agit d'autophonation.

L'effet d'occlusion prend naissance au niveau des cordes vocales. Lorsqu'elles émettent des sons de parole, la plus grosse partie de la pression sonore est dissipée par la voie normale (la bouche). Mais VON BEKESY explique qu'une partie des basses fréquences (inférieures à 500 Hz) est transmise à travers les tissus mous du corps, dont les tissus cartilagineux du CAE, et vibre en opposition de phase par rapport aux mouvements du crâne. Ces vibrations sont converties par les parois du CAE en pression acoustique et entraînent une augmentation de la sensibilité osseuse par augmentation du niveau sonore des basses fréquences allant jusqu'à 25 dB.

Pour se dissiper, ces ondes sonores empruntent le chemin le moins résistant à leur passage. Avec un CAE ouvert, elles se dissipent donc par le méat acoustique et peu ou pas d'énergie n'arrive jusqu'au tympan par le biais de ce phénomène.

Mais avec un conduit obstrué par un embout, l'obstacle le moins résistant est la membrane tympanique. Les basses fréquences transmises par conduction osseuse vont alors traverser le tympan et engendrer la sensation de résonance que signale le patient.

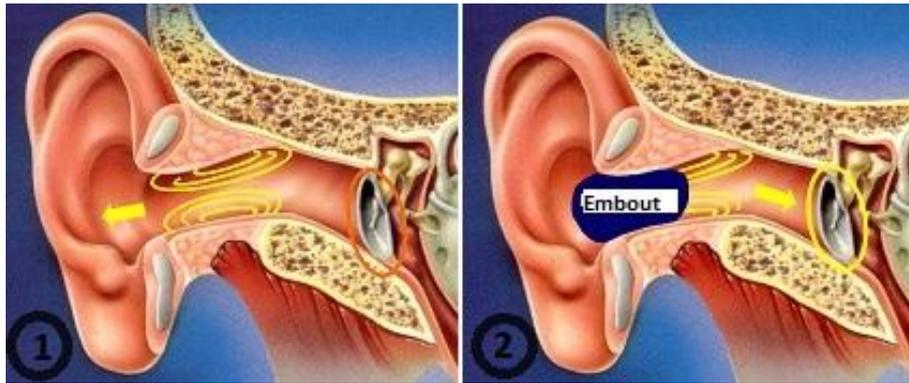


Figure 34- Phénomène d'occlusion (1)

- 1) CAE ouvert : les ondes sonores s'échappent par le méat auditif
- 2) CAE obstrué : les ondes sonores enfermées mobilisent le tympan

La profondeur d'insertion d'un embout joue sur ce phénomène d'occlusion :

- Plus l'insertion est courte, plus une grande portion fibro-cartilagineuse est laissée libre à l'intérieur de la cavité résiduelle. Les vibrations étant transmises via les tissus fibro-cartilagineux, plus cette portion est grande, plus les vibrations sont importantes.
- A l'inverse, plus l'insertion est profonde, moins la portion fibro-cartilagineuse est grande et donc moins les vibrations sont transmises.
- Si l'embout est totalement introduit au niveau de la partie osseuse, l'effet d'occlusion est totalement évité.

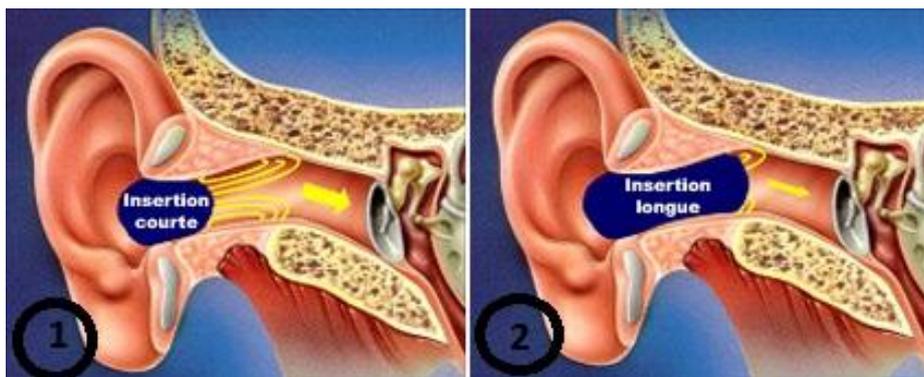


Figure 35- Influence de la profondeur d'insertion sur l'effet d'occlusion (1)

- 1) Insertion courte : beaucoup de vibrations transmises
- 2) Insertion longue : peu de vibrations transmises

Le Lyric étant placé au-delà du deuxième coude, il ne provoque en théorie pas d'effet d'occlusion ni d'autophonation.

2) Réduction de l'effet Larsen

L'effet Larsen résulte de la captation par le microphone du son amplifié par l'appareil et délivré par l'écouteur. L'amplification en boucle provoque le sifflement. Plus le son délivré est fort, et plus il y a un risque d'effet Larsen. Or, nous avons vu précédemment que grâce à son insertion profonde, le Lyric nécessite moins de gain pour atteindre la correction cible, et donc le risque de Larsen est réduit.

De plus, étant introduit dans la portion osseuse du CAE, il n'est pas ou peu soumis aux mouvements liés à l'articulation temporo-mandibulaire qui sont une cause de Larsen.

3) Déplacement dans les aigus de la fréquence de résonance du conduit

La fréquence de résonance du conduit varie en fonction de sa longueur lorsqu'il est libre, et de la longueur de la cavité résiduelle lorsqu'il est obstrué.

Déterminons la valeur de la fréquence de résonance du conduit avec un Lyric :

On modélise le conduit par le schéma ci-dessous :

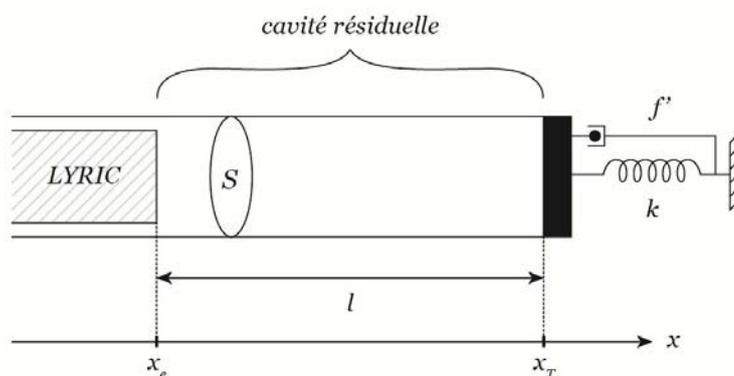


Figure 36– Modélisation du conduit auditif obstrué par le Lyric

Les deux extrémités du tube sont fermées : à gauche par la paroi que représente le Lyric, à droite par une paroi qui symbolise le tympan.

Démonstration théorique de l'expression de la fréquence de résonance :

Soit z_e l'impédance acoustique spécifique réduite en x_e et soit z_T l'impédance acoustique spécifique réduite en x_T . Les deux extrémités étant fermées, z_e et z_T tendent vers l'infini.

- $z_e \rightarrow \infty$ et $z_T \rightarrow \infty$

- $z_e = \frac{z_T}{1 + j.z_T.\tan(kl)} = \frac{1}{j.\tan(kl)}$ où k est le nombre d'onde $k = \frac{\omega}{c}$

ω : pulsation

$c = 340$ m/s : célérité du son dans l'air

- Puisque $z_e \rightarrow \infty$, alors $\tan(kl) \rightarrow 0$

L'approximation des basses fréquences nous permet d'écrire : $\tan(kl) = kl$ et donc $kl \rightarrow 0$.

$$\tan(kl) = \frac{\sin(kl)}{\cos(kl)} \rightarrow 0 \text{ d'où } \sin(kl) \rightarrow 0$$

$\sin(kl) = 0$ si et seulement si $k_n l = n\pi$

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c}$$

$$\text{D'où : } \frac{2\omega l}{c} = n\pi$$

On déduit ainsi l'expression de la fréquence de résonance :

$$\boxed{f = \frac{nc}{2l}}$$

L'expression de la fréquence de résonance montre que celle-ci est inversement proportionnelle à la longueur du tube, et donc de la cavité. Plus la cavité résiduelle est courte et plus la fréquence de résonance du conduit est élevée, donc déplacée dans les aigus.

Cependant, cette démonstration néglige la raideur et la masse du tympan.

Soient :

$$c=340 \text{ m.s}^{-1}$$

$$l=4 \text{ mm}$$

On trouve alors une fréquence de 42500 Hz, ce qui est énorme. Il ne faut donc pas utiliser cette formule pour calculer la fréquence de résonance d'un conduit obstrué par un Lyric car il est nécessaire de prendre en compte la raideur et la masse du tympan. Cette démonstration permet uniquement de mettre en évidence le rapport inversement proportionnel entre la fréquence et la longueur de la cavité résiduelle. Elle nous permet de dire que la fréquence est déplacée dans les aigus.

Calcul précis de la fréquence de résonance du conduit obstrué par un Lyric :

- $Z_e \rightarrow \infty$

- $Z_T = \frac{z_e - j \cdot \tan(kl)}{1 - j \cdot z_e \cdot \tan(kl)} = j \tan(kl)$ car $z_e \rightarrow \infty$

- Soit Z_T : impédance de rayonnement acoustique (homogène à une impédance mécanique)

$$Z_T = S \rho_0 c \cdot z_T = j S \rho_0 c \tan(kl)$$

- $Z_{TOT} = Z_T + Z_m$ où Z_m : impédance mécanique du système tympanique
 $Z_m = f' + j(m\omega - \frac{K}{\omega})$

$$\text{D'où : } Z_{TOT} = f' + j[m\omega - \frac{K}{\omega} + S \rho_0 c \tan(kl)]$$

- A la résonance : $\text{Im}(Z_{TOT})=0$ d'où : $m\omega - \frac{K}{\omega} + S \rho_0 c \tan(kl) = 0$

$$\rho_0 = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \text{ où } d = 8 \text{ mm (diamètre du conduit) donc } S = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$C = 340 \text{ m.s}^{-1}$$

$m = 6 \text{ mg}$ soit $6 \cdot 10^{-6} \text{ Kg}$

$K = 3000 \text{ N.m}^{-1}$

$l = 0,004 \text{ m}$ (longueur de la cavité résiduelle)

A partir de l'équation suivante : $m\omega - \frac{K}{\omega} + S\rho_0 \tan(kl) = 0$

$$\text{On isole } \omega : \omega = \sqrt{\frac{K}{(m + S\rho_0 l)}} = \sqrt{\frac{3000}{6 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-5} \times 1,3 \times 0,004}} \approx 21891$$

Or, $\omega = 2\pi f$, d'où $f = \frac{\omega}{2\pi}$

Donc : $f \approx 3484 \text{ Hz}$

Dans la première partie du mémoire, il a été calculé que la fréquence de résonance du conduit auditif ouvert est de 3 156,90 Hz.

Avec un Lyric dans le conduit, la fréquence de résonance est donc bien déplacée vers les aigus.

4) Préservation de la directivité

L'insertion profonde permet de capter le son au niveau d'un micro situé seulement à 16 mm en avant du tympan, et donc de conserver une directivité proche de celle de l'oreille humaine.

Des diagrammes de directivité réalisés par Phonak (non communiqués) montrent que la directivité mesurée avec un Lyric se superpose à celle mesurée sur un Kemar.

CONCLUSION SUR LA PARTIE III :

Le placement profond du Lyric apporte de nombreux avantages. Un gain moins important doit être délivré, ce qui diminue les risques de Larsen, limite les distorsions et préserve la réserve de gain de l'appareil. Le pic de résonance du conduit est déplacé dans les aigus, plus proche alors des fréquences essentielles à la compréhension. Enfin, le positionnement du microphone en avant du méat auditif permet de conserver une écoute proche de l'écoute naturelle de l'oreille. De tous ces avantages, il résulte une qualité sonore qui s'ajoute au confort de port lié au positionnement du Lyric dans la portion osseuse du conduit.

Partie IV : ETUDE PRATIQUE

1^{ère} PARTIE : Les tests

I. Choix de l'échantillon

1) Critères de sélection des patients

- Le sexe

Le sexe du patient n'est pas un critère de sélection, l'échantillon est composé d'hommes et de femmes sans que la proportion de chaque sexe soit un indice à prendre en considération.

- L'âge

Il n'y a pas de limite d'âge pour un appareillage en Lyric, je n'ai donc pas sélectionné les patients en fonction de leur âge.

- Le style de vie

Les patients composant cet échantillon sont des « patients-Lyric » tels qu'ils sont définis par Phonak, socialement actifs, motivés et sans troubles cognitifs.

- Le type de surdité

Les critères de la surdité sont définis ainsi :

- Surdité de perception non fluctuante,
- Symétrique ou asymétrie légère, ne perturbant pas la binauralité,
- Audiogramme rentrant dans la plage d'application définie par Phonak : surdités légères à moyennement sévères,
- Pas d'acouphènes,
- Intelligibilité non dégradée.

- Les antécédents audioprothétiques

L'échantillon peut être divisé en trois groupes :

- 1^{er} groupe : patients n'ayant jamais été appareillés avant, le Lyric est leur première adaptation

- 2^{ème} groupe : patients ayant été appareillés précédemment en RIC (Receiver in the canal) et ayant opté pour le Lyric lors du renouvellement
- 3^{ème} groupe : patients ayant été appareillés précédemment in intra-auriculaires type CIC (Completely in the canal) et ayant opté pour le Lyric lors du renouvellement

Le choix de ces trois groupes au lieu d'un seul résulte de la volonté d'explorer les résultats d'appareillage en Lyric pour tous les types de patients, quelque soit leurs antécédents audioprothétiques. Le premier groupe est composé de patients inexpérimentés, alors que les deux autres groupes sont composés de patients ayant déjà fait l'expérience de l'appareillage classique. Ces deux derniers groupes permettront par la suite d'établir des comparaisons entre l'appareillage classique et l'appareillage en Lyric.

Il faut noter que chacun des patients de cet échantillon ne présente aucune contre-indication, ni d'ordre ORL ni d'ordre médical.

2) Composition de l'échantillon

L'échantillon est composé en tout de 19 patients, 6 femmes et 13 hommes. Le déséquilibre entre la proportion d'hommes et de femmes n'est pas lié au sexe de manière génomique, mais peut s'expliquer par le fait que les hommes jeunes ont du mal à franchir le pas de l'appareillage, notamment à cause de l'esthétique. Ils n'ont pas l'avantage des cheveux longs qu'ont les femmes pour camoufler les appareils. Avec une solution totalement invisible comme le Lyric, leur besoin d'esthétisme est satisfait et mon expérience auprès de ces patients me permet de dire que c'est bel et bien l'aspect invisible du Lyric qui a attiré les patients masculins.

Composition de chaque groupe :

1^{er} groupe : 4 hommes, 3 femmes

2^{ème} groupe : 5 hommes, 2 femmes

3^{ème} groupe : 4 hommes, 1 femme

La moyenne d'âge est de 60,7 ans, le patient le plus jeune étant âgé de 32 ans et le plus vieux de 76 ans.

Quand à la moyenne des pertes auditives tonales, elle est de 47,8 dB, la plus faible étant de 30 dB et la plus élevée de 65 dB.

II. Protocole

L'objet de cette étude pratique est de vérifier les résultats d'appareillage en Lyric. Ainsi, voici la problématique posée :

« La technologie analogique du Lyric porte-t-elle préjudice aux résultats audioprothétiques ? »

On aurait également pu la poser ainsi : « La technologie analogique du Lyric, synonyme de régression ? ».

Il s'agit donc ici de montrer l'efficacité de l'appareillage en Lyric par le biais de tests.

Note importante :

Le premier groupe de patients, composé de patients n'ayant jamais été appareillés auparavant, nous apportera une partie de la réponse à la problématique. En effet, les résultats permettront de vérifier l'efficacité de l'appareillage en Lyric.

Les résultats des groupes 2 et 3 nous permettront, quant à eux, également de vérifier l'efficacité de l'appareillage en Lyric mais aussi de voir si les bénéfices acoustiques sont équivalents à ceux obtenus en appareillage classique.

Pour les patients des deuxième et troisième groupes, il faut préciser les conditions de tests. Tous les tests effectués avec les anciens appareils (RIC ou CIC) ont été faits avec les **traitements du signal activés**. En effet, j'ai pour objectif de comparer les différentes solutions d'appareillage dans l'état final dans lequel elles sont dans l'oreille du patient. Ainsi, il ne fallait surtout pas

désactiver les traitements du signal par soucis « d'égalité » avec le Lyric mais au contraire le laisser actifs pour comparer les deux solutions dans leur intégralité.

Voici l'ensemble des tests qui ont été réalisés :

- Audiométrie tonale et audiométrie vocale – oreilles nues (l'audiométrie vocale dans le calme n'est pas un test que j'ai réalisé avec Lyric. Le réaliser sur oreilles nues m'a simplement permis de vérifier au préalable la qualité de l'intelligibilité)
- Audiométrie vocale dans le bruit (Test AVB de Dodelé) – oreilles nues
- Audiométrie tonale et audiométrie vocale dans le bruit avec l'ancien appareillage, uniquement pour les patients du 2^{ème} et du 3^{ème} groupe
- Audiométrie tonale avec Lyric
- Audiométrie vocale dans le bruit avec Lyric

Les résultats des gains prothétiques et des tests de compréhension dans le bruit me serviront pour établir les conclusions de mon étude.

DEROULEMENT DU PROTOCOLE DE TEST :

- **RDV 1 :**
 - otoscopie permettant d'évaluer l'adaptation en Lyric
 - audiométrie tonale, audiométrie vocale, et audiométrie vocale dans le bruit (Test AVB de Dodelé), oreilles nues, en champ libre
 - audiométrie tonale et audiométrie vocale dans le bruit avec l'ancien appareillage pour les patients des groupes 2 et 3
 - remise d'un questionnaire de satisfaction permettant d'évaluer la qualité de l'ancien appareillage, à remplir impérativement avant le début de l'adaptation en Lyric

- **RDV 2 :**
 - Livraison des Lyric, réglages, explications sur le mode d'utilisation
 - Tests d'efficacité prothétique : audiométrie tonale et vocale

- **RDV D'ADAPTATION :**

Au cours de ces rendez-vous, on affine les réglages en fonction des remarques du patient, comme lors de l'adaptation d'un appareillage conventionnel. Trois à quatre rendez-vous ont en général été nécessaires, sur une période d'un mois et demi.

- **DERNIER RDV D'ADAPTATION :**

A ce stade, l'adaptation est terminée et on a obtenu les réglages finaux de l'appareil, tels qu'ils apportent satisfaction au patient. C'est à ce moment que l'on réalise le dernier test : le test de compréhension dans le bruit avec Lyric.

- **PREMIER CHANGEMENT DES APPAREILS :**

Il a en théorie lieu quatre mois après la pose, soit la durée de vie de la pile. En réalité les patients sont revenus entre un mois et demi et trois mois après la pose des premiers Lyric. Ils avaient alors assez d'expérience pour remplir le questionnaire de satisfaction portant sur le Lyric.

Ces questionnaires seront étudiés ultérieurement.

III. Gain prothétique

1) Profil audiométrique des patients

a) Profil audiométrique tonal

Parmi les patients de l'échantillon, on trouve différentes courbes de perte audiométrique tonale.

La majorité présente une courbe peu inclinée, c'est-à-dire une courbe en pente de ski très légère dont la pente est de l'ordre de 10 dB par octave. Ces patients ont tous des fréquences graves abaissées, soit au même niveau que les fréquences moyennes, soit un peu au-dessus.

La courbe ci-dessous illustre ce type de surdité, avec des fréquences graves plus hautes que les fréquences moyennes :

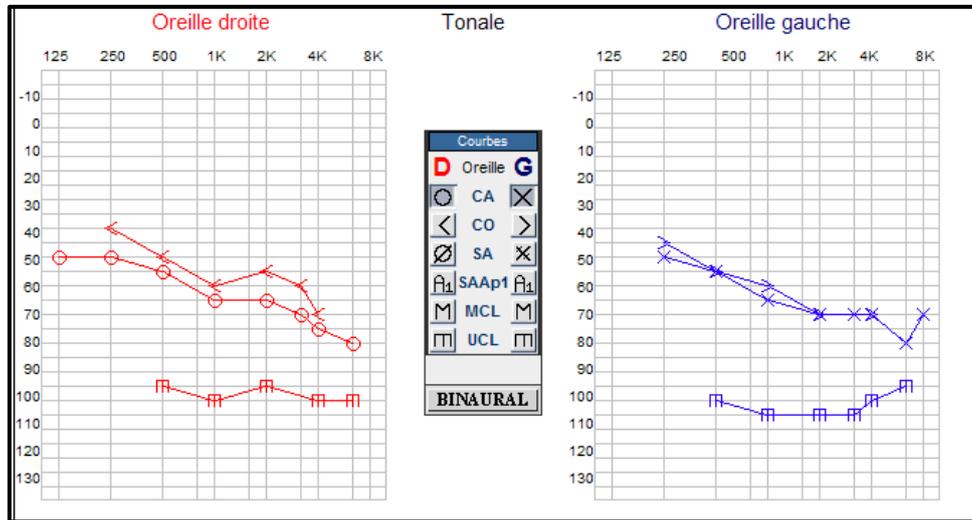


Figure 37- Audiométrie tonale de Monsieur Lev.

On trouve également des courbes en plateau avec pour seules fréquences abaissées les fréquences comprises entre 4000 Hz et 8000 Hz, des courbes en U ainsi que des courbes avec une perte prédominante dans les graves.

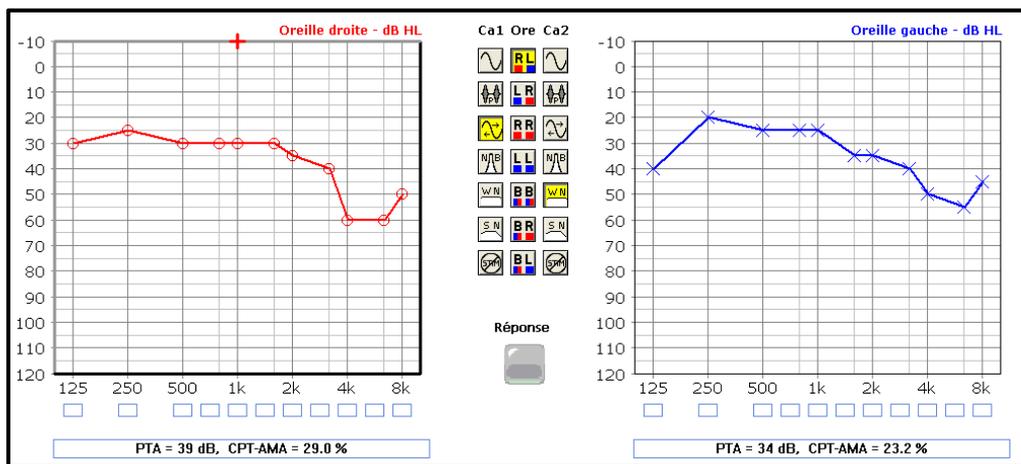


Figure 38- Courbe en plateau de Madame Mou.

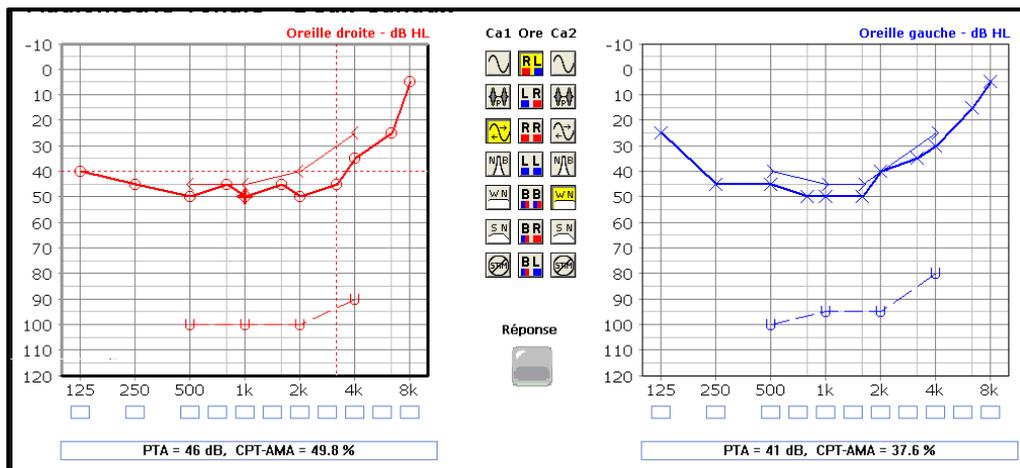


Figure 39– Courbe en U de Madame Ru.

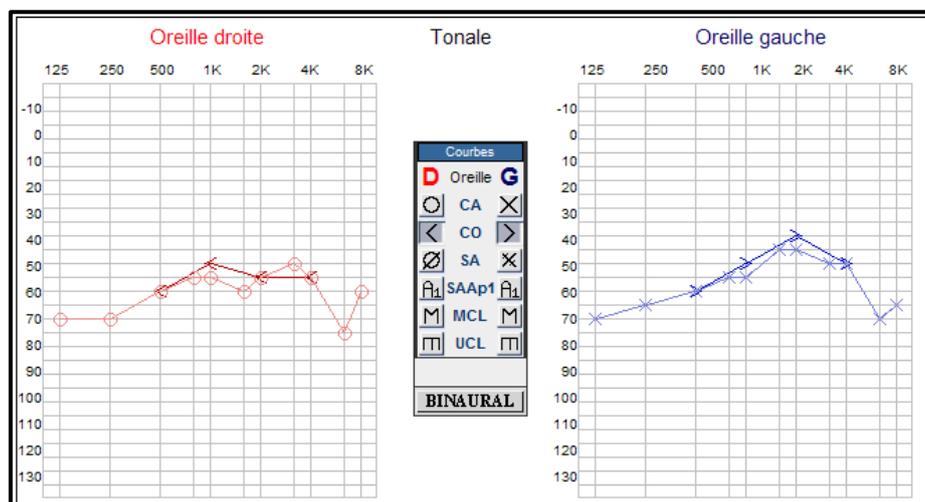


Figure 40– Prédominance de la perte dans les graves de Monsieur Ri.

La moyenne bilatérale des pertes tonales des 19 sujets est de **47,8 dB**, soit une perte moyenne « légère ».

b) Profil audiométrique vocal

Intérêt de réaliser l'audiométrie vocale :

L'audiométrie vocale est une mesure globale de la fonction auditive chargée d'évaluer l'intelligibilité de la parole. Elle teste non seulement l'appareil neurosensoriel de l'audition, mais aussi la mémoire, la connaissance de la

langue et la suppléance mentale. Elle joue donc un rôle essentiel dans l'appréciation des capacités de communication d'un individu.

Matériel vocal utilisé :

L'audiométrie vocale est réalisée avec **les listes cochléaires de Lafon [Annexe 2]**. Ces listes mesurent les distorsions cochléaires qui se pratiquent en supraliminaire, dans le champ auditif résiduel. Elles sont composées de 20 listes phonétiquement équilibrées de 17 mots de trois phonèmes chacun. On assimile le nombre de phonèmes par liste à 50. L'unité d'erreur est le phonème, on compte donc le nombre de phonèmes non perçus ou erronés. La répétition d'un mot avec un phonème surnuméraire n'est pas comptabilisée comme une erreur et un mot non répété sera présenté à nouveau en fin de liste.

La principale fonction auditive qu'étudient ces listes est l'identification phonétique. La suppléance mentale est d'autant plus réduite que le patient doit répondre instantanément et que les mots sont monosyllabiques.

Ces listes permettent donc une analyse fine de l'intelligibilité.

Le maximum d'intelligibilité est de 100% pour tous les patients de l'échantillon : avec un niveau sonore suffisant, tous parviennent à comprendre l'ensemble des mots, ce qui signifie que l'intelligibilité n'est pas atteinte. Ces résultats sont de bon présage pour la réussite de l'appareillage.

2) Résultats de gain prothétique

L'étude du gain prothétique se fait par la mesure de la perte tonale moyenne oreilles nues, avec Lyric et avec l'ancien appareillage (appareillage classique) pour les patients issus des groupes 2 et 3.

La perte tonale moyenne notée PTM a été calculée avec les valeurs sur 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-après.

➤ Expression des résultats selon le niveau de surdité :

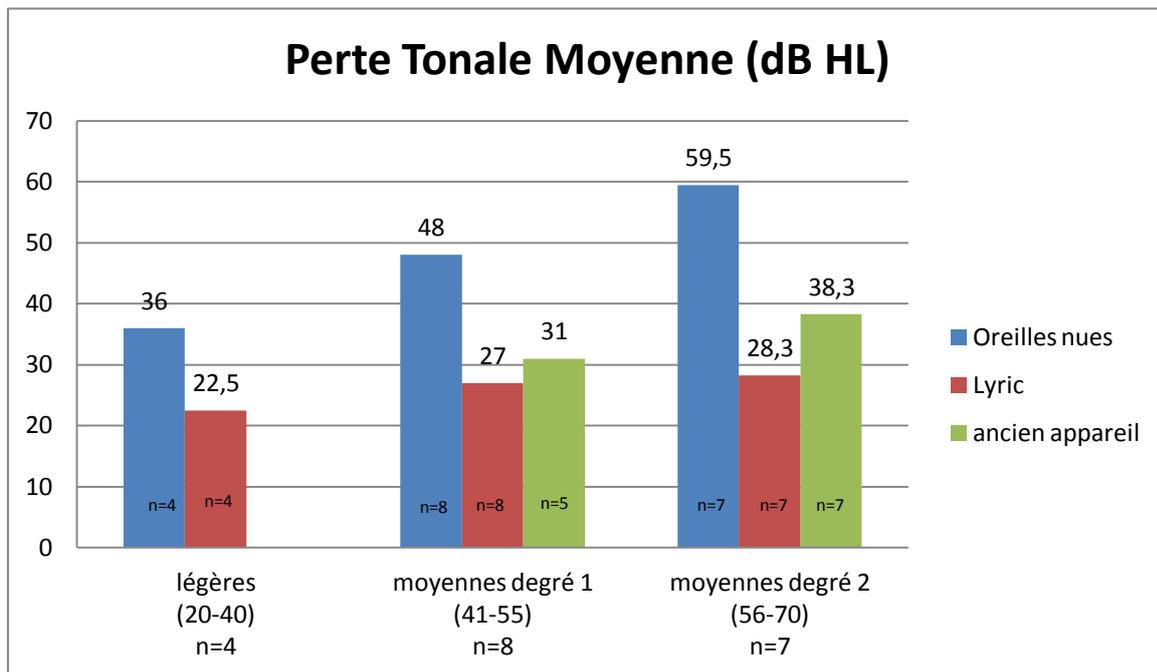


Figure 41 – Histogramme de gain prothétique selon le type de surdité

4 patients sont atteints de surdité légère, 8 patients de surdité moyenne comprise entre 41 et 55 dB de PTM, et 7 patients de surdité moyenne comprise entre 56 et 70 dB de PTM. Aucun patient ne présente de surdité sévère, bien que Lyric soit adaptable aux surdités moyennement sévères. On attribuera donc ce fait au hasard.

Remarque :

Les quatre patients présentant une surdité légère appartiennent au 1^{er} groupe, ce qui explique que l'histogramme ne présente pas de résultats de PTM avec l'ancien appareillage. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces patients ayant une surdité légère au moment des tests, ils n'avaient pas eu besoin de prothèses auditives précédemment. La première fois qu'ils se sont fait appareiller, ils ont choisi directement la solution en Lyric.

Résultats :

- Pour les surdités légères : le Lyric permet de passer de 36 à 22,5 dB de PTM
- Pour les surdités moyennes de degré 1 : le Lyric permet de passer de 48 à 27 dB de PTM, et l'appareillage classique de 48 à 31 dB de PTM
- Pour les surdités moyennes de degré 2 : le Lyric permet de passer de 59,5 à 28,3 dB de PTM, et l'appareillage classique de 59,5 à 38,3 dB de PTM.

➤ Expression des résultats par groupe :

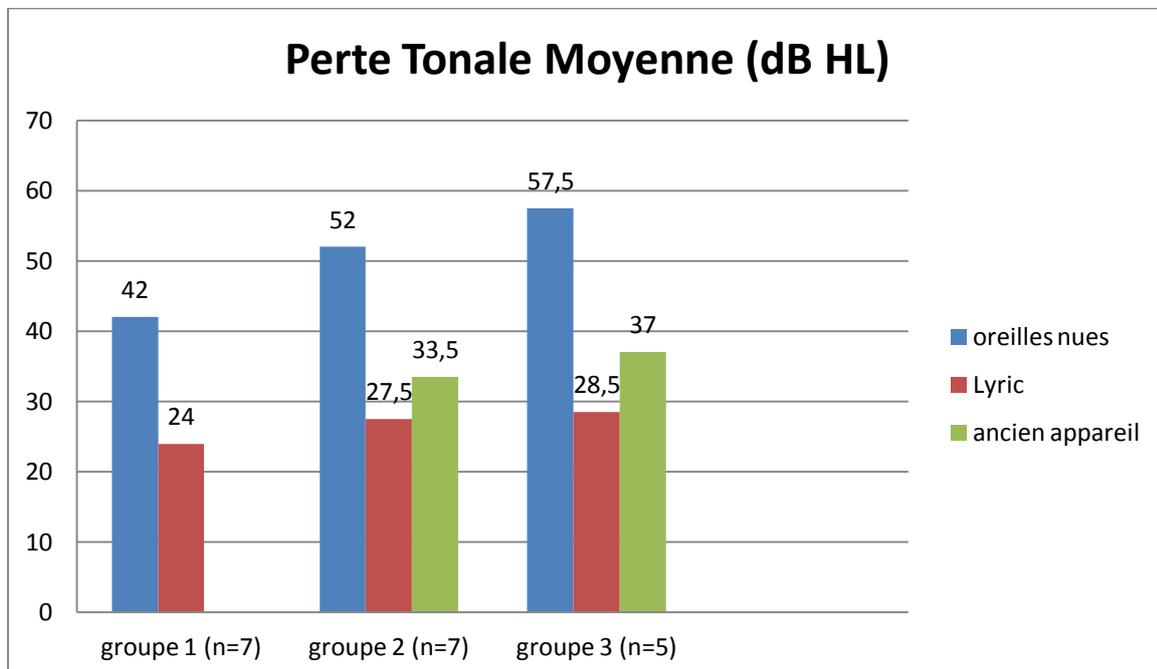


Figure 42- Histogramme de gain prothétique par groupe

Résultats :

- Groupe 1 : le Lyric permet de passer de 42 dB à 24 dB de PTM
- Groupe 2 : le Lyric permet de passer de 52dB à 27,5 dB de PTM, et l'appareillage en RIC de 52 dB à 33,5 dB de PTM
- Groupe 3 : le Lyric permet de passer de 57,5dB à 28,5 dB de PTM, et l'appareillage en CIC de 57,5 dB à 37 dB de PTM.

➤ Analyse des résultats :

Ces chiffres nous permettent de dire que la réhabilitation de l'audition est réussie avec le Lyric.

– Dans le cas des surdités moyennes de degré 1, les résultats en Lyric et avec l'appareillage classique sont assez similaires. Dans le cas des pertes moyennes de degré 2, les résultats sont nettement meilleurs en Lyric.

– La moyenne des gains prothétiques du groupe 1 est de 18 dB, ce qui est très probant compte tenu de la moyenne des PTM oreilles nues qui était de 44 dB.

Pour les patients des groupes 2 et 3, les résultats sont bons et supérieurs aux résultats obtenus en appareillage classique.

Le but de ces tests n'est cependant pas de démontrer la supériorité du Lyric mais simplement de répondre à la problématique posée : malgré sa technologie analogique, le Lyric peut-il offrir aux patients des bénéfices équivalents à ceux des aides auditives numériques ?

Ces résultats nous permettent de répondre positivement à cette question.

IV. Test d'intelligibilité en milieu bruyant : le test AVB de DODELE

1) Objectifs du test

Le choix d'un test dans le bruit :

L'audiométrie vocale permet de tester la fonction auditive dans son ensemble : l'audition et la compréhension. Réalisée dans le silence, elle révèle certes les capacités de communication du malentendant, mais ne répond pas entièrement à ses attentes. Le malentendant veut entendre en toutes circonstances : dans la rue, dans un dîner à plusieurs, dans une soirée cocktail... L'audiométrie vocale dans le bruit, test AVB de Dodelé, **évalue la dégradation de l'intelligibilité en fonction de l'intensité du bruit de fond** et permet de tester ce que ne teste pas l'audiométrie vocale dans le silence (AVS) :

- Les débruiteurs,
- Les microphones directionnels,
- La stéréophonie d'un appareillage binaural,

- L'efficacité d'appareillage des pertes légères.

Elle est représentative des performances des appareillages modernes.

En outre, nous savons que les « patients-Lyric » sont des patients relativement jeunes, pour certains encore dans la vie active, et tous demandeurs de confort et d'efficacité en toutes circonstances. C'est pourquoi tester l'efficacité d'un appareillage en Lyric implique de réaliser l'AVB de Dodelé.

2) Le matériel vocal

a) Le signal : les LLD (Listes de Logatomes de Dodelé)

On utilise les listes verbo-fréquentielles de Dodelé, appelées aussi LLD [Annexe 3].

Elles ont été créées en 1992 par David et Léon Dodelé. Au nombre de cinq, elles sont basées sur les travaux de Jean Claude Lafon, et ont été élaborées avec l'aide de Franck Lefèvre. Chaque liste est composée de 18 logatomes, mots n'ayant pas de signification, chacun composé de 3 phonèmes disposés selon le modèle voyelle-consonne-voyelle. Le premier logatome n'est pas pris en compte dans les résultats, il sert uniquement à attirer l'attention du sujet et à signaler au testeur le numéro de la liste qui va être présentée.

Tout comme le test cochléaire de Lafon, les phonèmes déformés ou non répétés sont comptabilisés comme des erreurs, et les phonèmes surnuméraires ne le sont pas.

Le pourcentage de confusions phonétiques est obtenu en comptabilisant le nombre d'erreurs par un calcul qui sera détaillé ultérieurement.

Les intérêts des LLD sont multiples :

- Elles utilisent des logatomes et non des mots. Les logatomes ne peuvent être qu'entendus, alors que les mots peuvent être compris voire devinés ou recomposés. Les logatomes ne font ainsi pas appel à la suppléance mentale et ne nécessitent pas de connaissance de la langue. « Entendre » est lié à l'audition périphérique ; « comprendre » est lié à l'audition centrale. Or, une aide auditive

agit uniquement sur l'audition périphérique. Les logatomes permettent donc de tester réellement ce que corrigent les aides auditives.

– Les listes verbo–fréquentielles présentent un autre avantage : le nombre de phonèmes comptabilisés. Chaque liste étant composée de 17 logatomes de 3 phonèmes, elle compte en tout 51 phonèmes. On ramène ce nombre à 50 et on le multiplie par 2. On obtient alors un résultat en pourcentage qui nous donne le nombre d'erreurs. Une erreur sur un phonème ne « coûte » qu'un point sur 50, alors qu'une erreur sur un mot tiré d'une liste de Fournier, par exemple, « coûte » un point sur 10, soit 10% d'erreur.

– Grâce aux logatomes, on ne se contente pas de compter les erreurs mais on procède à la gestion des confusions : en repérant sur quels logatomes ont été faites les erreurs, on identifie les fréquences sur lesquelles il faut agir.

– Les listes de logatomes sont équilibrées en difficultés, et donc fiables et reproductibles. Le terme de reproductibilité signifie que dans une même situation de stimulation et d'écoute, chaque liste présente le même niveau de difficulté et aboutit au même score vocal.

Dans chaque liste, les 17 consonnes utilisées sont les plus représentatives de la langue française tandis que les 34 voyelles respectent leur fréquence d'apparition. Lors de la création de ces listes, le but n'était pas de les équilibrer sur le plan de la phonétique mais d'équilibrer les listes entre elles sur la difficulté de compréhension.

En 1998, Franck Lefèvre a fortement contribué à l'amélioration de l'équilibrage de ces listes en attribuant à chaque logatome un indice statistique de difficulté (ISD) noté de 0 à 9. Cet outil est très intéressant dans la mesure où la somme des ISD de chaque liste est identique, rendant ainsi toutes les listes équivalentes entre elles.

b) Le bruit

Le bruit doit avant tout être **réaliste**, c'est-à-dire représentatif du spectre à long terme de la parole. Un bruit trop « technique » ne sera pas assez réaliste. Il doit être :

- Non identifiable,
- Séparé du signal,
- Discontinu,
- Ecrêté et équilibré.

Expliquons la signification de chacun de ces termes :

Représentatif du spectre à long terme de la parole :

Le bruit doit être réaliste, c'est-à-dire semblable aux bruits de parole auxquels sont confrontés les patients dans leur vie quotidienne. Ainsi, Léon Dodelé a créé l'Onde Vocale Globale (OVG), obtenue par mixage des voix d'un couple parlant français, et d'un couple parlant anglais.

En 1969, Lehmann affirme que « le masquage maximum apparaît dès que l'on mélange quatre voix » [10]

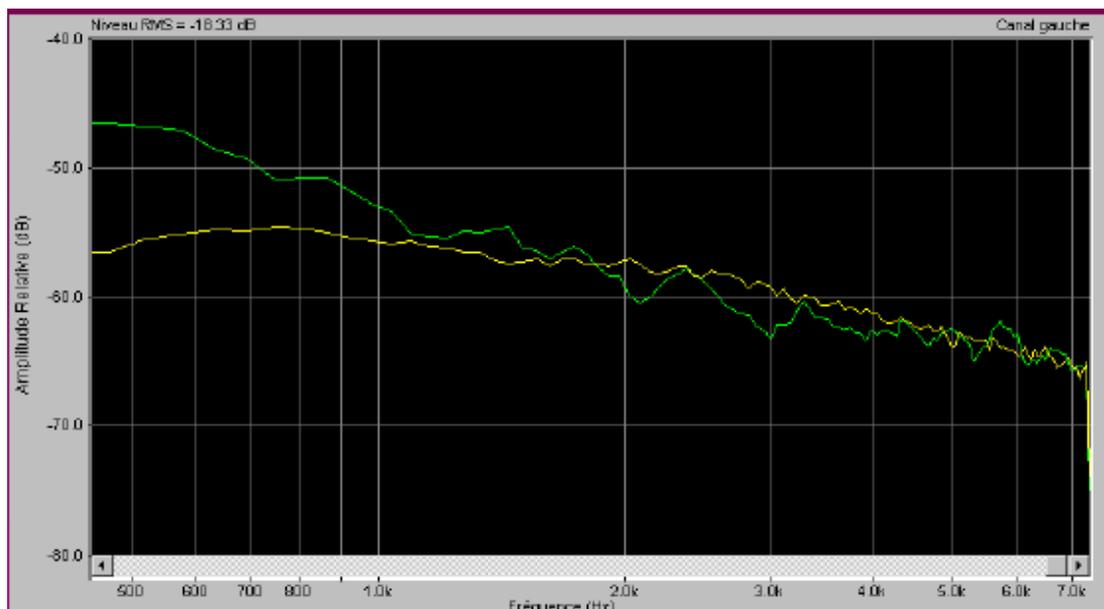


Figure 43- Spectre à long terme de l'OVG [11]

Non identifiable :

Le patient ne doit pas pouvoir reconnaître de mots afin de ne pas être induit en erreur ni de voir son attention détournée de l'écoute des listes.

Séparé du signal :

Lorsque le bruit et le signal sont mélangés dans le même haut parleur, l'audition ne peut utiliser les indices de localisation spatiale qu'apporte la binauralité. Le test ne serait alors pas pertinent. Un bruit séparé du signal, comme c'est le cas de la vie courante, permet de tirer profit des différences interaurales d'intensité, de phase et de temps.

Discontinu :

Pour comprendre un son discontinu et identifier deux impulsions sonores distinctes mais rapprochées dans le temps, l'oreille fait appel à sa faculté de discrimination temporelle, son pouvoir séparateur étant de quelques millisecondes (5 à 25 ms).

Dans le cas d'un bruit continu, l'oreille ne dispose plus des silences acoustiques entre chaque stimulation pour décoder le signal, et la compréhension de la parole en présence d'un bruit continu sera affectée.

Pour ces raisons, l'AVB n'est jamais réalisée avec un bruit blanc ou un bruit rose mais avec un bruit spécialement élaboré, que l'on nomme en général « bruit de cocktail party ». En outre, les bruits continus ne sont pas réalistes donc ne répondent pas aux attentes des patients, et les appareils de correction auditive numériques savent les analyser et les diminuer.

Ecrêté et équilibré numériquement :

L'écrtage sert à éliminer tout éclat de voix qui viendrait fausser le test.

3) Passation du test

a) Conditions de test

➤ Intensité du signal

Pour les tests sur oreilles nues, l'intensité du signal est fixée au niveau du seuil de confort vocal du patient.

Pour les tests réalisés avec appareil (appareil conventionnel ou Lyric), l'intensité du signal est fixée à 55 dB HL car c'est l'intensité de la voix moyenne, à laquelle le seuil de confort vocal est censé avoir été ramené grâce à l'appareillage.

➤ Le rapport signal/bruit (RSB)

L'intensité du bruit varie de 40 dB à 55 dB, soit sur une plage de 15 dB, par pas de 5 dB.

Pour un bruit à 40 dB, le RSB est de 15 dB. Il est de 10 dB pour un bruit à 45 dB, de 5 dB pour un bruit à 50 dB et de 0 dB pour un bruit à 55dB.

Le choix du RSB conditionne la pertinence du test. En effet, si le bruit n'est pas du tout gênant pour le sujet, on ne testera alors aucunement l'amélioration apportée par l'appareillage.

Dans le cas inverse, si le bruit est d'emblée trop masquant pour que le sujet testé ne puisse répéter un mot, le bénéfice apporté par l'appareillage ne pourra pas être constaté.

➤ L'équipement utilisé et les conditions de passation du test

Pour réaliser ce test, il faut s'équiper d'un CD des listes verbo-fréquentielles, d'un lecteur CD (celui de l'ordinateur en général), et de deux haut-parleurs.

Le premier haut-parleur situé face au patient délivre le signal ; le deuxième haut-parleur est situé derrière le patient, à 180°, et délivre le bruit. Cette disposition est simple et valable pour réaliser ce test, mais il faut noter qu'une meilleure configuration stéréophonique aurait pu être réalisée avec la disposition 5.1 ou avec la disposition 7.1, préconisée par Léon Dodelé.

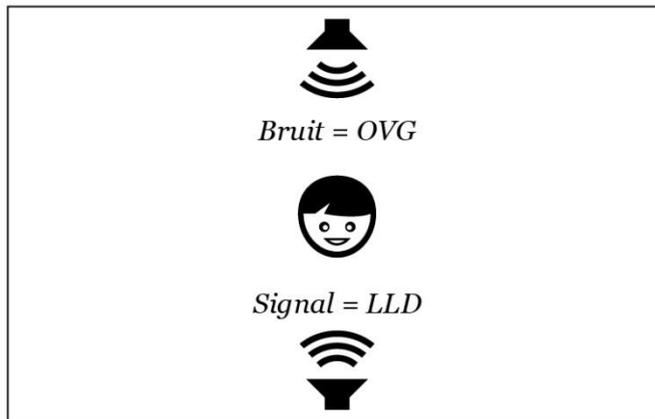


Figure 44– Installation avec deux haut-parleurs – Vue de dessus

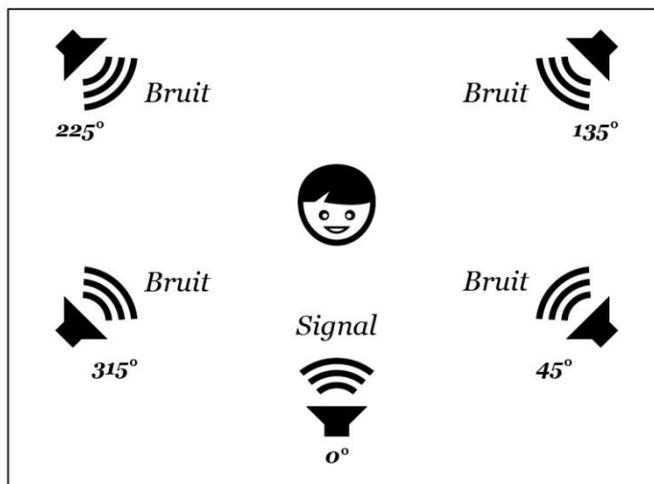


Figure 45– Installation 5.1 – Vue de dessus

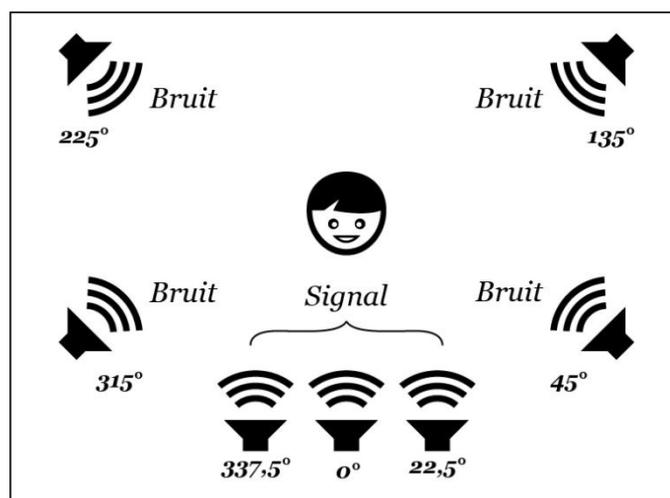


Figure 46– Installation 7.1 (configuration Dodelé) – Vue de dessus

b) Consignes de test

La présentation des consignes au patient est une étape essentielle. La précision et la clarté sont déterminantes dans la réussite du test. Si on s'aperçoit en cours de liste que le patient n'a pas saisi la consigne, il est nécessaire de s'arrêter et de la lui répéter.

Voici la consigne enregistrée sur le Vocalist par Léon Dodelé :

« Vous allez entendre des mots dont la particularité est de n'avoir aucune signification. Je vous demande tout simplement de répéter ce que vous avez entendu, même si vous n'avez entendu qu'une partie du mot. Ne cherchez donc pas à trouver un sens au mot. Nous allons commencer le test. » [12]

Dans le cas de l'audiométrie vocale dans le bruit, il faut rajouter que les mots seront entendus avec un bruit perturbant auquel il ne faudra pas prêter attention.

4) Résultats

a) Résultats en pourcentages d'intelligibilité

Les informations collectées nous permettent d'établir, pour chaque groupe, un graphe exprimant le pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB, pour chaque appareil.

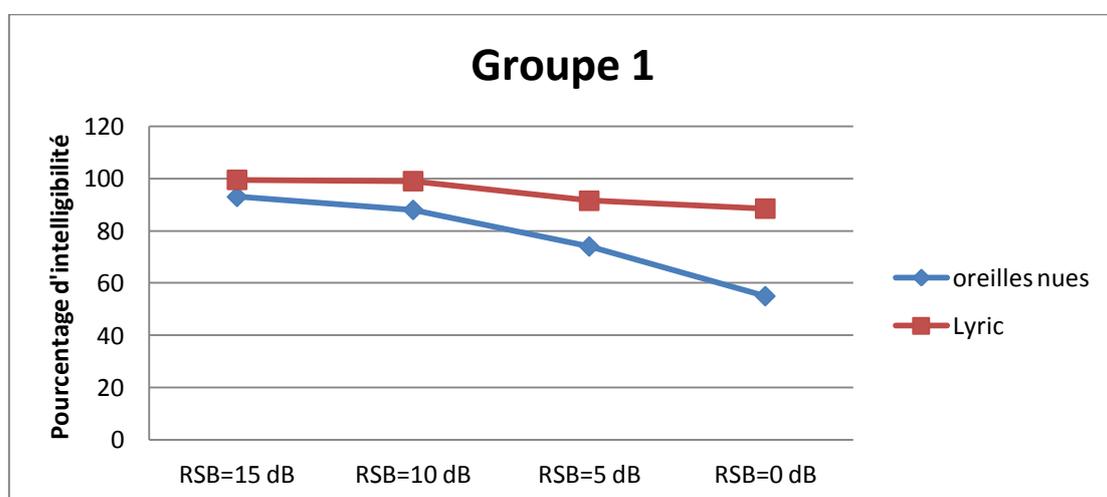


Figure 47- Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB – Groupe 1

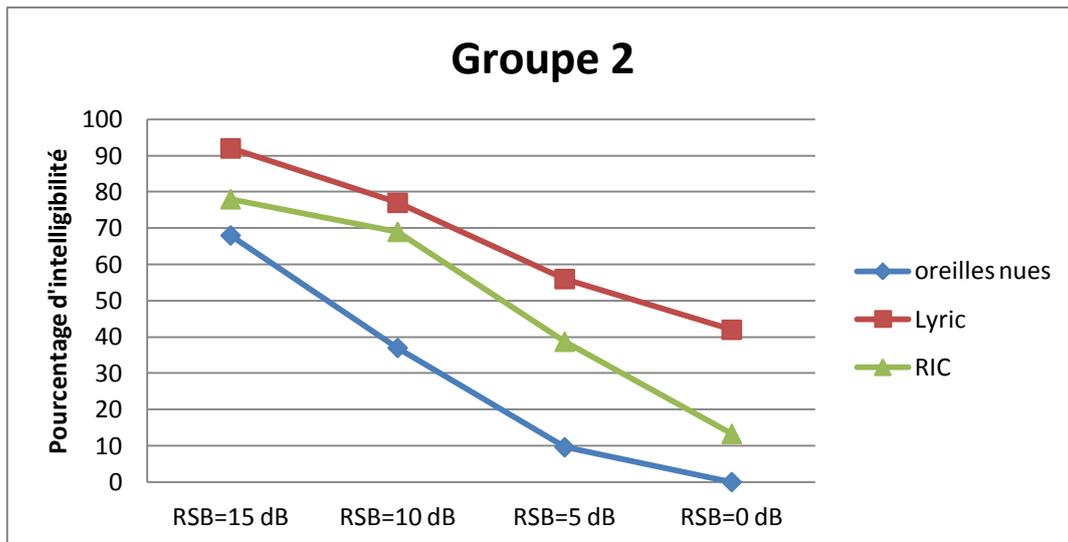


Figure 48- Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB - Groupe 2

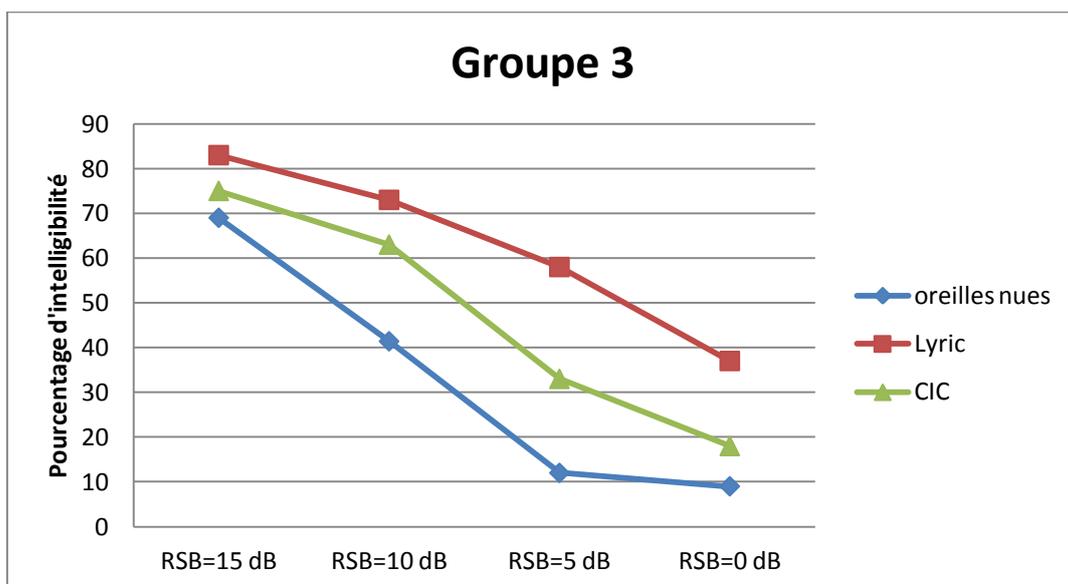


Figure 49- Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB - Groupe 3

➤ **Interprétation des résultats :**

De ces graphes, nous pouvons tirer plusieurs conclusions :

Conclusions pour le groupe 1 :

La compréhension dans le bruit est améliorée avec le Lyric. Les patients de ce groupe ont tous déjà une bonne intelligibilité dans le bruit et le Lyric leur apporte ce qui leur manque. Cet appareil est donc capable d'apporter des bénéfices acoustiques à une oreille peu handicapée par la surdité.

Conclusions pour le groupe 2 et 3 :

Peu importe l'équipement, la compréhension dans le bruit s'améliore lorsque l'oreille est appareillée.

Pour un RSB égal à 15 dB et à 10 dB, les résultats sont meilleurs en Lyric mais la différence est trop mince pour parler d'amélioration radicale par rapport au RIC ou au CIC.

Cependant, pour un RSB de 5 dB, l'écart se creuse entre le Lyric et les appareils classiques. Le pourcentage d'intelligibilité est de 60% en Lyric, alors qu'il n'est que de 40% en RIC et de 30% en CIC.

Pour un RSB égal à 0 dB, les appareils classiques peinent à apporter de l'intelligibilité dans le bruit aux patients. Le pourcentage d'intelligibilité est de 10% en RIC et de 20% en CIC. Le Lyric parvient quant à lui à apporter 40% d'intelligibilité.

Conclusion générale :

Le Lyric apporte donc satisfaction à tous les patients de l'échantillon. Notre problématique étant de savoir si le Lyric apporte des bénéfices acoustiques équivalents à ceux des aides auditives conventionnelles numériques, on aurait pu s'attendre à trouver des résultats similaires avec le Lyric et avec les autres prothèses. Cependant, on note une meilleure intelligibilité en Lyric.

J'é mets deux hypothèses pour expliquer cela :

H1 : Les appareils classiques des patients étant ceux d'un précédent appareillage, ils ne sont pas issus de la dernière génération d'appareils numériques. Si on avait fourni des appareils récents aux sujets, peut-être aurait-on obtenu de meilleurs résultats, concurrençant ceux obtenus avec le Lyric.

H2 : Malgré les prouesses technologiques, les appareils numériques n'égalisent pas encore les performances qu'accomplit la nature. Comme nous l'avons vu précédemment, l'insertion profonde du Lyric lui confère de nombreux avantages acoustiques puisqu'elle permet de conserver les propriétés naturelles de l'oreille. Et celles-ci surpassent encore la technologie.

b) Statistiques : moyenne et écart-type

Le tableau ci-dessous présente la moyenne des pourcentages d'intelligibilité et l'écart-type de ces pourcentages, pour chaque RSB et pour chaque situation : oreilles nues, avec l'ancien appareillage et avec le Lyric.

	Oreilles nues				Ancien appareillage				LYRIC			
	RSB= 15	RSB= 10	RSB= 5	RSB= 0	RSB= 15	RSB= 10	RSB= 5	RSB= 0	RSB= 15	RSB= 10	RSB= 5	RSB= 0
Moyenne	66,7	55,3	32	21	73,5	63,5	36	15,65	91,5	83	68,5	56
Ecart-type	41,9	42	39,5	39,6	19,4	15,4	23,4	18,7	14,2	18,4	15,2	16,3

Tableau 2- Statistiques sur l'intelligibilité dans le bruit

En statistiques, l'écart type sert à mesurer la dispersion d'un ensemble de données. Plus il est faible, plus les valeurs sont regroupées autour de la moyenne. Par exemple pour la répartition des notes d'une classe, plus l'écart type est faible, plus la classe est homogène. À l'inverse, s'il est plus important, les notes sont moins resserrées. Les valeurs se répartissent selon une courbe de Gauss. La moyenne et l'écart-type permettent de déterminer un intervalle dans lequel on trouve la majorité des sujets de l'échantillon. En effet, si la moyenne est m (ou μ) et l'écart-type est σ , on trouve 95 % de la population dans l'intervalle $[m-1,96\sigma ; m+1,96\sigma]$ et 68,2 % de la population dans l'intervalle $[m-\sigma ; m+\sigma]$.

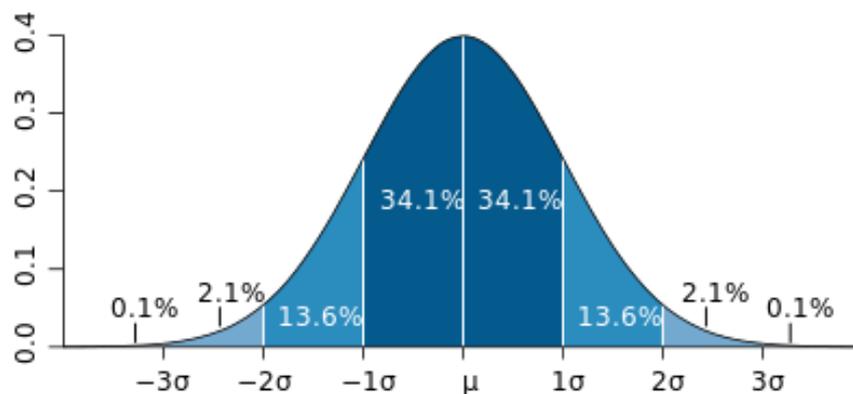


Figure 50- Courbe de Gauss

➤ **Interprétation du tableau :**

Oreilles nues :

Pour toutes les valeurs de RSB, l'écart-type est d'environ 40. Cette valeur élevée nous indique que l'échantillon est hétérogène, composé de sujets ayant tous des surdités différentes.

Oreilles appareillées :

Selon les valeurs de RSB, l'écart-type oscille globalement entre 15 et 20. Ces valeurs plus faibles indiquent que, une fois appareillée, l'audition des patients a été ramenée vers une audition-cible à laquelle l'intelligibilité dans le bruit est à hauteur des capacités de chaque appareillage (meilleure en Lyric qu'en appareillage conventionnel).

S'il n'est pas utile d'avoir un groupe homogène avant appareillage, il est normal d'obtenir un groupe plus homogène une fois la surdité des patients corrigée.

CONCLUSION SUR LA PARTIE 1 DE L'ETUDE PRATIQUE :

Cette première partie de l'étude pratique portait sur les résultats d'appareillage en Lyric 2, par le biais de l'analyse du gain prothétique et de l'intelligibilité dans le bruit, sur trois groupes de patients.

Les résultats de gain prothétique ont montré que le Lyric réalisait une réhabilitation de l'audition réussie, et dont les résultats surpassaient même ceux obtenus en appareillage conventionnel.

Grâce au test AVB de Dodelé, on a pu réaliser une analyse fine de l'intelligibilité dans le bruit, dans différentes situations de stimulation. Les résultats ont démontré l'efficacité du Lyric, même dans des conditions de test difficiles, notamment lorsque le RSB diminuait.

Cette première partie nous permet donc de répondre à notre problématique par l'affirmation suivante : le Lyric ne porte pas préjudice aux bénéfices acoustiques escomptés.

2^{ème} PARTIE : Le questionnaire de satisfaction

I. Intérêt du questionnaire

Pour répondre correctement à notre problématique, d'autres tests auraient pu être effectués, notamment un test de localisation spatiale. Celui-ci n'a pas été réalisé pour cause de manque de matériel (nombres de haut-parleurs disponibles). Dans une de ses études sur l'efficacité du Lyric [13a], Phonak a réalisé un test de mesure de l'effort auditif : on présente aux sujets des phrases issues du *Test de phrases d'Oldenbourg* à différents rapports de signal sur bruit (RSB de -6 dB à +12 dB par pas de 3 dB), et ils évaluent l'effort auditif qu'ils ont dû faire pour comprendre sur une échelle de 13 niveaux, allant de « sans peine » à « extrêmement difficile ».

Consciente qu'il fallait étoffer mon étude, il m'a fallu trouver un moyen simple et réalisable d'apporter des réponses supplémentaires à ma problématique.

Je me suis donc décidée à élaborer un questionnaire qui me permettrait d'évaluer subjectivement le ressenti des patients.

Phonak a déjà réalisé une étude comparative sur les bénéfices prothétiques apportés par le Lyric 1 et par des appareils conventionnels [13b], en soumettant à 11 patients le questionnaire APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit/ Questionnaire condensé d'évaluation du bénéfice prothétique) [Annexe 4]. Le résultat APHAB a montré que le Lyric 1 fournit un avantage significatif par rapport à la prothèse conventionnelle portée par le patient.

Partant de ce point de départ, j'ai opté pour la création d'un questionnaire qui aborderait tous les points que je souhaitais évaluer, et qui me permettrait de tirer des conclusions sur la qualité de l'appareillage en Lyric 2 et sur le ressenti global du patient.

Comme expliqué dans le protocole de test, le moment où le questionnaire a été soumis au patient est primordial pour donner de la pertinence à l'étude. Le questionnaire visant à évaluer l'appareillage en RIC ou en CIC a été remis au patient avant le renouvellement de son appareillage en Lyric. Le questionnaire concernant le Lyric a été remis en fin d'adaptation.

II. Elaboration du questionnaire

Ce questionnaire (en **Annexe 5**) aborde trois catégories d'éléments à évaluer : le confort de port, la qualité d'écoute et l'intelligibilité en milieu bruyant.

Le nombre d'items par catégorie n'est pas égal, il m'a été nécessaire d'en mettre une majorité dans la catégorie de la qualité d'écoute dont la portée est vaste.

Il s'agit d'un questionnaire à choix multiple, chaque item a quatre propositions. L'intérêt d'opter pour des réponses fermées est d'obtenir des réponses cadrées, claires, précises et standardisées afin de pouvoir les analyser facilement.

Veiller à ne pas soumettre un questionnaire trop long permet d'éviter l'agacement ou la lassitude du sujet. On suppose ainsi que chacun a répondu avec sincérité et avec l'envie de contribuer efficacement à la réalisation de cette étude.

En fin de questionnaire, il est demandé au patient d'attribuer une note sur 10 à son équipement. Cette note nous servira à analyser l'appréciation globale subjective du patient sur son appareillage.

III. Présentation des résultats

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats du questionnaire par type de situations à évaluer.

1) Confort de port

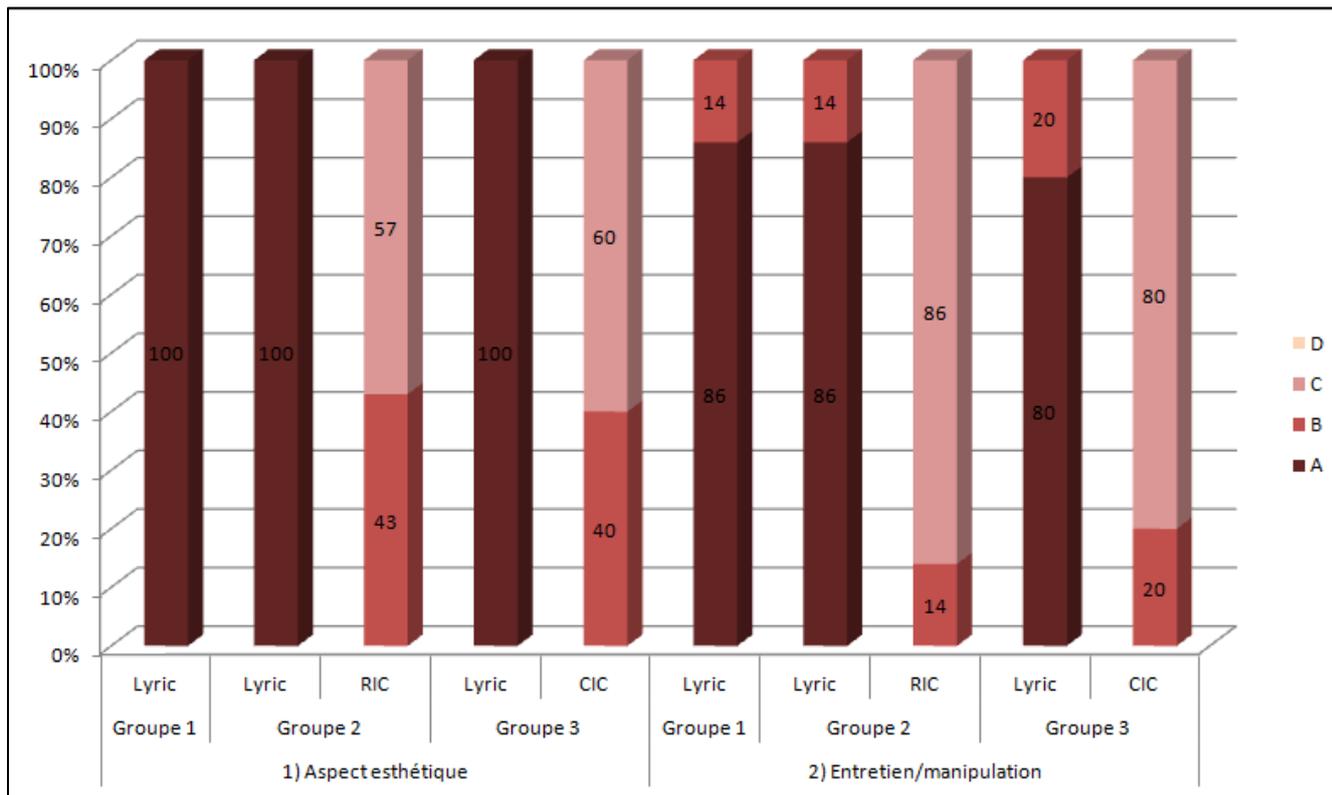


Figure 51 – Résultats des questions 1 et 2

1) Aspect esthétique

- A : Très satisfaisant
- B : Satisfaisant
- C : Moyennement satisfaisant
- D : Non satisfaisant

2) Entretien/manipulation

- A : Pas du tout contraignant
- B : Peu contraignant
- C : Contraignant
- D : Très contraignant

2) Qualité d'écoute

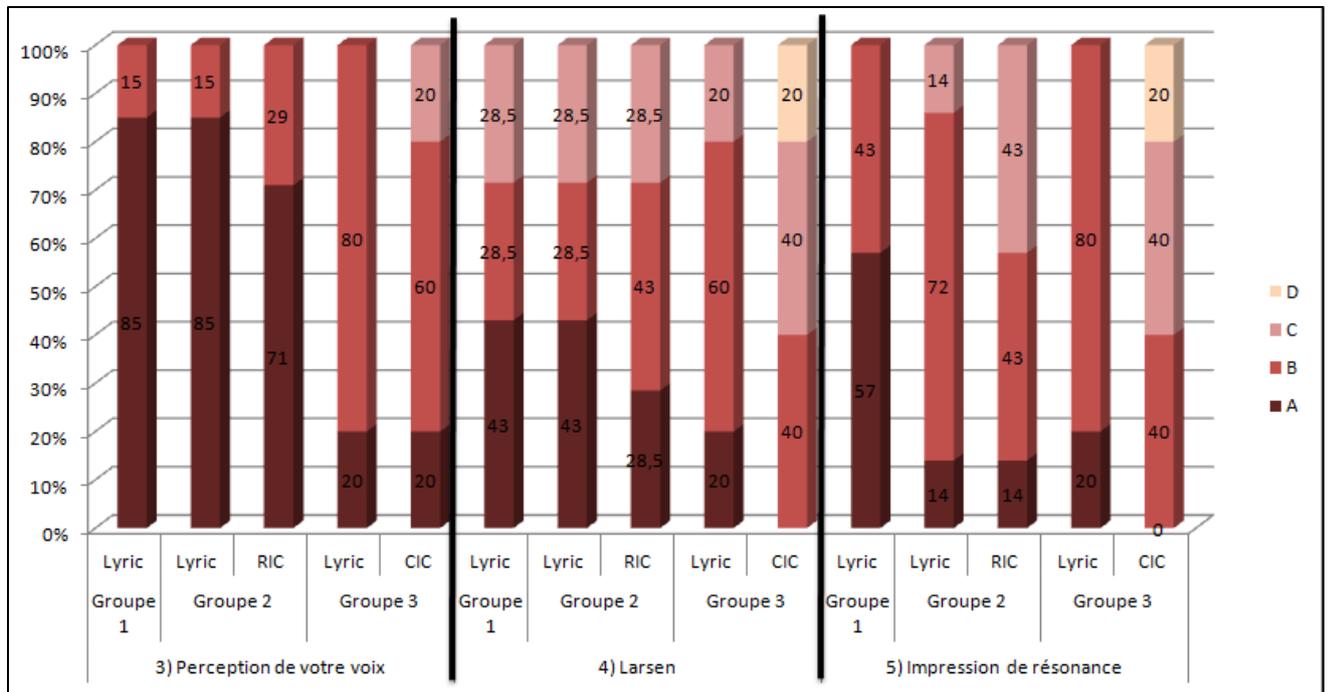


Figure 52- Résultats des questions 3 à 5

3) Perception de votre voix

- A : Naturelle
- B : Différente mais non dérangeante
- C : Dérangeante (qui résonne)
- D : Perturbante : vous ne reconnaissez pas du tout votre voix

4) Larsen/Sifflement

- A : Jamais
- B : Rarement
- C : Occasionnellement
- D : Souvent

5) Impression de résonance

- A : Jamais
- B : Rarement
- C : Occasionnellement
- D : Souvent

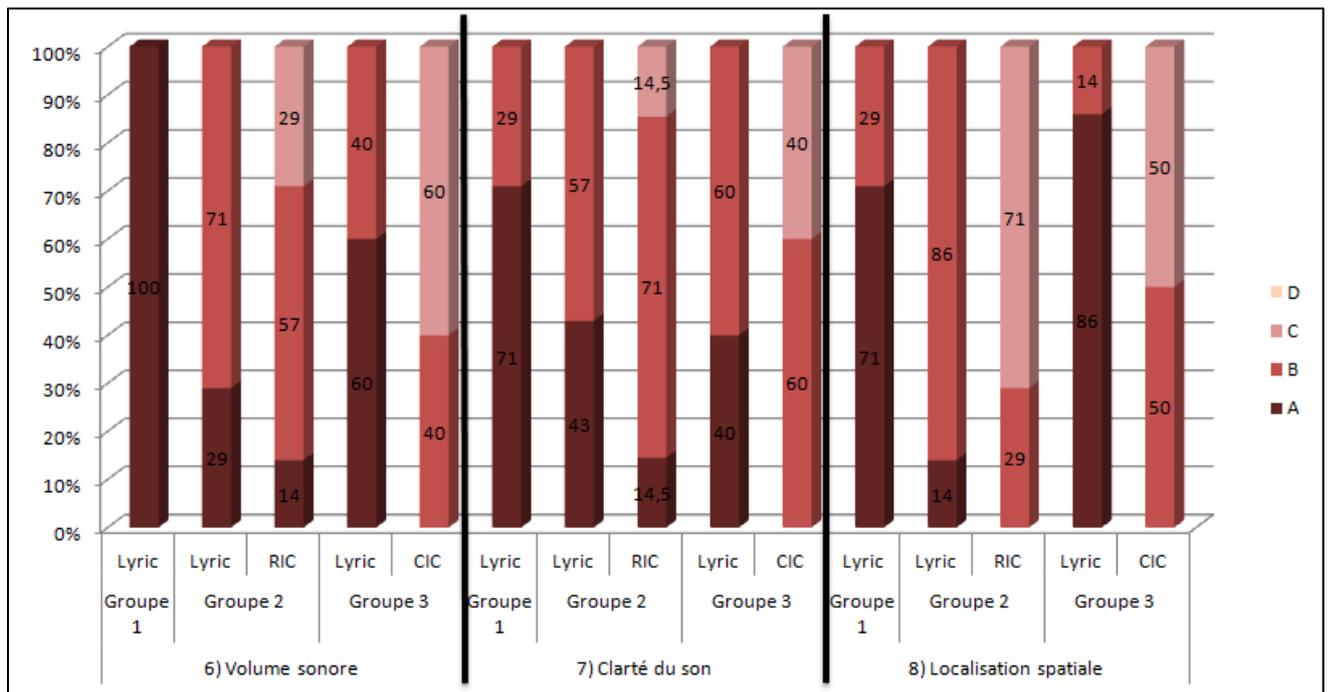


Figure 53- Résultats des questions 6 à 8

6) Volume sonore

- A : Parfaitement suffisant
- B : Suffisant
- C : Moyennement suffisant
- D : Insuffisant

7) Clarté du son

- A : Très bonne, son naturel
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

8) Localisation des sons/impression de relief auditif

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

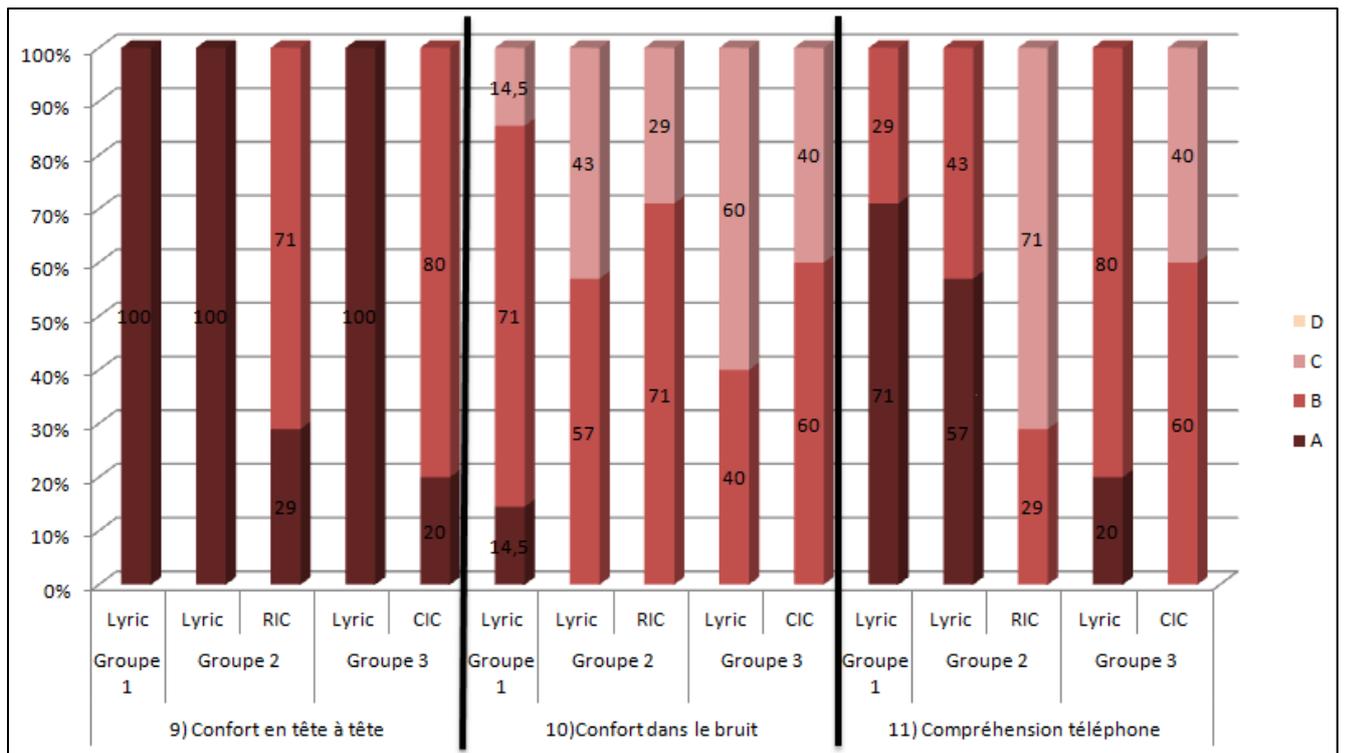


Figure 54– Résultats des questions 9 à 11

9) Confort en tête à tête

- A : Très bon
- B : Bon
- C : Moyen
- D : Nul

10) Confort dans le bruit

- A : Très bon
- B : Bon
- C : Moyen
- D : Nul

11) Compréhension au téléphone

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

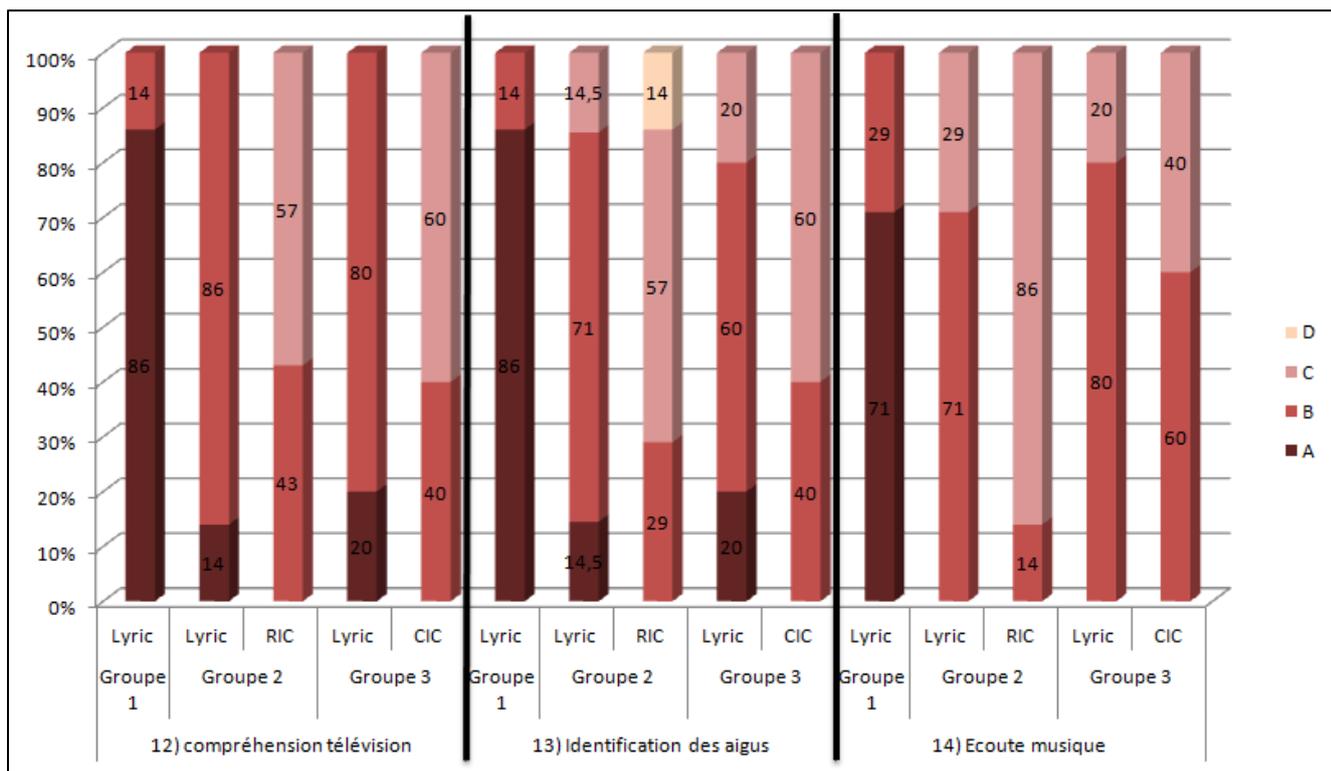


Figure 55- Résultats des questions 12 à 14

12) Compréhension à la télévision

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

13) Identification des sons aigus (alarmes, sonnette de porte...)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

14) Ecoute de la musique

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

3) Intelligibilité en milieu bruyant

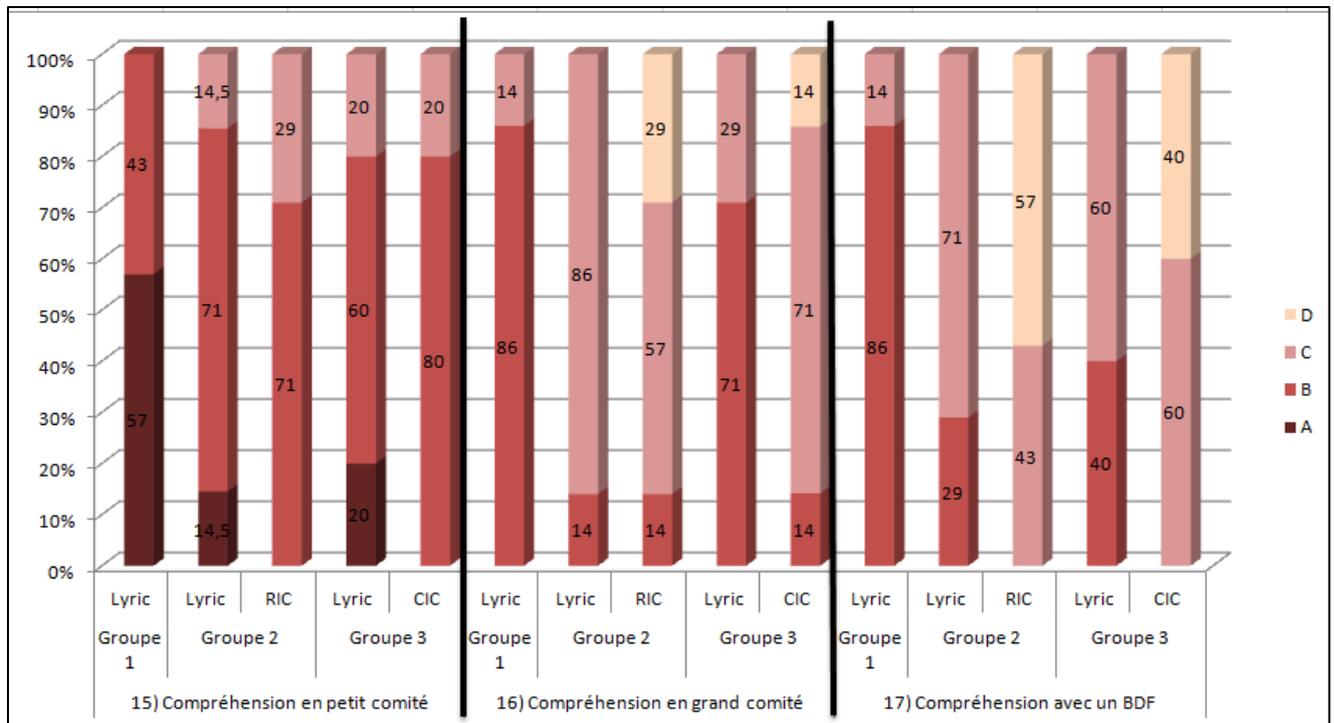


Figure 56- Résultats des questions 15 à 17

15) Compréhension lors de discussions en petit comité

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

16) Compréhension lors de discussions en grand comité (diners de famille, réunions)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

17) Compréhension en présence d'un bruit de fond (restaurant, soirée cocktail)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

4) Appréciation globale subjective du patient sur son appareillage

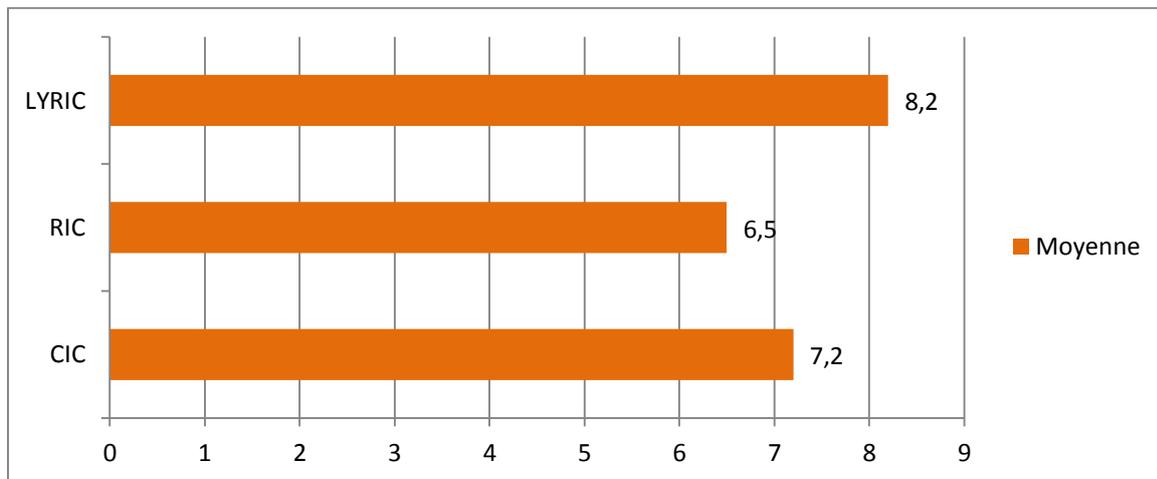


Figure 57- Moyenne des notes attribuées

Voici le détail de ces moyennes, par groupe :

	Lyric	RIC/CIC
Groupe 1	9	∅
Groupe 2	7,5	6,5
Groupe 3	8	7,2

Tableau 3- Moyennes par groupe

IV. Interprétation des résultats

1) Analyse et interprétation du questionnaire :

a) Le confort de port

1. Aspect esthétique :

Celui du Lyric est à l'unanimité très satisfaisant, ce que nous attendions puisque l'invisibilité est le cheval de bataille de la campagne de publicité faite par Phonak.

Il est moins satisfaisant, de manière égale, pour le RIC et le CIC, sans pour autant être évoqué comme un inconvénient.

2. Entretien/manipulation :

Le port du Lyric n'est **pas ressenti de manière contraignante**. Le seul inconvénient cité par les patients est la nécessité de devoir revenir chez l'audioprothésiste lorsque l'appareil s'éteint précocement ou si une gêne est ressentie, celle-ci étant souvent due à un mauvais placement initial.

Au contraire, qu'il s'agisse d'un RIC ou d'un CIC, les patients considèrent leur appareil comme une contrainte qu'ils doivent intégrer à leur mode de vie (nettoyage, piles, mise en place, peur de le perdre...).

b) La qualité d'écoute

3. Perception de sa propre voix :

Les deux tiers des patients la qualifient de **naturelle avec le Lyric**, le dernier tiers trouve sa voix **différente sans que cela n'en soit dérangeant**. 20% des patients appareillés en CIC nous signalent être gênés par leur voix à cause d'une résonance persistante. En RIC, la perception de la voix reste pour la plupart des naturelle.

Cet item nous permet de tester la théorie évoquée plus haut sur la réduction de l'effet d'occlusion. Grâce à son insertion profonde, le Lyric ne génère pas de résonance de la voix.

4. Larsen/sifflement :

Chez les patients appareillés en CIC, il est occasionnel à 40% et fréquent à 20%. Pour environ 75% des patients de l'échantillon, il est **soit inexistant soit rare**, lorsqu'ils portent leur Lyric. Les chiffres sont sensiblement identiques pour un appareillage en RIC.

Cet item est en adéquation avec ce que nous avançons dans la troisième partie de ce mémoire : en Lyric, l'effet Larsen est réduit puisque moins de gain est nécessaire du fait de l'insertion profonde.

Le Larsen n'est pas signalé comme un souci lors du port de RIC grâce à la distance qui est mise entre le microphone et l'écouteur. Par contre, les patients rencontrent plus fréquemment des problèmes de sifflement avec des CIC.

5. Impression de résonance :

Cette fois-ci, cet item évoque non pas la résonance de sa propre voix mais la résonance des voix des autres. Elle est occasionnelle pour 40% des patients porteurs de RIC et de CIC. En Lyric, elle est rare pour la majorité des patients. La résonance des voix des autres pouvant découler du gain, on ne s'étonne pas qu'elle soit **moindre en Lyric** puisque le gain délivré est plus faible qu'en appareillage conventionnel.

6. Volume sonore :

En Lyric, le volume sonore est satisfaisant pour tous les patients. On remarque qu'il est « moyennement satisfaisant » pour 60% des patients porteurs de CIC. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en CIC, trop de gain peut engendrer du Larsen, et la courbe de gain critique nous indique le niveau de gain à ne pas dépasser. Ces problèmes de Larsen et de manque de volume sonore sont moins ressentis en Lyric.

En RIC, 70% des patients sont satisfaits du volume sonore, ce qui est correct.

7. Clarté du son

La clarté du son est, au vue des statistiques, **meilleure en Lyric**. Elle est bonne (ou très bonne) pour 70% des porteurs de RIC, ce qui peut s'expliquer par le fait que leur conduit est aéré dans le cas d'appareillages en Open.

Pour 60% des porteurs de CIC, la clarté du son est moyenne. Le conduit étant obstrué, aucune fréquence n'est entendue par voie naturelle. Cependant, on peut alors se poser la question du cas du Lyric, qui obstrue lui aussi totalement le conduit. Malgré cela, le son semble plus clair aux patients.

8. Localisation des sons/impression de relief sonore

Elle est **bien meilleure en Lyric qu'en CIC ou qu'en RIC**. Ces résultats montrent que malgré les traitements du signal avancés des appareils numériques, la conservation de l'action naturelle de l'oreille externe permet d'obtenir des résultats inégalés par la technologie.

9. Confort en tête à tête

Il est **bon ou très bon chez l'ensemble des patients**, peu importe l'appareil de correction auditive. La compréhension confortable en tête à tête étant la situation sonore la plus facile à gérer pour l'audioprothésiste et pour l'appareil, il est normal et rassurant que les patients soient tous satisfaits.

10. Confort dans le bruit

Les patients du groupe 1 sont globalement satisfaits. Mais pour les patients des groupes 2 et 3, on remarque que le confort dans le bruit est **meilleur avec leurs prothèses numériques**. Ceci s'explique par la présence des réducteurs de bruits dans ces dernières. Le Lyric, qui en est dépossédé, n'offre pas le même confort.

11 et 12. Compréhension au téléphone et à la télévision

Bien que je ne trouve pas de raison à cela, force est de constater qu'elle est **meilleure en Lyric qu'en CIC et qu'en RIC**.

13. Identification des sons aigus (alarmes, sonnette de porte...)

Elle est à peu près équivalente en RIC et en CIC, mais est **meilleure en Lyric**. Les patients presbycousiques classiques ont une perte principalement localisée dans les aigus, et l'amplification des hautes fréquences provoque souvent une sensation métallique. Pour cette raison, l'amplification des aigus nécessite de trouver le bon équilibre. Les patients signalent une meilleure reconnaissance des aigus avec le Lyric. Ceci peut s'expliquer par le déplacement de la fréquence de résonance du conduit vers les hautes fréquences lorsque le Lyric est en place.

14. Ecoute de la musique

Elle est moins bonne en RIC, mais est à peu près **équivalente en CIC et en Lyric** où en moyenne 70% des patients la qualifient de « bonne ».

c) L'intelligibilité dans le bruit

15. Compréhension lors de discussions en petit comité

Elle est globalement **bonne avec tous les appareils**. On note néanmoins que certains patients ont coché la réponse A, « très bonne », lorsqu'ils portaient le Lyric, alors qu'aucun patient ne l'a coché à propos des CIC et des RIC. Cela est sûrement dû à l'écoute qui est plus naturelle (plus claire) en Lyric. De ce fait, la compréhension peut être facilitée et elle est ainsi ressentie comme meilleure.

16. Compréhension lors de discussions en grand comité

Qu'ils portent les Lyric, les RIC ou les CIC, une majorité des patients a coché la réponse C, « **Moyenne** ». Le Lyric a tout de même apporté une plus grande satisfaction à une assez grande proportion de patients (86% du groupe 1 et 71% du groupe 3 ont coché la réponse « Bonne »).

Ces résultats montrent que malgré de bons résultats en Lyric pour certains, **l'intelligibilité en grand comité demeure difficile.**

17. Compréhension en présence d'un bruit de fond (restaurant, cocktail party...)

On s'attendait à trouver de meilleurs résultats en RIC et en CIC, ces appareils numériques étant dotés de réducteurs de bruit alors que le Lyric n'en a aucun. Cependant les bruits de fond semblent moins gêner les patients lorsqu'ils portent les Lyric.

Néanmoins, on soulignera quand même qu'aucun patient n'a coché la réponse A et qu'on a une majorité de réponses C en Lyric, pour les patients des groupes 2 et 3. La compréhension en présence d'un bruit de fond reste donc, dans tous les cas, **difficile.**

REMARQUE IMPORTANTE :

Nous pouvons remarquer que, pour toutes les questions, les meilleurs résultats en Lyric ont été obtenus chez les patients du groupe 1. Cela n'est certainement pas dû au hasard, et on pourrait émettre deux hypothèses pouvant expliquer cette différence :

H1 : La majorité des patients du groupe 1 sont atteints d'une surdité légère. De ce fait, si on fait le postulat que l'adaptation du Lyric a été réussie, il est normal que les patients obtiennent une grande satisfaction de leur appareillage.

H2 : Cette différence pourrait aussi être due au fait que, les patients des groupes 2 et 3 ayant déjà une expérience de l'appareillage, ils sont plus critiques dans leurs réponses. Au contraire, les patients du groupe 1 n'ont pas de moyen de comparaison et sont peut-être donc moins critiques.

2) Analyse de l'appréciation globale subjective de l'appareillage

Le Lyric a obtenu une moyenne de 8,3/10, contre 6,5/10 pour le RIC et 7,2/10 pour le CIC.

Il faut rappeler que les tests ont été effectués avec les anciens appareils des patients. Ceux-ci ont, au départ, pris l'initiative de renouveler leur équipement car il était arrivé en fin de vie. Les CIC et les RIC utilisés pour les tests (et le questionnaire) n'étaient donc pas issus de la dernière génération d'appareils, alors que le Lyric est lui une innovation très récente.

Ces résultats révèlent une plus grande satisfaction des patients avec le Lyric. Cependant, pour le groupe 2, l'écart entre la moyenne des notes attribuées Lyric et le RIC n'est que d'un point ; pour le groupe 3, cet écart n'est que de 0,8 points.

CONCLUSION SUR LA PARTIE 2 DE L'ETUDE PRATIQUE :

Le Lyric offre un confort de port inégalé par les autres prothèses auditives (questions 1 et 2).

Il permet une écoute des sons très naturelle, du fait de l'effet d'occlusion diminué et de la réduction du gain, tous deux liés à l'insertion profonde (questions 3, 5, 7).

On obtient de meilleurs résultats en Lyric pour la localisation sonore et la compréhension lors de discussions à plusieurs. Ceci démontre bien que le placement du microphone en avant du méat auditif permet la conservation des

propriétés anatomiques et acoustiques naturelles de l'oreille externe (questions 8, 15, 16).

Enfin, la note globale évaluant le ressenti du patient sur son appareillage est supérieure pour le Lyric.

Si le Lyric a obtenu de bons résultats, ceux-ci n'ont pas pour autant été excellents à chaque item du questionnaire. De plus, on souligne que les traitements du signal des prothèses numériques offrent un meilleur confort dans le bruit. Malgré cela, les patients ont attribué une note subjective bien plus élevée au Lyric.

Cette note traduit le ressenti global du patient, et n'est pas le fruit d'une réflexion rationnelle utilisant des calculs ou des tests objectifs. La satisfaction du patient n'est pas seulement liée aux performances de l'appareil ; elle est liée à un tout, composé à la fois de bénéfices acoustiques mais aussi du confort apporté par la facilité de port du Lyric. Le patient n'a pas à s'en soucier : ne pas à avoir à l'enlever ni à le nettoyer chaque jour lui permet « d'oublier » sa surdité. De plus, l'esthétique est un atout majeur qui a une grande influence sur la psychologie du patient.

La réussite d'un appareillage dépend non seulement de paramètres acoustiques quantifiables, mais également d'un ressenti psychologique non quantifiable. C'est parce qu'il apporte satisfaction sur les plans acoustiques et psychologiques que le Lyric est autant apprécié par les patients.

CONCLUSION GENERALE SUR L'ETUDE PRATIQUE :

L'objet de cette étude pratique était de vérifier les résultats d'appareillage en Lyric. Nous avons posé la problématique suivante :

« La technologie analogique du Lyric porte-t-elle préjudice aux résultats audioprothétiques ? »

Les tests de gain prothétique nous ont montré que le Lyric réalisait incontestablement une réhabilitation de l'audition réussie. Le test AVB de Dodelé a quant à lui démontré que malgré la technologie analogique et malgré l'absence de traitements du signal, le Lyric redonnait aux patients une intelligibilité dans le bruit équivalente à celle redonnée par les prothèses numériques. On a même pu noter de meilleurs résultats en Lyric, ce qui laisse supposer que les propriétés anatomiques et acoustiques de l'oreille externe, lorsqu'elles sont conservées, supplantent la technologie.

Enfin, le questionnaire soumis aux patients nous a permis d'évaluer subjectivement ce qu'ils pensaient de leur appareillage. Il en est ressorti que le Lyric leur donnait, globalement, plus grande satisfaction que leurs anciennes prothèses numériques.

A ces résultats nous émettons une réserve puisque les tests ont été effectués avec des appareils anciens, donc hypothétiquement désavantagés par rapport au Lyric, dont la technologie est récente. Toutefois, puisque ce mémoire n'a pas pour but d'établir une comparaison précise entre le Lyric et les prothèses numériques, cela n'est pas un problème et cela ne nous empêche en rien de tirer des conclusions de cette étude. L'objectif unique de ce mémoire est de savoir si l'appareillage en Lyric 2 apporte aux patients les bénéfices acoustiques que l'on aurait attendus si on les avait appareillés avec des prothèses conventionnelles.

Ces questionnaires nous permettent d'affirmer que les patients sont satisfaits de leur appareillage en Lyric. Les raisons peuvent en être diverses : les performances acoustiques du Lyric sont certaines, mais il faut aussi voir dans leur satisfaction globale le paramètre psychologique qui est un élément clé.

L'esthétique, la facilité de port et le sentiment d'avoir un appareil hors du commun concourent à apporter du bien-être au patient.

La réponse à notre problématique est donc : NON, la technologie analogique du Lyric ne porte pas préjudice aux bénéfiques audioprothétiques.

Conclusion

Le Lyric est un appareil de correction auditive qui se démarque des appareils conventionnels par de multiples aspects. Sa forme, sa technologie et son mode d'utilisation en font un appareil à part et c'est une réelle innovation. C'est parce qu'il est si différent des prothèses conventionnelles qu'il m'a donné envie d'en savoir davantage. Ce mémoire a permis de confronter le Lyric à divers appareils numériques, et d'en vérifier les bénéfices audioprothétiques.

Les différents tests effectués et le questionnaire soumis aux patients ont permis d'affirmer que le Lyric apporte à la fois une qualité sonore naturelle, une intelligibilité dans le bruit améliorée et un confort d'écoute incontestable.

Lorsqu'on évalue les bénéfices apportés par une prothèse auditive, il est important d'en apprécier le résultat global. Le Lyric apporte des bénéfices acoustiques certains, mais il satisfait aussi la demande d'invisibilité des patients.

Le Lyric, bien que différent des prothèses auditives numériques, a su apporter satisfaction à l'ensemble des sujets de notre étude.

Le Lyric n'est pas adaptable à tous les patients : ils doivent satisfaire des contraintes anatomiques, médicales et audiométriques. Pour les patients qui ne peuvent pas être adaptés en Lyric, les prothèses classiques sont alors la seule solution envisageable et les résultats en Lyric se révéleraient certainement décevants. Mais pour des patients bien choisis au départ, tels que ceux ayant participé à l'étude de ce mémoire, les résultats ont été à la hauteur de nos attentes et ont ainsi démontré que les bénéfices acoustiques en Lyric sont équivalents à ceux des prothèses auditives numériques.

Table des illustrations

Figure 1– Le Lyric.....	9
Figure 2– Anatomie du pavillon [3]	10
Figure 3– Muscles du Pavillon [3]	12
Figure 4– Amplification et comportement de l'onde sonore en fonction de la position de la source [4]	14
Figure 5– Structure du CAE (1).....	19
Figure 6– Fonction transfert de l'entrée du conduit auditif par rapport au champ libre [4].....	21
Figure 7– modélisation de l'oreille par un système masse–ressort.....	22
Figure 8– Représentation du gain acoustique en dB du CAE (c), du pavillon (p) et du gain total de l'oreille externe (t) en fonction de la fréquence en kHz (2)	24
Figure 9– Invisibilité (3)	28
Figure 10– Anatomie du Lyric (3)	30
Figure 11– : Logiciel ALPS (3).....	33
Figure 12– Plage d'application (3).....	34
Figure 13 – Conduits inadaptés au placement d'un Lyric [8]	35
Figure 14– Gabarit de longueur	38
Figure 15– Gabarit de longueur	38
Figure 16– Insertion du gabarit de longueur.....	39
Figure 17– Insertion du gabarit de longueur.....	39
Figure 18 – Schémas de l'adaptation d'un gabarit de largeur [8]	40
Figure 19– Accroche du gabarit sur la pince d'insertion	41
Figure 20– Insertion du gabarit de taille	41
Figure 21– Le Soundlync (3).....	42
Figure 22– Extraction du Lyric – étape 1 (3)	43
Figure 23– Extraction du Lyric – étape 2 (3)	43
Figure 24– Extraction du Lyric – étape 3 (3).....	43
Figure 25– Retrait par la pince d'insertion Lyric [8].....	44
Figure 26– Pince Hartmann.....	44
Figure 27– Réglage du volume (4).....	45

Figure 28– Réglage gain des sons faibles (4)	46
Figure 29– Commande des aigus (4).....	46
Figure 30– Réglage des graves (4)	47
Figure 31– Courbe représentative de la loi de Boyle–Mariotte (5).....	51
Figure 32– Schématisation de la loi de Boyle–Mariotte (6).....	52
Figure 33– Placement du microphone et de l’écouteur (7)	53
Figure 34– Phénomène d’occlusion (1)	55
Figure 35– Influence de la profondeur d’insertion sur l’effet d’occlusion (1).....	55
Figure 36– Modélisation du conduit auditif obstrué par le Lyric	56
Figure 37– Audiométrie tonale de Monsieur Lev.	67
Figure 38– Courbe en plateau de Madame Mou.	67
Figure 39– Courbe en U de Madame Ru.	68
Figure 40– Prédominance de la perte dans les graves de Monsieur Ri.....	68
Figure 41– Histogramme de gain prothétique selon le type de surdité	70
Figure 42– Histogramme de gain prothétique par groupe.....	71
Figure 43– Spectre à long terme de l’OVG [11]	75
Figure 44– Installation avec deux haut–parleurs – Vue de dessus.....	78
Figure 45– Installation 5.1 – Vue de dessus.....	78
Figure 46– Installation 7.1 (configuration Dodelé) – Vue de dessus	78
Figure 47– Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB – Groupe 1.....	79
Figure 48– Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB – Groupe 2.....	80
Figure 49– Pourcentage d'intelligibilité en fonction du RSB – Groupe 3.....	80
Figure 50– Courbe de Gauss	82
Figure 51– Résultats des questions 1 et 2.....	86
Figure 52– Résultats des questions 3 à 5	87
Figure 53– Résultats des questions 6 à 8.....	88
Figure 54– Résultats des questions 9 à 11	89
Figure 55– Résultats des questions 12 à 14.....	90
Figure 56– Résultats des questions 15 à 17.....	91
Figure 57– Moyenne des notes attribuées	92

Table des tableaux

Tableau 1– Données techniques du Lyric 2	32
Tableau 2– Statistiques sur l’intelligibilité dans le bruit	82
Tableau 3– Moyennes par groupe	92

Bibliographie

[1]. Article de presse du Business Editors & Health/Medical Writers, paru le 11 août 2000, disponible depuis le lien :

<<http://www.thefreelibrary.com/InSonus+Medical+Announces+Plans+to+Develop+the+World's+Smallest+and...-a064055365> >

[2]. Laura Benkemmoun, Mémoire en vue de l'obtention du DE d'audioprothésiste : *Le Lyric : les apports acoustiques d'une insertion profonde*, Septembre 2013.

[3]. H. ROUVIERE et A. DELMAS, *Anatomie humaine descriptive, topographique et fonctionnelle, tête et cou*, Tome 1, éditions Masson.

[4]. Lionel COLLET, Olivier STERKERS, Didier BOUCCARA, Stéphane DEYS et Sylvie LERMIGEAUX ; Amplifon, *Nouvelle données en Audiologie & Appareillages stéréophonique*, 2004

[5]. F. LEGENT, P. BORDURE, C. CALAIS, O. MALARD, A. CHAYS, J. ROLAND, S. GARNIER, X. DEBRUILLE. *Audiologie pratique – Audiométrie, 3^e édition*, éditions Masson, 2011.

[6]. A. GIRAULT, Polycopié de *Travaux Pratiques d'audioprothèse* de l'école d'audioprothèse de Nancy, TP de localisation spatiale, 2014.

[7]. R. GREFF, *Holophonie binaurale– Spatialisation sonore sur réseaux de haut-parleurs circumauraux*, Thèse de doctorat de l'Université Paris VI, 2008.

[8]. PowerPoint fourni par Phonak : « Lyric 2 : candidacy, sizing and placement ».

[9]. *Précis d'Audioprothèse- L'appareillage de l'adulte- Le contrôle d'efficacité prothétique*, Tome III, les Editions du Collège National d'Audioprothèse, édition Masson, Mars 2007.

[10]. L. DODELE et D. DODELE, *Une autre approche de l'audiométrie vocale*, 2ème partie : le test d'Audiométrie Vocale en présence de Bruit de Dodelé, Audio Infos n°110, p70-74, Mars 2007.

[11]. Cours de Léon Dodelé dispensé en troisième année de DE d'audioprothésiste à l'école de Nancy, 2014.

[12]. L. DODELE et D. DODELE, *Une autre approche de l'audiométrie vocale*, 1ère partie : les Listes de Logatomes, Audio Infos n°109, p86-90, Février 2007.

[13a]. Julian Hilaire, Mémoire en vue de l'obtention du DE d'audioprothésiste : *Lyric, la première aide auditive à port permanent*, Novembre 2013, page 83.

[13b]. Julian Hilaire, Mémoire en vue de l'obtention du DE d'audioprothésiste : *Lyric, la première aide auditive à port permanent*, Novembre 2013, pages 77-77.

Webographie

(1). www.laborenard.fr

(2). www.neuroreille.com

(3). www.phonakpro.com

(4). Phonak Target

(5). www.tpchmd.freeiz.com

(6). www.chigot.fr/TheoN2/MARIOTTE.htm

(7). www.entendreaveclyric.fr

Annexes

Annexe 1 : Etude sur l'*Efficacité des prothèses auditives analogiques à contrôle numérique* réalisée par l'Agence d'Evaluation des Technologies et des Modes d'Intervention en Santé (AETMIS)

Annexe 2 : Listes cochléaires de Lafon

Annexe 3 : Listes de Logatomes de Dodelé

Annexe 4 : Questionnaire APHAB

Annexe 5 : Questionnaire de satisfaction

Efficacité des prothèses auditives analogiques à contrôle numérique

AGENCE D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES
ET DES MODES D'INTERVENTION EN SANTÉ

Efficacité des prothèses auditives analogiques à contrôle numérique

**Note technique préparée pour l'AETMIS
par François Bergeron**

Mai 2003

Le contenu de cette publication a été rédigé et édité par
l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS).
Ce document est également offert en format PDF sur le site Web de l'Agence.

Pour se renseigner sur cette publication ou
toute autre activité de l'AETMIS, s'adresser à :

Agence d'évaluation des technologies et
des modes d'intervention en santé
2021, avenue Union, bureau 1040
Montréal (Québec) H3A 2S9

Téléphone : (514) 873-2563
Télécopieur : (514) 873-1369
Courriel : aetmis@aetmis.gouv.qc.ca
<http://www.aetmis.gouv.qc.ca>

Comment citer ce document :

Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS).
Efficacité des prothèses auditives analogiques à contrôle numérique. Note technique préparée
par François Bergeron. (AETMIS 03-02). Montréal : AETMIS, 2003, xi-18 p.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 2003
Bibliothèque nationale du Canada, 2003
ISBN 2-550-40841-1
© Gouvernement du Québec, 2003

La reproduction totale ou partielle de ce document est autorisée, à condition que la source soit mentionnée.

LA MISSION

L'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) a pour mission de contribuer à améliorer le système de santé québécois et de participer à la mise en œuvre de la politique scientifique du gouvernement du Québec. Pour ce faire, l'Agence conseille et appuie le ministre de la Santé et des Services sociaux ainsi que les décideurs du système de santé en matière d'évaluation des services et des technologies de la santé. L'Agence émet des avis basés sur des rapports scientifiques évaluant l'introduction, la diffusion et l'utilisation des technologies de la santé, incluant les aides techniques pour personnes handicapées, ainsi que les modalités de prestation et d'organisation des services. Les évaluations tiennent compte de multiples facteurs, dont l'efficacité, la sécurité et l'efficience ainsi que les enjeux éthiques, sociaux, organisationnels et économiques.

La Direction

D^r Renaldo N. Battista,
président du Conseil et directeur général, médecin
épidémiologiste, Université McGill, Montréal

D^r Véronique Déry,
médecin spécialiste en santé publique,
directrice scientifique

M. Jean-Marie R. Lance,
économiste, conseiller scientifique principal

Le Conseil

D^r Jeffrey Barkun,
professeur agrégé, Département de chirurgie,
Faculté de médecine, Université McGill, et
chirurgien, Hôpital Royal Victoria, CUSM, Montréal

M^{me} Louise Montreuil,
directrice générale adjointe aux ententes de
gestion, Direction générale de la coordination
ministérielle des relations avec le réseau,
ministère de la Santé et des Services sociaux,
Québec

D^r Marie-Dominique Beaulieu,
médecin en médecine familiale, titulaire de la
Chaire Docteur Sadok Besrouer en médecine
familiale, CHUM, et chercheur, Unité de recherche
évaluative, Pavillon Notre-Dame, CHUM, Montréal

D^r Jean-Marie Moutquin,
médecin spécialiste en gynéco-obstétrique,
directeur général, Centre de recherche
clinique, CHUS, Sherbrooke

D^r Suzanne Claveau,
médecin en microbiologie-infectiologie,
L'Hôtel-Dieu de Québec, CHUQ, Québec

D^r Réginald Nadeau,
médecin spécialiste en cardiologie,
Hôpital du Sacré-Cœur, Montréal

M. Roger Jacob,
ingénieur biomédical, chef du service de la
construction, Régie régionale de la santé et des
services sociaux de Montréal-Centre, Montréal

M. Guy Rocher,
sociologue, professeur titulaire, Département de
sociologie, et chercheur, Centre de recherche en
droit public, Université de Montréal, Montréal

M^{me} Denise Leclerc,
pharmacienne, membre du conseil
d'administration de l'Institut universitaire de
gériatrie de Montréal, Montréal

M. Lee Soderstrom,
économiste, professeur, Département
des sciences économiques, Université
McGill, Montréal

AVANT-PROPOS

EFFICACITÉ DES PROTHÈSES AUDITIVES ANALOGIQUES À CONTRÔLE NUMÉRIQUE

Dans le cadre de la révision du programme d'aides auditives, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à demander à l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) de statuer sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique.

Les options technologiques qu'offrent les appareils de correction auditive traditionnels ne permettent pas toujours d'atteindre les objectifs de suppléance. Plusieurs solutions technologiques ont été explorées pour offrir à la personne malentendante un appareillage bien ajusté, indépendamment des conditions sonores de l'environnement. Les travaux sur les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique s'inscrivent dans cette voie.

Selon l'évaluation de l'AETMIS, un consensus se dégage selon lequel ces appareils sont au moins aussi efficaces que les appareils de correction auditive traditionnels pour suppléer à la déficience de l'audition. Le bénéfice supplémentaire apparaît toutefois modeste, les indications par rapport aux technologies moins perfectionnées ne sont pas claires, et les coûts sont plus élevés. Il faudra procéder à des études comparatives supplémentaires afin de recueillir de plus amples informations sur l'efficacité de ces solutions.

Bien que cette technologie innovatrice puisse être offerte à certains candidats qui ont besoin d'un appareillage bien ajusté, il n'y a donc pas lieu d'en généraliser l'implantation. Cette prudence est d'autant plus de mise que les fabricants se désintéressent de plus en plus des appareils analogiques à contrôle numérique en faveur de solutions entièrement numériques : l'intérêt d'études sur le rapport coût-avantage de cette approche apparaît donc encore plus capital.

En remettant ce rapport, l'Agence souhaite apporter aux décideurs du réseau québécois de la santé les éléments d'information nécessaires pour offrir les services appropriés aux personnes présentant une déficience auditive.

Renaldo N. Battista
Président-directeur général

REMERCIEMENTS

Cette note technique a été préparée à la demande de l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) par M. François Bergeron, Ph. D., audiologiste et professeur adjoint au département de réadaptation de la Faculté de médecine de l'Université Laval, et chercheur associé au Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRRIIS). Nous lui exprimons toute notre reconnaissance pour le travail accompli. De même, l'Agence souhaite souligner la contribution de M^{me} Suzie Toutant pour son travail de révision linguistique.

L'auteur a bénéficié également de l'appui constant d'un groupe de travail qui a lu et commenté différentes versions préliminaires de ce rapport. Nous remercions chacun des membres de ce groupe, formé comme suit :

M. François Bergeron

Audiologiste, professeur adjoint, Département de réadaptation, Université Laval, Québec

M^{me} Linda Cloutier

Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal

M. Bernard Côté

Conseiller en gestion de programme, Régie de l'assurance maladie du Québec, Québec

M^{me} Martine Gendron

Audiologiste, Hôpital Sainte-Justine, Montréal

M. Christian Giguère

Ingénieur, professeur agrégé, École des sciences de la réadaptation, Université d'Ottawa, Ottawa

M. Jean-Marie Lance

Conseiller scientifique principal, AETMIS, Montréal

M. Michel Picard

Audiologiste, professeur agrégé, École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, Montréal

L'Agence tient aussi à remercier les lecteurs externes pour leurs nombreux commentaires, qui ont permis d'améliorer la qualité et le contenu de ce rapport.

M. Gilles Cagnone

Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal (Québec)

M. Yves Tougas

Audioprothésiste, professeur, Département d'audioprothèse, Collège de Rosemont, Montréal (Québec)

M. Richard Tyler

Professeur, Department of Otolaryngology – Head and Neck Surgery, Department of Speech Pathology and Audiology, University of Iowa, Iowa City (États-Unis)

RÉSUMÉ

Origine de la demande d'évaluation

Depuis 1979, le ministère de la Santé et des Services sociaux offre aux citoyens malentendants du Québec un programme d'accès gratuit aux aides techniques nécessaires pour suppléer à leur surdité. Ce programme, administré par la Régie de l'assurance maladie du Québec, a depuis subi plusieurs transformations, tant en ce qui a trait à sa couverture qu'à ses modalités d'accès. À l'origine restreint aux appareils de correction auditive pour les personnes de 35 ans et moins, le programme actuel inclut une gamme diversifiée d'aides techniques de suppléance pour une clientèle de tout âge.

Afin de tenir compte des changements technologiques et de mieux répondre aux demandes des citoyens, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de revoir le programme et de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à demander à l'Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé (AETMIS) de statuer sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique.

Description des appareils de correction auditive

La surdité se manifeste d'abord par l'incapacité de percevoir les signaux acoustiques de l'environnement. Par l'amplification sélective des sons que le déficit auditif a rendus inaccessibles, on tente de compenser la perte d'audibilité de l'environnement sonore, et plus particulièrement de la parole. Or, alors que les propositions d'ajustement issues de méthodes théoriques de réglage sont de plus en plus précises, les options technologiques offertes sur les appareils de correction auditive traditionnels ne permettent pas toujours d'atteindre les valeurs cibles. Même lorsque l'audibilité est restaurée, la personne

malentendante a besoin de meilleures conditions d'écoute qu'un entendant pour réussir des tâches de compréhension. De plus, la diversité des conditions d'écoute exige que la personne puisse disposer de configurations d'amplification adaptées à ces conditions. Plusieurs solutions technologiques ont été explorées pour offrir à la personne malentendante un appareillage bien ajusté, et ce, indépendamment des conditions sonores environnementales. Les travaux sur les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique s'inscrivent dans cette voie.

Les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique traitent le signal acoustique de façon comparable aux appareils de correction auditive traditionnels. Les potentiomètres de contrôle sont toutefois remplacés par un ou des microprocesseurs qui régissent toutes les fonctions de l'aide. Le gain d'espace permet en outre d'intégrer une plus grande diversité de paramètres pour l'ajustement. Ces paramètres sont programmés (et reprogrammés) à l'aide d'un ordinateur ou d'un module de programmation spécialisé. Grâce à la mise en mémoire, il est possible de comparer rapidement différentes configurations et de trouver ainsi les ajustements les plus performants et les plus confortables, et ce, pour différents contextes d'écoute.

Analyse des données scientifiques

La stratégie de recherche documentaire a permis de répertorier 18 articles à partir de l'interrogation des banques de données. Dix-neuf documents complémentaires ont été recueillis auprès d'un groupe d'experts et par la consultation des références citées dans les articles. Dans cette documentation, 10 études rendent compte d'essais cliniques sur des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique. Presque toutes proposent un essai croisé non randomisé comportant parfois un volet

rétrospectif. Les effectifs des échantillons sont généralement restreints.

Indépendamment du niveau de preuve, presque toutes les études répertoriées montrent que les appareils de correction auditive programmables sont supérieurs aux appareils de correction auditive personnels, ces derniers étant habituellement des appareils de correction auditive linéaires monocanal n'intégrant aucun système perfectionné de traitement du signal. Cette supériorité s'observe tant sur le plan de la performance pour la reconnaissance de la parole que sur celui de l'impression subjective des utilisateurs dans différents contextes d'écoute.

Conclusion

Si on ne tient compte que des études à plus fort niveau de preuve, les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique doivent être désignés comme « innovateurs ». En effet, malgré le nombre restreint d'études bien menées, un consensus se dégage selon lequel cette formule est au moins aussi efficace que les appareils de correction auditive traditionnels pour suppléer à la déficience auditive. Le bénéfice supplémentaire apparaît toutefois modeste, et les indications par rapport aux technologies moins perfectionnées ne sont pas claires. Il faudra procéder à des études comparatives supplémentaires afin de recueillir de plus amples informations sur l'efficacité de ces solutions. Compte tenu des coûts additionnels et des gains modestes notés jusqu'ici par rapport aux appareils de correction auditive traditionnels, il faudrait réaliser des études sur le rapport coût-avantage avant d'en généraliser l'implantation.

GLOSSAIRE

Aide auditive :

Tout appareil visant à corriger une déficience du système auditif, à compenser une incapacité auditive, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Aide de suppléance à l'audition (ASA) :

Tout appareil faisant partie de l'environnement de l'utilisateur et qui vise à compenser une incapacité auditive, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Appareil de correction auditive (prothèse auditive) :

Tout appareil porté par l'utilisateur visant à corriger une déficience du système auditif, à compenser une incapacité auditive, à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

Appareil de correction auditive analogique (traditionnel) :

Appareil de correction auditive mettant à contribution des circuits électroniques pour réaliser l'amplification et le contrôle du signal acoustique incident.

Appareil de correction auditive analogique à contrôle numérique :

Appareil de correction auditive mettant à contribution des circuits électroniques pour réaliser l'amplification du signal acoustique incident et des algorithmes numériques programmés dans un ou des microprocesseurs pour le contrôler.

Appareil de correction auditive linéaire :

Appareil de correction auditive procurant un niveau d'amplification fixe quelle que soit l'intensité du signal acoustique incident. Par définition, ces appareils ne possèdent pas de circuits de compression permettant un traitement plus ou moins perfectionné de la gamme dynamique de l'environnement sonore.

Binaural :

Mettant à contribution les deux oreilles. Un appareillage binaural signifie qu'un appareil de correction auditive est ajusté sur chaque oreille, par opposition à monaural, où une seule oreille est appareillée.

db HL (*hearing level*) :

Unité de mesure du rapport des intensités sonores où la pression sonore de référence est établie à partir des relevés établis auprès d'une population normo-entendante. Une intensité sonore de 0 dB HL correspond à une intensité de 7,5 dB SPL à 1000 Hz (norme ANSI S3.6-1996).

db SPL (*sound pressure level*, ou *niveau de pression acoustique*) :

Unité de mesure du rapport des intensités sonores où la pression sonore de référence est de 0,000020 Pa ou 20 µPa. Une pression sonore de 20 µPa correspond à une intensité sonore de 0 dB SPL.

Gamme dynamique :

Différence, exprimée en décibels (dB), entre le seuil d'acuité auditive et le seuil d'intolérance de la personne.

Seuil de réception de la parole (SRP) :

Intensité sonore nécessaire pour assurer la reconnaissance de 50 % des mots bisyllabiques, exprimée en décibels (dB).

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	V
REMERCIEMENTS	VI
RÉSUMÉ	VII
GLOSSAIRE	IX
1 INTRODUCTION	1
1.1 Origine de la demande	
1.2 Une solution technologique pour améliorer l'écoute	
2 MÉTHODES	3
3 DESCRIPTION DES APPAREILS DE CORRECTION AUDITIVE	5
3.1 Appareils traditionnels	
3.2 Appareils de correction à contrôle numérique	
4 RÉSULTATS	7
5 DISCUSSION	10
6 CONCLUSION	12
ANNEXES	13
ANNEXE A – Couverture du programme d'aides auditives et modalités d'accès	13
ANNEXE B – Grille de lecture	15
ANNEXE C – Classification du niveau de preuve	16
RÉFÉRENCES	17

INTRODUCTION

1.1 Origine de la demande

Depuis 1979, le ministère de la Santé et des Services sociaux offre aux citoyens malentendants du Québec un programme d'accès gratuit aux aides techniques nécessaires pour suppléer à leur surdité. Ce programme, administré par la Régie de l'assurance maladie du Québec, a depuis subi plusieurs transformations, tant en ce qui a trait à sa couverture qu'à ses modalités d'accès.   l'origine restreint aux appareils de correction auditive pour les personnes de 35 ans et moins, le programme actuel inclut une gamme diversifiée d'aides techniques de suppléance pour une clientèle de tout âge. Les tableaux A1a et A1b en annexe résument la couverture et les règles d'accès issues de la plus récente révision du programme (1997).

Afin de tenir compte des changements technologiques et de mieux répondre aux demandes des citoyens, le ministère de la Santé et des Services sociaux a formé un groupe consultatif chargé de revoir le programme et de recommander les modifications appropriées aux autorités ministérielles. Les travaux du sous-comité sur les nouvelles technologies l'ont amené à déposer deux demandes d'évaluation à l'AETMIS afin de lui permettre de statuer, d'une part sur l'efficacité clinique des appareils de correction auditive   multimicrophones et, d'autre part, sur celle des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique. Le présent rapport technique traite de la seconde demande, soit l'analyse de l'efficacité des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique.

1.2 Une solution technologique pour améliorer l'écoute

La surdité se manifeste d'abord par l'incapacité de percevoir les signaux acoustiques de l'environnement. Selon le degré d'atteinte et sa configura-

tion, les difficultés de perception seront plus ou moins prononcées. Pour la majorité, les traitements médicaux ou chirurgicaux ne sont pas indiqués parce que les lésions du système auditif sont d'origine sensorielle ou neurale. Pour ces personnes, l'approche thérapeutique initialement privilégiée consiste à ajuster un ou deux appareils de correction auditive. On tente ainsi de compenser la perte d'audibilité de l'environnement sonore, et plus particulièrement de la parole, par l'amplification sélective des sons que le déficit auditif a rendus inaccessibles. Or, alors que les propositions d'ajustement issues des méthodes théoriques de réglage sont de plus en plus précises, les options technologiques offertes sur les appareils de correction auditive traditionnels ne permettent pas toujours d'atteindre les valeurs cibles.

Par ailleurs, la restauration de l'audibilité ne compense qu'un volet des incapacités causées par la surdité. De fait, les lésions aux structures sensorielles et neurales sont à l'origine d'autres aberrations psychoacoustiques, dont, notamment, des distorsions sur le plan de la perception fréquentielle, dynamique et temporelle. Les incapacités découlant de ces distorsions se manifestent plus particulièrement en situation d'écoute dégradée, comme dans les conversations en groupe, en classe ou dans un milieu de travail bruyant. Les difficultés de compréhension dans le bruit sont une cause fréquente d'insatisfaction envers les appareils de correction auditive, de rejet et d'abandon [May *et al.*, 2000]. Ainsi, même lorsque l'audibilité est restaurée, les personnes malentendantes ont besoin de meilleures conditions d'écoute pour mener à bien des tâches de compréhension [May *et al.*, 2000].

Enfin, les ajustements que proposent les formules de réglage r f rent à un contexte d'utilisation théorique. Or, l'environnement sonore de l'utilisateur est très variable, ce qui exige la disponibilité

de configurations d'amplification adaptées à différentes conditions d'écoute.

Ces constats ont suscité l'exploration de diverses solutions technologiques pour offrir à la personne malentendante un appareillage bien ajusté, et ce, indépendamment des conditions sonores environnementales. Les travaux sur les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique s'inscrivent dans cette voie.

MÉTHODES

Les méthodes d'évaluation utilisées ici s'appuient sur l'analyse critique de la documentation scientifique et l'apport des membres d'un groupe de travail constitué d'experts qui se sont penchés sur ce thème. Ce groupe d'experts était formé de sept personnes issues des disciplines de l'audiologie, de l'audioprothèse, de l'économie et de l'ingénierie. La liste des membres, leur discipline respective et leur provenance géographique apparaissent dans la section « Remerciements » du rapport.

La recherche documentaire a été réalisée par interrogation des banques de données MEDLINE et Cochrane. Cette recherche a porté sur la période de janvier 1990 à mai 2002. Elle a été limitée aux publications de langue française ou anglaise. La stratégie spécifique utilisée et les résultats sont présentés au tableau 1. Ces interrogations ont été complétées par des documents fournis par les experts consultés et l'extraction de références des bibliographies citées dans les articles.

maliser le processus de classification de la littérature en fonction de la qualité méthodologique et du niveau de preuve scientifique. Le niveau de preuve scientifique est initialement établi d'après la classification proposée par l'ANAES (annexe C). L'accumulation de biais méthodologiques au sein d'une étude entraîne une révision à la baisse de la classification. Lorsque la recherche documentaire et l'analyse critique des articles sélectionnés ont été terminées, une version préliminaire de ce document a été soumise au groupe d'experts.

Le devis d'évaluation des appareils de correction auditive est fréquemment basé sur un plan d'étude par essai croisé. Ce type d'essai comparatif est approprié dans les cas de problèmes chroniques plus ou moins stables et pour l'étude d'effets à court terme. Il s'agit d'un plan expérimental dans lequel tous les sujets de l'essai passent par les mêmes périodes de traitement ou d'appareillage. Le sujet est alors « son propre témoin », puisqu'il est exposé successivement aux différents appareillages.

Tableau 1
Stratégie de recherche documentaire

Thème	Mots clés		Résultats		
			M	C	
Appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique	<i>hearing aid</i>	ET	<i>programmable OU signal processing</i>	18	0

M = MEDLINE; C = Cochrane

Les articles repérés par la recherche documentaire, de même que les documents complémentaires transmis par le groupe d'experts, ont fait l'objet d'une analyse critique conforme à la grille de lecture présentée à l'annexe B. Cette grille a été mise au point par l'Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES, 2000) afin de nor-

L'essai croisé est considéré comme randomisé lorsque l'ordre des périodes d'appareillage est tiré au sort pour chaque sujet. Cette procédure implique que la moitié des sujets reçoivent l'appareil A suivi de l'appareil B, et l'autre moitié l'appareil B suivi de l'appareil A. La randomisation s'avère importante pour contrôler l'effet différé (continuation de l'effet

produit par le port du premier appareil au moment du port du second) et l'effet d'ordre (la grandeur de l'effet du port de l'appareil A sera modifiée s'il précède ou suit le port de l'appareil B).

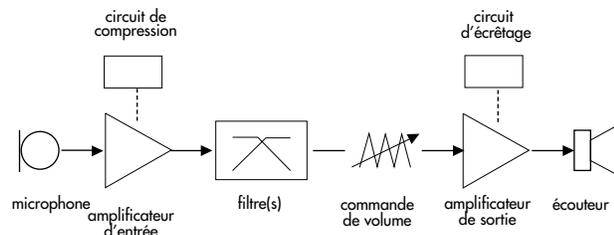
DESCRIPTION DES APPAREILS DE CORRECTION AUDITIVE

3.1 Appareils traditionnels

La figure 1 présente le fonctionnement global d'un appareil de correction auditive traditionnel : le signal acoustique est capté et transformé en signal électrique par le microphone, augmenté en amplitude par l'amplificateur et reconverti en signal acoustique par l'écouteur. Un ou plusieurs potentiomètres (ou résistances variables), selon l'espace disponible, permettent de contrôler quelques paramètres du signal : l'ampleur de l'amplification est principalement régie par la commande de volume sonore, des filtres passe-haut et (ou) passe-bas permettent de varier l'accentuation de l'amplification sur les hautes ou les basses fréquences, des circuits d'écrêtage et (ou) de compression limitent l'amplification maximale afin d'assurer la sécurité et le confort d'écoute.

Figure 1

Composantes d'un appareil de correction auditive traditionnel



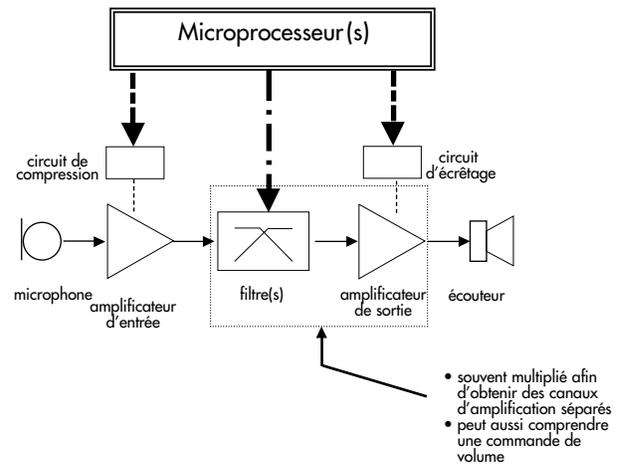
3.2 Appareils de correction à contrôle numérique

Le principe des appareils de correction auditive à contrôle numérique est illustré à la figure 2. Ces appareils traitent le signal acoustique de façon comparable aux appareils de correction auditive traditionnels. Les potentiomètres sont toutefois remplacés par un ou plusieurs microprocesseurs qui régissent

toutes les fonctions de l'aide. Le gain d'espace permet en outre d'intégrer une plus grande diversité de paramètres pour l'ajustement. Ces paramètres sont programmés (et reprogrammés) par un ordinateur ou un module de programmation spécialisé. Grâce à la mise en mémoire, il est possible de comparer rapidement différentes configurations et de trouver ainsi les ajustements les plus performants et (ou) les plus confortables [Sammeth, 1990], et ce, pour différents contextes d'écoute.

Figure 2

Composantes d'un appareil de correction auditive analogique à contrôle numérique



Selon les objectifs du fabricant, les appareils de correction auditive à contrôle numérique peuvent offrir les options suivantes :

- Traitement perfectionné des signaux

L'ampleur de l'amplification peut être déterminée automatiquement en fonction de l'intensité sonore de l'environnement. Ainsi, les sons faibles sont plus amplifiés que les sons forts, contrairement

aux circuits linéaires traditionnels, qui procurent un gain fixe indépendant de l'environnement, ce qui se traduit par une sous-amplification des sons faibles et une suramplification des sons forts. Différentes applications des techniques de compression du signal sont mises à contribution pour réaliser cet objectif.

- Capacité multicanaux

La gestion du signal est attribuée à deux ou à plusieurs canaux d'amplification respectivement responsables d'une bande spectrale déterminée. Ainsi, le traitement du signal en basse fréquence est indépendant du traitement réalisé en hautes fréquences. Des paramètres de compression différents peuvent être appliqués pour permettre l'audibilité des informations sonores de la parole en haute fréquence tout en réduisant le gain des sons de basse fréquence caractéristiques d'un milieu bruyant. La multiplication des canaux permet par ailleurs un ajustement plus harmonieux de la courbe d'amplification définie selon les formules théoriques de calcul du niveau d'amplification nécessaire pour compenser la perte de sensibilité auditive à chaque fréquence audiométrique.

- Capacité multimémoire

La disponibilité d'un bloc mémoire permet d'emmagasiner différentes configurations de correction auditive que l'utilisateur peut rappeler rapidement à partir d'une télécommande ou d'un interrupteur placé sur l'aide. Il est alors théoriquement possible d'adapter les paramètres d'amplification en fonction des différents contextes d'écoute dans lesquels évolue l'utilisateur.

- Télécommande

En déplaçant les boutons de commande de l'appareil vers une télécommande, il devient possible de créer des instruments plus discrets et plus faciles à utiliser pour les personnes qui manquent de dextérité ou pour les parents qui doivent exercer une surveillance sur de jeunes enfants appareillés.

Les options de traitement perfectionné des signaux et de multicanaux ne sont cependant pas exclusives aux appareils à contrôle numérique. En effet, les circuits électroniques qui régissent ces fonctions peuvent aussi être intégrés dans certains appareils analogiques traditionnels.

Le prix des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique est beaucoup plus élevé que celui des appareils traditionnels. Selon les statistiques présentées dans le site Web de la Régie de l'assurance maladie du Québec, en 2001, 74 personnes ont bénéficié de ce type d'appareil (contour d'oreille), pour un coût d'achat moyen de 954 \$. Par comparaison, 9570 personnes ont profité d'appareils de correction auditive traditionnels (intra-auriculaire ou contour d'oreille), à un coût moyen de 577 \$ [Régie de l'assurance maladie du Québec, 2003].

Une enquête sommaire révèle que les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique représentent jusqu'à 25 % de la gamme des produits offerts par les fabricants canadiens et constituent presque le tiers des ventes. La demande des consommateurs pour ce produit est donc assez importante.

RÉSULTATS

La stratégie de recherche documentaire a permis de répertorier 18 articles à partir de l'interrogation des banques de données. Dix-neuf documents complémentaires ont été recueillis auprès du groupe d'experts et par la consultation des références citées dans les articles. Dans cette documentation, 10 études rendent compte d'essais cliniques sur des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique. Le tableau 2 résume ces études selon un niveau décroissant de preuve scientifique d'après la classification présentée à l'annexe C.

La majorité des études présentées au tableau 2 ont été réalisées dans la première moitié de la dernière décennie, au moment où les fabricants faisaient la promotion de leurs produits analogiques à contrôle numérique, fleurons d'alors de leur avancée technologique. Le déplacement de leur intérêt vers les solutions entièrement numériques apparaît proportionnel au désintérêt des chercheurs pour l'approche hybride. D'ailleurs, plusieurs des études présentées au tableau 2 sont clairement liées à un fabricant. Les études plus récentes visent habituellement à examiner des technologies entièrement numériques en les comparant aux approches hybrides et analogiques.

Une seule des études sélectionnées propose un véritable essai comparatif randomisé [Yueh *et al.*, 2001]. Dans les faits, la répartition des sujets de cette étude est partiellement aléatoire, puisque la cause de la surdité d'un côté du processus de randomisation est potentiellement différente de celle de l'autre branche. Toutes les autres études proposent un essai croisé prospectif comportant parfois un volet rétrospectif. Le plan d'étude classique est basé sur la comparaison des performances d'une aide programmable pour la reconnaissance de stimuli de parole dans le silence et (ou) dans le bruit par rapport à celle de l'appareil de correction auditive couramment uti-

lisé. Les impressions subjectives sont aussi recueillies. Les effectifs des échantillons sont généralement restreints.

Indépendamment du niveau de preuve, les études répertoriées montrent que les appareils de correction auditive programmables sont supérieurs aux appareils de correction auditive personnels, ces derniers étant habituellement des aides linéaires monocanal n'intégrant aucun système perfectionné de traitement du signal. Cette supériorité s'observe tant au chapitre de la performance pour la reconnaissance de la parole que de l'impression subjective des utilisateurs dans différents contextes d'écoute. La seule exception à cette tendance est relevée dans l'étude des chercheurs Bentler et Duve [2000], qui ne notent aucun gain significatif associé à l'utilisation de l'aide programmable par rapport aux autres appareils contemporains de correction auditive. De fait, les auteurs constatent même qu'en présence de bruit compétitif important, les plus récentes technologies ne sont pas plus performantes que les cornets acoustiques d'autrefois.

Tableau 2
Résumé des études sélectionnées

Source	Méthode		Résultats	Niveau de preuve
	Plan d'étude	Variables		
Yueh <i>et al.</i> , 2001 (États-Unis)	Essai comparatif randomisé	<p>Indépendante : appareil de correction auditive (Aucune aide vs aide Technique vs appareil Classique vs Programmable avec microphone directionnel)</p> <p>Dépendantes : qualité de vie (QV), évaluation subjective (questionnaire), heures d'utilisation, capacité de payer</p>	<p>QV : $A < T < C < P$</p> <p>Évaluation subjective : $A < T < C < P$</p> <p>Heures d'utilisation : $T < C < P$</p> <p>Capacité de payer : $T < C < P$</p>	2
Bentler et Duve, 2000 (États-Unis)	Essai croisé non randomisé	<p>Indépendante : appareil de correction auditive (cornet Acoustique vs Boîtier vs Linéaire vs Compression vs 2 canaux compressés Programmable vs Numérique)</p> <p>Dépendantes : caractéristiques électroacoustiques, reconnaissance de phrases dans le bruit, évaluations subjectives (qualité sonore, effort d'écoute)</p>	<p>Largeur de bande et gain : $A = B < L = C = P = N$</p> <p>Phrases : peu de bruit : $B < A < L = C = P = N$</p> <p>bruit élevé : $A = B = L = C = P = N$</p> <p>Évaluation subjective : $L = C = P = N$</p>	2
Moore <i>et al.</i> , 1992 (États-Unis)	Essai croisé non randomisé	<p>Indépendantes : appareil de correction auditive (Personnel vs 2 canaux Linéaires vs 2 canaux Compressés programmable vs Sans aide), niveau de présentation (50, 65, 80 dB SPL), orientation du bruit, binauralité</p> <p>Dépendantes : reconnaissance de phrases, évaluation subjective (questionnaire)</p>	<p>Sans bruit : $C > L > P > S$ à 50 dB SPL seulement</p> <p>SRP dans le bruit : $C > 0,6 \text{ dB} < L > 3,8 \text{ dB} < S$</p> <p>Binaural > monaural</p> <p>Évaluation subjective : $C > L > P$</p> <p>Pas de gain avec C chez les sujets ayant une gamme dynamique > 27 dB</p>	2
Walden <i>et al.</i> , 1998 (États-Unis)	Essai croisé non randomisé	<p>Indépendantes : appareil de correction auditive (Personnel linéaire vs 2 canaux Compressés programmable vs Sans aide vs audition Normale), niveau de présentation (50, 65, 80 dB SPL), orientation du bruit, binauralité</p> <p>Dépendantes : reconnaissance de phrases, évaluation subjective (questionnaire)</p>	<p>Tout environnement : $N > C > S$</p> <p>Évaluation subjective : $N > C > S$; $C > P$, sauf pour la qualité sonore</p>	2
Benson <i>et al.</i> , 1992 (États-Unis)	Essai croisé non randomisé + étude rétrospective	<p>Indépendantes : appareil de correction auditive (Personnel vs 2 canaux Compressés programmable vs Sans aide), niveau de présentation (50, 65, 80 dB SPL)</p> <p>Dépendantes : gain fonctionnel, gamme dynamique, reconnaissance de phrases, gain d'insertion, évaluation subjective (questionnaire)</p>	<p>Gain fonctionnel : $C > P$</p> <p>Gamme dynamique : $C > P$</p> <p>Phrases : $C > P > S$ à 50 et 65 dB SPL</p> <p>Gain d'insertion : $C > P$ à 500 Hz, 4 et 5 kHz;</p> <p>Subjectif : $C > P$</p>	3

n = nouveaux, c'est-à-dire que les sujets portent un appareil de correction auditive pour la première fois.

e = expérimentés, c'est-à-dire que les sujets ont déjà une expérience du port d'appareils de correction auditive.

AGC = automatic gain control, ou réglage automatique de l'amplification.

dB HL (hearing level) : voir la définition au glossaire.

dB SPL (sound pressure level) : voir la définition au glossaire.

Tableau 2
Résumé des études sélectionnées (suite)

Source	Méthode		Résultats	Niveau de preuve	
	N	Plan d'étude			
Kiessling et Steffens, 1991 (Allemagne)	26 e	Essai croisé non randomisé	<p>Variables</p> <p>Indépendantes : appareil de correction auditive (1 canal AGC vs 3 canaux programmables), type de bruit, rapport signal/bruit</p> <p>Dépendantes : monosyllabes dans le bruit, évaluation subjective de la qualité</p>	<p>Bruit de parole : 3 canaux = 1 canal</p> <p>Bruit de bande large : 3 canaux > 7 à 21 %</p> <p>Effet du rapport signal/bruit</p> <p>Qualité : 3 canaux > 1 canal</p>	3
Ringdahl <i>et al.</i> , 1990 (Suède)	22 e	Essai croisé non randomisé	<p>Indépendantes : appareil de correction auditive (personnel vs 2 canaux, 8 programmes), situations d'écoute</p> <p>Dépendantes : gain d'insertion, reconnaissance de phrases dans le bruit, préférence</p>	<p>Phrases > avec appareil programmable</p> <p>Préférence pour l'appareil programmable : 81/120 situations d'écoute</p> <p>Préférence pour l'appareil programmable : 20/22 sujets</p>	3
Hall et Jacobs, 1991 (États-Unis)	18 e	Essai croisé non randomisé + étude rétrospective	<p>Indépendante : appareil de correction auditive (personnel vs 2 canaux programmable)</p> <p>Dépendantes : bénéfices et qualité sonore (questionnaire)</p>	<p>Appareil programmable > personnel : 18/18 sujets</p>	4
Mangold <i>et al.</i> , 1990 (Suède)	14 e	Essai croisé non randomisé	<p>Indépendantes : appareil de correction auditive (personnel vs 2 canaux, 8 programmes), situations d'écoute</p> <p>Dépendantes : reconnaissance de phrases dans le bruit, préférence</p>	<p>Phrases avec appareil programmable > 11/13 sujets</p> <p>Préférence pour l'appareil programmable : 65/82 situations d'écoute</p>	4
Zorowka et Lippert, 1995 (Allemagne)	13 n 52 e	Essai croisé non randomisé + étude rétrospective	<p>Indépendante : appareil de correction auditive (linéaire vs programmable [différents modèles])</p> <p>Dépendantes : gain fonctionnel, niveau de gêne, reconnaissance de mots (50, 65, 80 dB HL) avec et sans bruit compétitif, évaluation subjective (questionnaire)</p>	<p>Appareil programmable : meilleur gain fonctionnel</p> <p>Mots : appareil programmable > 14 % (50 dB), 18 % (65 dB), 4 % (80 dB)</p> <p>Évaluation subjective : programmable > linéaire</p>	4

n = nouveaux, c'est-à-dire que les sujets portent un appareil de correction auditive pour la première fois.
e = expérimentés, c'est-à-dire que les sujets ont déjà une expérience du port d'appareils de correction auditive.

AGC = *automatic gain control*, ou réglage automatique de l'amplification.

dB HL (*hearing level*) : voir la définition au glossaire.

dB SPL (*sound pressure level*) : voir la définition au glossaire.

DISCUSSION

Le constat global de supériorité des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique sur les appareils de correction auditive personnels qui se dégage du tableau 2 doit être nuancé. De fait, les plans expérimentaux des études répertoriées ne mettent pas réellement à l'épreuve le concept de contrôle numérique, mais comparent plutôt des appareils de correction auditive comprenant des circuits de traitement de signal perfectionnés à des appareils basés sur une amplification linéaire simple. C'est donc le concept de traitement du signal qui est étudié. Or, de tels circuits peuvent être introduits dans les appareils de correction auditive analogiques sans qu'une commande numérique soit nécessaire. L'approche par contrôle numérique facilite toutefois cette intégration en réduisant l'espace physique nécessaire tout en multipliant la diversité des options. Les récentes solutions entièrement numériques poussent d'ailleurs encore plus loin ce concept. Quant à l'efficacité de chacune des options de traitement des signaux présentées précédemment, les études répertoriées font toutes état de bénéfices liés à l'utilisation isolée ou conjuguée de la compression dynamique et de la capacité multicanal ou multimémoire.

En accord avec le constat global, l'étude du chercheur Moore et de ses collègues [1992] met en évidence l'efficacité supérieure d'une aide à contrôle numérique comportant une compression indépendante sur deux canaux. Or, les données montrent que le gain accru en efficacité pour la reconnaissance de la parole par rapport à l'amplification linéaire (15 % dans le silence à 50 dB SP, 1 % à 65 dB SPL; 0,6 dB dans le bruit) est nettement inférieur à celui obtenu par l'ajustement initial d'une aide linéaire chez des sujets malentendants (60 % dans le silence à 50 dB SPL, 38 % à 65 dB SPL; 3,8 dB dans le bruit).

Cette observation est appuyée par une étude multicentrique randomisée à double insu comparant les performances de 360 sujets pour la reconnaissance de mots et de phrases selon trois configurations de compression (linéaire, compression de sortie, compression variable) programmées dans une même aide analogique à contrôle numérique [Larson *et al.*, 2000]. Les résultats montrent que si les bénéfices qu'offrent les configurations mettant à contribution une compression du signal sont supérieurs à ceux de l'approche linéaire, ils sont moins importants que ceux qu'on obtient par le simple ajustement d'une aide, peu importe sa configuration.

Une autre étude multicentrique à double insu réalisée auprès de 110 sujets montre que l'application d'une stratégie de réduction de l'amplification en basses fréquences pour optimiser la reconnaissance de la parole dans le bruit apporte moins de bénéfices supplémentaires que ceux qu'offre déjà l'amplification linéaire [Humes *et al.*, 1997].

Les chercheurs Parving et Sibelle [2001] ont analysé les réponses aux questionnaires retournés par 32 694 bénéficiaires d'aides auditives, soit 71 % de la cohorte, ayant consulté au cours de la décennie commençant en 1990 au département d'audiologie de l'hôpital Bispebjerg (Copenhague, Danemark), une clinique publique offrant des services couverts par le *National Hearing Health Services*. Les réponses ne montrent aucune différence significative au regard des bénéfices perçus et de la satisfaction des utilisateurs, peu importe la technologie offerte, soit une aide analogique, programmable ou numérique. À la limite, le taux d'insatisfaction apparaît un peu plus élevé chez les porteurs d'appareils de correction auditive numériques.

Si on ne considère que les études à plus fort niveau de preuve (niveau intermédiaire), les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique doivent être désignés comme « innovateurs » selon la classification adoptée en 1994 par l'AETMIS¹. En effet, malgré le nombre restreint d'études bien menées, un consensus se dégage selon lequel cette formule est au moins aussi efficace que les appareils de correction auditive traditionnels pour suppléer à la déficience auditive. Le bénéfice supplémentaire apparaît toutefois modeste, et les indications par rapport aux technologies moins perfectionnées ne sont pas claires.

1. Selon la classification adoptée en 1994 par l'AETMIS (connue alors sous le nom de Conseil d'évaluation des technologies de la santé du Québec), une technologie est désignée :

- « acceptée » lorsqu'il s'agit d'une technologie établie, pour laquelle on dispose d'une longue expérience d'utilisation et d'une connaissance ou, à défaut, d'une acceptation universelle de son efficacité dans toutes ses applications;
- « innovatrice » lorsqu'il s'agit d'une technologie qui a dépassé le stade expérimental et dont l'efficacité est établie, mais qui, à cause du manque d'expérience, reste encore avec des modalités d'application et même des indications imprécises; pour cette technologie, afin d'améliorer le niveau de connaissances, il est important de recueillir de façon systématique toute l'information tirée de son application et de la communiquer au monde médical, que ce soit sous forme d'un rapport de recherche clinique, d'un compte rendu systématique ou d'un registre approprié; afin de promouvoir ces objectifs et d'éviter une application générale prématurée, cette technologie ne doit être utilisée que dans certains centres autorisés, là où les ressources et les connaissances requises sont disponibles;
- « expérimentale » lorsqu'il s'agit d'une technologie dont l'efficacité n'a pas encore été établie; on ne s'attend donc pas à ce qu'une telle technologie soit utilisée dans les établissements dispensant des soins de santé, sauf dans le cadre de projets de recherche, ni qu'elle fasse partie des services assurés par l'État.

CONCLUSION

Le nombre d'études à fort niveau de preuve faisant état de l'efficacité clinique des appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique est restreint. Les quelques travaux disponibles permettent de les classer dans la catégorie des technologies innovatrices. Il faudra procéder à des études comparatives afin de recueillir de plus amples informations sur l'efficacité de ces solutions. Eu égard aux coûts additionnels et aux gains modestes notés jusqu'ici par rapport aux appareils de correction auditive traditionnels, il faudrait réaliser des études sur le rapport coût-avantage avant d'en généraliser l'implantation. Or, l'intérêt des fabricants se déplace actuellement du côté des solutions entièrement numériques, et il est possible que le dépôt de telles études coïncide avec l'obsolescence de cette approche technologique. Ce mouvement en faveur de la technologie numérique a récemment été confirmé lorsque des fabricants de premier plan ont annoncé le retrait de tous les appareils analogiques, y compris des appareils à contrôle numérique, de leur catalogue aux États-Unis. Compte tenu du coût encore plus élevé de ces instruments, l'intérêt d'études sur le rapport coût-avantage de l'approche numérique apparaît encore plus capital.

Bien qu'elles se fondent sur les mêmes prémisses, à savoir que la preuve scientifique de bénéfices accrus est faible, ces conclusions divergent de celles que formulait récemment le *National Institute for Clinical Excellence* en Angleterre [NICE, 2000]. L'organisme propose en effet une révision de la liste des appareils de correction auditive offerts dans le cadre du programme gouvernemental afin d'y inclure dès maintenant la gamme complète des appareils de correction auditive analogiques – dont des appareils à contrôle numérique – qui existent actuellement. Cette recommandation repose sur le principe qu'un appareil de correction auditive doit

être adapté de façon optimale aux besoins de l'utilisateur et qu'on peut présumer que les appareils de correction auditive analogiques perfectionnés permettent de faire des ajustements plus précis qu'avec les appareils de correction auditive linéaires de base. Cette argumentation théorique peut aussi s'appliquer à la sécurité des appareils de correction auditive. En effet, l'accès aux traitements perfectionnés du signal, notamment la compression variable, pourrait permettre d'éviter plus facilement la suramplification des sons et de parer ainsi une progression du déficit auditif.

Selon les données de trois études [Moore *et al.*, 1992; Humes *et al.*, 1997; Larson *et al.*, 2000], l'ajustement initial d'un appareil de correction auditive linéaire procurerait des avantages supérieurs au bénéfice supplémentaire que procure une aide intégrant un traitement perfectionné du signal acoustique. Conséquemment, la pratique clinique et les programmes sociaux qui l'appuient doivent pouvoir offrir à toute personne pour qui une aide auditive est jugée nécessaire au moins un appareillage de base, et ce, aussi longtemps qu'elle en aura besoin. Les appareils de correction auditive analogiques à contrôle numérique ayant un statut de technologie innovatrice, ils devraient être offerts dans un milieu disposant des ressources spécialisées nécessaires, et ce, pour des indications précises. *A priori*, les études répertoriées suggèrent qu'elles pourraient s'appliquer aux candidats évoluant dans un environnement bruyant ou aux prises avec une diversité de situations d'écoute et à ceux dont la gamme dynamique est réduite ou qui présentent une configuration audiométrique difficile à corriger.

ANNEXES

ANNEXE A – COUVERTURE DU PROGRAMME D'AIDES AUDITIVES ET MODALITÉS D'ACCÈS

Tableau A1a

Couverture du programme d'aides auditives selon l'âge de la personne assurée

Âge de la personne assurée	Type d'aides assurées	Services assurés		
		Achat initial et remplacement	Réparation durant la période de garantie	Réparation après la période de garantie
0-5 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA* (système MF** seulement)			
6-11 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF)			
12-18 ans	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF s'il s'agit d'un élève du primaire ou du secondaire)			
19-74 ans non étudiant	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA (sauf système MF)			
19-74 ans étudiant	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA			
75 ans ou plus	prothèse auditive	oui	oui	oui
	ASA			

* ASA = aide de suppléance à l'audition.

** Système MF = système de modulation de fréquence.

Sources : a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programmes et services assurés – Les aides auditives. [En ligne].

<http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/citoyen/progservass/auditive.shtml> (page consultée le 26 février 2003).

b) Règlement sur les aides auditives assurées en vertu de la Loi sur l'assurance maladie. L.R.Q., c. A-29, r.0.02.

Tableau A1b

Modalités d'accès au programme d'aides auditives selon l'âge de la personne assurée

Âge de la personne assurée	Type d'aides assurées	Documents requis – émetteurs autorisés				
		Certificat médical	Audiogramme	Attestation de la nécessité d'une prothèse	Recommandation d'une ASA	Attestation de fréquentation scolaire
0-5 ans	prothèse auditive	ORL***	—	Audiologiste	—	—
	ASA* (système MF**seulement)	ORL	—	—	Audiologiste	—
6-11 ans	prothèse auditive	ORL	—	Audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
12-18 ans	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF s'il s'agit d'un élève du primaire ou du secondaire)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
19-74 ans non étudiant	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA (sauf système MF)	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—
19-74 ans étudiant	prothèse auditive	ORL	ORL ou audiologiste	ORL ou audiologiste	—	—
	ASA	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	École, collège, université
75 ans ou plus	prothèse auditive	ORL	Audiologiste	Audiologiste	—	—
	ASA	ORL	Audiologiste	—	Audiologiste	—

* ASA = aide de suppléance à l'audition.

** Système MF = système de modulation de fréquence.

*** ORL = oto-rhino-laryngologiste

Sources : a) Régie de l'assurance maladie du Québec. Programmes et services assurés – Les aides auditives.

[En ligne]. <http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/citoyen/progservass/auditive.shtml> (page consultée le 26 février 2003).

b) Règlement sur les aides auditives assurées en vertu de la Loi sur l'assurance maladie. L.R.Q., c. A-29, r.0.02.

ANNEXE B – GRILLE DE LECTURE

Grille de lecture d'un article thérapeutique [ANAES, 2000]

Titre et auteur de l'article : _____

Rev./Année/Vol./Pages _____

Thème de l'article : _____

	OUI	NON	?
1. Les objectifs sont clairement définis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Méthodologie de l'étude			
• L'étude est comparative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- l'étude est prospective	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- l'étude est randomisée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Le calcul du nombre de patients a été fait <i>a priori</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La population de l'étude correspond à la population habituellement traitée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Toutes les variables cliniquement pertinentes sont prises en compte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• L'analyse statistique est adaptée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• L'analyse est faite en intention de traiter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Les résultats sont cohérents avec l'objectif de l'étude et tiennent compte d'éventuels effets secondaires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Applicabilité clinique			
• La signification clinique est donnée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Les modalités de traitement sont applicables en routine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Commentaires : _____

ANNEXE C – CLASSIFICATION DU NIVEAU DE PREUVE

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature [ANAES, 2000]

Niveau 1 (fort niveau de preuve ou preuve scientifique établie)

- Essais comparatifs randomisés de forte puissance
- Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés
- Analyse de décision basée sur des études bien menées

Niveau 2 (niveau intermédiaire de preuve ou présomption scientifique)

- Essais comparatifs randomisés de faible puissance
- Études comparatives non randomisées bien menées
- Études de cohorte

Niveau 3 (faible niveau de preuve scientifique)

- Études cas-témoins

Niveau 4 (faible niveau de preuve scientifique)

- Études comparatives comportant des biais importants
- Études rétrospectives
- Série de cas
- Études épidémiologiques descriptives (transversales, longitudinales)

RÉFÉRENCES

- Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES). Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Paris : ANAES; 2000.
- Benson D, Clark TM, Johnson JS. Patient experiences with multiband full dynamic range compression. *Ear Hear* 1992;13:320-30.
- Bentler RA, Duve MR. Comparison of hearing aids over the 20th century. *Ear Hear* 2000; 21:625-39.
- Hall CM, Jacobs EL. A review of a digitally programmable full dynamic range hearing device. *Hear Ins* 1991;42:16-8.
- Humes LE, Christensen LA, Bess FH, Hedley-Williams A. A comparison of the benefit provided by well-fit linear hearing aids and instruments with automatic reductions of low-frequency gain. *J Speech Lang Hear Res* 1997;40:666-85.
- Kiessling J, Steffens T. Clinical evaluation of a programmable three-channel automatic gain control amplification system. *Audiol* 1991;30:70-81.
- Larson VD, Williams DW, Henderson WG, Luethke LE, Beck LB, Noffsinger D, et al. Efficacy of 3 commonly used hearing aid circuits. *JAMA* 2000;282:1806-13.
- Mangold S, Eriksson-Mangold M, Israelsson B, Leijon A, Ringdahl A. Multi-programmable hearing aid. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1990;Suppl 469:70-5.
- May AM, Larsen CB, Warland A. Multi-microphone instruments, DSP and hearing-in-noise. *Tech Topic* 2000:1-4
- Moore BCJ, Johnson JS, Clark TM, Pluinage V. Evaluation of a dual-channel full dynamic range compression system for people with sensorineural hearing loss. *Ear Hear* 1992;13:349-70.
- National Institute for Clinical Excellence (NICE). Guidance on hearing aid technology. Technology appraisal guidance no.8. Londres : NICE; 2000.
- Parving A, Sibelle P. Clinical study of hearing instruments: a cross-sectional longitudinal audit based on consumer experiences. *Audiology* 2001;40:43-53.
- Régie de l'assurance maladie du Québec. Statistiques – Programmes administrés par la Régie : Aides techniques 2001. [En ligne] <http://www.ramq.gouv.qc.ca/crc/sta/cout/aide01.shtml> (page consultée le 28 février 2003).
- Ringdahl A, Eriksson-Mangold M, Israelsson B, Lindkvist A, Mangold S. Clinical trials with a programmable hearing aid set for various listening environments. *Br J Audiol* 1990;24:235-42.

Sammeth CA. Current availability of digital and hybrid hearing aids. *Semin Hear* 1990;11:91-100.

Walden BE, Surr RK, Cord MT, Pavlovic CV. A clinical trial of the ReSound BT2 personal hearing system. *Am J Audiol* 1998;7:1-16.

Yueh B, Souza PE, McDowell JA, Collins MP, Loovis CF, Hedrick SC, Ramsey SD, Deyo RA. Randomized trial of amplification strategies. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2001;127:1197-203.

Zorowka PG, Lippert KL. One-channel and multichannel digitally programmable hearing aids in children with hearing impairment. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1995; Suppl 166:159-62.

**Agence d'évaluation
des technologies
et des modes
d'intervention en santé**

Québec 

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes cochléaires

Test phonétique de J.-C. Lafon

Patient

Date	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E
Audiomètre	F	F	F	F	F
Opérateur	CD 1 piste				
Observations	1 5 25 35	2 6 26 36	3 7 27 37	4 8 28 38	5 9 29 39
	buée	bile	rôde	abbé	balle
	ride	dors	fente	sud	soude
	foc	sage	tige	fausse	mur
	agis	gaine	grain	joute	nef
	vague	fil	cave	dogue	change
	croc	cru	bulle	acquis	gage
	lobe	boule	somme	ville	trou
	mieux	cale	maine	mare	mal
	natte	bonne	preux	noce	tonne
	col	rive	bord	appas	peur
	fort	sol	rouille	route	rampe
	soupe	tempe	oser	cil	puce
	tonte	fauve	site	fête	cor
	vêle	phase	bouée	veule	vite
	nage	mule	saue	chaise	rance
	souche	chatte	chance	bâche	mouche
	rogne	règne	gagne	souille	fille
	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50

Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E	Voix M F E
CD 1 piste				
6 10 30 40	7 11 31 41	8 12 32 42	9 13 33 43	10 14 34 44
bille	brin	bol	bois	tube
doute	faill	rade	dard	dalle
faine	sauge	touffe	faute	four
longe	langue	gêne	amas	jante
gave	sotte	raide	gîte	gaz
seul	molle	étang	ganse	caisse
ami	drap	roule	cahot	folle
tasse	mille	mise	père	mainte
chêne	naine	année	mine	saine
pré	pire	pile	tronc	pris
sur	tank	sort	passe	soute
crin	pur	masse	tord	rite
vol	suer	fève	élan	bave
front	rève	pince	voix	bouse
ruse	vase	bac	pèse	nappe
louche	mèche	manche	bûche	riche
bagne	teigne	saigne	paille	peigne
/ 50	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes cochléaires

Test phonétique de J.-C. Lafon

Patient

Date	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M
Audiomètre					
Opérateur	CD 1 piste				
Observations	11 15	12 16	13 17	14 18	15 19
	bru	bec	bouche	beurre	béat
	lande	dru	rôle	rude	date
	face	franc	feinte	fane	frein
	neige	bouge	jute	lange	range
	dague	gomme	ligne	figue	gale
	sec	rut	cure	latte	souk
	tôle	pale	moule	mousse	lègue
	meule	thème	sème	pic	mate
	fine	orne	anis	laine	naisse
	prend	épais	pour	patte	port
	serre	tard	gris	ronge	sauf
	peinte	soie	somme	selle	taille
	voûte	teinte	rase	menthe	avis
	tri	vif	sente	vieux	muse
	thèse	saue	poche	bis	biche
	arche	fiche	sève	chape	meurt
	pigne	pagne	agneau	caille	digne
	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50

Voix M	Voix M	Voix M	Voix M	Voix M
	CD 1 piste			
	16 20	17 21	18 22	19 23
	ronde	buse	bock	brun
	fade	code	dîne	vide
	beige	foule	frais	fort
	grue	fange	mage	cage
	couche	gaule	gland	rogne
	lasse	cran	soc	coule
	pâme	allait	loi	mêle
	anneau	monte	mien	rime
	épée	nasse	coupe	néant
	race	près	bras	pouce
	soute	sac	assaut	trou
	motte	tord	nier	pince
	vide	rave	rente	dote
	case	bise	vote	bave
	niche	sèche	seize	fez
	bien	brou	roche	chasse
	ligne	vigne	maille	hargne
	/ 50	/ 50	/ 50	/ 50

Listes de Logatomes de Dodelé

Listes V.C.V. de mots sans signification - Ecriture pseudo française

Centre Auditif Dodelé - leondodele@hotmail.com

Patient : _____

Opérateur : _____

Date : _____

R1	R2	R3	R4	R5		L1	L2	L3	L4	L5
dB	dB	dB	dB	dB	Signal	dB	dB	dB	dB	dB
dB	dB	dB	dB	dB	Bruit	dB	dB	dB	dB	dB
a d un	ai d eu	an tr oi	o k a	a ss ain		a d un	ai d eu	an tr oi	o k a	a ss ain
⁶ eu fan	⁴ ai fa	⁶ eu fé	⁴ au fai	⁴ é fau	f 1,4	⁶ eu fan	⁴ ai fa	⁶ eu fé	⁴ au fai	⁴ é fau
⁵ u <u>ss</u> ai	⁴ eu ss a	⁶ i ss eu	⁴ <u>ai</u> ss i	² <u>ai</u> ss a	s 5,8	⁵ u <u>ss</u> ai	⁴ eu ss a	⁶ i ss eu	⁴ <u>ai</u> ss i	² <u>ai</u> ss a
⁴ eu ch é	³ an ch é	⁵ a ch ou	³ é ch a	⁴ i ch an	ch 0,6	⁴ eu ch é	³ an ch é	⁵ a ch ou	³ é ch a	⁴ i ch an
⁶ ain v a	³ <u>a</u> v au	⁴ i <u>v</u> é	⁴ a v on	⁶ on v a	v 2,7	⁶ ain v a	³ <u>a</u> v au	⁴ i <u>v</u> é	⁴ a v on	⁶ on v a
³ ai z au	⁹ ou z eu	⁵ on z a	⁴ i z ain	⁶ ou z é	z 1,5	³ ai z au	⁹ ou z eu	⁵ on z a	⁴ i z ain	⁶ ou z é
¹ a jon	⁴ u j ai	⁴ u j é	⁴ é jo	⁴ eu ji	j 1,5	¹ a jon	⁴ u j ai	⁴ u j é	⁴ é jo	⁴ eu ji
⁴ i <u>p</u> a	² é <u>p</u> a	⁷ au p eu	⁴ eu p é	⁶ eu p ain	p 4	⁴ i <u>p</u> a	² é <u>p</u> a	⁷ au p eu	⁴ eu p é	⁶ eu p ain
⁵ <u>ai</u> t é	⁷ i teu	² a to	⁵ ita	⁵ <u>ai</u> ti	t 5,3	⁵ <u>ai</u> ti	⁷ i teu	² a to	⁵ ita	⁵ <u>ai</u> ti
⁴ eu k é	³ i ka	³ ou kan	⁴ an kou	⁵ u ka	k 4	⁴ eu k é	³ i ka	³ ou kan	⁴ an kou	⁵ u ka
⁴ i b an	⁶ ai b eu	⁶ eu b a	³ a b ain	⁶ eu b an	b 1,1	⁴ i b an	⁶ ai b eu	⁶ eu b a	³ a b ain	⁶ eu b an
⁷ eu d a	⁵ ain d eu	⁴ ain d an	⁴ an d eu	³ a d é	d 4,3	⁷ eu d a	⁵ ain d eu	⁴ ain d an	⁴ an d eu	³ a d é
⁵ eu gu ain	⁴ é gu an	⁵ ai gu eu	⁶ eu g ai	⁴ an g o	gu 0,6	⁵ eu gu ain	⁴ é gu an	⁵ ai gu eu	⁶ eu g ai	⁴ an g o
⁵ o <u>m</u> an	⁷ i m ain	¹ a m ai	⁵ i m é	⁵ eu m ai	m 3,6	⁵ o <u>m</u> an	⁷ i m ain	¹ a m ai	⁵ i m é	⁵ eu m ai
⁴ ai <u>n</u> ou	³ é <u>n</u> an	³ é <u>n</u> a	⁷ ou n eu	⁶ eu n ain	n 2,9	⁴ ai <u>n</u> ou	³ é <u>n</u> an	³ é <u>n</u> a	⁷ ou n eu	⁶ eu n ain
³ é <u>w</u> a	⁵ on w ai	⁴ ain w i	² ai w a	⁰ a w é	w 1	³ é <u>w</u> a	⁵ on w ai	⁴ ain w i	² ai w a	⁰ a w é
² <u>a</u> ré	¹ <u>ori</u>	² ai r ai	⁵ <u>a</u> n r a	³ <u>a</u> ri	r 7,8	² <u>a</u> ré	¹ <u>ori</u>	² ai r ai	⁵ <u>a</u> n r a	³ <u>a</u> ri
³ i <u>l</u> ou	¹ <u>a</u> lou	⁴ i <u>l</u> an	⁵ u <u>l</u> ou	² <u>ai</u> <u>l</u> on	l 6,2	³ i <u>l</u> ou	¹ <u>a</u> lou	⁴ i <u>l</u> an	⁵ u <u>l</u> ou	² <u>ai</u> <u>l</u> on
					Phon. Déform. Total/50					

APHAB – FORMULAIRE A

Instructions:

Veillez sélectionner les réponses qui correspondent le mieux votre expérience quotidienne. Si vous n'avez pas connu la situation que nous décrivons, essayez d'imaginer comment vous répondriez dans une situation similaire que vous connaissez.

- A** Toujours (99%)
- B** Presque Toujours (87%)
- C** En général (75%)
- D** La moitié du temps (50%)
- E** Parfois (25%)
- F** Rarement (12%)
- G** Jamais (1%)

		Non appareillé	Appareillé
1.	Quand je suis dans un supermarché plein de monde et que je parle avec la caissière, j'arrive à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
2.	Quand j'écoute une conférence, beaucoup d'informations sont perdues pour moi.	A B C D E F G	A B C D E F G
3.	Des bruits inattendus, tels qu'un détecteur de fumée ou une sonnerie d'alarme, me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
4.	J'ai de la peine à suivre une conversation quand je suis chez moi, avec quelqu'un de ma famille.	A B C D E F G	A B C D E F G
5.	J'ai de la peine à comprendre les dialogues au cinéma ou au théâtre.	A B C D E F G	A B C D E F G
6.	Quand j'écoute les informations en voiture et que des membres de ma famille sont en train de parler, j'ai de la peine à entendre les nouvelles.	A B C D E F G	A B C D E F G
7.	Quand je dîne avec plusieurs personnes et que j'essaie d'avoir une conversation avec l'une d'entre elles, j'ai de la peine à comprendre ce qu'elle dit.	A B C D E F G	A B C D E F G
8.	Les bruits de la circulation sont trop forts.	A B C D E F G	A B C D E F G
9.	Quand je parle avec quelqu'un à travers une grande pièce vide, je comprends ses paroles.	A B C D E F G	A B C D E F G
10.	Quand je suis dans un petit bureau, en train de poser ou de me faire poser des questions, j'ai de la peine à suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
11.	Quand je suis dans une salle de cinéma ou de théâtre et que les gens murmurent et froissent du papier autour de moi, j'arrive quand même à comprendre le dialogue.	A B C D E F G	A B C D E F G
12.	Quand j'ai une conversation avec un ami et que nous parlons doucement, j'ai de la peine à comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G

A Toujours (99%)
B Presque Toujours (87%)
C En général (75%)
D La moitié du temps (50%)
E Parfois (25%)
F Rarement (12%)
G Jamais (1%)

		Non appareillé	Appareillé
13.	Les bruits d'eau courante, chasse d'eau ou douche par exemple, sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
14.	Quand un orateur parle à un petit groupe et que tout le monde écoute calmement, je dois faire un effort pour comprendre.	A B C D E F G	A B C D E F G
15.	Lors d'une conversation tranquille avec mon médecin, dans son cabinet de consultation, il m'est difficile de suivre la conversation.	A B C D E F G	A B C D E F G
16.	Je comprends les conversations même quand plusieurs personnes sont en train de parler.	A B C D E F G	A B C D E F G
17.	Les bruits de chantier sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
18.	J'ai de la peine à comprendre ce qui se dit lors de conférences ou de services religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
19.	J'arrive à communiquer avec les autres dans une foule.	A B C D E F G	A B C D E F G
20.	Le bruit de la sirène d'un camion de pompiers à proximité est si fort que je dois me boucher les oreilles.	A B C D E F G	A B C D E F G
21.	Je peux suivre le sermon, lors d'un service religieux.	A B C D E F G	A B C D E F G
22.	Les crissements de pneus sont trop forts et me sont pénibles.	A B C D E F G	A B C D E F G
23.	Dans des conversations en tête à tête, dans une pièce calme, je dois demander aux gens de répéter.	A B C D E F G	A B C D E F G
24.	J'ai du mal à comprendre les autres quand un système d'air conditionné ou un ventilateur est en marche.	A B C D E F G	A B C D E F G

Nom, prénom :

Appareil :

QUESTIONNAIRE DE SATISFACTION

Ce questionnaire a pour but d'évaluer la qualité de votre appareillage dans diverses situations sonores ainsi que votre satisfaction de manière générale.

Merci de ne cocher qu'une seule proposition par item.

A. CONFORT DE PORT

1) Aspect esthétique

- A : Très satisfaisant
- B : Satisfaisant
- C : Moyennement satisfaisant
- D : Non satisfaisant

2) Entretien/manipulation

- A : Pas du tout contraignant
- B : Peu contraignant
- C : Contraignant
- D : Très contraignant

B. QUALITE D'ECOUTE

3) Perception de votre voix

- A : Naturelle
- B : Différente mais non dérangeante
- C : Dérangeante (qui résonne)
- D : Perturbante : vous ne reconnaissez pas du tout votre voix

7) Clarté du son

- A : Très bonne, son naturel
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

4) Larsen/Sifflement

- A : Jamais
- B : Rarement
- C : Occasionnellement
- D : Souvent

8) Localisation des sons/impression de relief auditif

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

5) Impression de résonance

- A : Jamais
- B : Rarement
- C : Occasionnellement
- D : Souvent

9) Confort en tête à tête

- A : Très bon
- B : Bon
- C : Moyen
- D : Nul

6) Volume sonore

- A : Parfaitement suffisant
- B : Suffisant
- C : Moyennement suffisant
- D : Insuffisant

10) Confort dans le bruit

- A : Très bon
- B : Bon
- C : Moyen
- D : Nul

Nom, prénom :

Appareil :

11) Compréhension au téléphone

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

12) Compréhension à la télévision

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

13) Identification des sons aigus (alarmes, sonnette de porte...)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

14) Ecoute de la musique

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

C. INTELLIGIBILITE EN MILIEU BRUYANT

15) Compréhension lors de discussions en petit comité

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

16) Compréhension lors de discussions en grand comité (diners de famille, réunions)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

17) Compréhension en présence d'un bruit de fond (restaurant, soirée cocktail)

- A : Très bonne
- B : Bonne
- C : Moyenne
- D : Nulle

RESSENTIMENT GLOBAL SUR VOTRE APPAREILLAGE

Sur une échelle de 1 à 10, comment noteriez-vous votre appareillage ?/10

Merci d'avoir répondu à ce questionnaire