



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Université Claude Bernard



Lyon 1

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Docteur Xavier PERROT

**INFLUENCE DU SENS D'INSERTION DU LYRIC ET LE ROLE DE LA
CAVITE RESIDUELLE SUR CERTAINS FACTEURS LORS DE
L'APPAREILLAGE LYRIC**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

Par

DEYRE Dylan

Autorisation de reproduction

LYON, le 16/10/20

N° 845

Directeur de l'Enseignement

Stéphane GALLEGO

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON 1

Président de l'Université	M. le Professeur Frédéric FLEURY
Président du Conseil Académique	M. le Professeur Hamda BEN HADID
Vice-président du Conseil d'Administration	M. le Professeur Didier REVEL
Vice-président de la Commission Formation et Vie Universitaire	M. le Professeur Philippe CHEVALIER
Vice-président de la Commission Recherche	M. Fabrice VALLEE
Directrice Générale des Services	Mme Dominique MARCHAND

COMPOSANTES – SANTE

Comité de Coordination des Etudes Médicales (C.C.E.M.)	Président : M. le Professeur P. COCHAT
Faculté de Médecine Lyon Est	Doyen : M. le Professeur G. RODE
Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles Mérieux	Doyenne : Mme la Professeure C. BURILLON
Faculté d'Odontologie	Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directrice : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. le Dr X. PERROT
Département de Formation et de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme le Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS – SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies	Directeur : M. F. DE MARCHI
Département Biologie	Directeur : M. le Professeur F. THEVENARD
Département Chimie Biochimie	Directeur : Mme C. FELIX
Département GEP	Directeur : M. H. HAMMOURI
Département Informatique	Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE
Département Mathématiques	Directeur : M. le Professeur G. TOMANOV
Département Mécanique	Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID
Département Physique	Directeur : M. le Professeur J-C. PLENET
UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. Y. VANPOULLE
Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon	Directeur : M. I. DANIEL
Polytech Lyon	Directeur : M. le Professeur E. PERRIN
Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique	Directeur : M. G. PIGNAULT
Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1	Directeur : M. le Professeur C. VITON
Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education	Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. N LEBOISNE

Remerciements :

Pour commencer, je remercie mon maître de stage et maître de mémoire Yannick DUMOUCHEL, pour l'ensemble des connaissances qu'il m'a transmises, la patience dont il a fait preuve ainsi que la qualité du stage.

Un grand merci à Arnaud DEVEZE pour son implication et sa disponibilité tout au long de l'étude.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

- Axel LEGOUGE, RAMILISON H Eloi, Catherine MASSON et toute l'équipe du Laboratoire de Biomécanique Appliquée, sans lesquels rien n'aurait pu aboutir.
- Antoine CHEVAL, Adrien PARREL et Leticia LARIEUX, audioprothésistes intervenant dans le centre, pour leurs précieux conseils et leur bonne humeur.

Je remercie également Tracey MURRIS, Cosmina BARBOSA, Amaury SNOUSSI et toute l'équipe d'Audition Conseil pour leur gentillesse, bienveillance et sympathie durant ce stage.

Pour finir, je remercie mes parents, ma famille et mes amis pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

GLOSSAIRE :

CAE : Conduit Auditif Externe

OD : Oreille Droite

OG : Oreille Gauche

REAG : Real Ear Aided Gain

REUG : Real Ear Unaided Gain

dB : Décibel

HL : Hearing Level

SPL : Sound Pressure Level

Hz : Hertz

ITC : In The Canal

CIC : Completely In the Canal

PT : Péri-Tympanique

3D : 3 dimensions

LBA : Laboratoire de Biomécanique Appliquée

IFSTTAR : L'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

LDV : Laser Doppler Vélocimétrie

DSP : Densité Spectrale de Puissance

MT : Membrane Tympanique

FT : Fonction Transfert

REMERCIEMENTS :

GLOSSAIRE :

SOMMAIRE :

INTRODUCTION :

- I) Rappels anatomiques et audio-prothétiques :
 - 1) L'oreille externe
 - A) Composition de l'oreille Externe
 - B) Fonctions de l'oreille Externe
 - C) Le tympan
 - 2) Description du LYRIC 3 :
 - A) Présentation
 - B) Caractéristiques spécifiques au LYRIC
 - C) Critères inclusion / exclusion de patient LYRIC
 - D) Différentes possibilités de réglages avec le logiciel
 - 3) Avantages acoustiques d'un positionnement profond dans le conduit auditif :
 - A) Réduction de la cavité résiduelle
 - B) Effet du positionnement du microphone et de l'orientation de l'écouteur
 - C) Les effets de ces facteurs sur l'audibilité

- II) Etude témoin réalisée sur un conduit auditif humain en 3D :
 - 1) Présentation de l'établissement
 - 2) Matériel et méthodes utilisés pour nos études
 - A) Matériel
 - B) Fonctionnement du dispositif
 - 3) Influence Acoustique du sens et du gain de l'appareillage Lyric (ETUDE 1)
 - 1)
 - A) Présentation de l'étude
 - B) Objectif de l'étude
 - C) Matériel
 - D) Protocole
 - E) Résultats et Observations
 - F) Discussion
 - 4) Influence Acoustique de la profondeur d'insertion du Lyric (ETUDE 2)
 - A) Présentation de l'étude
 - B) Objectif de l'étude
 - C) Matériel
 - D) Protocole

- E) Résultats et Observations
- F) Discussion
- 5) Limites et Perspectives communes aux deux études

- III) Etude pratique réalisée avec des patients :
 - 1) Objectif de l'étude
 - 2) Matériel et Méthodes
 - A) Population étudiée / critère inclusion et exclusion
 - B) Matériel
 - C) Protocole
 - 3) Analyse des résultats
 - 4) Discussion
 - 5) Limites et Perspectives :

ANNEXE :

BIBLIOGRAPHIE :

CONCLUSION :

RESUME :

INTRODUCTION :

Depuis plusieurs années, les fabricants d'appareils auditifs s'évertuent à proposer à leurs distributeurs les technologies les plus performantes : ces constantes innovations ne cessent de faire évoluer et améliorer l'appareillage du patient.

A ce jour, la grande majorité des appareils vendus dans le monde ont un fonctionnement numérique, c'est-à-dire avec un traitement du son utilisant un microprocesseur composé de plusieurs canaux et d'algorithmes automatiques (réducteurs de bruit impulsionnels, bruit du vent, anti-larsen, etc.)

Un appareil se différencie cependant aujourd'hui des autres en proposant une alternative à l'appareillage conventionnel en plus de caractéristiques totalement différentes, c'est LYRIC : il consiste en effet en une aide auditive analogique (sans canaux ni réglages multiples) qui s'appuie sur le mécanisme d'amplification naturel de l'oreille, et réduisant la cavité résiduelle en se plaçant à quatre millimètres du tympan.

L'équipe de recherche et développement de LYRIC a été fondée en 1998 pour développer la technologie et les techniques permettant à un appareil auditif de résider dans l'oreille en toute sécurité 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, pendant plusieurs mois consécutifs.

Ce mémoire aura donc plusieurs objectifs : Nous chercherons tout d'abord à observer l'influence du sens de mise en place de LYRIC (dans sa version 3) dans le conduit auditif, puis dans un second temps celle de la variation de la cavité résiduelle et de la profondeur d'insertion de LYRIC sur des facteurs acoustiques tels que le gain d'insertion.

I) Rappels anatomiques et audio-prothétiques :

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

Nous expliquerons également la morphologie et le rôle du tympan dans l'audition.

1) L'oreille Externe :

A. Structure de l'Oreille Externe :

Comme écrit précédemment, l'oreille externe (OE) est composée du pavillon et du conduit auditif externe (CAE). C'est la partie visible de l'appareil de transmission sonore. (Delas B., Dehesdin D 2008)

Les vibrations sonores sont captées par le pavillon, transmises à travers le conduit auditif et arrivent jusqu'à la membrane du tympan afin de la faire vibrer et de transmettre à la chaîne ossiculaire.

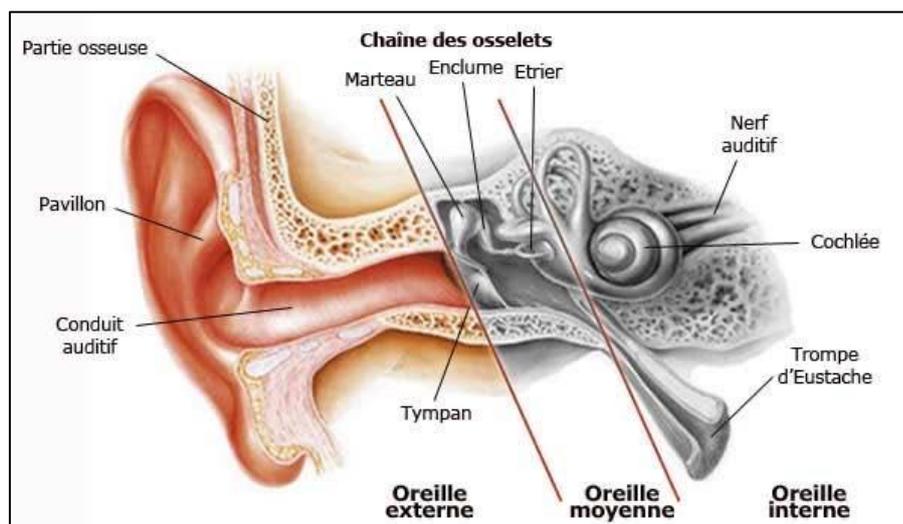


Figure 1 : Schéma de l'oreille

Le pavillon ou auricule de l'oreille est la structure saillante externe du pavillon de l'oreille.

Il focalise le son dans le conduit auditif et représente une protection physique pour le reste de l'oreille.

C'est une structure qui grandit tout au long de la vie.

Quant au CAE, il est composé d'un canal reliant la conque et le tympan. Sa profondeur moyenne est de 25 mm, son diamètre varie autour de 1 cm en fonction de la zone du conduit et du patient. Son volume moyen est de 1.44 cm³ chez l'homme et 0.88 cm³ chez la femme.

Le CAE est constitué de 2 parties :

- Cartilagineuse (le 1/3 externe), avec :
 - Glandes cérumineuses = glandes sudoripares spécialisées qui produisent le cérumen
- Osseux (le 2/3 interne), avec :
 - Creusé dans l'os temporal

Il présente deux courbures, la première située dans la partie cartilagineuse et la deuxième courbure qui réalise la jonction entre le cartilage et la partie osseuse.

B. Les fonctions de l'oreille externe :

L'oreille externe possède plusieurs fonctions :

1. Le premier rôle de L'OE est une fonction de protection mécanique (empêche la pénétration d'objet par son ouverture étroite) et chimique, réalisé par le cérumen.
2. Fonction de localisation spatiale

- La configuration du pavillon (=forme de cornet auditif) permet une capture efficace du son qui va être concentré au sein du CAE.
- Les indices binauraux (faisant appel à un organe pair) permettent de localiser le son dans le plan horizontal.
- Dans le plan vertical, la transmission est plus facile pour les hautes fréquences d'une source située en hauteur.

3. Le troisième et dernier rôle est d'amplification :

Si l'utilité du conduit auditif est de transmettre le son du méat auditif jusqu'au tympan, il a néanmoins un autre rôle fondamental que celui de la transmission : l'amplification. En effet, on observe une amplification sélective des sons pour des fréquences autour de 3000 Hz par un phénomène de résonance. Cette amplification peut être quantifiée aux alentours de 20 dB.

Le conduit auditif peut être considéré comme un résonateur acoustique, c'est-à-dire un système acoustique pouvant entrer en résonance à des fréquences propres données. Un résonateur est passif, il n'apporte pas d'énergie.

La résonance correspond à une « amplification » de la pression acoustique aux fréquences de résonances.

Pour simplifier l'explication, nous comparerons le conduit auditif externe à un tube ouvert-fermé.

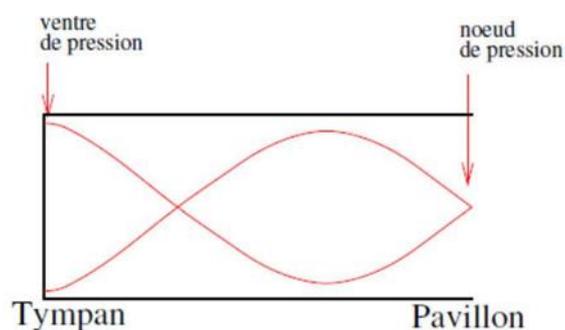


Figure 2 : Evolution de la pression dans un tube ouvert-fermé

Une onde acoustique correspond à des variations (succession de dépression et de surpression) locales et rapides de la pression de l'air.

Dans un tuyau ouvert-fermé, la pression est maximale à l'extrémité fermée (ventre de pression).(J.Foret, 1968)

Une formule résulte d'une démonstration et permet de trouver directement la fréquence du fondamental et les harmoniques pour les tubes ouverts-fermés :

$$f_n = \frac{c}{4L}(2n - 1)$$

Avec n : numéro du rang de l'harmonique

C : célérité du son

L : longueur du conduit

F_n : fréquence de l'harmonique

Cette application théorique nous indique que la fréquence de résonance dépend de la longueur du conduit auditif mais, elle n'est pas suffisante pour représenter la différence de résonance inter- individuelle.

Une étude réalisée par M. Valente et J. Goebel (1991) montre bien cette disparité, allant de 15 à 20 dB sur les fréquences 2000 à 4000 Hz. La modification de la résonance du CAE est directement liée à son volume, à l'âge, aux potentiels pathologies ou à une perforation tympanique.

Kruger (1987), a étudié les résonances d'enfants de moins de 40 mois, et a remarqué que plus la taille du conduit augmentait, plus la fréquence de résonance diminuait.

La mise en place d'un Lyric va perturber les diverses résonances comme nous le verrons par la suite.

La fonction de transfert de l'oreille externe :

Les rappels précédents ont expliqué que l'oreille externe capte et amplifie les ondes acoustiques : c'est la fonction de transfert de l'oreille externe. Le graphique ci-dessous montre l'amplification apportée par chacune des parties qui forment l'oreille externe ainsi que l'amplification totale.

Cette amplification est un effet additionnel du pavillon et du conduit auditif externe. Cependant, elle peut être modifiée par des différences inter-individuelles (ex : dimension physique de l'oreille externe), soit en raison d'obstructions mécaniques telle que le placement de l'aide auditive. (Ballachanda, 1997)

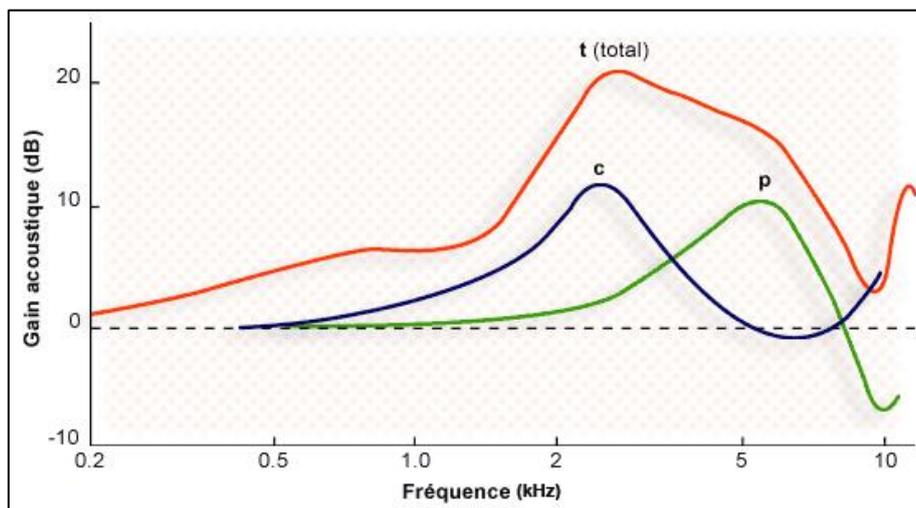


Figure 3 : Représentation du gain acoustique en dB du CAE (c), du pavillon (p) et du gain total de l'oreille externe (t) en fonction de la fréquence en kHz

C. Le Tympan :

Le tympan est la fine membrane semi-transparente, élastique et de forme ovale qui sépare le conduit auditif externe de l'oreille moyenne.

Il a une surface totale d'environ 85mm² dont 55mm² qui constitue une surface vibratoire.

Le tympan est constitué de 2 parties :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• La pars tensa (2/3 inférieur) :- 55mm²- Fibres circulaires et radiales- Convertit le son en vibration au marteau | <ul style="list-style-type: none">• La pars flaccida (1/3 supérieur) :- Épaisse- Peu de fibres- Peu résistante |
|--|---|

La partie de concavité maximale est appelé l'umbo.

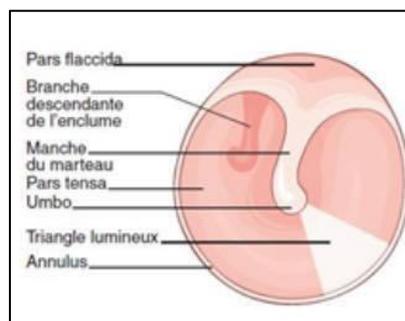


Figure 4 : Schéma d'un tympan

A cause de l'inclinaison de la membrane tympanique (MT) en bas, en avant et en dedans, la paroi inférieure du CAE présente 5 mm de plus que la paroi supérieure. C'est pourquoi la MT présente un angle de 45° par rapport à la verticale.

Des modifications de la structure et des propriétés mécaniques de la membrane tympanique peuvent détériorer la transmission du son.(Karkas A, Badidi G, Odinet P et al., 2019).

La perception des ondes sonores se fait par l'intermédiaire du tympan qui va rentrer en vibrations sous l'action des variations de la pression. Une force nette exercée par les molécules d'air apparait et crée le déplacement du tympan.(Volandri et al., 2011)
Par la suite, le tympan transforme la pression acoustique, en force mécanique et vitesse vibratoire à travers l'oreille moyenne, jusqu'à l'oreille interne.

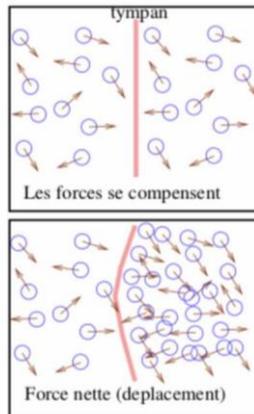


Figure 5 : Phénomène se déroulant lors de l'arrivée d'une onde sur le tympan

CONCLUSION SUR LA PARTIE I :

Tous ces rappels ont eu pour but d'expliquer le trajet fait par l'onde sonore et les modifications qu'elle subit avant que celles-ci ne rencontrent le microphone du Lyric, jusqu'à qu'elle arrive amplifiée au niveau du tympan. 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 peuvent être rassemblées 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.

2) Description du LYRIC 3 :

Dans cette partie, nous présenterons le Lyric, ses spécificités, son fonctionnement, ainsi que les avantages de sa mise en place.

A) Présentation :

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 sa méthode d'amplification.

Lyric est la première et la seule aide auditive à port permanent ! Il a été créé en Amérique pour être ensuite racheté par Phonak, fabricant suisse qui l'a ensuite fait évoluer avec le temps.

Actuellement, c'est la génération 3 du LYRIC qui est sur le marché de l'audioprothèse. Comme nous explique le Docteur Johnson (2015) dans une revue « *Depuis 2007, la technologie Lyric a connu plusieurs améliorations majeures. La première version, Lyric1, s'adaptait à environ 50 % des oreilles seulement. L'une des initiatives clés du développement de Lyric2 a consisté à diminuer la taille des appareils afin d'accroître leur taux d'adaptation. Lorsque Lyric2 a été lancé en 2012, le taux d'adaptation a atteint 75 % de candidats adéquats. En 2014, sur la base de ce qui avait fait le succès de Lyric2, Lyric3 apporte encore des améliorations grâce à un nouveau circuit à faible consommation.* »

B) Composition du Lyric :

Le lyric est composé d'un micro protégé permettant de capter le son (4). A celle-ci s'ajoute un tube de protection (2). Le haut-parleur est doté d'un part-cérumen. Le micro, la pile (6), le processeur et l'écouteur (5) sont englobés par des corolles flexibles ayant pour rôle une bonne étanchéité dans le conduit auditif.

Un point noir (3) permet de donner le sens du lyric, en mettant le point noir « vers le haut. » comme l'indique le fabricant.

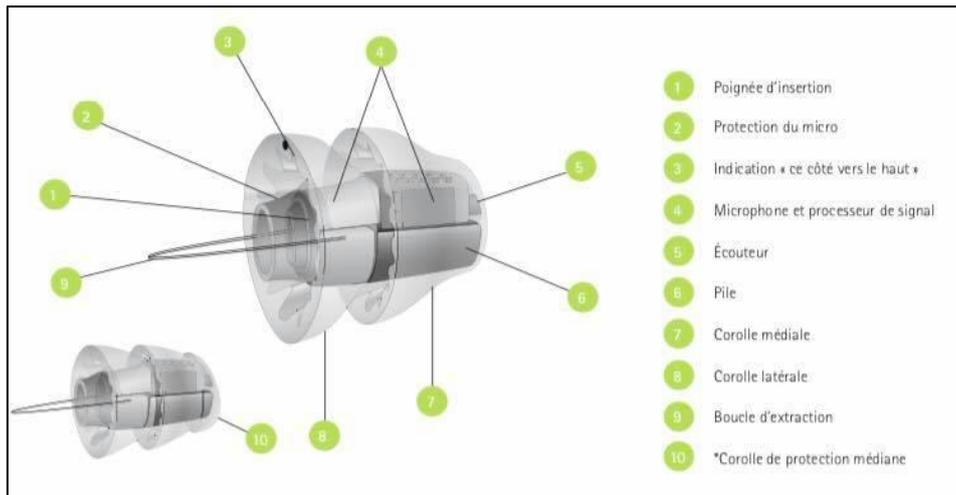


Figure 6 : Composition d'un Lyric

C) Caractéristiques spécifiques au LYRIC :

À la différence de beaucoup d'autres aides auditives, les appareils Lyric sont complètement insérés dans le conduit auditif et utilisent l'anatomie de l'oreille, expliqué dans la première partie, pour garantir une qualité sonore naturelle et des repères de localisation comme nous l'expliquerons ci-dessous.

- Son port est permanent : Ils peuvent être utilisées 24h/24, 7j/7 quelque que soit l'activité du patient. (Sport, douche...)

- L'autonomie de la pile zinc-air est conçue pour durer jusqu'à 120 jours. Aucun changement de pile et aucun entretien. Cependant, la fréquence de remplacement peut varier d'une personne à l'autre, car la durée de vie de la pile de l'appareil dépend des conditions individuelles d'utilisation et du degré d'amplification dû à la perte auditive.

L'appareil tombe en panne pour quelque raison que ce soit, il est immédiatement retiré et remplacé.

- Cet appareil auditif est 100 % invisible, le LYRIC se situe totalement dans le conduit auditif du patient, normalement placé à 4 mm du tympan à l'aide d'une pince d'insertion.

- Un son clair et naturel : Lyric amplifie le son en utilisant le mécanisme naturel de l'oreille externe comme expliqué précédemment, sans canaux ni réglages multiples, afin de fournir une bonne qualité sonore.
- Phonak nous communique que, le Lyric est le seul appareil auditif à utiliser un traitement du son analogique pour une haute-fidélité et une efficacité énergétique optimale, permettant une durée de vie prolongée de la batterie. Les avantages acoustiques fournis par le placement ultra-profond dans le canal auditif font de la technologie analogique un choix logique. L'appareil est cependant programmable numériquement.
- Le pré-réglage du logiciel d'appareillage s'appuie sur une formule d'appareillage standard, NAL-NL2, tout en captant les attributs acoustiques uniques de l'aide auditive à positionnement profond.
- Différents gabarits sont proposés lors la mise en place d'un LYRIC.

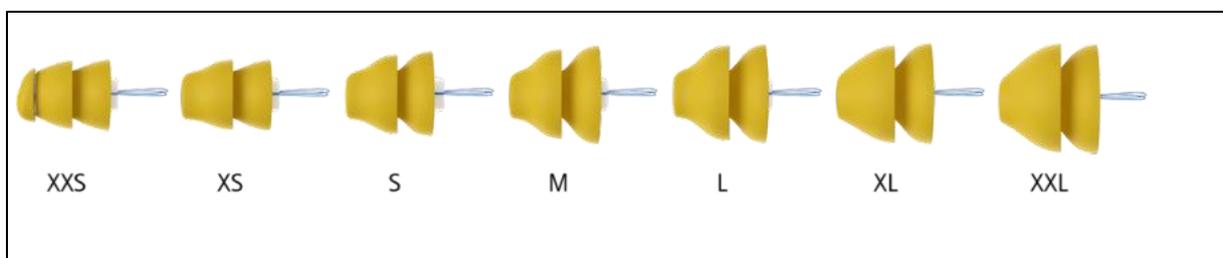


Figure 7 : Différentes tailles de Lyric

Il en existe maintenant 7 gabarits de lyric afin de s'adapter au maximum à l'anatomie des conduits auditifs de chaque patient et d'améliorer le taux de réussite de l'essai.

Les corolles doivent obstruer totalement le conduit. On ne doit pas noter d'espace entre le LYRIC et le conduit. Si c'est le cas il faut utiliser une taille supérieure jusqu'à ce que l'étanchéité soit bonne.

A l'inverse, si on observe un pli sur la corolle externe la taille du gabarit doit être diminuée.

Choisir un gabarit trop petit pour le patient, va créer une perte d'étanchéité (une fuite de l'amplification) dans le conduit auditif et donc un gain moins important sera émis au niveau du tympan, avec un risque de larsen.

- Au contraire, choisir un gabarit trop grand sera encombrant, voir même insupportable pour le patient (corps étranger trop présent), risque d'endommager le conduit auditif.

Certains audioprothésistes installent une troisième corolle au LYRIC lorsque lors de la mise en place :

- Il y a présence de larsen mais le conduit auditif est trop petit et ne permet pas une taille supplémentaire

- Le patient ressent trop l'impression d'un corps étranger, l'audioprothésiste peut alors choisir une taille de lyric inférieur tout en rajoutant une troisième corolle afin de garder une bonne étanchéité.

D) Critères d'inclusion/exclusion de patient LYRIC :

Les critères d'inclusions sont importants à prendre en compte afin d'évaluer si un patient peut être apte au port de Lyric.

- La plage d'application doit pouvoir corriger la perte du patient. Lyric est conçu théoriquement pour les personnes atteintes d'une perte auditive légère à moyennement-sévère.

- Style de vie : généralement socialement actif, recherche invisibilité

- Le patient doit être motivé, des réactions de l'oreille (ex : otites) au corps étranger peuvent intervenir lors des premières semaines.

- Anamnèse et l'état de santé doivent être optimal

- Géométrie de l'oreille / caractéristiques anatomiques : le conduit doit au niveau de la taille (longueur minimum à respecter) et de la forme, permettre un bon maintien et une bonne insertion.

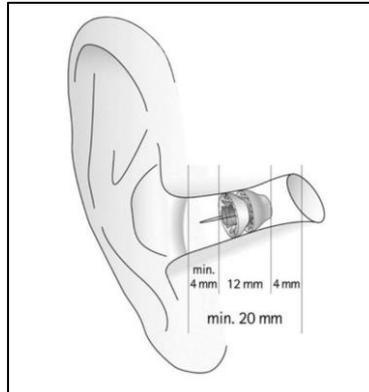


Figure 8 : Dimension minimum d'un conduit auditif afin d'être éligible au Lyric

- Il faut qu'il y ait une acceptation de l'oreille d'un corps étranger durant l'essai. Une étude faite sur 279 participants a montré qu'aucun de ces patients n'a eu de problème d'oreille nécessitant un traitement médical. Elle a aussi montré que tout le monde ne pouvait pas porter Lyric. Au total, 23% des participants de l'étude ont interrompu leur appareillage avec Lyric. (Lyric and safety - A study on the safety of Lyric and user satisfaction, 2011)

Mais pour certains patients, le Lyric est la seule solution comme appareillage auditif, si bien sûr il le supporte. Trois cas nous viennent à l'idée :

- Personne totalement dépendante, ne pouvant réaliser aucune manipulation sur une aide auditive classique (changer la pile, le mettre en place...)
- Acouphéniques acoustiques ou le port d'un appareil est indispensable pour eux la nuit.
- Certains corps de métier où l'aide auditive numérique est gênante (par exemple l'utilisation de stéthoscope par les professionnels de la santé).

Cependant, quelques critères sont déconseillés pour un appareillage Lyric ou même l'interdisent

Antécédents ORL :

Problèmes d'oreille moyenne : Otites chroniques ou otorrhées, perforation tympanique, cholestéatome.

Etat de la peau : Eczéma, peau fine ou sèche, otite chronique de l'oreille externe, bouchons épidermiques, malformation du conduit (ex : exostose).

Situations :

- Traitements par rayonnements locaux (IRM)
- Anticoagulants ++
- Diabètes non traités
- Système immunitaire déficient
- Chimiothérapie récente (sur les six derniers mois)
- Capacité cognitive
- Pathologie de l'articulation temporo-mandibulaire

E) Différentes possibilités de réglages que nous offre le logiciel :

La programmation numérique de Lyric™ est faite par induction avec Stylet par l'audioprothésiste, à l'aide du logiciel d'adaptation prothétique « Phonak Target ».

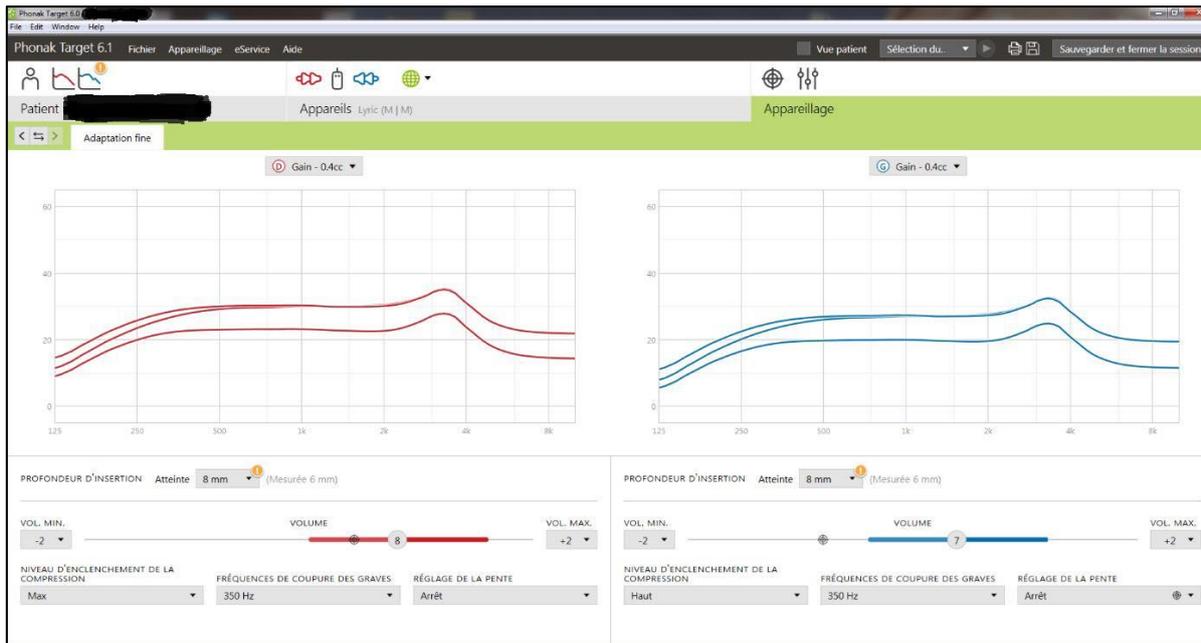


Figure 9 : Photo du logiciel de réglages

Sur l'interface, quatre possibilités de réglages s'offrent à l'audioprothésiste afin de modifier la courbe de réponse :

- Le volume : revient à régler le gain puisque c'est un appareil monocanal. Le volume est réglable sur une échelle allant de 1 à 11.
- La fréquence de coupure : 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.
- Niveau d'enclenchement de la compression : Augmentation ou diminution de la dynamique. Avec une augmentation des sons forts et une diminution des sons faibles.
- la pente utilisée : accentuer la distance entre l'amplification des fréquences graves et des aigus. Cette diminution se fait avec la diminution des fréquences graves.

3) Avantages acoustiques de la mise en place du Lyric :

La forme et le positionnement unique de Lyric rendent ces avantages possibles car l'appareil est placé à environ 4 mm de la membrane tympanique, réduisant ainsi la cavité résiduelle du conduit auditif et laissant le pavillon et la conque dégagés au contraire d'un appareil classique qui ne peut pas en bénéficier. (Arbogast et Whichard, 2009)

L'augmentation de la pression acoustique qui en résulte est une combinaison de deux facteurs principaux : un volume réduit et l'emplacement d'entrée du microphone dans le canal.

Une fois combinés, ces deux facteurs contribuent à une augmentation de certaines bandes fréquentielles, principalement dans les hautes fréquences comme nous allons le voir.

A) Réduction de la cavité résiduelle :

La cavité résiduelle pourrait être définie comme une caisse délimitée entre le microphone de l'appareil auditif et le tympan.

Dans cette cavité un volume d'air est contenu, qui fluctue dans notre cas, en fonction de la profondeur d'insertion du Lyric et de son étanchéité.

Le positionnement proche de la membrane tympanique signifie que le volume résiduel entre la sortie de l'appareil et le tympan est inférieur à celui de la plupart des aides auditives.

Conformément à la loi de Boyle et Mariotte, un volume faible entraîne une pression accrue.

Cette loi se traduit par le fait que la pression est inversement proportionnelle au volume de la cavité.

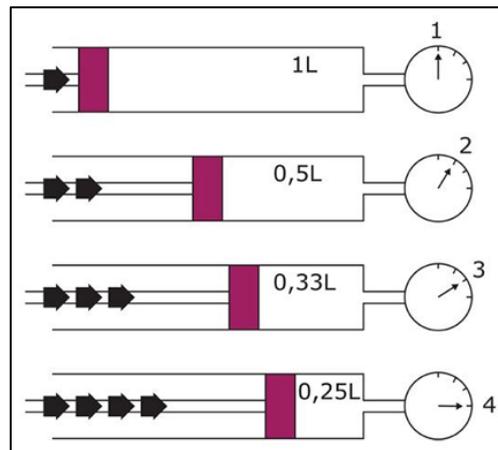


Figure 10 : Schéma expliquant l'évolution de la pression en fonction du volume (Loi de Boyle-Mariotte)

Si on se replace dans notre étude, on peut dire que plus le Lyric est installé profond, plus la cavité résiduelle est faible et plus l'amplitude de la pression acoustique au tympan est grande.

En moyenne, on considère le volume résiduel pour un embout auriculaire ou un appareil auditif de longueur standard de 1,26 cc, alors que le Lyric crée un volume aux alentours de 0,4 cc entre lui et la membrane tympanique.

Théoriquement, l'amélioration du gain de 1,26 cc à 0,4 cc est de $20 \log_{10} (1,26 / 0,4) = 9,96$ dB.

Cependant, comme l'impédance de la membrane tympanique dépend de la fréquence, le volume équivalent est plus important dans les basses fréquences, produisant un gain plus faible. Les augmentations de gains calculées sont d'environ 5 dB pour les basses fréquences et se situent entre 9 dB et 12 dB dB pour les hautes fréquences. (Arbogast et Whichard, 2009)

B) Effet du positionnement du microphone et de l'orientation de l'écouteur :

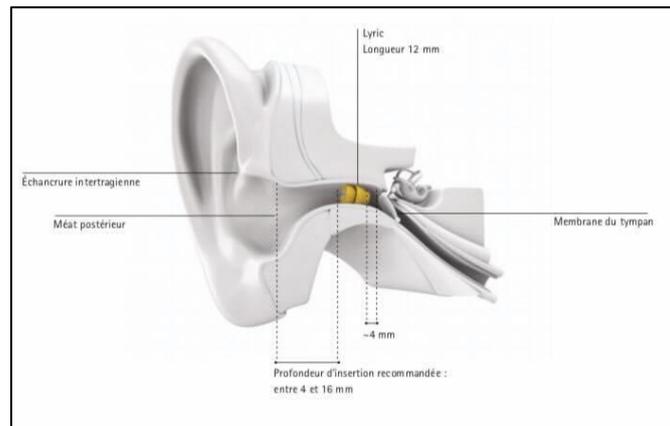


Figure 11 : Positionnement du lyric à l'intérieur du conduit auditif

La position du microphone :

Le pavillon, la conque et le CAE participant à la fonction de localisation des sons, nous devrions avec le lyric obtenir une optimisation des résultats de localisation par rapport aux résultats qu'on obtiendrait avec d'autres modèles d'appareils en profitant des fonctionnalités de l'oreille externe.

D'autre part, il a déjà été signalé que l'emplacement du capteur de microphone fait une différence.

La figure ci-dessous montre l'avantage du positionnement des microphones à canal profond par rapport à l'emplacement du microphone pour prothèse auditive ITC.

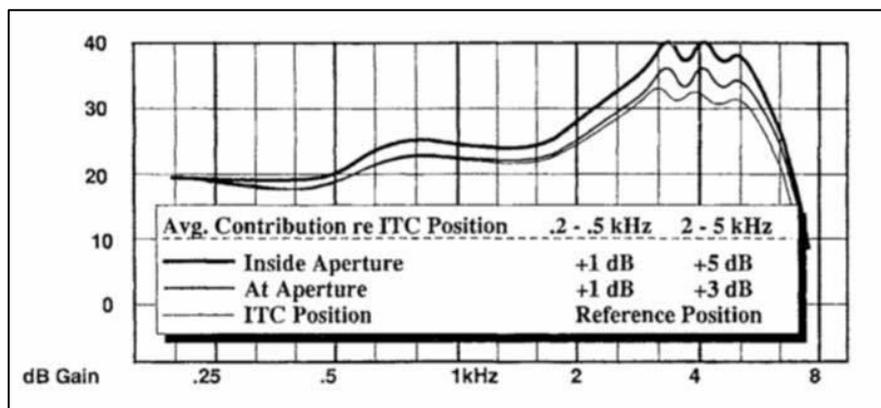


Figure 12 : Graphique de la Contribution du lieu de captation du microphone par rapport à son gain apporté sur une large bande de fréquences.

Les comparaisons sont relatives à un point de ramassage ITC (In The Canal) dans la conque de l'oreille (courbe inférieure). La courbe du milieu montre la contribution lorsque l'emplacement du micro est aligné sur l'ouverture du canal auditif et la courbe du haut montre les résultats lorsque l'emplacement du micro est situé entre 2 et 3 mm à l'intérieur de l'ouverture du canal.

On constate aucune amélioration ne se produit aux basses fréquences (environ 1 dB de 250 à 500 Hz), mais une amélioration de 5 dB des hautes fréquences (2000 à 5000 Hz) peut être attribuée à l'emplacement du microphone, en fonction de la profondeur d'emplacement qui se termine dans le canal auditif.

Wayne Staab, (1996) nous l'explique aussi, en s'appuyant sur une étude de Philips en 1994, qui compare l'insertion des appareils auditifs avec comme référence les ITC, la position 2 correspond aux CIC (Completely In the Canal) et la troisième position correspond aux PT (Péri Tympanique).

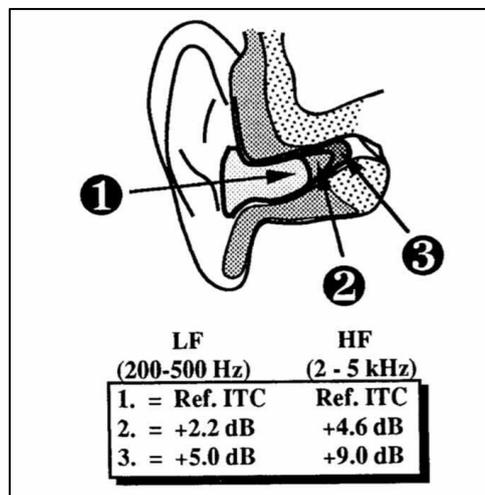


Figure 13 : Influence de la position du microphone par rapport au gain apporté pour ITC (condition de référence), CIC et PT pour les basses et hautes fréquences.

Il constate une augmentation du gain d'insertion sur les hautes fréquences avec les appareils adaptés plus en profondeur dans le conduit.

Ainsi, au total, la diminution de la cavité résiduelle et le microphone profondément ajustés du Lyric peuvent entraîner jusqu'à 15-17 dB de gain supplémentaire dans les hautes fréquences par rapport à un appareil ITC de longueur standard. Les données publiées par Gudmundsen (1994) concordent, avec une moyenne d'environ 5 dB de gain pour les basses fréquences (250-500 Hz) et 12 dB pour les hautes fréquences (2k-5kHz) pour un CIC en canal profond.

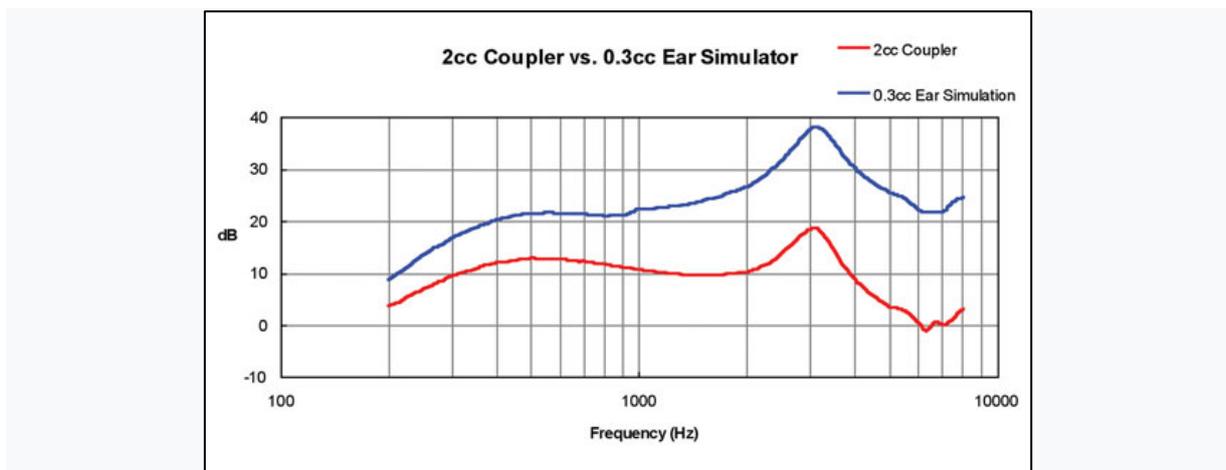


Figure 14 : Réponse en fréquence lyrique. Le bleu indique le gain calculé dans un simulateur d'oreille de 0,3 cm³ et le rouge est le gain mesuré dans un coupleur standard de 2 cm³.

L'orientation de l'écouteur :

Avec le Lyric, l'écouteur n'étant qu'à quelques millimètres du tympan, la sortie de l'écouteur ne butte pas dans un des coudes du CAE et l'orientation est de ce fait idéale.

Le Lyric se place face au tympan.

Les réverbérations et les pics de résonances créés par la conque sont captés par le microphone du Lyric, puis retransmis au tympan et au système auditif.

F) Les effets de ces facteurs sur l'audibilité :

Après l'apparition des appareils CIC (Completely In the Canal) à positionnement profond, plusieurs articles de recherches (Mueller et Ebinger, 1996), ont décrit les avantages acoustiques du positionnement profond d'un appareil dans le conduit auditif, notamment :

- Augmentation du gain d'insertion
- Plus grande réserve de gains
- Réduction de l'effet d'occlusion
- Meilleure directivité
- Réduction du bruit du vent

-Amélioration du gain d'insertion :

Ce montage profond nécessite moins de gains que les appareils numériques traditionnels, cela peut entraîner une augmentation de la marge de manœuvre des aides auditives avec une réserve de gains plus importante.

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

Réduction du 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.

Le Lyric nécessite moins de gain pour atteindre la correction cible, ce qui réduit le risque de larsen.

La rétroaction de l'appareil auditif peut être une cause de Larsen. Le Lyric ne dépend pas d'une insertion quotidienne adéquate par le patient et même le mouvement de la mâchoire n'aura pas une grosse influence, car le Lyric se situe dans la partie osseuse du conduit auditif.

-Déplacements de la fréquence de résonance vers les aigus :

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.

À la suite de l'insertion du Lyric, la résonance naturelle du conduit auditif se trouve modifiée.

Comme la cavité résiduelle est réduite, la fréquence de résonance se déplace vers les hautes fréquences.

C'est un facteur à prendre en compte lors d'un appareillage afin de ne pas suramplifier certaines bandes fréquentielles qui sont déjà amplifiées naturellement par le conduit auditif.

- Une meilleure réduction du bruit de vent :

Le bruit du vent est réduit et est moins susceptible d'interférer avec le son amplifié désiré parce que le microphone de l'aide auditive est situé plus profondément dans le conduit auditif. Des travaux de Mueller, H.G., Ebinger, K. (1996) mettent aussi ce facteur en évidence à l'aide d'un sondage. Les résultats du sondage ont montré que les CIC ont apporté une satisfaction de 85,7% contre 54,4% pour les ITC.

Ces travaux ont été réalisés sur différents intra auriculaires mais on constate que plus l'appareil est placé profondément, meilleur est la réduction du bruit de vent.

-Diminution de l'effet d'occlusion (autophonation passive) :

L'autophonation passive est l'écoute de sa propre voix alors que les appareils auditifs sont éteints à cause du phénomène d'occlusion. L'effet d'occlusion se produit car l'appareil auditif bouche le conduit auditif et empêche les vibrations générées par la partie cartilagineuse du conduit de s'échapper vers l'extérieur.

Le lyric se place à proximité du tympan. Ce placement près de la structure osseuse du conduit permet de dissiper l'énergie acoustique issue des cordes vocales vers l'extérieur. L'énergie n'est ainsi pas emprisonnée dans une cavité résiduelle importante, ce qui est un élément clé pour limiter l'effet d'occlusion.

Dans son mémoire, GRESSIER T. (2016) a mis en évidence des ressemblances entre l'autophonation passive oreille ouverte et l'autophonation avec un lyric placé.

CONCLUSION :

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 et un aspect esthétique qui est indispensable pour certaines personnes.

II) Etude témoin réalisée sur un conduit auditif humain en 3D :

A) Présentation de l'établissement :

L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) est un établissement public à caractère scientifique et technologique.

L'unité dans laquelle nous allons réaliser nos études est le Laboratoire Biomécanique Appliquée (LBA), rattachée à l'université Aix-Marseille via la faculté de médecine. Elle permet une approche pluridisciplinaire entre les sciences de l'ingénieur qui permettent une modélisation, une simulation numérique et les connaissances cliniques et anatomiques de la médecine. L'ensemble de ces thématiques rejoint un seul but, celui de l'Homme virtuel.

Je serai accompagné durant ces études d'une équipe de chercheurs : Arnaud Devèze (chirurgien Oto-Rhino-Laryngologue), Catherine Masson (directrice de recherche au Laboratoire de Biomécanique Appliquée (IFSTTAR)), Axel Legouge, (ingénieur de recherche) et Heritsilavo Eloi Ramilison (médecin, chirurgien en ORL).

B) Matériel et Méthodes utilisés pour nos études :

1) MATERIEL :

Le matériel et le dispositif utilisés pour nos deux études seront en grande majorité le même. Les quelques spécificités seront spécifiées dans les protocoles de chaque étude. Pour commencer, le matériel nécessaire est :

- Cabine insonorisée
- Vibromètre laser Doppler
- Microphone intra-auriculaire
- Emetteur intra-auriculaire
- Chaine d'acquisition National Instruments
- Conduits auditifs 3D

Le dispositif mis en place par le Docteur DEVEZE et son équipe, qui a été créé et validé dans le mémoire RAMILISON H Eloi (2019), est un modèle CAE normal par

impression en 3D présentant des caractéristiques anatomiques et acoustiques bio-fidèles au CAE humains.

Ce travail se concentre sur l'analyse de la fonction transfert du système CAE-MT. Elle est étudiée à partir d'une stimulation sonore placée au niveau de l'orifice des CAE et de la vélocimétrie de la MT.

L'étude de la fonction transfert (FT) permet une analyse spécifique du conduit et d'étudier sa contribution dans la transmission sonore vers l'oreille moyenne, en ne tenant compte que du système {CAE-membrane tympanique} comme l'explique Deng and Yang (2015)

$$FT = \frac{V_s}{P_t}$$

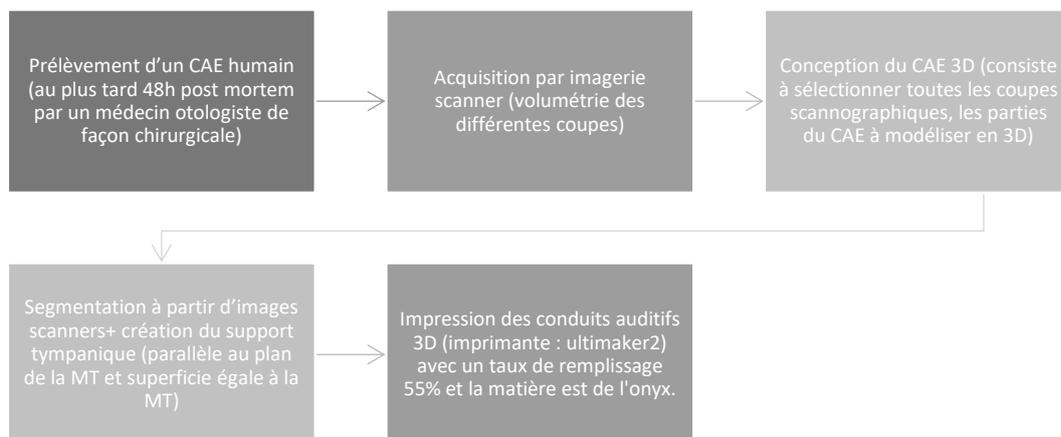
Avec :

- P_t = pression acoustique au niveau de la membrane tympanique(M1) et à la sortie de l'émetteur (M2)
- V_s = vélocité de la membrane tympanique en réponse à la stimulation

Pour continuer, nous allons expliquer ce dispositif que nous allons utiliser tout au long de nos deux études :

Tout d'abord, notre étude serait rien sans la création de CAE 3D, qui sont obtenues à la suite de plusieurs étapes comme nous l'explique de manière approfondi RAMILISON H Eloi (2019).

Nous résumerons brièvement ces différentes étapes :



2) Fonctionnement du dispositif :

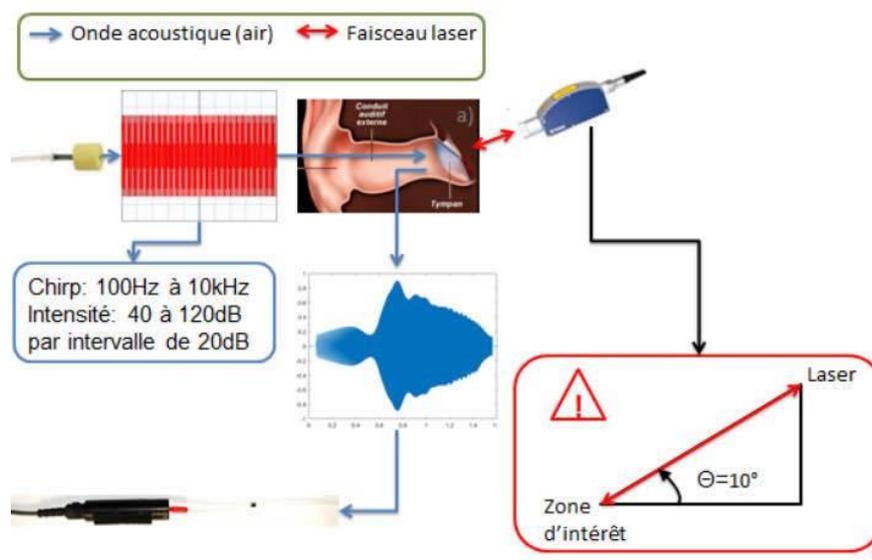


Figure 15 : Protocole d'étude

Premièrement, les expérimentations vont se dérouler dans une cabine insonorisée.

Une fois le conduit auditif préparé, un émetteur est installé à l'entrée d'un CAE 3D. Il est entouré d'une mousse d'isolation permettant son maintien et une obturation de l'entrée du méat acoustique externe. Sa fonction est d'envoyer une source sonore.

La source sonore en question est une stimulation qui comprend 5 chirp balayant chacun une bande de fréquences comprises entre 100Hz et 10Khz. Chaque acquisition dure environ 10secondes (1.5s de stimulation pour un chirp de 0.1s de mise à zéro afin de pouvoir visualiser et séparer chaque stimulation sur le logiciel LabView.)

Son intensité est fixée, commençant de 40dB SPL, en passant par 60dB ; 80dB et jusqu'à 94dB. On relance le signal pour chaque intensité testée. Une tension d'alimentation de l'émetteur a été attribuée pour chaque stimulus.

Un récepteur situé à 2mm du tympan et un autre placé à la sortie de l'émetteur permettent de recueillir ce signal.

Dans notre étude, pour assurer à la fois l'étanchéité et la tension du tympan, on modélisera notre membrane tympanique par un ruban adhésif. Ainsi, une partie du ruban, en regard de l'orifice médiale du conduit, est libre et peut vibrer.

Un laser doppler vélocimétrie (LDV) reculé a environ 20cm, est pointé en direction d'un réflecteur, situé au centre de notre tympan (umbo), avec un angle d'environ 10 degrés et permet d'analyser la vélocité de notre MT. Le laser est monté sur un microscope afin d'avoir une précision optimale. (Rosowski et al., 2008)

Le LDV est un outil qui permet de mesurer l'amplitude de déplacement des vibrations tympaniques au-dessous de 1 nm sans interférence mécanique avec le point de mesure. Il est réglé à 2mms/V afin de visualiser au mieux les déplacements de la membrane.

Un réflecteur sera placé sur la MT, permettant la mesure de la vélocité de la MT. Il permet d'être un point de référence à notre laser durant les vibrations de notre tympan.

Chaque mesure est répétée plusieurs fois pour vérifier la répétabilité des résultats.

Le ruban adhésif et le réflecteur sont changés et replacés pour chaque CAE testés.

Une chaine d'acquisition permet de récupérer l'ensemble des signaux et de les envoyer au logiciel Labview.

Tous ces paramètres sont traités et analysés sous forme de scripts sur le logiciel Matlab.

(Annexe 1)



Figure 16 : Photo de la Plateforme de velocimétrie laser

C) INFLUENCE ACOUSTIQUE DU SENS ET DU GAIN DE L'APPAREILLAGE LYRIC (ETUDE 1) :

1) PRESENTATION DE L'ETUDE :

Comme nous l'expliquons dans la partie théorique, le Lyric possède un sens d'insertion.

Cette insertion a un impact sur la position de l'écouteur, se retrouvant alors vers le haut.

Certains audioprothésistes expliquent mettre en place le lyric à l'envers, plaçant donc l'écouteur vers le bas car ils obtiennent de meilleurs résultats prothétiques et un plus grand taux de satisfaction.

L'amplification n'impacterait elle pas la même zone du tympan ?

Il est donc intéressant, dans ce cas, de se rendre compte de l'influence de sens du lyric afin d'observer qu'elle pourrait être son influence sur le plan acoustique.

Par ailleurs, nous observerons aussi l'influence du gain qu'il est possible d'appliquer avec le logiciel de programmation Phonak Target.

Nous nous appuierons sur une étude en cours, menée par l'équipe du Dr DEVEZE, ayant pour objectif de montrer l'influence de l'angle antérieur de la membrane tympanique en comparant des CAE 3D expliquée précédemment, possédant donc un angle antérieur et un tube artificiel avec le même volume que le CAE mais sans angle antérieur de la MT (angle 90 degrés par rapport au tube)

Ces deux études seront réalisées en même temps.

2) Objectif de l'étude :

- Evolution de la fréquence de résonance
- Quel impact a le gain lors de son augmentation sur nos courbes en réponses ?
- Evaluer si le sens de notre lyric lors de la mise en place à une influence acoustique

3) Matériel :

Le matériel utilisé pour cette étude est composé :

- Dispositif expliqué ci-dessus

-Six conduits auditifs externes imprimés 3D différents choisis pour certains critères (Géométrie de l'oreille / caractéristiques anatomiques comme un diamètre et une longueur compatible avec le lyric ...), parmi une dizaine de CAE prélevé et modélisé en 3D.

-Six cylindres imprimés 3D. (Chacun possède un volume équivalent à un des CAE 3D et est adapté afin d'utiliser le même gabarit de lyric).

-Six lyrics de gabarit adaptés pour chaque conduit



Figure 17 : Photo des conduits auditifs 3D utilisés

4) Protocole :

Ce protocole est valable pour l'ensemble des conduits auditifs et cylindres utilisés dans nos matériels.

Il s'appuie sur une étape préparatoire suivie d'une phase de mise en place et de mesures.

La phase préparatoire va consister à préparer nos CAE et tubes afin que les tests soient possibles.

- 1) Pour notre test, nous avons placé 2 microphones à l'aide d'une fraise sur nos CAE et tubes :

M1 : Placé à 2mm de la partie basse de la membrane tympanique

M2 : Situé entre la sortie de notre haut-parleur et l'arrière du lyric.

Nos microphones sont sous la forme de tubulures et leur mise en place a été discutée et choisie en fonction de plusieurs critères :

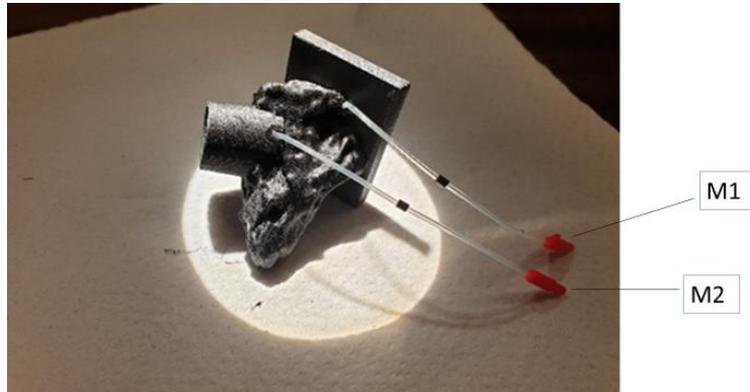


Figure 18 : Photo d'un conduit auditif avec nos 2 tubulures

- En introduisant notre tubulure par l'entrée du CAE, on s'expose à un risque de larsen. Les corolles du lyric ne seraient pas correctement plaquées contre les parois du conduit et pourraient créer des fuites d'amplification.

- Cette mise en place aurait pu aussi créer un souci au niveau de la répétabilité de nos tests. Sur chaque conduit et tube testé, les microphones n'auraient pas été placés aux mêmes endroits.

Le fait de les placer et de les fixer au préalable permet un placement et une prise de mesure identique pour chaque CAE et tubes.

- Nous avons choisi de placer les microphones sur le côté des CAE, ça permet au micro d'être à mi-distance entre le haut du conduit et le bas du conduit et donc le fait de retourner le lyric durant nos tests n'aura pas d'influence sur les résultats d'un des deux sens.

Les tests sont répétables car les microphones restent fixes.

2) Le choix d'un gabarit de lyric adapté doit être fait et sera fixe pour chaque CAE et tubes correspondant au CAE testés afin d'avoir une bonne étanchéité.

Numéro du CAE testé avec son tube correspondant	1	2	3	4	5	6
Gabarit du Lyric	XS	XXL	XXS	M	XXS	XXL

Figure 19 : Tableau montrant les gabarits de lyrics choisis pour chaque conduits et tubes correspondant

3) Certaines valeurs seront fixées lors de notre essai :

- La profondeur d'insertion sera fixée à 4mm par rapport à la membrane tympanique comme le préconise PHONAK. Nous calculerons les mesures de profondeurs à l'aide d'une pince millimétrée que nous avons créé pour pallier la présence du support à mousse qui nous empêche de prendre correctement les mesures que ce soit par le CAE ou même le tube.

Une règle millimétrée sera placée au niveau de la sortie tympanique afin de fixer notre profondeur de 4mm et servir de butoir pour le lyric (photo 1). Notre règle millimétrée nous permettra l'insertion du lyric (photo 2). La valeur relevée à l'entrée du support tympanique sera relevée dans un tableau. (Annexe 2)



1

2



Figure 20 : Photos de mise en place du lyric

- Nous nous servirons de 4 réglages différents durant ce test. La différence entre ces 4 réglages sera le gain appliqué. (G2 ; G5 ; G7 et G11)

Les autres paramètres proposés par le logiciel Phonak Target seront tous fixés, quel que soit notre intensité de stimulation.

-La fréquence de coupure sera fixée à 200Hz, elle nous permettra de conserver un maximum de fréquences graves lors de l'augmentation du gain et de visualiser au maximum l'évolution de ces fréquences.

-L'enclenchement de la compression sera au maximum, afin d'avoir un réglage le plus linéaire possible et d'avoir une minime influence de la compression sur nos réglages.

-Le paramètre de la pente sera à « l'arrêt » afin de ne pas impacter les fréquences aigües.

<p>•Réglage 1 :</p> <p>-GAIN : 2 -Fréquence de coupure : 200Hz -La pente : arrêt -Enclenchement de la compression : Max</p>	<p>•Réglage 2 :</p> <p>-GAIN : 5 -Fréquence de coupure : 200Hz -La pente : arrêt -Enclenchement de la compression : Max</p>
<p>•Réglage 3 :</p> <p>-GAIN : 7 -Fréquence de coupure : 200Hz -La pente : arrêt -Enclenchement de la compression : Max</p>	<p>•Réglage 4 :</p> <p>-GAIN : 11 -Fréquence de coupure : 200Hz -La pente : arrêt -Enclenchement de la compression : Max</p>

xLa phase de mise en place sera la suivante :

4) Mise en place du lyric à l'aide de notre pince d'insertion avec les valeurs calculées précédemment afin de placer le lyric à 4mm du tympan.

5) Une fois le lyric mis en place dans notre conduit ou notre tube artificiel, nous plaçons notre scotch qui fera office de MT sur le support tympanique prévu à cet effet. Le scotch doit être le plus tendu possible et il doit y avoir le moins de fuite possible. Le

réflecteur d'environ 0,25 mm² est ensuite rajouté. On le placera au centre afin de simuler l'umbo du tympan. En effet, l'umbo constitue le centre la MT et représentera pour nous la MT.

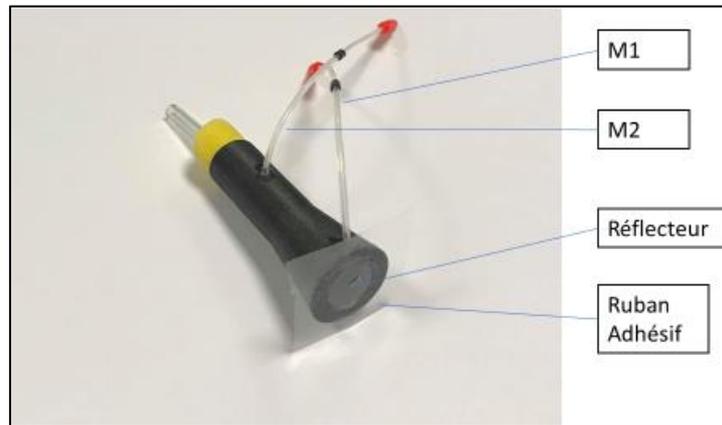


Figure 21 : Photo d'un tube avec la mise en place des micros, réflecteur et ruban adhésif

6) On bloque le bas de notre CAE dans un cadre stéréotaxique afin d'éviter tous mouvements et de réduire au maximum les vibrations extérieures pouvant grandement influencer nos résultats.

7) On place notre mousse qui contient l'émetteur dans le support qui lui est destiné sur nos CAE et tubes.

8) On branche une de nos deux tubulures à notre microphone. On inversera le branchement par la suite.

9) Mise en place du laser sur le réflecteur à l'aide du microscope. Une jauge nous permet d'observer si le laser se trouve totalement sur le réflecteur placé. Elle doit être remplie entièrement et ne doit pas bouger lors de nos tests.

×Notre phase de mesure nous permettra de récolter des données afin de pouvoir les traiter et d'en tirer des conclusions.

10) Réalisation du test :

- Dans un premier temps, on place le lyric à l'endroit (S0) en lui appliquant notre réglage 1.
- La tubulure M1 est branchée sur notre microphone.
- Un balayage fréquentiel (chirp) est envoyé à une intensité de 40 dB.

→ On répète chaque mesure deux fois d'affilée afin de vérifier la répétabilité des résultats.

Cette manipulation est répétée pour les intensités 60dB ; 80dB et 94 dB SPL.

- On change de tubulure en se plaçant sur M2. La manipulation est identique à celle réalisée précédemment avec M1.

On applique maintenant notre réglage 2 à l'aide du stylet de programmation, en enlevant et remettant le système {mousse-haut-parleur} et on réalise les mêmes tests. Le stylet doit se placer à proximité de la protection du microphone afin que le réglage soit transmis par impulsions magnétiques.

- On effectue le même protocole avec notre réglage 3 et notre réglage 4.
- Nous réalisons ces mêmes tests mais cette fois ci avec le lyric pivoté à 180 degrés (S180) dans nos CAE 3D et tubes.

5) Résultats et observations :

Un test de répétabilité a été fait et montre les mêmes observations que celles que nous expliquerons par la suite.

FREQUENCE DE RESONANCE :

La fréquence de résonance se décale dans les fréquences aiguës si on compare les conduits et/ou tubes avec et sans lyric. Cette observation est vraie pour tous nos conduits et nos tubes comme nous montre le tableau ci-dessous.

	Présence d'un lyric	Moyenne des fréquences de résonance
Conduit Auditif	Sans	1325 Hz
	Avec	2451,34 Hz
Tubes	Sans	1627,78 Hz
	Avec	2231,94 Hz

Figure 22 : Tableau comparatif des moyennes de fréquences de résonances sur des conduits et tubes, avec et sans la présence de lyric

→ On peut aussi constater que la différence entre avec et sans lyric est plus importante avec les conduits auditifs que les tubes.

→ A volume équivalent, les tubes et conduits ne possèdent pas les mêmes fréquences de résonances.

Un autre tableau peut être réalisé enfin de faire 2 nouvelles observations :

Avec Lyric				Sans lyric			
		Intensités (dB)	moyenne			Intensités	moyenne
conduit		60	2191,7	conduit		60	1487,5
		80	2558,3			80	1366,7
		94	2604,2			94	1287,5
Tube		60	2033,3	Tube		60	1679,2
		80	2166,7			80	1616,7
		94	2495,8			94	1587,5

Figure 23 : Tableaux de moyenne des fréquences de résonances sur conduit auditif 3D et tubes, avec et sans lyric et à différentes intensités

→ On observe que la fréquence de résonance se décale vers les aigus lorsque qu'on augmente l'intensité sur un même CAE 3D, ou même un tube artificiel.

→ Inversement, on peut voir, qu'en augmentant l'intensité dans nos conduits ou tubes sans lyric, la fréquence de résonance décroît.

L'AMPLITUDE et le GAIN sont liés :

-L'amplitude maximale est proportionnelle au gain appliqué au lyric. En effet si on augmente l'amplification de notre lyric, on suppose qu'une pression plus importante sera exercée au niveau de notre tympan et la vélocité sera aussi plus importante.

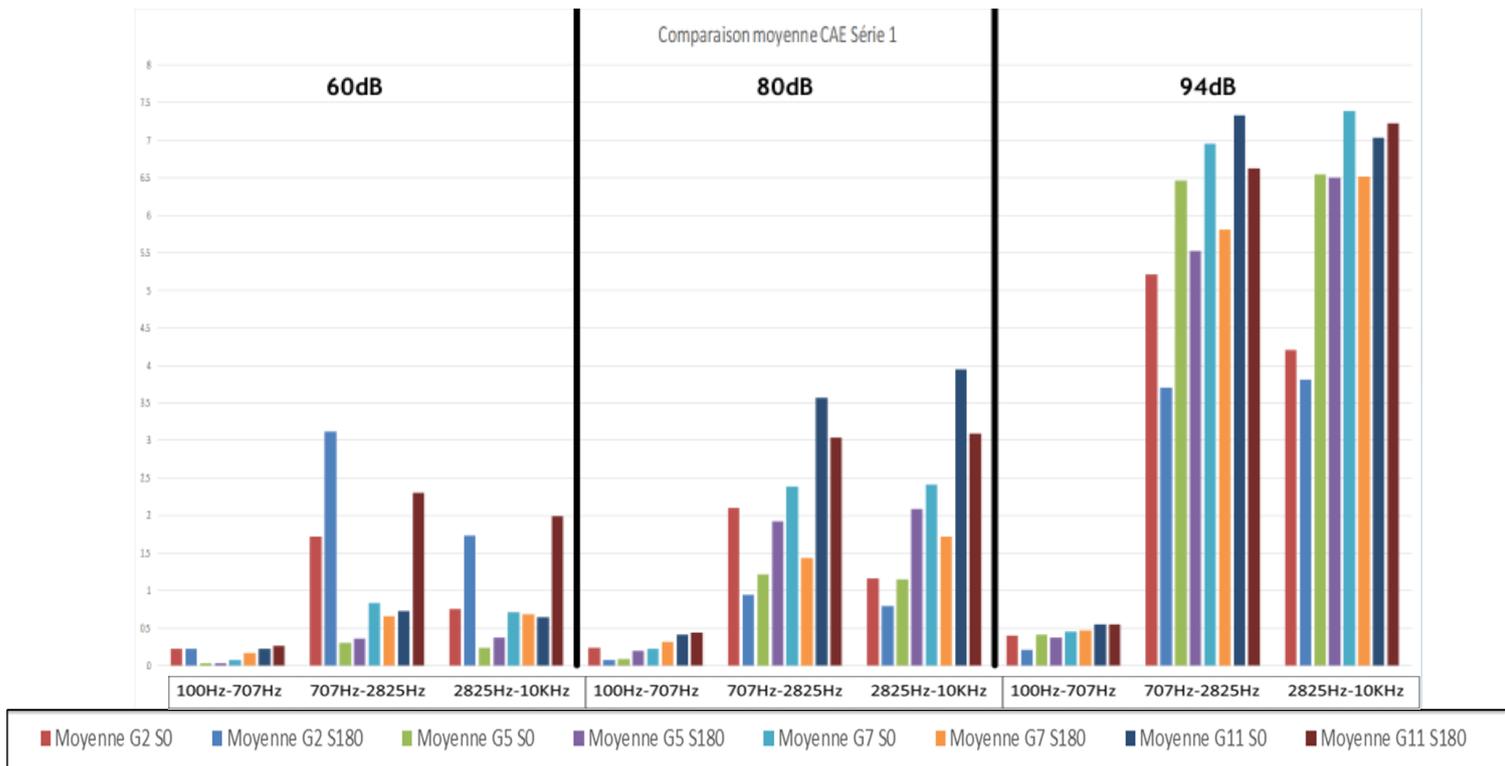


Figure 24 : Graphique de l'évolution des moyennes des aires sous la courbe des gains des conduits en fonction du sens (S0 et S180) et aux différentes intensités

Le graphique ci-dessus représente la moyenne de l'aire sous la courbe, obtenue pour nos 6 conduits, à chaque gain et aux deux sens testés (S0 et S180). Les réponses sont séparées en 3 bandes de fréquences. (100Hz-707Hz / 707Hz-2825Hz et 2825Hz-10KHz)

On constate que les moyennes des aires sous la courbe de nos conduits sont proportionnelles aux intensités envoyées et aux gains appliqués pour la grande majorité.

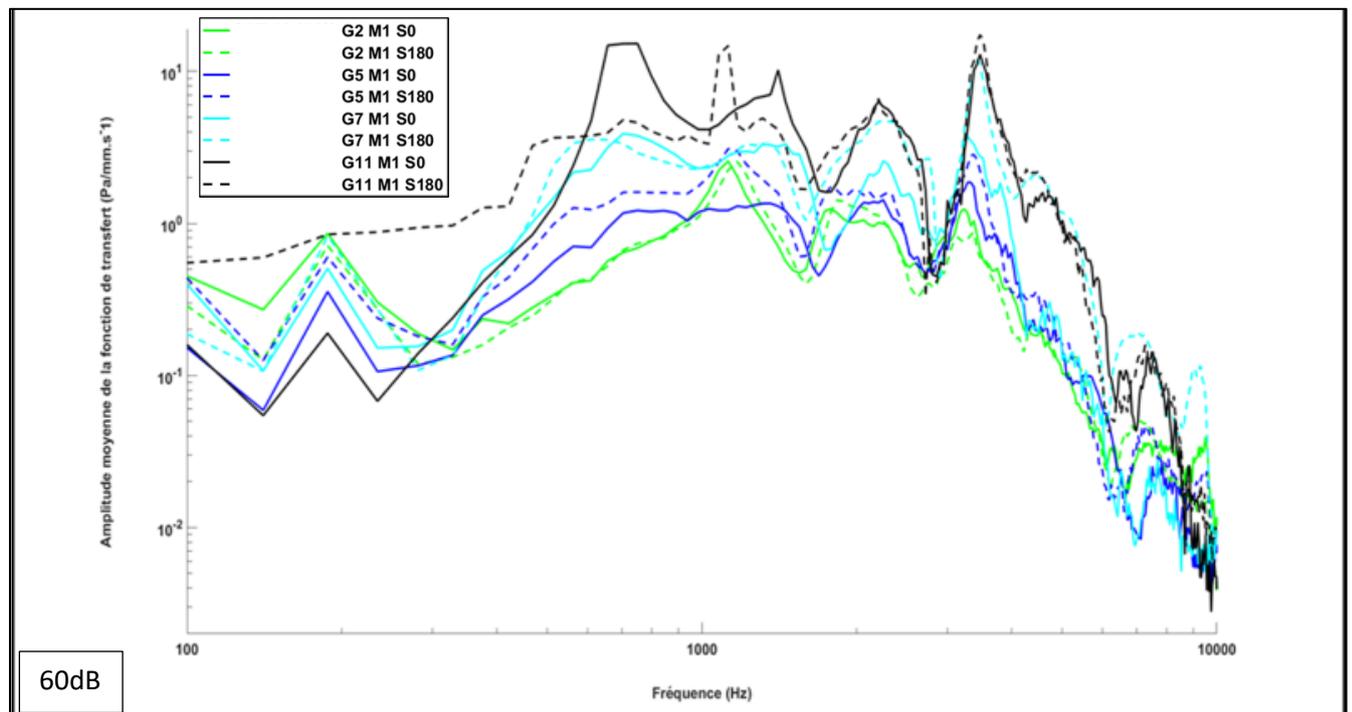
Cependant, on constate au niveau du sens du Lyric, que les conduits ne suivent pas la même logique en fonction de l'intensité et du gain.

Par ailleurs, l'amplitude est plus élevée avec des conduits possédants des petits volumes. Plus le volume est petit, plus l'amplitude est élevée avec les gains appliqués.

Conduits et tubes correspondant	3	1	4	5	2	6
Volume (mm ³)	886,5	967,3	1329,7	1344,5	1450,9	2016,8

Figure 25 : Tableaux des différents volumes de nos conduits et tubes correspondants

Nous pouvons aussi l'observer graphiquement, en comparant les réponses des fonctions transferts obtenues avec notre CAE 1 (figure 27) qui a un volume de 967,2mm³ et celles du conduit 6 (figure 26) qui possède un volume de 2016,8mm³.



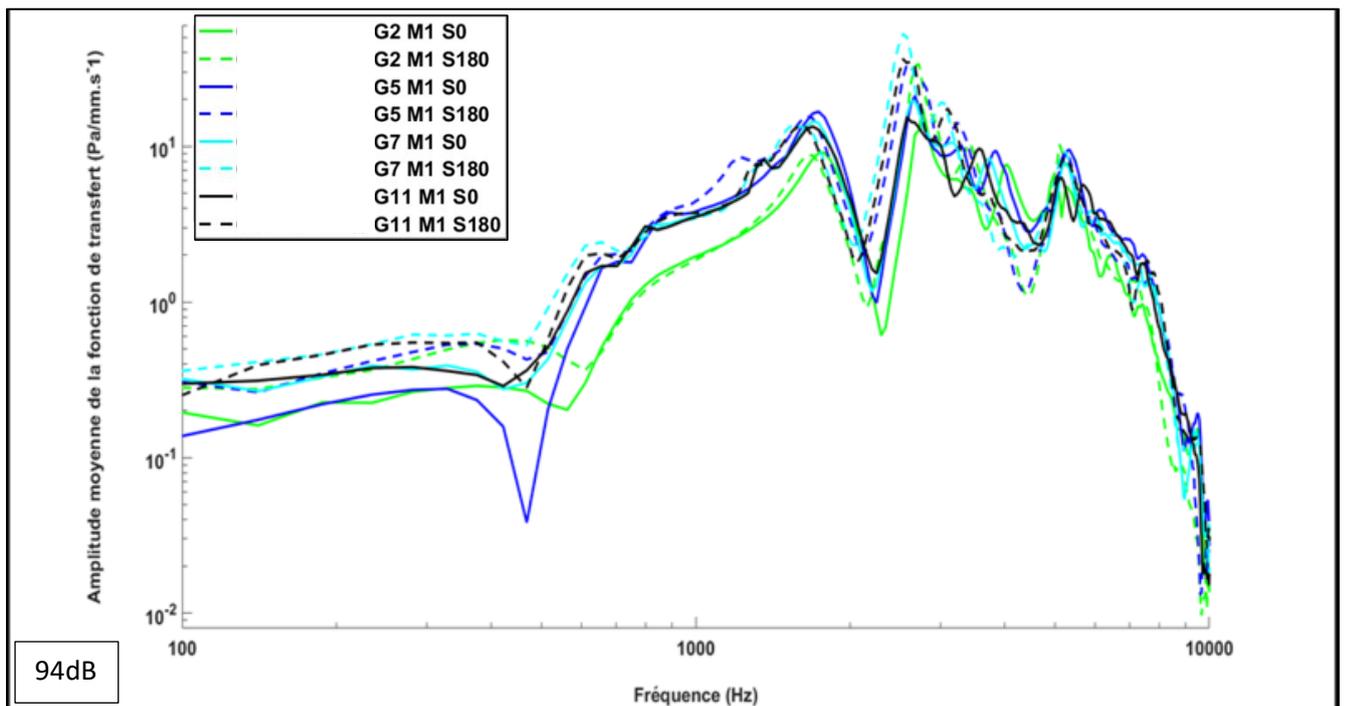
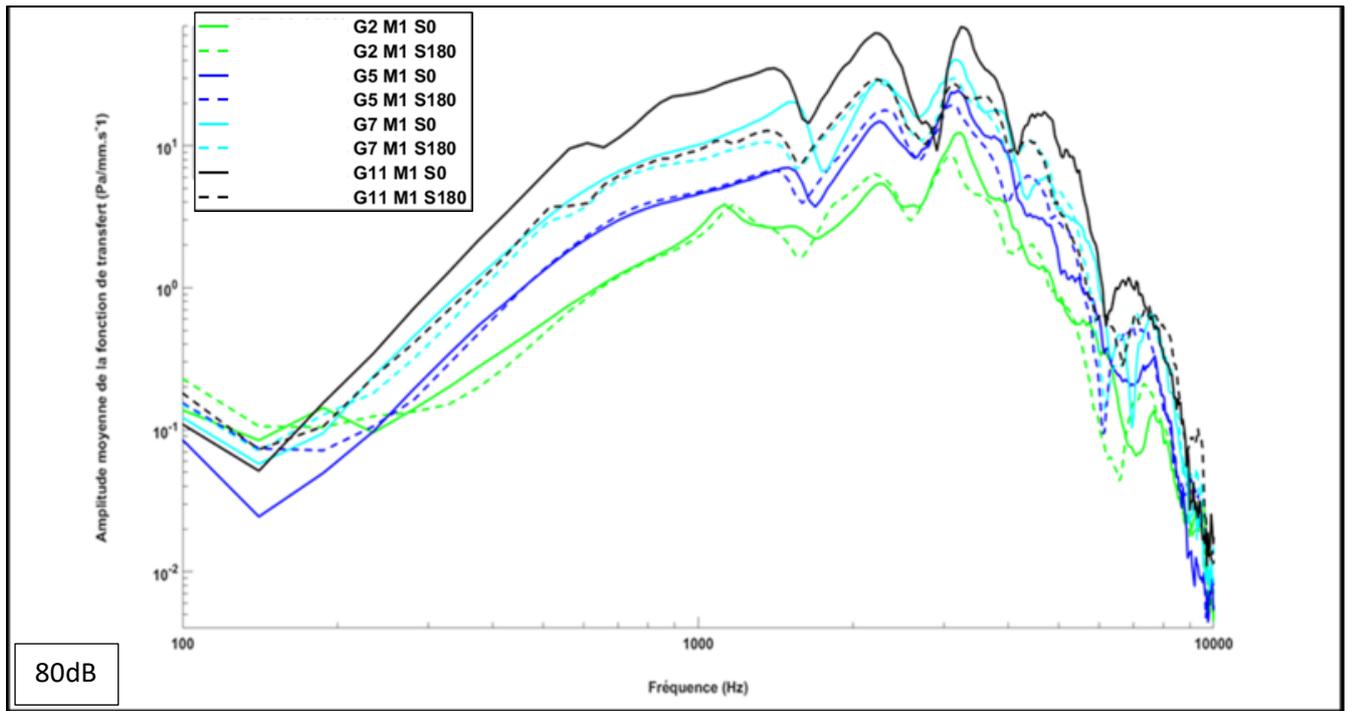


Figure 26 : Fonctions transferts du CAE 6 aux trois intensités

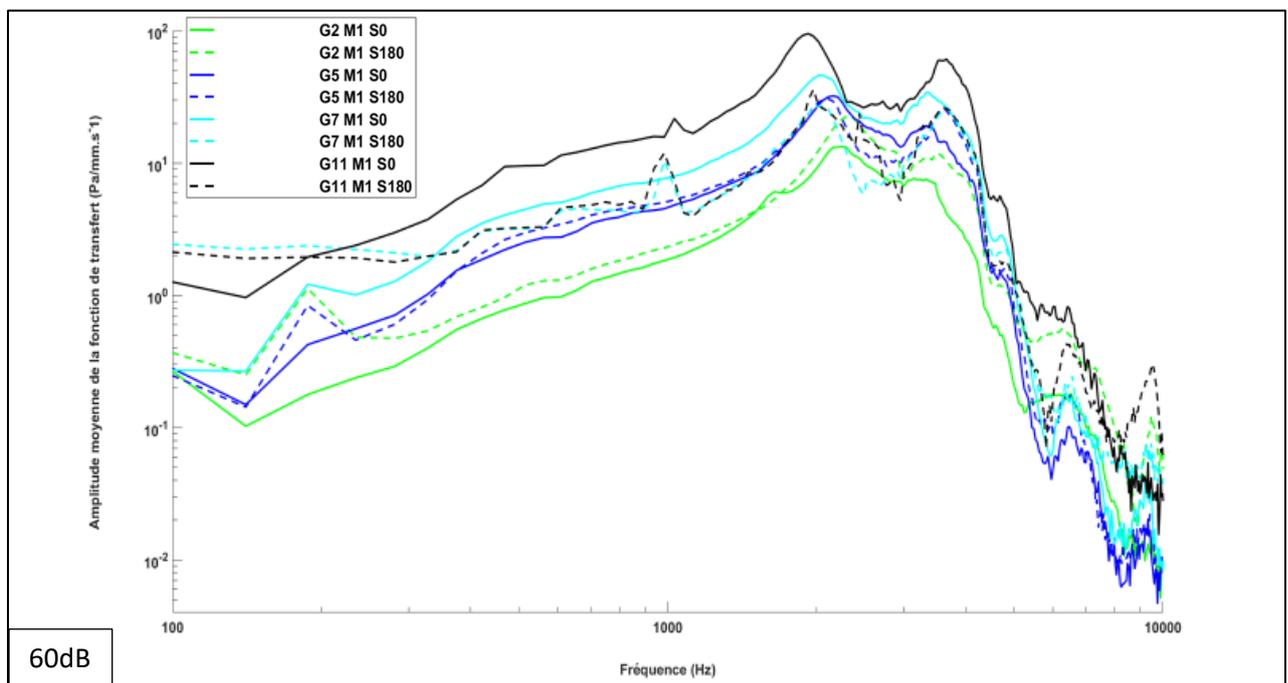
Ces graphiques mettent en évidence les fonctions transferts obtenues en fonction des fréquences.

L'amplitude maximale des courbes du conduit 1 sont plus importantes que les amplitudes du conduit 2.

On obtient une saturation pour tous nos conduits et tubes aux fortes intensités. Certains conduitsaturent 94dB au gain 11 (5 cas), d'autresaturent à partir de 80dB au gain 11 et pour finir certainsaturent à partir du G7 à 94dB (1 cas) et 80 dB (6 cas)

SENS DU LYRIC :

Une idée sort du lot lorsqu'on regarde nos données comme on peut le voir sur les figures ce dessous. Sur nos conduits auditifs, un écart entre SO (courbes pleines) et S180 (courbes en pointillées) augmente lorsque que le gain du lyric augmente, jusqu'à arriver à une saturation aux fortes intensités. Les courbes obtenues en SO sont toujours supérieures à celles en S180. (4/6 conduits)



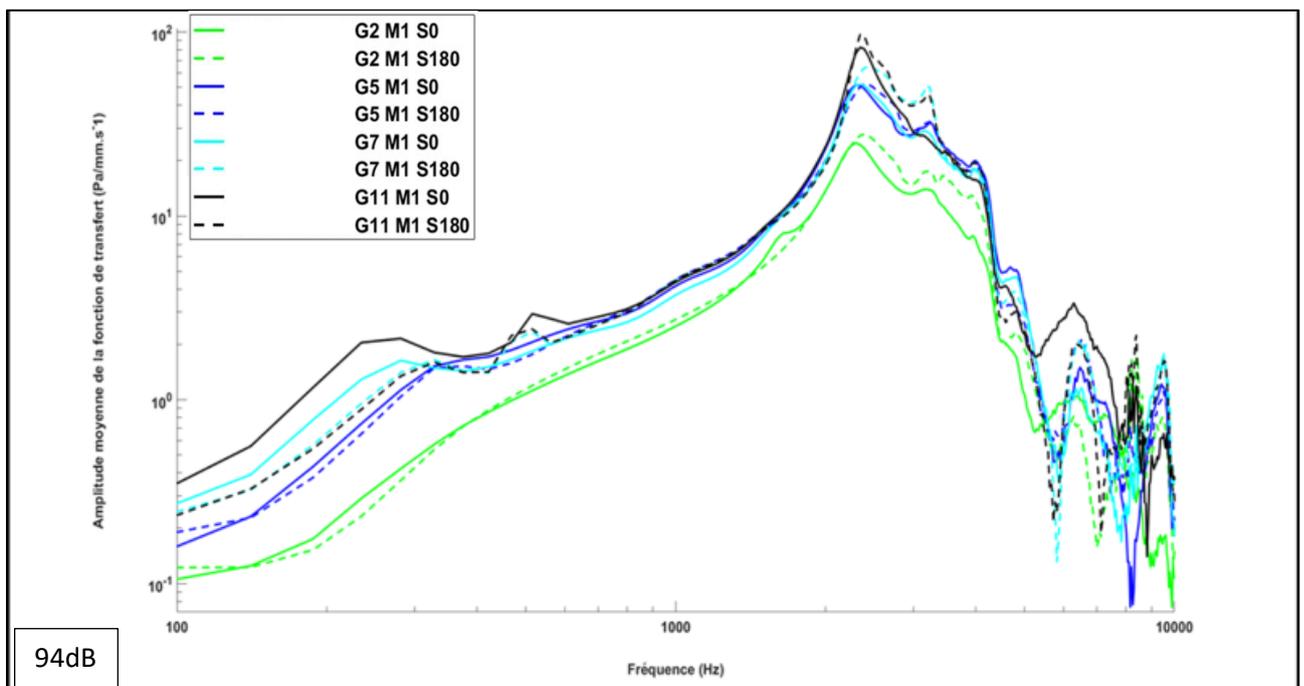
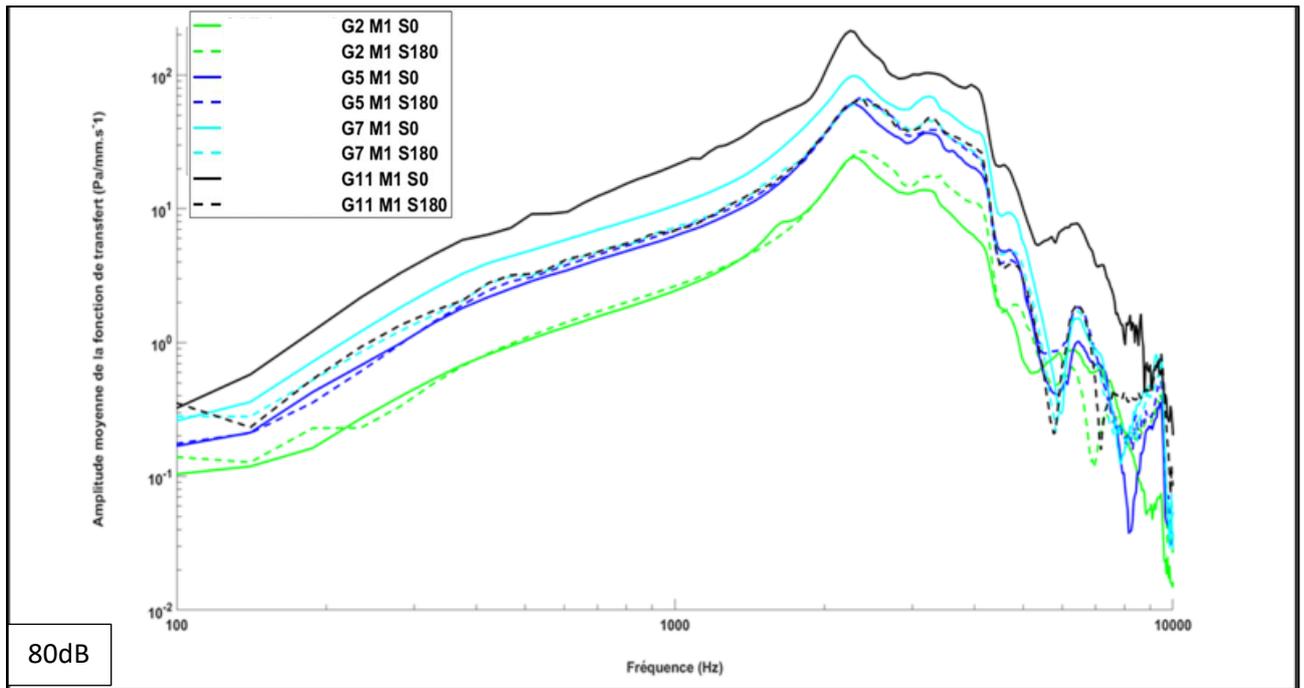


Figure 27 : Fonctions transferts du CAE1 aux trois intensités

Une deuxième idée peut être donnée, on aperçoit sur un conduit, une augmentation de la vitesse sur les basses fréquences avec le lyric l'envers, comparé au sens normal du lyric. (1 cas)

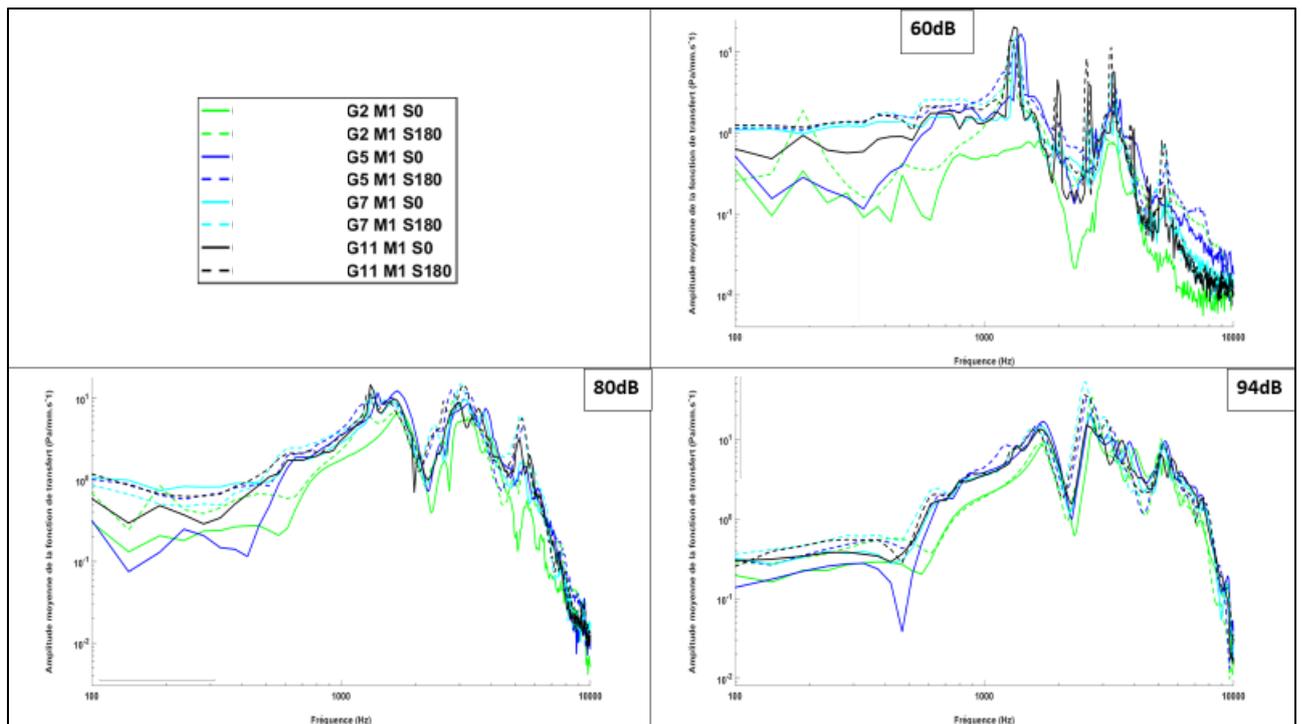
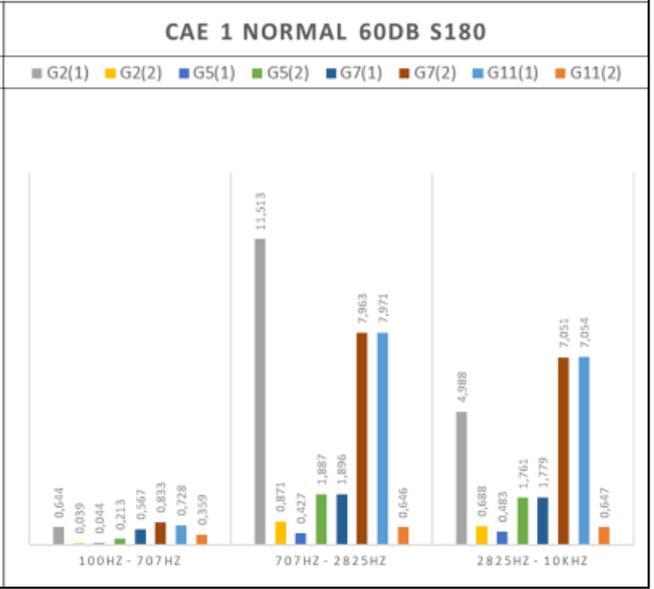
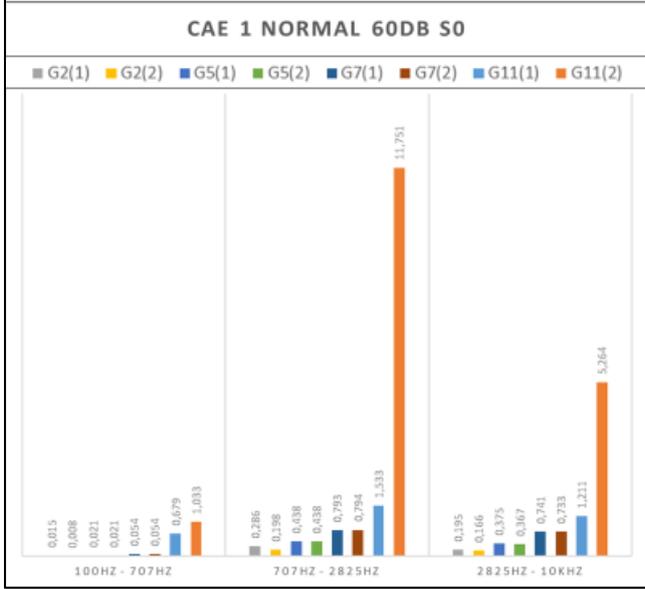


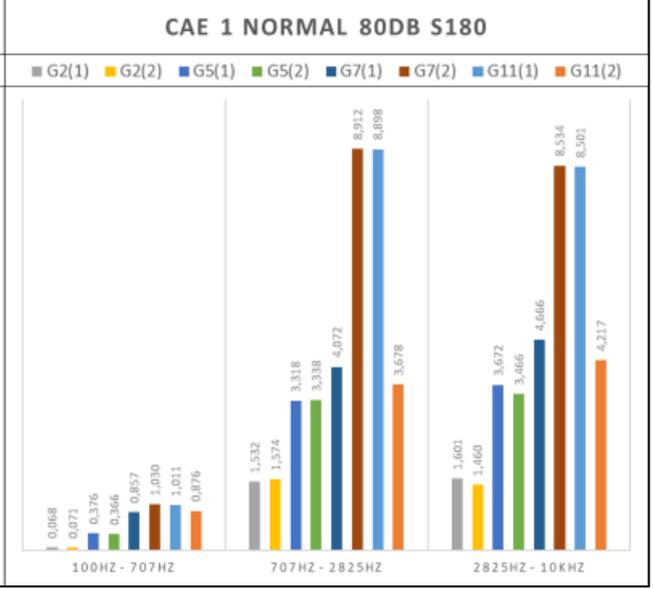
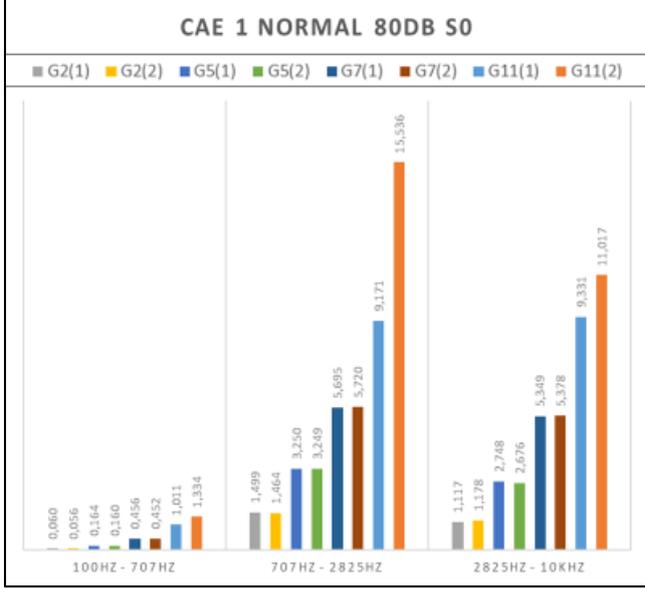
Figure 28 : Courbes en réponses de nos vitesses du CAE 6 avec leurs légendes

Nous souhaitons maintenant examiner la répétabilité de nos résultats entre les conduits auditifs 3D et nos tubes afin d'observer si nos résultats sont fiables et répétables :

60dB



80dB



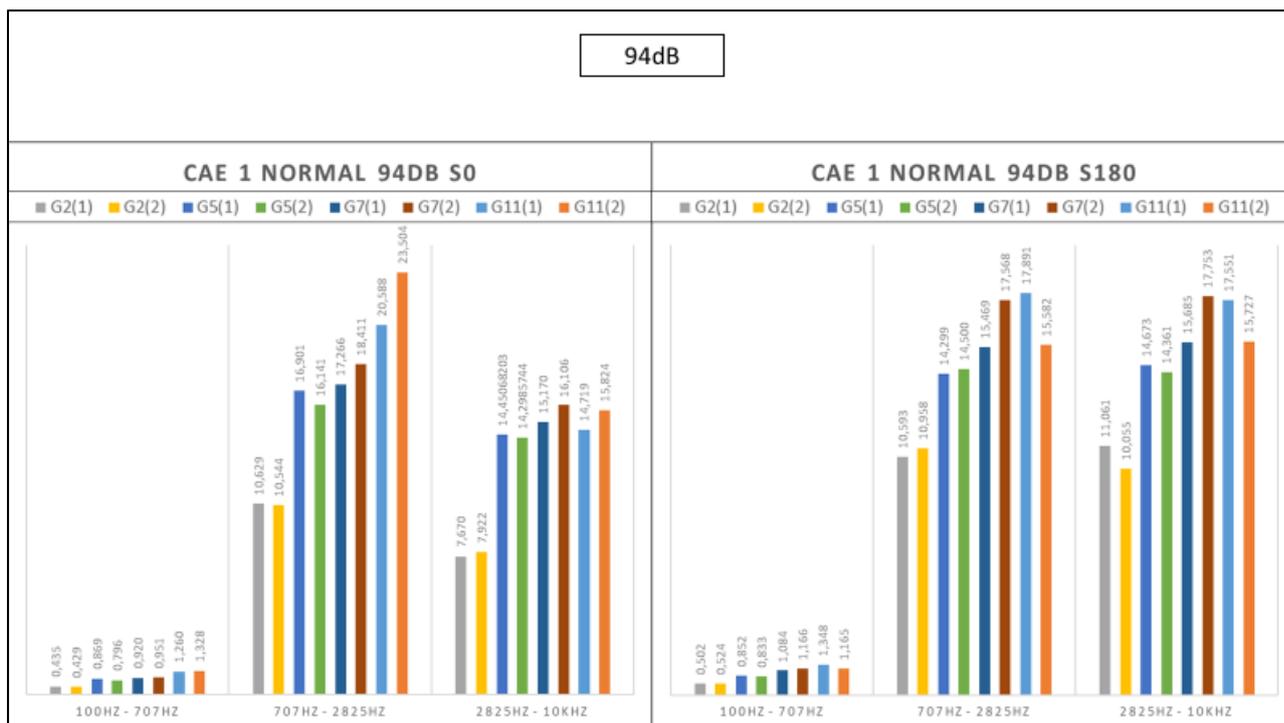


Figure 29 : Graphiques de répétabilités des densités spectrales de puissance sur les conduits auditifs

Les six graphiques ci-dessus nous permettent d'observer si nos tests et les valeurs que l'on obtient sont répétables à S0 (graphiques de gauche) et S180 (graphiques sur la droite). Ces graphiques affichent la densité spectrale de puissance (DSP). C'est la puissance du signal en fonction des 3 bandes de fréquences.

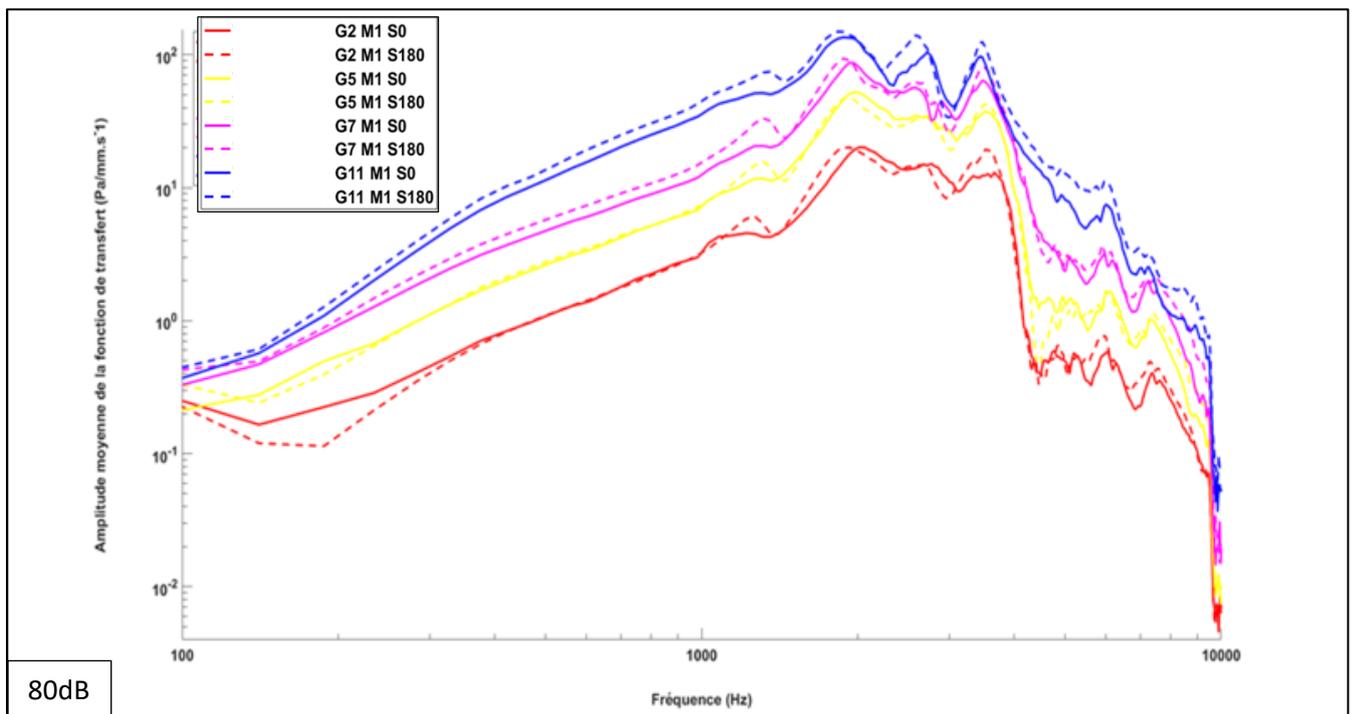
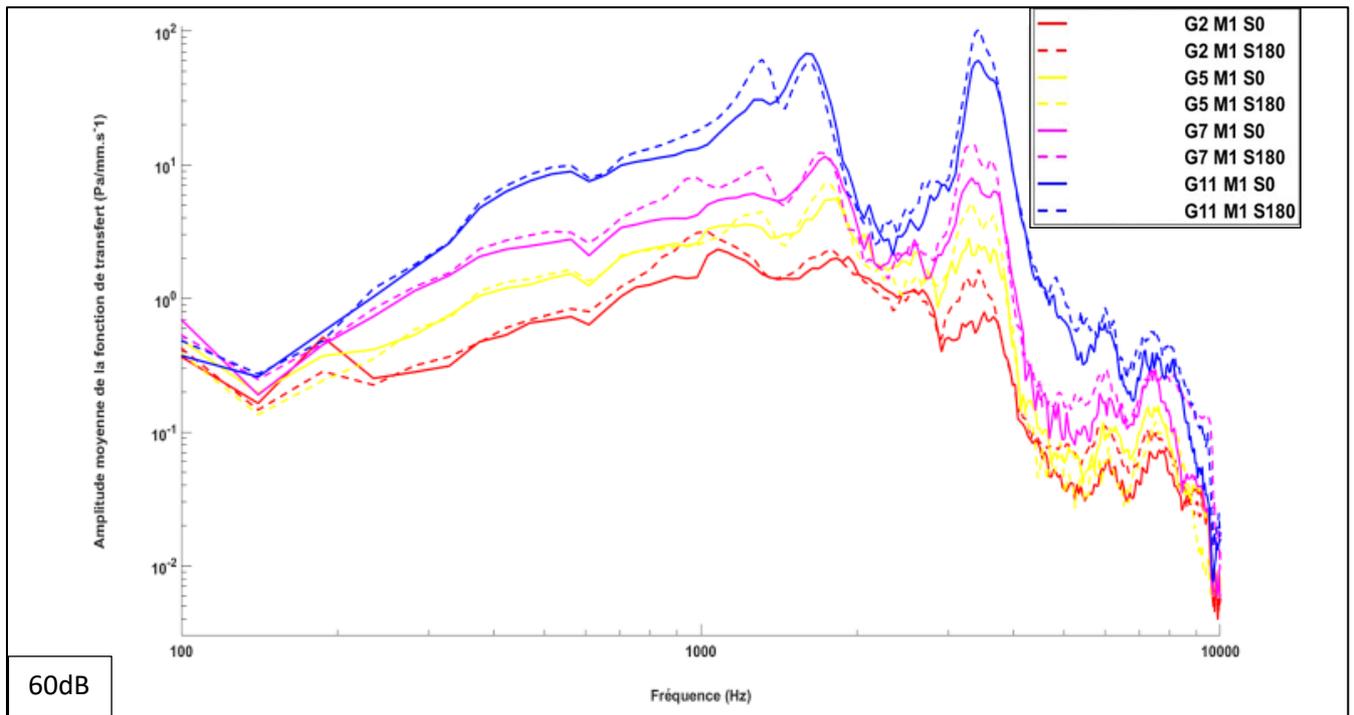
-De 100Hz à 707Hz : La DSP de cette bande fréquentielle n'est pas très importante, cependant dans l'ensemble, la répétabilité est homogène.

-De 707Hz à 2825Hz : C'est cet intervalle qui possède les plus grandes valeurs de DSP à toutes intensités.

-De 2825Hz à 10KHz : nous pouvons faire les mêmes constatations sur la répétabilité que la précédente bande fréquentielle.

En résumé, la répétabilité s'améliore en augmentant l'intensité de notre signal d'entrée.

Si on s'attarde maintenant sur les tubes artificiels, on constate une superposition des courbes obtenues avec le lyric à SO et S180.



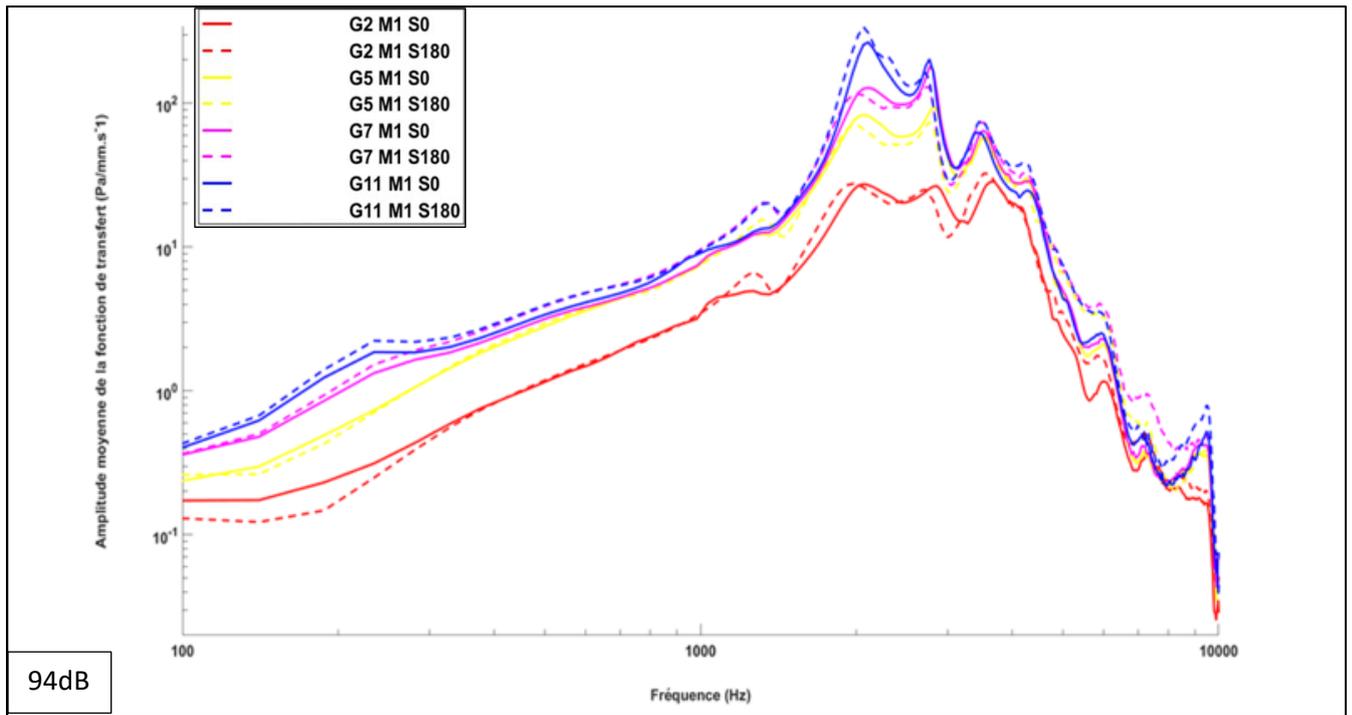
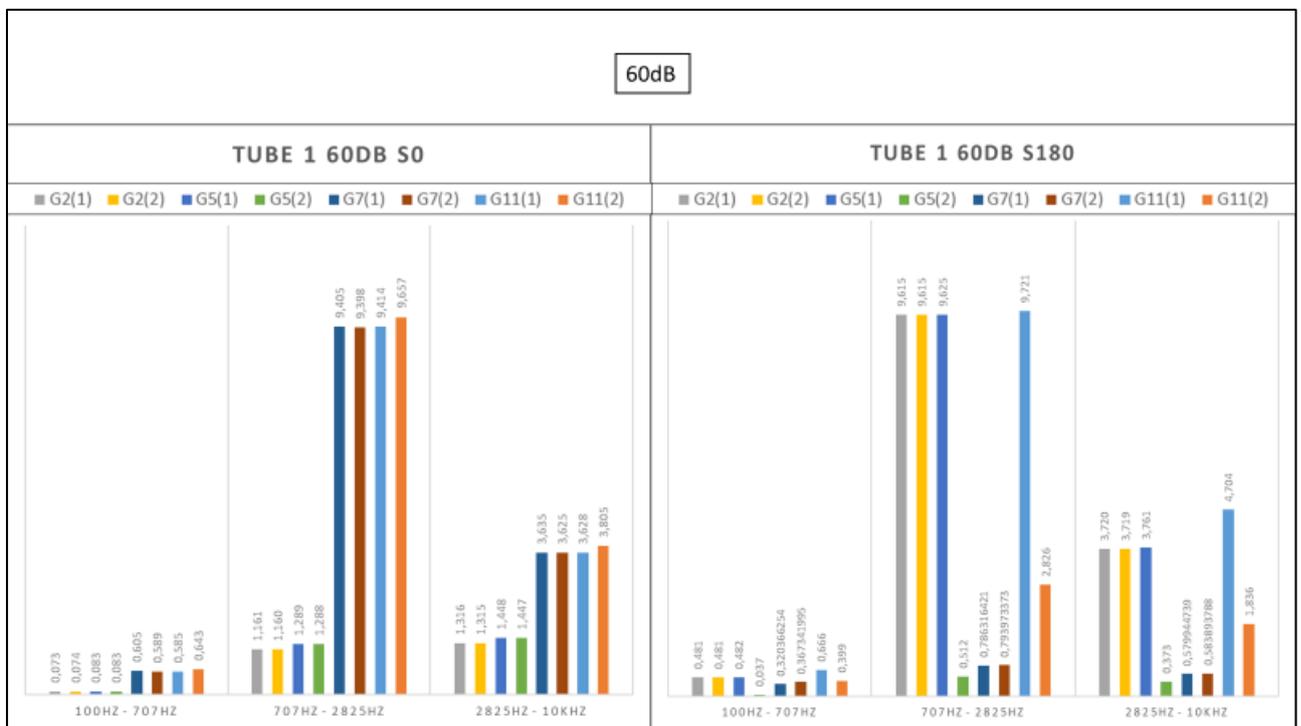


Figure 30 : Fonctions transferts du tube 2 à trois intensités

Regardons maintenant la répétabilité de nos résultats obtenus avec les tubes :



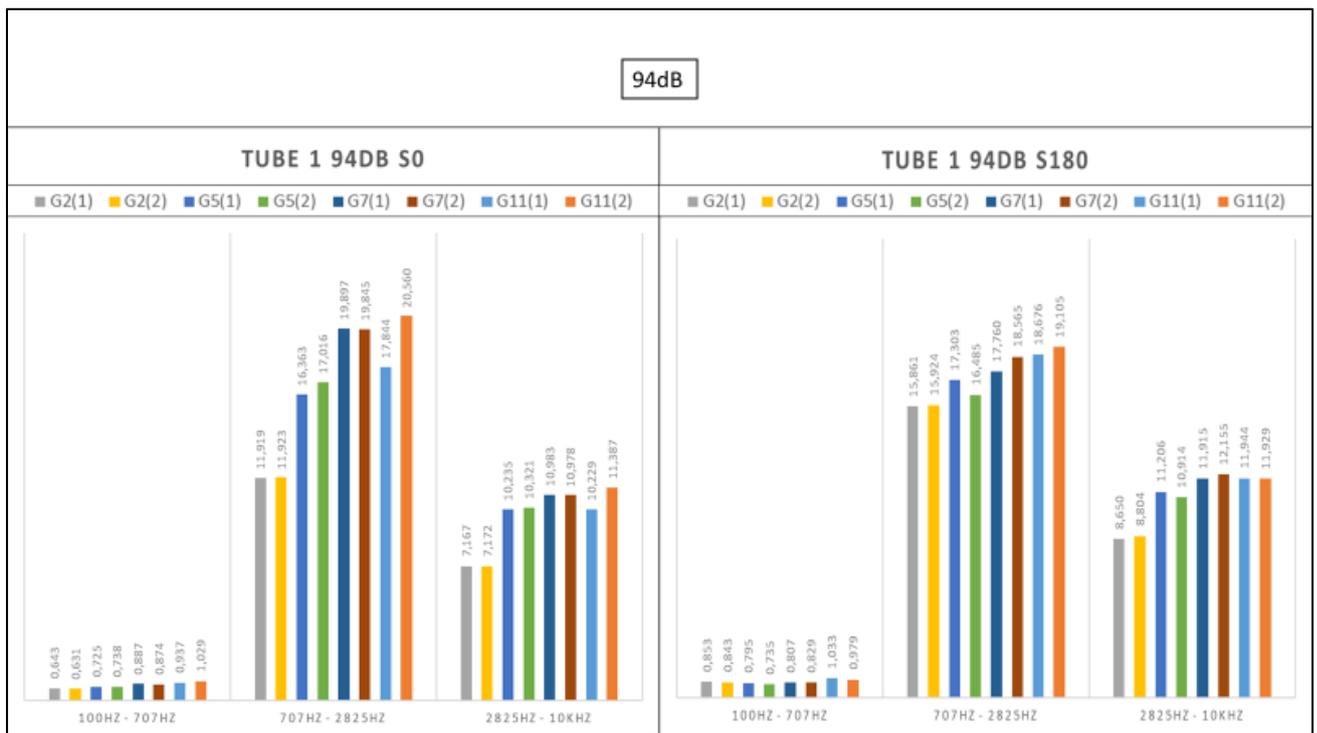
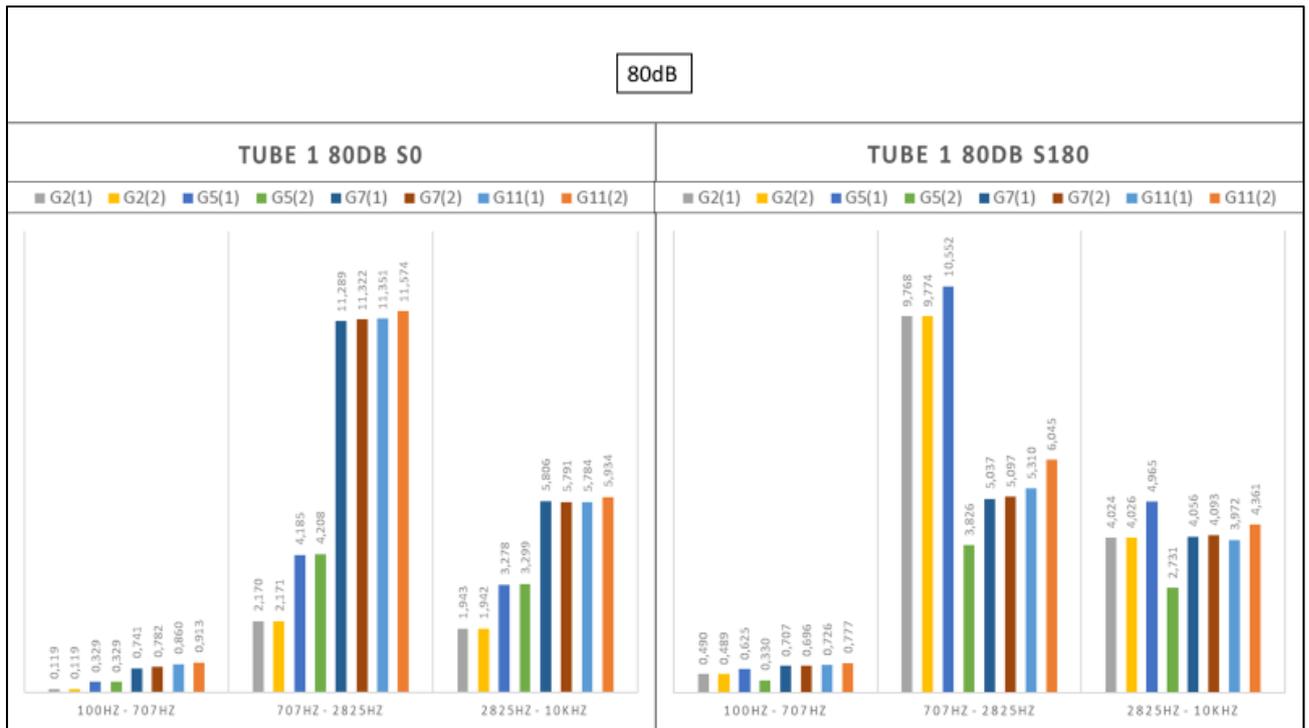


Figure 31 : Graphiques de répétabilité des densités spectrales de puissance sur les tubes artificiels

Nos graphiques portant sur 3 bandes de fréquence, nous montrent également comme les conduits que la répétabilité s'améliore avec l'intensité.

Cependant on constate une meilleure répétabilité avec les réponses de nos tubes comparé aux conduits auditifs que ce soit aux 3 différentes intensités et aux deux sens testés.

6) Discussion :

Comme nous l'avons dit, cette étude avait pour objectif d'observer l'influence du sens du lyric, l'évolution de la fréquence de résonance et le comportement du gain par rapport à différents conduits et tubes.

Fréquence de résonance :

- Nos observations sont similaires à celles faite dans la littérature. En effet on peut assimiler le système {conduit auditif et le lyric} a un tube fermé-fermé. Une formule permet de généraliser ce module et de trouver la nouvelle fréquence de résonance :

$$f_n = n \times \frac{c}{2L}$$

La fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la longueur du conduit auditif. Comme la cavité résiduelle est réduite, la fréquence de résonance se déplace vers les hautes fréquences.

Les deux observations faites précédemment, que ce soit la différence qui est plus importante entre avec et sans lyric sur les conduits que sur les tubes et qu'à volume équivalent, les tubes et conduits ne possèdent pas les mêmes fréquences de résonances ont une explication commune. Ces différences entre les conduits et les tubes peuvent être dû aux courbures et caractéristiques uniques de chaque conduit alors que les tubes ont un diamètre constant et rectiligne. On peut aussi supposer que l'angle tympanique a une influence dans ces observations.

Amplitude et gain :

Cette observation montre que plus le volume des conduits est petit plus la pression est élevée au niveau de la cavité résiduelle à gain et intensités identiques.

On suppose qu'il faudrait envoyer un gain plus élevé aux conduits possédant de gros volumes (ex : CAE 6 et CAE 2) pour obtenir les mêmes résultats que les petits volumes. (Ex : CAE 1)

Cependant, nous n'avons pas une grande marge d'amplification aux fortes intensités avec la saturation du lyric, mais nous pouvons imaginer qu'à des intensités modérées cela serait possible. Rappelons que le gain du lyric peut varier de 1 à 11.

Cette observation n'est pas vraie pour les tubes, nous ne trouvons pas cette même relation entre le volume et l'amplitude. Les caractéristiques anatomiques propres aux conduits telles que les courbures pourraient expliquer cela, alors que les tubes sont de simples guides d'ondes.

Sens :

Si on s'attarde maintenant sur l'influence du sens de notre lyric, nos courbes de réponses montrent une différence de vitesse dans nos conduits pour le sens de lyric S0 et S180. Tandis que pour nos tubes, les réponses sont identiques.

Par ailleurs, la répétabilité semble meilleure avec les réponses de nos tubes que celles obtenues avec les conduits.

Si on compare nos résultats à la littérature, on peut s'apercevoir que ces deux facteurs ont bien une influence.

Les études réalisées par Cheng et al., (2015) et Stinson, (1985) ont montré que l'inclinaison de la membrane tympanique par rapport à l'axe long du conduit auditif peut produire de petites à grandes variations de pression acoustique sur la surface de la MT à des fréquences élevées lorsque la longueur d'onde de l'onde sonore s'approche de la dimension de la MT. L'étude montre aussi que les variations de pression à partir de diverses orientations du conduit auditif ont peu d'effet sur le mouvement de la MT, même à des fréquences élevées.

Cependant, les différences de géométrie entre nos conduits et tubes peuvent expliquer nos résultats. Une étude menée par Ravicz et al., (2014) a montré les différences entre des conduits auditifs et de simples tubes. La principale différence entre le champ sonore mesuré dans un conduit et celui prédit par un modèle de tube simple est les variations de pression acoustique à travers le plan de la membrane MT. Cette différence de pression serait due à des variations transversales ne se produisant pas dans un tube uniforme, mais apparaîtraient en partie avec la géométrie des CAE.

La cavité résiduelle est sûrement le paramètre naturel qui a la plus grande influence sur notre étude. A cette étape, nous ne connaissons pas l'influence du volume de la cavité résiduelle. L'étude suivante devient une limite mais à la fois une perspective de cette étude.

D) INFLUENCE ACOUSTIQUE DE LA PROFONDEUR D'INSERTION DU LYRIC (ETUDE 2) :

1) *présentation de l'étude :*

Le choix de la profondeur d'insertion du Lyric est une partie primordiale lors de l'appareillage Lyric. Si on augmente la profondeur d'insertion, la cavité d'air entre le

lyric et la membrane tympanique va réduire et la pression acoustique devrait augmenter comme nous l'avons expliqué dans la partie précédente.

A l'inverse si on recule l'insertion du Lyric, la cavité d'air va augmenter et la pression acoustique diminuera.

2) Objectif de l'étude :

-Observer l'influence acoustique de la profondeur d'insertion du Lyric

- Faire le lien entre l'influence du gain observé lors de l'étude 1 et la profondeur d'insertion

3) Matériel :

Le matériel pour cette étude sera composé des CAE 3D préparés et utilisés lors de l'étude 1, avec les mêmes gabarits de lyric choisis pour chaque CAE 3D.

Le dispositif utilisé sera le même que celui présenté lors de la précédente étude.

4) Protocole :

Nous fixerons des valeurs pour cette étude : le gabarit du lyric sera le même que durant la première étude. Le gain sera fixé à 5 pendant nos tests.

-Uniquement la profondeur d'insertion qui varie entre chaque réglage.

Les intensités testées et les micro M1 et M2 seront identiques et utilisés de la même façon que l'étude 1, c'est-à-dire 40dB SPL, 60 dB 80dB et 94 dB.

La situation avec la profondeur d'insertion 4mm sera analysée, mais nous récupérerons les données déjà obtenues durant l'étude 1.

Nous aurons donc trois situations à réaliser à chaque conduit durant cette étude : la situation 1 ;3 et la situation 4 :

<i>1^{ère} Situation :</i>	<i>2^{ème} Situation :</i>	<i>3^{ème} Situation :</i>	<i>4^{ème} Situation :</i>
<i>-Gabarit fixe -Gain injecté dans le Lyric : G5 -Profondeur d'insertion :5mm</i>	<i>-Gabarit fixe -Gain injecté dans le Lyric : G5 -Profondeur d'insertion :4mm</i>	<i>-Gabarit fixe -Gain injecté dans le Lyric : G5 -Profondeur d'insertion :3mm</i>	<i>-Gabarit fixe -Gain injecté dans le Lyric : G5 -Profondeur d'insertion :2mm</i>

Figure 32 : Tableau des quatre situations à tester sur chaque conduit

Ce protocole sera valable pour l'ensemble des conduits auditifs utilisés dans nos matériels :

-Au préalable, nous calculerons les mesures de profondeur nécessaire. Ces mesures seront réalisées à l'aide de notre pince millimétrée (son fonctionnement a été expliqué précédemment). A l'aide de mesures trouvées pour la profondeur 4mm, nous en déduirons les profondeurs d'insertion pour 5mm, 3mm et 2mm. Toutes ces valeurs seront reportées dans un tableau. (Annexe 3)

-Mise en place du lyric à l'intérieur du CAE avec une profondeur d'insertion de 5mm (situation 1) par rapport au tympan à l'aide de notre pince d'insertion et de notre règle millimétrée qui nous sert de vérification comme nous montre la figure 20.

-Mise en place du scotch de son réflecteur.

-Installation du CAE dans le cadre stéréotaxique.

-Mise en place de la mousse au niveau de son support, cette mousse sera insérée à la même profondeur à chaque test afin de ne pas modifier la cavité d'air à l'arrière du lyric.

-Mise en place du laser sur le réflecteur.

-Envoi d'un chirp avec les intensités souhaitées (énoncé précédemment) et récupération des données sur le logiciel LabView.

-On insère notre pince millimétrée afin de pousser le lyric à la profondeur 3mm et 2mm en appliquant à ces deux situations la même série de tests.

5) *Résultats et observations :*

PROFONDEUR :

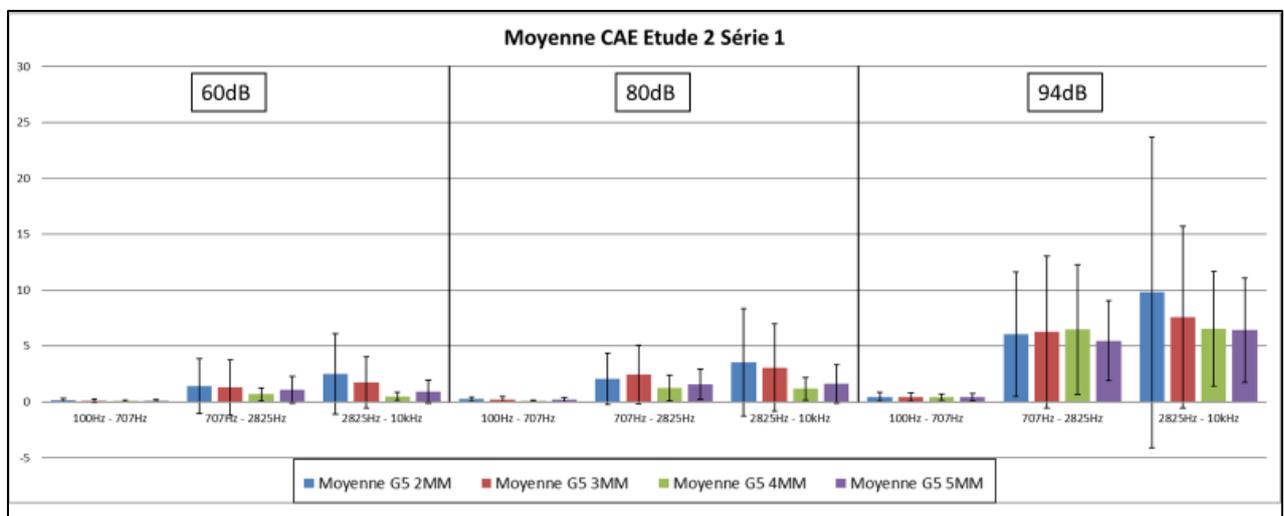


Figure 33 : Graphique de moyennes d'aire sous la courbe des profondeurs d'insertion en fonction de l'intensité

Le graphique représente des DSP de nos 6 conduits auditifs 3D, le tout divisé en 3 bandes fréquentielles.

Nous pouvons tirer 3 observations de ce schéma :

- L'aire sous la courbe est proportionnelle à l'intensité envoyée par l'émetteur. La vitesse augmente avec l'augmentation de l'intensité.
- La vitesse est plus importante sur la bande fréquentielle des aigues (2825Hz-10kHz) que les deux autres bandes.

- Les valeurs obtenues avec une profondeur à 2mm sont plus importantes que les autres. L'aire sous la courbe et donc la vitesse est inversement proportionnelle à la profondeur d'insertion.

6) Discussion :

L'objectif de cette étude était de voir qu'elle influence possède la profondeur d'insertion du lyric sur la vitesse du tympan.

On voit que plus le lyric est proche du tympan, plus la vitesse est importante comme nous montre le tableau. La réduction de la cavité résiduelle, augmente la pression exercée au niveau du tympan. A intensité équivalente, la vitesse sera plus importante pour le lyric qui se situera le plus proche du tympan.

La cavité résiduelle est donc toujours au centre de cette étude et possède une influence.

Essayons de faire les liens entre les deux premières études réalisées. Nous avons constaté grâce à nos graphiques de répétabilité lors de la première étude que le gain a une influence plus importante sur les fréquences médiums, avec le calcul des DSP. Nous observons maintenant avec l'étude 2 que la profondeur d'insertion influence toutes les fréquences, mais plus particulièrement les fréquences aiguës.

La prochaine étude va nous permettre d'observer si la constatation faite sur la profondeur d'insertion est vérifiable avec des patients.

4) Limites et Perspectives communes aux deux études :

Cependant, il existe des limites à nos deux études et une grande partie sont communes. Il est important d'observer ces limites car elles peuvent devenir des perspectives pour des études futures.

Nombre de conduits et tubes testés : Il serait intéressant de réaliser nos deux études avec un nombre d'échantillons plus importants afin de pouvoir consolider nos observations.

Matériaux utilisés : Le matériau utilisé pour nos conduits/tubes peut être à revoir. Une étude ultérieure est envisagée afin de constater l'influence de différents matériaux et d'en choisir un se rapprochant au maximum des caractéristiques du CAE humain.

L'effet du taux de remplissage du CAE imprimé en 3D pourrait aussi correspondre à une étude ultérieure.

Le ruban adhésif qui est utilisé pour remplacer notre membrane tympanique pourrait aussi être remis en question. Utilisé dans ce travail, il présente les caractéristiques géométriques d'une MT avec une forme arrondie et une épaisseur de 160 μm , mais ne possède pas le même coefficient d'absorption ou même de transmission qu'une MT.

Evaluer l'influence de manière plus précise certains paramètres :

- Il serait intéressant de tester chaque pallier de gain dans le logiciel Phonak Target afin d'analyser plus précisément l'influence de ce paramètre.
- Tester un plus grand nombre d'intensités, pour observer de façon plus précise les variations que cela peut engendrer sur nos courbes en réponses.

Réponse aux stimulations à 10 KHz : On constate sur nos résultats, des réponses captées aux alentours de 10KHz. Nous savons que le lyric n'a pas la bande passante adaptée. La stimulation envoyée par notre émetteur doit sûrement passer à travers le lyric et faire vibrer nos membranes tympaniques.

Profondeurs d'insertion : Tester un plus grand nombre de profondeurs pourrait être aussi intéressant comme étude ultérieure.

Larsen : Lors de nos tests, nous avons obtenu du larsen pour certains conduits et à certaines profondeurs d'insertion du lyric. Ce larsen peut fausser légèrement nos résultats avec des pics de réponses sur les aigus.

Etude en champs libre : Notre étude a été réalisée avec l'émetteur à l'entrée du conduit auditif 3D. Une étude ultérieure peut être réalisée en champs libre afin de se rapprocher au maximum de la réalité et des situations vécues par les patients.

III) Etude pratique réalisée avec des patients :

1) Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude va être d'observer avec l'aide de patients cette fois ci, l'influence de la profondeur d'insertion, de manière objective, à l'aide de la mesure in vivo.

Pour finir nous pourrons faire une corrélation entre les résultats obtenus durant la première étude avec nos CAE 3D et notre deuxième étude avec les patients.

2) Matériel et méthodes

A) Population étudiée / critère inclusion et exclusion

Dans notre étude, nous avons une population de 10 patients testés dont 7 hommes et 3 femmes.

La tranche d'âge de nos patients testés est comprise entre 58 ans et 88 ans, avec une moyenne de 76 ans.

Les critères d'inclusion à nos tests sont que le patient :

- Doit être appareillé en Lyric.
- Qu'il accepte de participer à l'étude.
- Qu'il supporte le test réalisé (mise en place des sondes de la mesure in vivo en plus du lyric).

Tous les patients testés sont appareillés en lyric depuis un certain temps, allant de 7 ans et 1 jour à 5 mois d'appareillage.

Quant à la moyenne des pertes auditives tonales, elle est de 45,13 dB HL pour l'oreille droite et de 47,38dB HL pour l'oreille gauche.

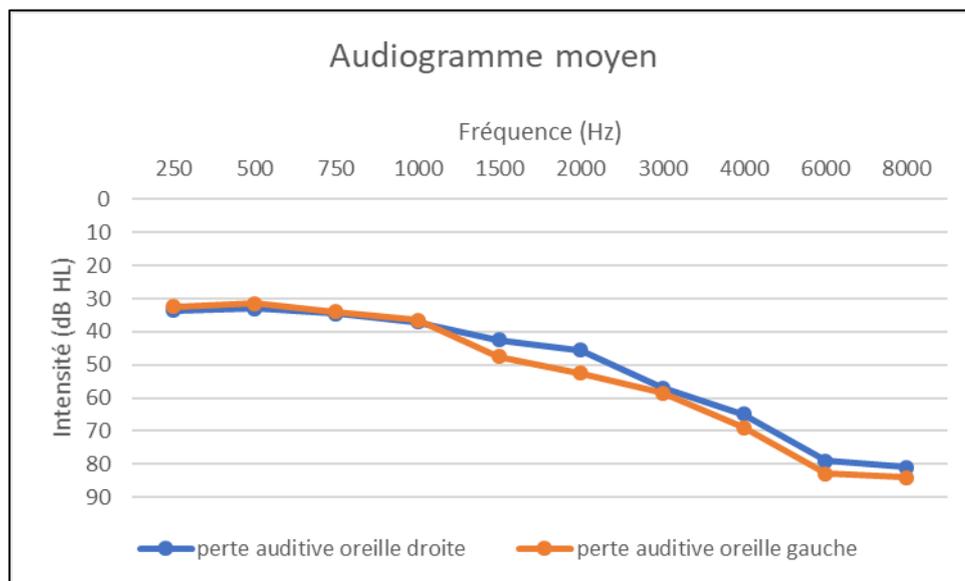


Figure 34 : Audiométries tonales moyennes au casque sur chaque oreille (n=10)

B) Matériel :

Les tests réalisés sur les patients se feront dans une cabine insonorisée, avec du matériel fréquemment utilisé dans un centre d'audioprothèse poseur de Lyric :

- Otometrics AURICAL freefit pour réaliser les mesures in vivo :

Elle permet, via 2 sondes, de mesurer le niveau sonore au tympan en fonction des fréquences recueillies. Pour cela, il peut être utilisé sur une oreille nue ou sur une oreille appareillée.

- Différents gabarits de Lyric 3
- Une binoculaire
- différents outils : jeu de spéculums auriculaires et pince d'Hartmann
- Pince d'insertion millimétrée
- stylet de programmation
- logiciel d'appareillage Phonak Target

C) Protocole :

Tout d'abord, il a été demandé aux patients de venir au centre d'audioprothèse afin de réaliser le test prévu. Le test dure environ 40 minutes avec les explications et la réalisation.

Les explications pour le test qui suivent sont valables pour tous les patients. Le test est fait une oreille après l'autre :

-Calibration des sondes : Cette étape va être la calibration des sondes avec la pièce. L'extrémité de la sonde est placée en regard du microphone de référence. Cette mesure permet de rendre la sonde acoustiquement « invisible ». Ces dernières sont changées pour tout nouveau patient.

-Mise en place du logiciel Otometrics en affichage « Gain ». La nature du stimulus est un balayage tonal pour la mesure de notre REAG (Real Ear Aided Gain), avec 3

intensités différentes (60dB/80dB/90dB SPL). Le balayage tonal nous permettra de balayer les fréquences de 125Hz à 8000Hz avec la même intensité sur chaque fréquence.

- Retrait du lyric, examine l'état du lyric pour réinsertion immédiate.

- Examen otoscopique afin de voir l'état du conduit : L'examen otoscopique est indispensable avant de commencer les tests. Il va nous permettre de détecter s'il y a présence de cérumen ou d'un corps étranger, mauvaise réaction du conduit au port du lyric ou bien une otite.

Ces soucis peuvent empêcher la remise en place immédiate du lyric ou même influencer nos courbes en réponse avec la mesure in vivo.

-Mise en place d'un réglage pour chaque lyric, qui sera le même avec chaque patient durant les tests en mesure in vivo.

Les avantages de ce réglage unique sont :

× Pouvoir comparer nos résultats avec chaque patient testé et avec notre seconde étude sur les CAE 3D et qu'aucun paramètre de réglages n'influencent nos courbes en réponse, comme la fréquence de coupures ou même le gain.

Le réglage fixe est le suivant :

GAIN : 5
Fréquence de coupure : 200Hz
La pente : arrêt
Enclenchement de la compression : Max

-Mesure de la profondeur d'insertion du LYRIC lors de la mise en place : La mesure de la profondeur d'insertion va être à nouveau faite afin de valider nos valeurs, cependant le gabarit du lyric sera conservé.

Nous nous servons de la sonde graduée fournie par PHONAK et expliqué précédemment afin de connaître chaque profondeur d'insertion. Il est important de prévenir le patient et de faire attention à ses réactions pour ne pas le surprendre. La profondeur est calculée entre l'entrée du méat auditif externe et le tympan grâce à un code couleur fourni dans le kit d'adaptation du LYRIC.

Il faut savoir que nous avons une marge d'erreur, en effet comme nous l'avons dit précédemment, la partie inférieure de la membrane tympanique est plus longue que sa partie supérieure. La mesure de la profondeur d'insertion sera différente si notre sonde touche une des deux parties.

Le LYRIC mesure 12 mm de long, quelque que soit le gabarit. La mesure d'insertion permet de placer le LYRIC après le second coude, à 4mm du tympan. (Ce qui est préconisé par le fabricant).

Afin d'avoir une bonne fiabilité de nos résultats et de pouvoir installer une répétabilité dans nos tests, il est indispensable d'appliquer rigoureusement certains facteurs comme :

- Positionnement des sondes : La distance entre la sonde et le tympan sera à 1-2mm.

- Le haut-parleur doit se trouver à un mètre environ du microphone de référence qui se trouve sur le patient et en face de lui.

- Mise en place du lyric à 5mm : En se basant sur la mesure de la profondeur précédente, on applique 1mm de plus sur la pince d'insertion afin de le placer à 5mm.

- Validation du positionnement de la sonde : REUR (Real Ear Unaided Response) ou GNO (Gain Naturel de l'Oreille).



Elle mesure la résonance naturelle du CAE en envoyant un bruit blanc durant 5 secondes. C'est une empreinte acoustique propre à chaque oreille.

Cette mesure permet aussi de valider le bon positionnement des sondes. La sonde est bien placée lorsque le gain mesuré à 8KHz est nul et que le pic de résonance se situe aux alentours de 3KHz pour un adulte.

-REAG (Real Ear Aided Gain) ou GIV (Gain In Vivo):

Une fois que les lyrics et les sondes sont bien placés, nous pouvons débiter la prise de mesures. La REAG est une mesure de pression réalisée en fond de CAE avec le lyric en place et en fonction. Cette mesure va permettre d'évaluer le niveau de sortie de l'appareil pour atteindre une cible sous la forme de gain.

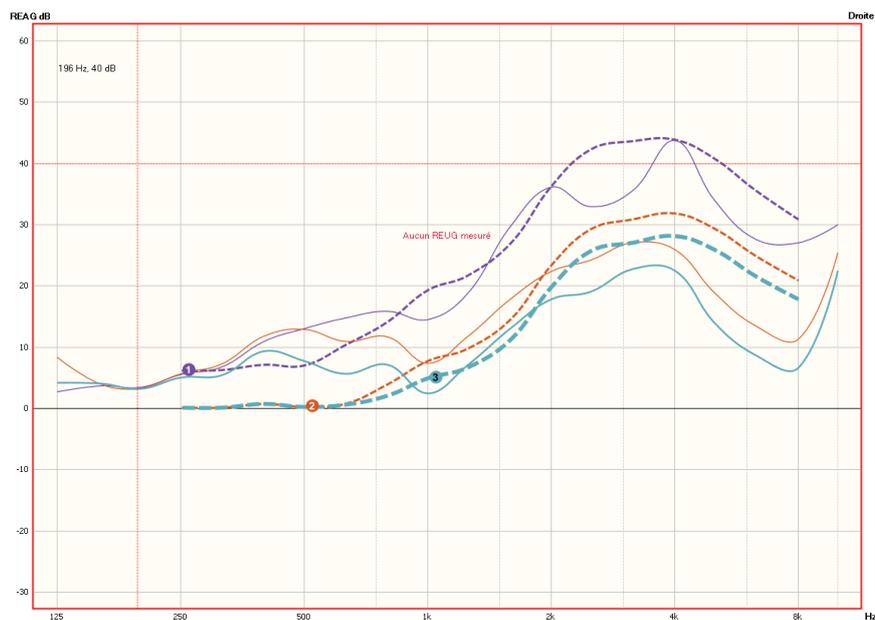


Figure 35 : REAG obtenu pour un patient à 3mm oreille droite

-Mise en place du lyric a 4mm avec la pince d'insertion.

On maintient la sonde avec le doigt sur l'oreille du patient durant la manipulation afin que la sonde ne bouge pas + enregistrement des courbes en réponses à cette profondeur-là.

-Mise en place du lyric a 3mm + même manipulation que celle faite à 4mm.

-Les tests sur le patient étant finis, on retire délicatement la sonde de l'oreille du patient. On replace ainsi les réglages que les patients possèdent initialement à la fin de la séance, avec le lyric à la profondeur indiquée sur le logiciel.



3) Analyse des résultats :

Nous comparons et étudions les résultats de l'oreille droite et de l'oreille gauche séparément.

Commençons avec l'oreille droite, nous avons réalisé une moyenne de tous nos patients, et ça pour chaque fréquence afin d'obtenir des courbes. On constate graphiquement que les gains obtenus pour nos trois intensités, grâce à la mesure in vivo (REAG), augmente en fonction de la profondeur d'insertion.

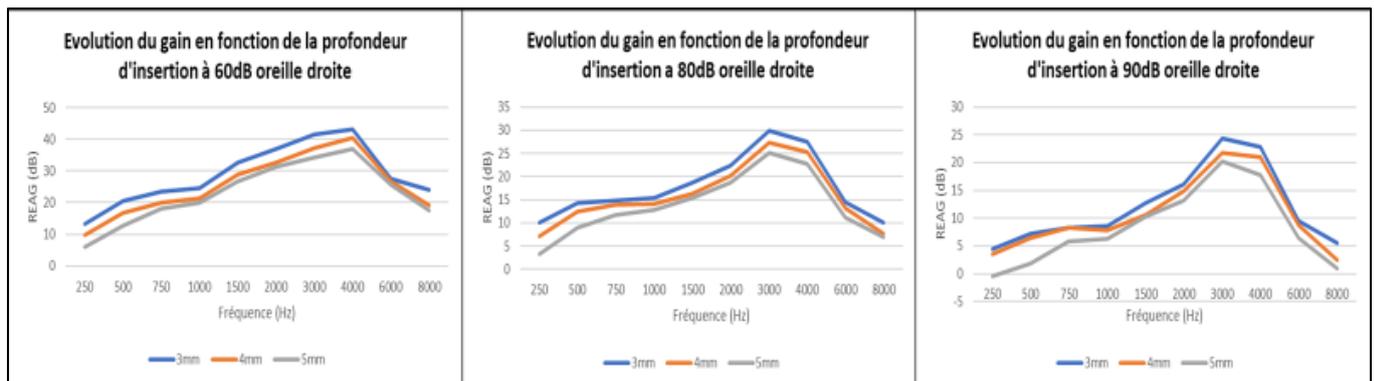


Figure 36 :Graphique montrant l'évolution du gain en fonction de la profondeur d'insertion et à différentes intensités

On souhaite observer si le gain appliqué par le lyric varie de façon significative par rapport à la profondeur d'insertion. Ces comparaisons seront faites à trois intensités différentes.

Une étude statistique est utilisée pour comparer les mesures entre elles.

Au préalable, nous regardons si nos valeurs mesurées suivent la loi normale à l'aide d'un test de normalité : Shapiro-Wilk. Le p-value a été calculé pour chaque comparaison.

Dans le cas où la distribution de la variable est normale (test de normalité : p-value > 0.05), nous réaliserons un test student apparié, qui permet de comparer deux moyennes observées appariées.

Si nos valeurs ne suivent pas une distribution normale (p-value < 0.05), nous réaliserons un test de wilcoxon apparié, qui est un test non paramétrique.

Lors de la réalisation de ces deux derniers tests, la probabilité (p) doit être inférieure à 0.05 afin d'obtenir un résultat significatif. Les résultats seront placés dans le tableau ci-dessous.

groupe 1	groupe 2	Test de Normalité (Sha	Test utilisé	Probabilité (p)	significatif/non significatif
4mm(90)	5mm(90)	0.562	student	<.001	significatif
3mm(90)	4mm(90)	0.593	student	0.001	significatif
3mm(90)	5mm(90)	0.085	student	<.001	significatif
4mm(80)	5mm(80)	0.786	student	<.001	significatif
3mm(80)	4mm(80)	0.553	student	<.001	significatif
3mm(80)	5mm(80)	0.214	student	<.001	significatif
4mm(60)	5mm(60)	0.203	student	<.001	significatif
3mm(60)	4mm(60)	0.069	student	<.001	significatif
3mm(60)	5mm(60)	0.115	student	<.001	significatif

Figure 37 :Tableaux des tests statistiques réalisés pour l'oreille droite

Pour commencer, toutes nos valeurs suivent la loi normale.

On observe que les comparaisons faites à intensités identiques mais à différentes profondeurs possèdent tous une probabilité < 0.05 , elles sont donc toutes significatives. La profondeur d'insertion a donc une influence significative sur le gain capté au niveau du tympan.

Passons à l'oreille gauche et observons les mêmes outils d'analyse.

Tout d'abord, la différence de gain est moins nette que l'oreille droite en fonction de la profondeur d'insertion.

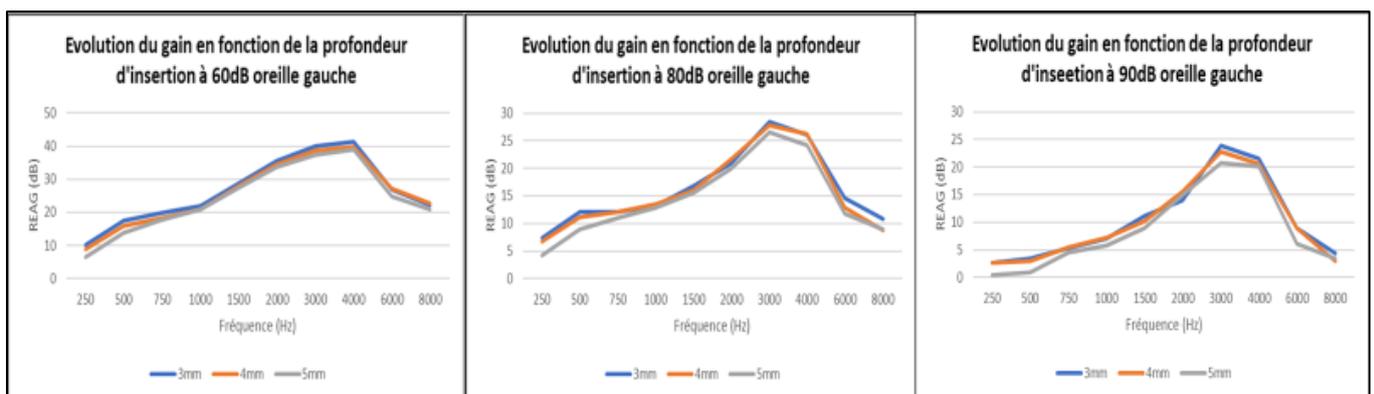


Figure 38 :Graphique montrant l'évolution du gain en fonction de la profondeur d'insertion et à différentes intensités

Quant aux tests statistiques, on constate pour une comparaison, la valeur de p-value calculée est supérieure (p-value=0.031) au seuil de signification. Elle ne suit donc pas la loi normale. Un test non paramétrique sera utilisé.

groupe 1	groupe 2	Test de Normalité (Sha	Test utilisé	Probabilité (p)	significatif/non significatif
4mm(90)	5mm(90)	0.953	student	0.002	significatif
3mm(90)	4mm(90)	0.386	student	0.307	non significatif
3mm(90)	5mm(90)	0.405	student	0.002	significatif
4mm(80)	5mm(80)	0.938	student	0.001	significatif
3mm(80)	4mm(80)	0.893	student	0.071	non significatif
3mm(80)	5mm(80)	0.460	student	<.001	significatif
4mm(60)	5mm(60)	0.096	student	<.001	significatif
3mm(60)	4mm(60)	0.031	wilcoxon	0.01	significatif
3mm(60)	5mm(60)	0.502	student	<.001	significatif

Figure 39 : Tableau des tests statistiques réalisés

Lorsque l'on passe aux tests d'analyse, deux comparaisons ne sont pas significatives, la comparaison du gain à 3mm (90dB) avec le 4mm (90dB) et la comparaison de 3mm à 80dB avec 4mm à 80dB .

4) Discussion :

L'objectif de cette étude est d'observer l'influence de la profondeur d'insertion du lyric sur des patients.

On constate que nos comparaisons sont toutes significatives pour l'oreille droite et que sur l'oreille gauche, seulement deux ne sont pas. La cavité résiduelle modifiée à l'aide de nos différentes profondeurs d'insertions a bien une influence sur le gain envoyé au niveau du tympan. Par ailleurs, cette différence entre l'oreille gauche et l'oreille droite peut être expliquée par certaines limites :

5) Limites et Perspectives :

Positionnement de la sonde : Ce positionnement reste un biais de notre étude. Il est important de le vérifier avec le REUG mais n'est pas forcément placé au même endroit sur tous les patients au millimètre près. Ce biais peut expliquer la différence obtenue entre l'oreille gauche et l'oreille droite.

Le larsen : La présence de larsen à certaines profondeurs et sur certains patients nous fausse certains résultats. La première raison de ce Larsen est la mise en place de la sonde avec le lyric. Notre sonde plaquée sur les coroles crée un petit appel d'air et peut être à l'origine du larsen.

Nombre de patient : Un plus grand nombre de patients nous permettrait une analyse plus précise de nos résultats. Certains patients n'ont pas accepté de participer aux tests et ce type d'appareillage n'est pas majoritaire dans un laboratoire d'audioprothèse.

Réglage unique utilisé : Une perspective de cette étude pourrait être de tester les autres paramètres du logiciel Phonak Target qui sont mis à notre disposition afin de connaître pour chacun leurs rôles précis et de pouvoir s'adapter à tous les patients rencontrés.

D'autres tests utilisables : Il serait aussi possible de réaliser un test subjectif complémentaire comme un questionnaire afin de connaître le ressenti du patient et de pouvoir le comparer avec notre test objectif.

La douleur : La profondeur à 3mm n'a pas pu être réalisée sur toutes les personnes, car trop douloureux pour certains. Les résultats semblent meilleurs pour les profondeurs d'insertion mais il reste important de trouver un équilibre entre performance et confort.

CONCLUSION :

L'appareillage LYRIC est un appareillage très différent des autres aides auditives sur tous les plans. Il est indispensable de connaître son impact prothétique lors de sa mise en place afin d'appliquer un réglage optimal au patient.

Les objectifs de nos études étaient de regarder l'influence que peut avoir le sens du lyric sur des courbes en réponse, mais aussi d'observer une éventuelle influence de la cavité résiduelle sur certains facteurs, en la faisant varier à l'aide de la profondeur d'insertion du lyric.

Nous avons d'abord constaté que le sens de mise en place du lyric a une influence sur la vitesse captée au niveau du tympan et sur la répétabilité de nos résultats en comparant des CAE 3D et des tubes simples. On peut supposer que ces différences sont attribuées aux différences géométriques entre ces deux, ainsi qu'à l'angle tympanique présent sur nos conduits. L'influence de ces deux facteurs sera étudiée de manière plus précise dans une étude ultérieure.

De plus, durant l'étude 2 nous avons pu mettre en avant que la cavité résiduelle semble avoir un effet sur différents facteurs tel que l'amplitude de la vitesse du tympan, la fréquence de résonance qui se décale vers les fréquences aiguës. La même tendance a été observée lors de la dernière étude, et nous a permis d'affirmer statistiquement qu'il y avait bien une différence significative de gain en fonction de la profondeur mise en place.

Mais ces facteurs ne sont pas les seuls comme nous avons pu en citer certains dans le dernier paragraphe de notre partie théorique (autophonation passive, bruit du vent ...).

L'appareillage Lyric reste une des aides auditives les plus intéressantes du marché par son mode de fonctionnement. Elle n'est par ailleurs plus remboursée depuis le 1^{er} janvier 2019 suite à la réforme du 100% santé. Son cout risque de devenir un frein pour les primos appareillages et les renouvellements.

Toutes ces constatations vont nous permettre d'adapter nos réglages et la mise en place du lyric en fonction de chaque patient.

Le Maître de Mémoire
Yannick DUMOUCHEL

VU et PERMIS D'IMPRIMER
LYON, le 16/10/2020

Le Directeur de l'Enseignement
Stéphane GALLEGO

ANNEXE :

Annexe 1 :

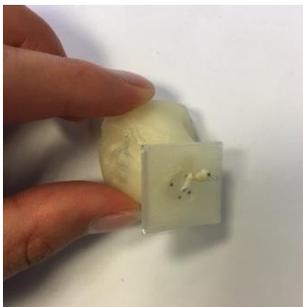
Matériel	Utilisation	Image
Conduit synthétique 3D	Réalisation via une imprimante 3D	
Scotch	Modélisation de la membrane tympanique	
Réflecteurs	Enregistrer la réponse en vitesse du site visé	
Bouchon	Eviter les fuites	

Tableau 1 : Matériels pour la mise en place du CAE synthétique

Matériel	Référence	Fabricant	Fonction	Suppléments Ou Liaison
Analyseur Audio	UPV-B48 1402.2200.02	Rhodes & Schwarz	Génération de signaux	Pilotage du système par une routine MatLab (MICT)
			Analyse de la réponse des différents capteurs	
Ecouteur Intra-auriculaire	ER2	Etymotic	Emission des stimuli audio	Alimentation et contrôle via l'UPV
Microphone Clinique	ER7C-SERIES-B	Etymotic	Réception des stimuli produit par l'émetteur pour prévenir d'un dysfonctionnement de celui-ci	Analyse de la réponse via l'UPV
Vibromètre Laser	CLV-2534	Polytech	Acquisition de l'amplitude de déplacement	Analyse des réponses via l'UPV
			Acquisition de la vitesse de déplacement	

Tableau 2 : Matériels pour l'expérimentation

Annexe 2 :

Numéro du CAE testé avec son tube correspondant	1	2	3	4	5	6
Valeur appliquée sur la pince d'insertion(mm)	9	23	16	29	14	29

Tableaux des mesures appliquées à la pince d'insertion personnalisée correspondante à la profondeur d'insertion 4mm pour chaque CAE et tubes correspondants

Annexe 3 :

N° du conduit	N°1				N°2				N°3				N°4				N°5				N°6							
Profondeur d'insertion(m m)	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2	5	4	3	2
Valeur appliquée sur la pince d'insertion(m m)	8	9	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
			0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	0	1	3	4	5	6	8	9	0	1				

Tableaux des mesures appliquées à la pince d'insertion personnalisée correspondante à la profondeur d'insertion pour chaque CAE

BIBLIOGRAPHIE

- Arbogast et Whichard, 2009. A New Hearing Aid Class: The First 100% Invisible Extended-Wear Hearing Aid - Hearing Review [WWW Document]. URL <https://www.hearingreview.com/practice-building/practice-management/a-new-hearing-aid-class-the-first-100-invisible-extended-wear-hearing-aid> (accessed 2.3.20).
- Ballachanda, B.B., 1997. Theoretical and applied external ear acoustics. *J. Am. Acad. Audiol.* 8, 411–420.
- Cheng, J.T., Ravicz, M., Guignard, J., Furlong, C., Rosowski, J.J., 2015. The Effect of Ear Canal Orientation on Tympanic Membrane Motion and the Sound Field Near the Tympanic Membrane. *JARO J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 16, 413–432. <https://doi.org/10.1007/s10162-015-0516-x>
- Delas B., Dehesdin D. Anatomie de l'oreille externe. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Oto-rhinolaryngologie, 20-010-A-10, 2008, n.d.
- Deng, H., Yang, J., 2015. Modeling and estimating acoustic transfer functions of external ears with or without headphones. *J. Acoust. Soc. Am.* 138, 694–707. <https://doi.org/10.1121/1.4926560>
- GRESSION T., « Influence du positionnement de l'appareil Lyric dans le conduit auditif sur l'autophonation passive », Université de Rennes 1, 2016..pdf, n.d.
- Gudmundsen GI. Fitting CIC hearing aids—Some practical pointers. *Hear Jour.* 1994, n.d.
- J.Foret, 1968. MESURES DES PRESSIONS ACOUSTIQUES AU NIVEAU DU TYMPAN HUMAIN on JSTOR [WWW Document]. URL <https://www.jstor.org/stable/40616237?seq=1> (accessed 2.16.20).
- Johnson, D.J., 2015. *Revue clinique et médicale* 6.
- Karkas A, Badidi G, Odinet P et al., 2019. Acquired medial external auditory canal stenosis, anterior tympanomeatal angle blunting, and lateralized tympanic membrane: Nosology, diagnosis, an... - PubMed - NCBI [WWW Document]. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30639598> (accessed 2.3.20).
- Kruger, B., 1987. Une mise à jour sur la résonance externe de l'oreille chez les nourrissons et les jeunes enfants. - PubMed - NCBI [WWW Document]. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3428486> (accessed 2.3.20).
- Loi de Boyle-Mariotte - Cours de Physique Chimie Seconde avec Maxicours - Lycée [WWW Document], n.d. URL <https://www.maxicours.com/se/cours/loi-de-boyle-mariotte/> (accessed 2.3.20).
- Lyric and safety - A study on the safety of Lyric and user satisfaction, 2011. 2.
- M. Valente et J. Goebel, 1991. Reliability and intersubject variability of the real ear unaided response. - PubMed - NCBI [WWW Document]. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1916047> (accessed 2.3.20).
- RAMILISON H Eloi « CARACTERISATION ACOUSTIQUE DE CONDUITS AUDITIFS EXTERNES NORMAUX : DE L'HUMAIN AUX MODELES IMPRIMES EN 3D », recherche clinique et simulation en santé, 27 septembre 2019.pdf, n.d.
- Ravicz, M.E., Tao Cheng, J., Rosowski, J.J., 2014. Sound pressure distribution within natural and artificial human ear canals: Forward stimulation. *J. Acoust. Soc. Am.* 136, 3132–3146. <https://doi.org/10.1121/1.4898420>
- Rosowski, J.J., Nakajima, H.H., Merchant, S.N., 2008. Clinical Utility of Laser-Doppler Vibrometer Measurements in Live Normal and Pathologic Human Ears. *Ear Hear.* 29, 3–19. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31815d63a5>
- Staab, W., 1996. Introduction to Deep Canal Principles. *Semin. Hear.* 17, 3–19. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1089924>
- Stinson, M.R., 1985. The spatial distribution of sound pressure within scaled replicas of the human ear canal. *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 1596–1602. <https://doi.org/10.1121/1.392797>
- Volandri, G., Di Puccio, F., Forte, P., Carmignani, C., 2011. Biomechanics of the tympanic membrane. *J. Biomech.* 44, 1219–1236. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.12.023>

RESUME :

Le Lyric est une aide auditive analogique qui s'appuie sur le mécanisme d'amplification naturel de l'oreille. Cet appareil se place normalement à 4 millimètres du tympan, créant une réduction de la cavité résiduelle entre le lyric et le tympan comparé aux appareils auditifs développés actuellement par les fabricants.

Cette réduction de la cavité résiduelle donne au lyric toute sa spécificité en influençant différents facteurs.

Ce mémoire possède plusieurs objectifs qui seront répondus lors de deux études distinctes. La première étude sera réalisée sur des conduits auditifs 3D, et va nous permettre d'observer si le sens de mise en place du lyric dans le conduit auditif possède une influence sur le plan acoustique ainsi que de montrer l'influence de la cavité résiduelle sur différents facteurs, en la faisant varier avec la profondeur d'insertion du lyric. La deuxième étude sera réalisée avec la collaboration de 10 patients appareillés en lyric afin d'évaluer à l'aide de la mesure in vivo l'évolution du gain envoyé au niveau du tympan en fonction de la profondeur d'insertion.

A la suite de l'analyse des résultats, on peut constater que le sens du lyric a une influence sur la fonction transfert calculée. La cavité résiduelle possède bien une influence, comme la fréquence de résonance qui se décale dans les fréquences aiguës avec la mise en place du lyric, mais aussi nous pouvons constater que la profondeur d'insertion a une influence significative sur le gain capté au niveau du tympan.

Ces constatations vont nous permettre d'adapter nos réglages et la mise en place du lyric en fonction de chaque patient.