



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

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Professeur Jacques LUAUTE

**L'in situ nouvelle méthode de mesure des seuils auditifs chez
les patients ayant une surdité asymétrique sans recourir au masquage**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

Par

BENTOLILA EDEN

Autorisation de reproduction

LYON, le 17 octobre 2025

David COLIN

Responsable de l'Enseignement

N° 1064

Président
Pr Bruno LINA

Vice-président CA
Mme Sandrine CHARLES

Vice-président CFVU
Mme Julie-Anne CHEMELLE

Vice-président Commission de
Recherche
M. Arnaud BRIOUDE

Directeur Général des Services par intérim
M. Gaël ASTIER

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. RODE Gilles

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directeur
Pr PAPAREL Philippe

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. MAURIN Jean-Christophe

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur
Pr DUSSART Claude

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
Pr PAPAREL Philippe
U.F.R. Des Sciences et
Techniques des Activités
Physiques et Sportives
(S.T.A.P.S.)
Directeur
M. BODET Guillaume

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur **Pr LUAUTE Jacques**

Secteur Sciences et Technologies

Institut des Sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A.)

M. ROBERT Christian

Institut National Supérieur du Professorat et de l'éducation (INSPé)

Directeur

M. CHAREYRON Pierre

UFR de Sciences

Directeur

M. DEZLUS Olivier

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. MASSENZIO Michel

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

M. GUIDERDONI Bruno

UFR Biosciences

Directrice

Mme GIESELER Kathrin

Département Génie Electrique et des procédés (GEP)

Directrice

Mme CAVASSILA Sophie

Département informatique

Directrice

Mme BOUAKAZ BRONDEL Saida

Département Mécanique

Directeur

M. BUFFAT Marc

REMERCIEMENTS

Pour commencer, je tiens à remercier Monsieur Stéphane GALLEGO pour son investissement dans la réalisation de cette étude.

Mes remerciements vont également à mon maître de stage, Monsieur Paul BERGER pour ses enseignements, sa confiance et son soutien dans la recherche de patients à tester, qui n'a pas été des plus simples.

Merci à toute l'équipe Audition Conseil Gratte-Ciel pour m'avoir accueillie avec bienveillance, aidée et encouragée tout au long de mon stage.

Je suis très reconnaissante envers les patients qui ont pris le temps de se déplacer et de participer à tous les tests de ce mémoire. Leur enthousiasme à apporter leur aide n'a été que des plus agréables.

Merci à Lahna MADENE, ma camarade et binôme de test, pour sa coopération et son appui tout au long de ce projet.

Mes sincères remerciements à Monsieur Fabien SELDRAN pour avoir pris le temps de me guider du début jusqu'à la fin de l'écriture de ce mémoire, toujours avec gentillesse et clarté.

Un grand merci à mes professeurs de la faculté de Lyon pour leurs enseignements durant ces trois années d'étude.

Pour finir, merci à ma famille pour son soutien inconditionnel tout au long de mes études.

RÉSUMÉ

Ce mémoire étudie la méthode in situ pour mesurer les seuils auditifs des patients présentant une surdité asymétrique comme alternative à l'audiométrie conventionnelle. L'objectif est de comparer la fiabilité des seuils auditifs mesurés, le temps de test et le confort de cette méthode par rapport à celle classique avec la conduction aérienne au casque et masquage. Il est supposé que cette méthode in situ permette une mesure rapide des restes auditifs sans recourir au masquage.

Trente-deux patients avec une surdité asymétrique d'au moins 40 dB entre les oreilles ont été inclus. Les seuils ont d'abord été mesurés par conduction aérienne et osseuse à l'aide de la méthode conventionnelle puis en in situ sur l'oreille la plus atteinte, avec et sans bouchage de l'oreille controlatérale, afin de comparer la variabilité des résultats. Le temps de chaque test a été mesuré, et les patients ont évalué chaque méthode via un questionnaire sur le confort, la difficulté et la compréhension des consignes.

L'analyse des résultats ne montre pas de différences significatives entre les deux méthodes de mesure sur l'ensemble des fréquences testées de 250 à 4000 Hz pour les surdités de transmission, mixte et de perception sévère. Cependant à 6000 Hz, les seuils en conduction aérienne masquée sont plus élevés que ceux en in situ. Concernant les surdités de type subcophose/cophose, sur l'ensemble des fréquences les seuils en in situ sont meilleurs que ceux en conduction aérienne masquée suggérant un effet du non-masquage. Enfin, aucune différence significative n'a été trouvée entre les résultats in situ avec ou sans bouchage de l'oreille controlatérale.

En conclusion, la méthode *in situ* se révèle fiable et rapide pour les surdités asymétriques de type mixte et de perception sévère, bien que des différences existent pour les asymétries très importantes. Cette méthode pourrait tout de même permettre aux audioprothésistes de gagner du temps tout en améliorant l'expérience du patient.

MOTS-CLÉS

1. *In situ*
2. Cross-Hearing / Transfert Transcrânien / Atténuation Interaurale
3. Asymétrie
4. Masquage
5. Seuils Auditifs
6. Fiabilité

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
REVUE DE LITTÉRATURE	3
I. Contexte historique de l'audiométrie tonale classique	3
1. Conduction aérienne au casque et conduction osseuse	3
II. Problématique du cross-hearing et du masquage	4
1. Définition et impact du cross-hearing en cas de surdité asymétrique	4
2. Principe et utilité du masquage pour éviter la réponse fantôme	4
3. La méthode de masquage selon Portmann	5
III. Les limites du masquage conventionnel.....	6
1. Inconfort du patient à forte intensité	6
2. Contraintes cliniques et impact sur le diagnostic.....	6
IV. Les alternatives au masquage conventionnel	6
1. Utilisation des inserts : avantages et limites	6
2. Mesure in situ avec les RITE : un nouvel outil de mesure auditive	7
4. Différence entre les inserts et la mesure in situ.....	9
MÉTHODOLOGIE.....	10
I. Description de l'échantillon.....	11
1. Critères d'inclusion	11
2. Critères d'exclusion	11
II. Procédure :	12
1. Matériel utilisé	12
2. Protocole d'étude.....	13
3. Collecte des données	15

RÉSULTATS	17
I. Audiogrammes moyens des seuils auditifs en CA non masquée, CA masquée, in situ sans bouchon et in situ avec bouchon de la pire oreille	17
1. Comparaison des seuils pour les surdités de transmission et mixtes	17
2. Comparaison des seuils pour les surdités de perception sévères	19
3. Comparaison des seuils pour les subcophoses et cophoses	20
II. Audiogrammes moyens des seuils appareillés sur la pire oreille	22
1. Comparaison des seuils pour les surdités de transmission/mixtes	22
2. Comparaison des seuils pour les surdités de perception sévères	23
3. Comparaison des seuils pour les subcophoses	24
III. Mesure de temps des tests	25
IV. Questionnaire	26
1. Scores des tests par échelle d'évaluation	26
2. Test le moins gênant	27
 DISCUSSION.....	28
I. Fiabilité et comparaison des résultats avec la littérature.....	28
II. Avantages pratiques de la mesure in situ.....	29
III. Limites et biais de l'étude.....	30
IV. Implications cliniques et perspectives.....	31
 CONCLUSION	33
 BIBLIOGRAPHIE.....	35
 ANNEXES.....	38
1. Questionnaire- Echelle d'évaluation.....	38
2. Document RGPD, consentement.....	39

INTRODUCTION

L'évaluation des seuils auditifs chez les patients atteints de surdité asymétrique représente un défi majeur en audiology. Lorsqu'on utilise la méthode conventionnelle en conduction aérienne ou osseuse, il est possible d'obtenir des seuils auditifs meilleurs que la réalité sur l'oreille qui entend le moins. En effet, l'oreille non testée, plus performante, peut répondre à la place de l'oreille testée en raison du phénomène de transfert transcrânien, également appelé cross-hearing. Ce phénomène peut fausser les résultats, car les seuils détectés sur l'oreille la plus affectée sont alors en réalité une ombre de ceux de l'oreille controlatérale (British Society of Audiology, 2018).

Pour limiter le transfert transcrânien et obtenir des seuils plus précis, on utilise la méthode de masquage. Elle consiste à envoyer un bruit dans l'oreille qui entend le mieux afin d'éviter qu'elle n'entende le signal provenant de l'oreille controlatérale. Cependant, cette méthode peut présenter des limites en termes de fiabilité et de confort pour les patients. Ils peuvent rencontrer des difficultés à différencier le bruit de masquage du signal envoyé sur l'oreille testée, ce qui peut entraîner une mauvaise interprétation des résultats et ainsi un mauvais appareillage du patient.

C'est pour cette raison, que l'exploration d'alternatives comme la mesure *in situ* est nécessaire.

Elle consiste à réaliser l'audiométrie de l'oreille testée directement, dans le conduit auditif en utilisant l'aide auditive du patient, sans avoir recours au masquage (Vercammen, 2020). Cette approche présente des avantages potentiels qui pourraient améliorer la fiabilité des mesures des seuils auditifs, offrir une expérience plus confortable au patient et réduire le temps de test.

Ce mémoire a pour objectif de démontrer que cette nouvelle méthode *in situ* est tout aussi fiable et avantageuse que la méthode conventionnelle pour les surdités asymétriques, car celle-ci n'a pas besoin d'utilisation de masquage.

La problématique de cette étude est la suivante : la méthode *in situ* permet-elle une mesure fiable, plus rapide et plus confortable des seuils auditifs chez les patients présentant une surdité asymétrique, sans recourir au masquage en comparaison avec la méthode classique ?

Les résultats de cette étude pourraient remettre en question les pratiques diagnostiques actuels des seuils auditifs chez les patients présentant une asymétrie.

L'objectif principal est de comparer les seuils obtenus par la méthode *in situ*, avec et sans bouchage de l'oreille controlatérale, à ceux obtenus par la méthode conventionnelle en conduction aérienne avec masquage, tout en mesurant le temps nécessaire pour chaque test.

L'objectif secondaire est de déterminer quelle méthode est la moins gênante pour les patients, en évaluant la difficulté de compréhension des consignes, le niveau de concentration requis et leur ressenti sur la durée de chaque test.

Enfin, un troisième objectif consiste à mesurer les seuils prothétiques en tenant compte de la mesure *in situ*, afin d'évaluer l'intérêt de l'appareillage sur la pire oreille en cas de surdité asymétrique, dans les conditions réelles d'écoute du patient.

Les hypothèses de cette étude sont les suivantes :

Les résultats obtenus par la méthode in situ seront comparables à ceux obtenus par la méthode de masquage conventionnelle.

Les patients préféreront la méthode in situ en raison de son confort lié à l'absence de masquage, et de sa rapidité.

Pour finir, il est important d'appareiller l'oreille la plus affectée en cas d'asymétrie pour améliorer la perception auditive, en particulier l'intelligibilité du patient grâce à de meilleurs seuils obtenus avec l'aide auditive.

REVUE DE LITTÉRATURE

I. Contexte historique de l'audiométrie tonale classique

L'audiométrie tonale est utilisée comme nous le savons, pour mesurer les seuils auditifs et diagnostiquer les surdités caractérisant la sensibilité de l'oreille à des stimuli auditifs. Elle repose sur deux techniques principales : la conduction aérienne (CA) et la conduction osseuse (CO).

1. Conduction aérienne au casque et conduction osseuse

À partir de casques supra-auriculaires ou d'insert, nous pouvons évaluer la conduction aérienne. Quant à la conduction osseuse, on va la mesurer à l'aide d'un vibrateur osseux placé sur la mastoïde (Mueller & Hall, 1998 ; Gelfand, 2016).

Avec le temps, les méthodes de mesure des seuils auditifs ont évolué afin d'assurer des mesures reproductibles, fiables et adapté aux situations cliniques (British Society of Audiology, 2018). Parmi ces évolutions, on note l'arrivée des écouteurs intra-auriculaires (insert) qui permettent un meilleur contrôle de l'atténuation intéraurale,

réduisant le besoin de masquage et améliorant la précision des seuils auditifs (Mueller & Hall, 1998).

II. Problématique du cross-hearing et du masquage

1. Définition et impact du cross-hearing en cas de surdité asymétrique

Dans les cas de surdité asymétrique, nous sommes confrontés au phénomène du cross-hearing qui désigne la perception du son par l'oreille controlatérale lorsque l'atténuation intéraurale (IA) est insuffisante. Cela peut être particulièrement problématique dans les cas où l'oreille non testée peut percevoir le son destiné à l'oreille testée, on parle alors de réponse fantôme, faussant les seuils auditifs et compliquant l'interprétation des résultats audiométriques (Snyder, 1973).

L'atténuation intéraurale va varier selon le transducteur utilisé : en moyenne 40 dB avec un casque supra-auriculaire, 50 à 55 dB avec des inserts, et 0 dB en conduction osseuse (Perkins & Mitchell, 2022). Ces valeurs peuvent varier légèrement selon les individus et les fréquences testées, ce qui doit être pris en compte dans l'interprétation des seuils (Snyder, 1973).

Afin de minimiser les erreurs liées au cross-hearing, l'utilisation des inserts peut être intéressant, car leur atténuation intéraurale plus élevée va permettre de réduire le besoin de masquage (Perkins & Mitchell, 2022).

2. Principe et utilité du masquage pour éviter la réponse fantôme

L'assourdissement ou masquage auditif est utilisé dès qu'il y a une différence de 40 dB entre les seuils de la CA de l'oreille testée (mauvaise oreille) et les seuils de la CO de l'oreille opposées (meilleur oreille). Ce seuil de 40 dB correspond à la valeur

minimale d'atténuation intéraurale en conduction aérienne avec un casque, au-delà de ce seuil, il y a un risque de réponse fantôme (Coles & Priede, 1970). Cette approche est intégrée aux recommandations audiométriques actuelles, soulignant l'importance d'un contrôle précis des niveaux de masquage pour garantir la fiabilité des mesures audiométriques et éviter toute réponse fantôme lié au phénomène de cross-hearing (Consensus Formalisé d'Experts, 2016).

Cependant, la réalisation du masquage va nous poser certaines limites, en particulier due à la complexité du protocole qui demande des ajustements du niveau de masquage en fonction des fréquences testées et du confort du patient (Coles & Priede, 1970).

3. La méthode de masquage selon Portmann

Cette méthode préconise d'utiliser un bruit blanc ou filtré à la fréquence testée dans l'oreille controlatérale que l'on va augmenter progressivement jusqu'à atteindre le plateau de masquage (niveau de bruit masquant à partir duquel la réponse ne varie plus) permettant d'éviter d'avoir un masquage trop faible (sous masquage) ou à l'inverse, un masquage excessif (sur masquage) interférant avec l'oreille testée. Portmann a défini des formules permettant d'ajuster le niveau de masquage en fonction des Critères d'Efficacité (CE) et des Critères de Non-Retentissement (CNR). Le niveau d'intensité du bruit masquant se situe entre ses deux valeurs.

En conduction aérienne, le critère d'efficacité (valeur d'assourdissement minimale), est égal à l'intensité testée + delta (15 ou 20 dB) + le rinne de l'oreille à assourdir (différence entre la CA et la CO) – 60 dB, à l'inverse, le critère de non-retentissement (valeur maximale de masquage) correspond à l'intensité de la CO vérifiée + 60 dB.

En conduction osseuse, le CE est égal à l'intensité testée + delta + rinne de l'oreille à assourdir et le CNR à l'intensité testé + 60 dB (Portmann.M & Portmann.C., 1961).

III. Les limites du masquage conventionnel

1. Inconfort du patient à forte intensité

Le niveau de masquage étant proche des seuils d'inconfort de l'oreille non testée en particulier en conduction osseuse, peut générer une gêne auditive pour le patient (Jerger, 1971). Distrait par le bruit, il répond de manière incohérente due au manque de concentration, entraînant un risque d'erreur significatif (Rainville, 1962).

2. Contraintes cliniques et impact sur le diagnostic

L'assourdissement prolonge la durée de test et complique l'analyse des résultats (Sanders & Rintelmann, 1964). De plus, des études ont montré que des variations interindividuelles dans la tolérance au bruit masquant influencent la mesure des seuils. Les différences anatomiques dans le conduit auditif (taille, morphologie) vont compliquer davantage la fiabilité des mesures, car la transmission du bruit masquant est modifiée et est perçue différemment (Yacullo, 1999).

IV. Les alternatives au masquage conventionnel

1. Utilisation des inserts : avantages et limites

Les écouteurs intra-auriculaires (inserts) sont couramment utilisés en audiométrie conventionnelle comme alternative aux casques supra-auriculaires, notamment parce qu'ils permettent d'augmenter l'atténuation interaurale (Mueller & Hall, 1998).

En effet, on a une atténuation interaurale plus élevée, pouvant aller jusqu'à 60 dB, contre environ 40 dB avec les casques TDH-39, ce qui réduit le risque de cross-hearing dans les cas de surdité unilatérale ou asymétrique.

En plus de cette amélioration technique, les inserts offrent un meilleur confort pour les patients et sont plus adaptés aux conduits auditifs étroits, ce qui les rend particulièrement utiles chez l'enfant ou chez les adultes présentant des conduits atypiques (Mueller & Hall, 1998).

Dans certaines situations, cette atténuation permet de réduire, voire d'éviter le masquage, ce qui est un atout en cas de difficulté à obtenir des seuils fiables avec masquage (Mueller & Hall, 1998).

Cependant, la mesure avec inserts repose sur une calibration basée sur des valeurs moyennes de Real Ear to Dial Difference (REDD), ce qui n'intègre pas les caractéristiques individuelles du conduit auditif (Durisala, 2015).

Cela peut engendrer des erreurs dans la conversion entre les seuils en dB HL et les niveaux réels de pression acoustique (SPL) dans l'oreille, notamment en cas de variabilité du volume du conduit, du type de dôme ou de la profondeur d'insertion (Durisala, 2015).

2. Mesure in situ avec les RITE : un nouvel outil de mesure auditive

Depuis une dizaine d'années, la mesure in situ avec les aides auditives RITE (Receiver In The Ear) est étudiée comme une alternative au masquage conventionnel. Elle permet d'évaluer directement les seuils auditifs à travers les écouteurs des aides auditives insérés dans le conduit auditif du patient. Elle permet ainsi une évaluation

plus individualisée, car elle prend en compte les propriétés acoustiques spécifiques du conduit auditif de chaque patient, telles que la résonance naturelle, le volume résiduel, la profondeur d'insertion et le type de couplage acoustique utilisé (Durisala, 2015 ; Phonak, 2011).

En pratique, l'utilisation d'un dôme fermé ou d'un embout moulé est recommandée pour la mesure *in situ*, car elle limite les fuites acoustiques et améliore la précision des seuils, en particulier dans les basses fréquences.

À l'inverse, un dôme ouvert peut entraîner une surestimation de la perte auditive dans les graves, car une partie du son s'échappe, réduisant ainsi la pression acoustique réelle perçue par le patient (O'Brien et al., 2010 ; Van Eeckhoutte et al., 2024). Le choix du couplage acoustique est donc un facteur déterminant pour garantir la fiabilité des résultats.

Plusieurs études ont montré que les seuils obtenus avec la mesure *in situ* sont, dans l'ensemble, proches de ceux mesurés avec l'audiométrie conventionnelle. En général, les écarts sont faibles, de l'ordre de 3 à 5 dB selon les fréquences, et restent le plus souvent dans une marge de +/- 10 dB, ce qui est considéré comme acceptable en pratique clinique (Durisala, 2015 ; O'Brien et al., 2010). L'étude de Boven et al. (2023) rapporte une différence moyenne de 3,8 +/- 7,2 dB à droite et 2,8 +/- 7,9 dB à gauche, ce qui reste dans les marges d'erreur. Toutefois, certaines variations peuvent apparaître selon les fréquences testées ou le type d'aide auditive utilisé. Par exemple, Kiessling et al. (2015) ont observé que la méthode *in situ* pouvait surestimer la perte auditive dans les basses fréquences (comme à 500 Hz et 1500 Hz), et au contraire la sous-estimer dans les hautes fréquences (à 4000 Hz), en fonction du couplage acoustique et des particularités du conduit auditif. Ces variations peuvent aussi

apparaître en raison de la calibration des appareils auditifs utilisés et de la cavité résiduelle, nécessitant une correction des seuils *in situ* pour aligner les résultats avec ceux obtenus en conduction aérienne (DiGiovanni & Pratt, 2010).

L'un des enjeux de la mesure *in situ* est de déterminer s'il est nécessaire de boucher l'oreille controlatérale pour éviter un transfert entre les deux oreilles. Des études ont conseillé cette approche pour améliorer la précision des seuils mesurés (Smith-Olinde et al., 2006) mais contrairement à l'audiométrie classique, la mesure *in situ* réduit le risque de transfert transcrânien, car le récepteur, placé profondément dans le conduit auditif, limite les vibrations osseuses ou cartilagineuses pouvant atteindre l'oreille controlatérale (Phonak, 2011).

D'autre part, la calibration en dB SPL réel, spécifique à chaque conduit auditif, permet d'éviter une surstimulation sonore susceptible d'entraîner un transfert transcrânien (Durisala, 2015).

La mesure *in situ* offre plusieurs avantages : tout d'abord, on gagne en termes de rapidité du test par rapport à une audiométrie avec masquage (Phonak, 2011).

On a un meilleur confort pour le patient, car celui-ci n'est pas soumis à un bruit masquant intense (Keidser et al., 2011) et il y a moins de risque d'erreur liée au masquage, rendant les seuils plus fiables et reproductibles (Boven et al., 2023).

4. Différence entre les inserts et la mesure *in situ*

Les inserts offrent une bonne atténuation interaurale et un meilleur confort que les casques, mais restent calibrés sur des moyennes statistiques (REDD), sans prendre en compte les particularités du conduit auditif et nécessite l'utilisation d'un audiomètre. À l'inverse, la mesure *in situ* permet une évaluation plus individualisée

en tenant compte de la cavité résiduel, du type de dôme et de la profondeur d'insertion. Chez les enfants, la mesure in situ contrairement à la méthode classique offre une meilleure acceptation du test (Withnell et al., 2009) facilitant le dépistage et l'adaptation prothétique, car elle ne nécessite pas de casque ni d'un audiomètre (DiGiovanni & Pratt, 2010).

En résumé, la référence pour évaluer les seuils auditifs est l'audiométrie tonale liminaire, mais elle présente des limites en cas de surdité asymétrique, à cause du cross-hearing. La méthode de masquage conventionnel va permettre d'atténuer ce phénomène, mais son application à forte intensité nous pose une limite importante à prendre en compte.

Cette limite nous pousse à étudier d'autres alternatives comme la mesure in situ qui pourrait solutionner ce problème. Elle réduit le besoin de masquage dans la plupart des cas, améliore le confort du patient et permet d'obtenir des seuils fiables et reproductibles.

MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de ce mémoire, avec ma camarade Lahna Madene, nous avons choisi d'utiliser un protocole commun pour une étude expérimentale afin d'avoir un nombre suffisant de patients à tester. Chacune de nous a une problématique distincte pour notre mémoire.

Lahna se concentre sur l'utilisation des seuils d'inconfort comme alternative au masquage dans l'évaluation audiométrique des surdités asymétriques.

Pour ma part, je me suis dirigée vers la mesure in situ comme étant une méthode innovante pour mesurer les seuils des patients ayant une surdité asymétrique sans avoir recours au masquage.

Cette étude vise à comparer deux méthodes de mesure audiométrique : la méthode in situ et la méthode conventionnelle, à savoir l'audiométrie au casque avec masquage en conduction aérienne. Cette approche expérimentale permet d'évaluer la précision et la fiabilité des seuils obtenus, le temps requis pour effectuer chaque test, tout en recueillant l'avis des patients sur le confort du test, la clarté des consignes et la facilité à réaliser celui-ci via le questionnaire échelle d'évaluation en annexe. En plus de cela, nous mesurons les seuils prothétiques de l'oreille qui entend le moins afin de montrer l'importance d'appareiller la moins bonne oreille.

I. Description de l'échantillon

Une population de 32 malentendants composée de 22 femmes et 10 hommes présentant une surdité asymétrique, a été testée. La moyenne d'âge est de 64 ans avec un écart-type de 15 ans.

1. Critères d'inclusion

Toute personne présentant une surdité asymétrique ou une surdité unilatérale avec un écart minimum de 40 dB entre les deux oreilles, avec ou sans atteinte transmissionnelle ont été incluses.

Les patients étant appareillés depuis plusieurs années ou en période d'essai étaient éligibles pour participer aux tests.

2. Critères d'exclusion

Nous avons exclu de cette étude toute personne ayant :

- Une surdité asymétrique ou unilatérale inférieure à 40 dB

- Des pathologies ORL de l'oreille moyenne telles que des bouchons de cérumen ou des otites non traités.

II. Procédure :

Avant le début des tests, chaque patient reçoit un document de consentement en deux exemplaires, un pour lui et un pour le laboratoire (document RGPD en annexe), qu'il signe afin de garantir le respect des normes éthiques. Il est également précisé que toutes les données recueillies seront traitées de manière strictement anonyme, garantissant ainsi leur confidentialité.

L'objectif des tests lui est ensuite clairement expliqué, c'est-à-dire de vérifier si la mesure *in situ* constitue une méthode fiable pour évaluer les seuils auditifs chez des patients présentant une surdité asymétrique importante sans utiliser la méthode de masquage.

Entre chaque test, les patients sont invités à répondre à quatre questions, notées sur une échelle de 0 à 10 (questionnaire échelle d'évaluation en annexe). Ces questions visent à recueillir des données sur la difficulté du test, la clarté des consignes, la concentration mobilisée, et la perception de la durée du test.

1. Matériel utilisé

Plusieurs équipements ont été utilisés pour garantir la précision des mesures de cette étude dans des conditions contrôlées.

- Cabine audiométrique insonorisée

Utilisée dans un centre d'audioprothèse.

- Audiomètre Otometrics calibré

Pour effectuer l'évaluation des seuils auditifs.

- Casque TDH-39

Pour l'audiométrie en conduction aérienne et le masquage de l'oreille controlatérale.

- Vibrateur à conduction osseuse

Servant à mesurer les seuils en conduction osseuse, nécessaires pour appliquer les formules de masquage et vérifier s'il existe un écart entre la conduction aérienne et osseuse. Cela permet de savoir s'il faut masquer et différencier les types de surdités, tels que les surdités de transmission, mixtes ou de perception.

- Aides auditives du patient

Possédant la fonctionnalité in situ (Phonak, Bernafon et Philips)

- Écouteurs

Puissance M pour les appareils Phonak et écouteurs 85 pour Bernafon et Philips.

- Dômes

Doubles dômes ou dômes puissants pour la mesure in situ.

- Bouchons d'oreille en mousse anti-bruit

Ils permettent de masquer l'oreille controlatérale lors des tests en in situ.

- Logiciels de programmation

Pour paramétrier les aides auditives selon les conditions spécifiques nécessaires aux tests (écouteurs taille M ou écouteurs 85 avec double dôme) et réaliser les mesures in situ.

- Haut-parleurs calibrés

Deux haut-parleurs ont été utilisés pour les tests en champ libre (mesure des seuils prothétiques en tonale). Les patients étaient situés entre les deux haut-parleurs.

2. Protocole d'étude

À noter que certaines étapes du protocole incluent la mesure des seuils d'inconfort et du point de mixage. Ces données ont été recueillies pour l'étude de ma camarade Lahna Madene et ne sont pas utilisées dans la nôtre.

Le protocole se déroule sur un seul rendez-vous, pour chaque test les consignes seront données en amont, la durée sera mesurée et il y aura un seul passage.

Avant de commencer les tests, nous réalisons une otoscopie pour vérifier que le tympan est normal et que le conduit auditif est dégagé. La mesure des seuils se fera avec des sons pulsés.

Test 1 : audiométrie conventionnelle

- Mesure en conduction aérienne sans masquage sur la bonne oreille et la mauvaise oreille.
- Mesure en conduction osseuse toujours sans masquage sur les deux oreilles.
- Mesure en conduction aérienne et osseuse de la mauvaise oreille uniquement avec masquage de l'oreille controlatérale (bonne oreille). Cette étape permet d'obtenir les seuils réels de la mauvaise oreille pour éviter une réponse fantôme.
- Mesure du point de mixage afin de connaître le seuil à partir duquel le patient entend le signal sur la mauvaise oreille (oreille testée). Après ces étapes, les patients répondent aux quatre questions d'évaluation.

À partir de cette étape (test 2), les tests pourront être effectués dans un ordre aléatoire.

Test 2 : mesure in situ

On connecte l'aide auditive du patient au logiciel du fabricant afin de pouvoir effectuer la mesure in situ sur la mauvaise oreille. Dans le cas où le patient a un appareil CROS ne possédant pas la fonction mesure in situ, nous utiliserons son autre aide auditive.

Nous paramétrons l'appareil avec un écouteur de puissance M ou 85 et un double dôme (ou dôme puissant) dont la taille est adaptée à la morphologie du conduit auditif afin d'assurer une bonne étanchéité.

La mesure du gain critique est alors réalisée permettant de vérifier que l'aide auditive peut délivrer les sons nécessaires sans générer de larsen, assurant une mesure in situ stable et fiable.

Les mesures des seuils en in situ sont réalisées deux fois :

- Sans bouchage de l'oreille controlatérale
- Avec bouchage de l'oreille controlatérale

Dans le cas où l'appareil le permettrait, on mesure les seuils subjectifs d'inconfort (SSI ou UCL) et le point de mixage toujours en in situ.

Les patients répondent aux quatre questions d'évaluation pour les deux conditions.

Test 3 : mesure des UCL

- Mesure des SSI au casque sur les deux oreilles. À l'issue de ce test, les patients répondent à nouveau aux quatre questions d'évaluation.

Enfin, ils répondent à une question supplémentaire : « Parmi tous les tests que vous avez passés, lequel vous a semblé le plus acceptable ou le moins gênant ? ».

Une fois les quatre tests principaux terminés, on effectue en champ libre sur la mauvaise oreille une mesure des seuils prothétique sans appareil, puis avec appareil.

Cette étape vise à démontrer l'apport de l'appareillage de la pire oreille.

3. Collecte des données

La collecte et l'organisation des données ont été réalisées à l'aide d'un fichier Excel composé de plusieurs feuilles de calcul, chacune est dédiée à un aspect spécifique des résultats de l'étude.

Pour toutes les fréquences qui n'ont pas eu de réponse de la part des patients au maximum du transducteur, on a noté comme seuil le MAX du transducteur +5 dB.

Les patients sont identifiés par un numéro anonyme et classés en fonction de leur type de surdité (surdité de transmission/mixte, surdité de perception sévère, subcophose ou cophose). Nous avons également noté l'âge, le sexe et la mauvaise oreille des patients.

Les données audiométriques, les réponses aux questionnaires et les mesures de temps ont été saisies directement dans le fichier Excel après chaque test, afin d'éviter tout risque de perte ou d'erreur.

Afin d'évaluer les différences entre les seuils obtenus par les différentes méthodes, nous avons utilisé sur JASP le test des rangs signés de Wilcoxon, quand les données ne respectaient pas la normalité. C'est un test non-paramétrique (données ne suivant pas forcément une distribution normale) adapté aux échantillons appariés modestes (32 sujets). Si les données suivent une loi normale, alors on utilise le test de Student, test paramétrique.

RÉSULTATS

- I. Audiogrammes moyens des seuils auditifs en CA non masquée, CA masquée, in situ sans bouchon et in situ avec bouchon de la pire oreille
 1. Comparaison des seuils pour les surdités de transmission et mixtes

La figure 1, représente les seuils obtenus en conduction aérienne masquée, en in situ sans bouchon et avec bouchon dans l'oreille controlatérale, ainsi qu'en conduction aérienne non masquée.

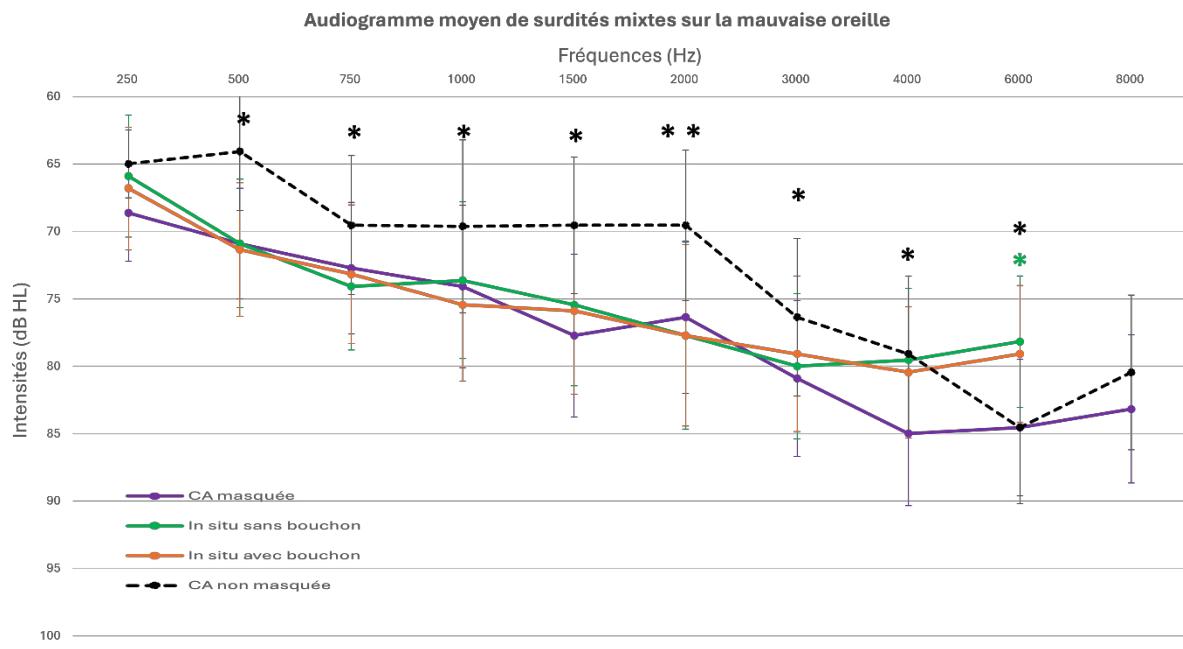


Figure 1 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils en in situ sans bouchon dans l'oreille controlatérale, in situ avec bouchon et CA non masquée puis masquée de la pire oreille chez 11 patients ayant une surdité mixte ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Les patients ayant une surdité asymétrique de type transmission/mixte, n'ont pas de différence significative sur les fréquences de 250 à 4000 Hz entre les seuils en conduction aérienne masquée et ceux obtenus en *in situ*, avec et sans bouchon. L'ensemble des p-values est supérieur à 0,05 d'après le test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

En revanche, sur la fréquence 6000 Hz, les seuils en CA masquée sont significativement plus élevés que les seuils en *in situ* sans bouchon ($p < 0,05$).

Lorsqu'on compare les seuils obtenus en *in situ* sans bouchon et avec bouchon, il n'y a pas de différence significative sur l'ensemble des fréquences testées ($p > 0,05$).

Enfin, les seuils en conduction aérienne non masquée sont significativement meilleur que ceux obtenus en CA masquée avec $p < 0,05$ sur les fréquences de 500 à 4000 Hz et en *in situ* sans bouchon sur les fréquences de 500, 750 et 6000 Hz ($p < 0,05$).

Les seuils en *in situ* avec bouchon, ont une tendance de significativité (p proche de 0,05) sur les fréquences de 500, 2000 et 6000 Hz.

2. Comparaison des seuils pour les surdités de perception sévères

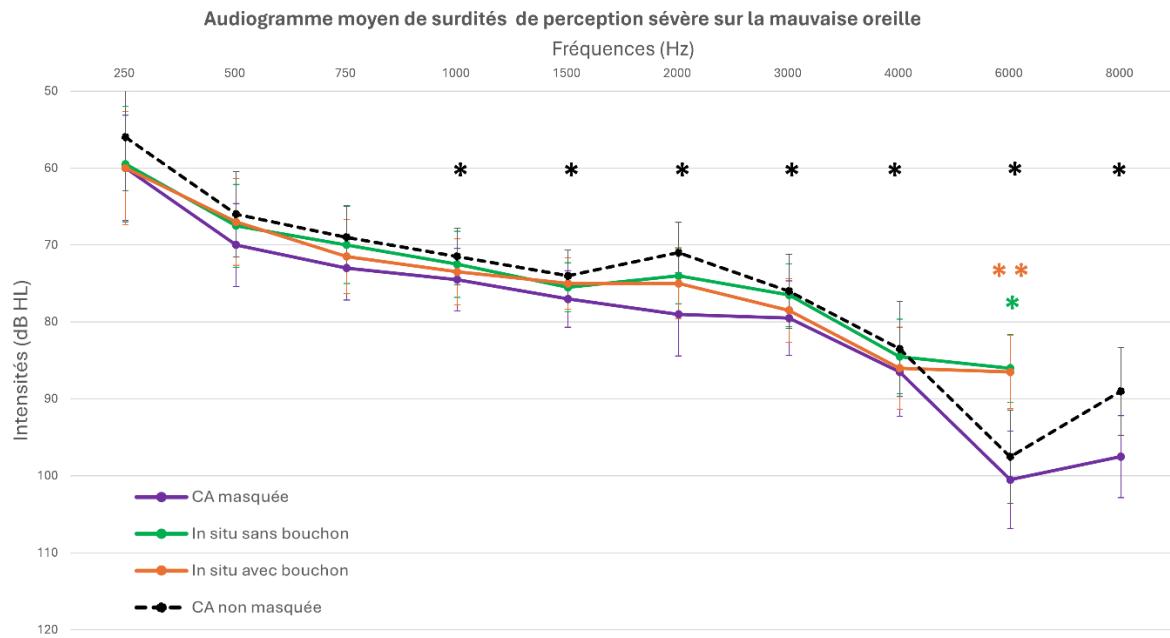


Figure 2 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils en in situ sans bouchon dans l'oreille controlatérale, in situ avec bouchon et CA non masquée puis masquée de la pire oreille chez 10 patients ayant une surdité de perception sévère ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Dans la figure 2, d'après le test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon, pour les patients ayant une surdité de perception sévère, les seuils en CA masquée comparés à ceux obtenus en in situ sans bouchon puis en in situ avec bouchon ne présentent pas de différence significative sur les fréquences de 250 à 4000 Hz ($p>0,05$).

Toutefois, pour les hautes fréquences comme le 6000 Hz, la comparaison des seuils entre la CA masquée et l'in situ sans bouchon donne une p -value inférieur à 0,05 et pour la comparaison entre CA masquée et in situ avec bouchon, on obtient $p<0,01$. Il y a donc une différence significative entre les seuils en CA masquée, qui sont plus élevés que ceux en in situ.

Quant aux seuils en *in situ*, les seuils avec bouchons sont plutôt supérieurs à ceux sans bouchon, mais la différence n'est pas significative ($p>0,05$).

De plus, les seuils en conduction aérienne non masquée sont significativement meilleurs que ceux obtenus avec masquage sur les fréquences de 1000 à 4000 et 8000 Hz.

Aucune différence significative sur les fréquences de 250 à 4000 Hz n'a été trouvée entre les seuils CA non masquée et *in situ* avec et sans bouchon sauf sur le 6000 Hz avec $p<0,05$.

3. Comparaison des seuils pour les subcophoses et cophoses

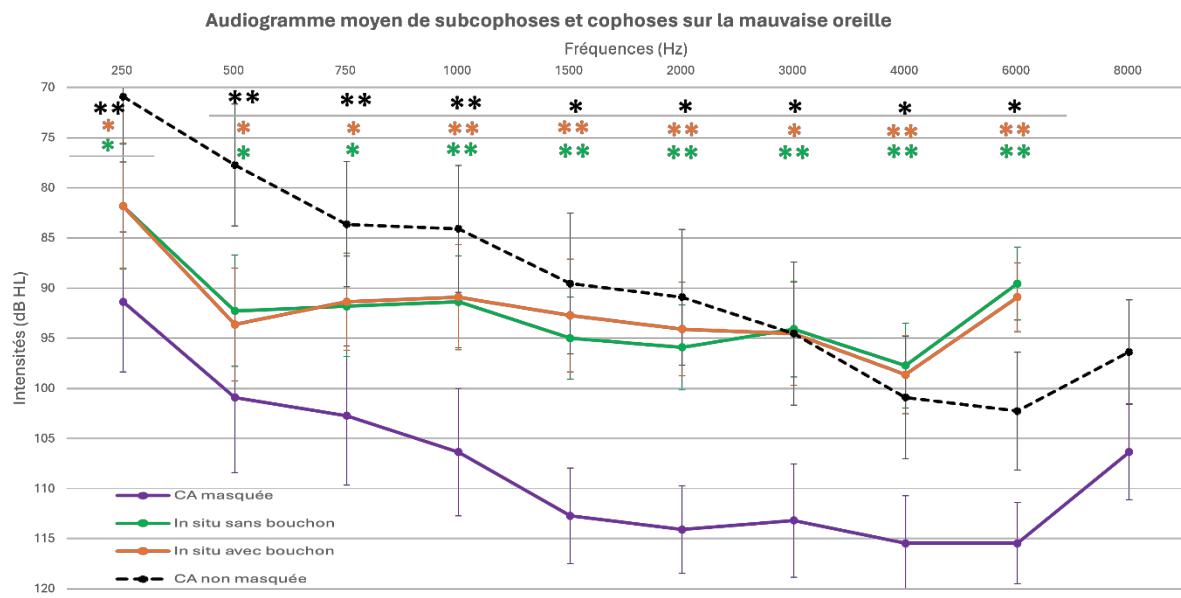


Figure 3 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils en *in situ* sans bouchon dans l'oreille controlatérale, *in situ* avec bouchon et CA non masquée puis masquée de la pire oreille chez 7 patients ayant une subcophose et 4 patients une cophose ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Dans la figure 3, on a une différence significative avec des seuils en CA masquée bien moins bon que ceux en in situ sans bouchon. L'ensemble des p-values est inférieur à 0,05 sur les fréquences de 250 à 750 et $p<0,01$ pour les fréquences de 1000 à 6000 Hz.

Aucune différence significative n'a été trouvée entre les seuils auditifs en in situ sans bouchon et avec bouchon ($p>0,05$) bien que les seuils sans bouchons soient légèrement plus élevés sur les fréquences de 750 à 2000 Hz.

Quant à la comparaison entre CA masquée et in situ avec bouchon, les seuils en CA masquée sont significativement moins bon que ceux en in situ avec bouchon. Sur les fréquences de 250 à 750 et 3000 Hz $p<0,05$ puis $p<0,01$ pour 1000 à 6000 Hz.

Par ailleurs, les seuils en conduction aérienne masquée sont significativement plus haut que ceux en conduction aérienne non masquée avec $p<0,01$ de 250 à 1000 Hz et $p<0,05$ sur les fréquences de 1500 à 6000 Hz.

Les seuils en CA non masquée sont également significativement meilleurs que les seuils en in situ sans et avec bouchon sur les fréquences de 250 à 750 et 6000 Hz ($p<0,05$). De 1000 à 4000 Hz il n'y a pas de différence significative ($p>0,05$).

II. Audiogrammes moyens des seuils appareillés sur la pire oreille

1. Comparaison des seuils pour les surdités de transmission/mixtes

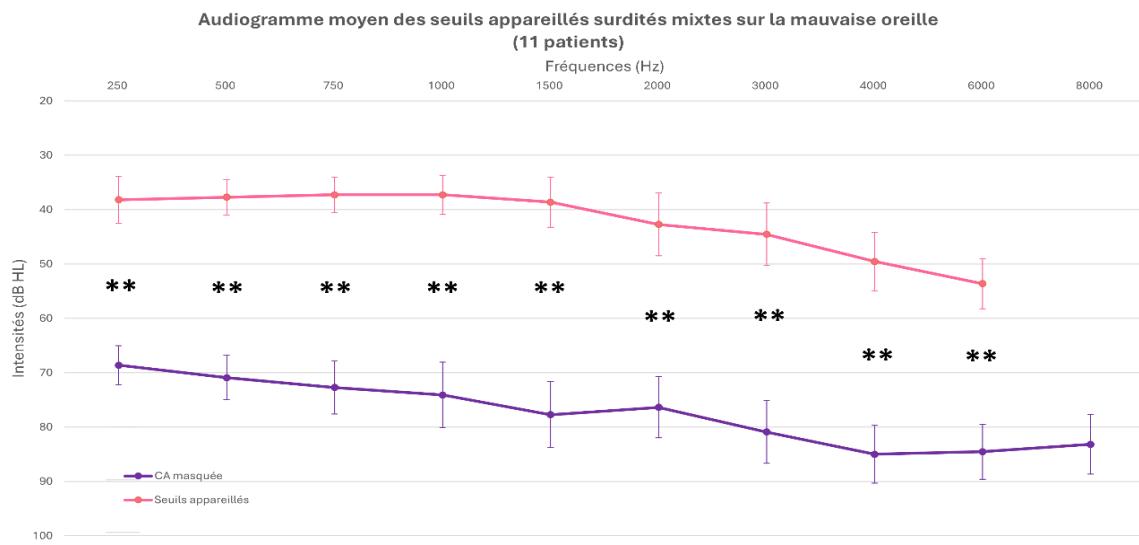


Figure 4 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils appareillés et CA masquée de la pire oreille chez 11 patients ayant une surdité de transmission/mixtes ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Dans la figure 4, les seuils prothétiques des surdités mixtes et de transmission, sont significativement meilleurs aux seuils de conduction aérienne masquée ($p<0.01$) sur toutes les fréquences.

2. Comparaison des seuils pour les surdités de perception sévères

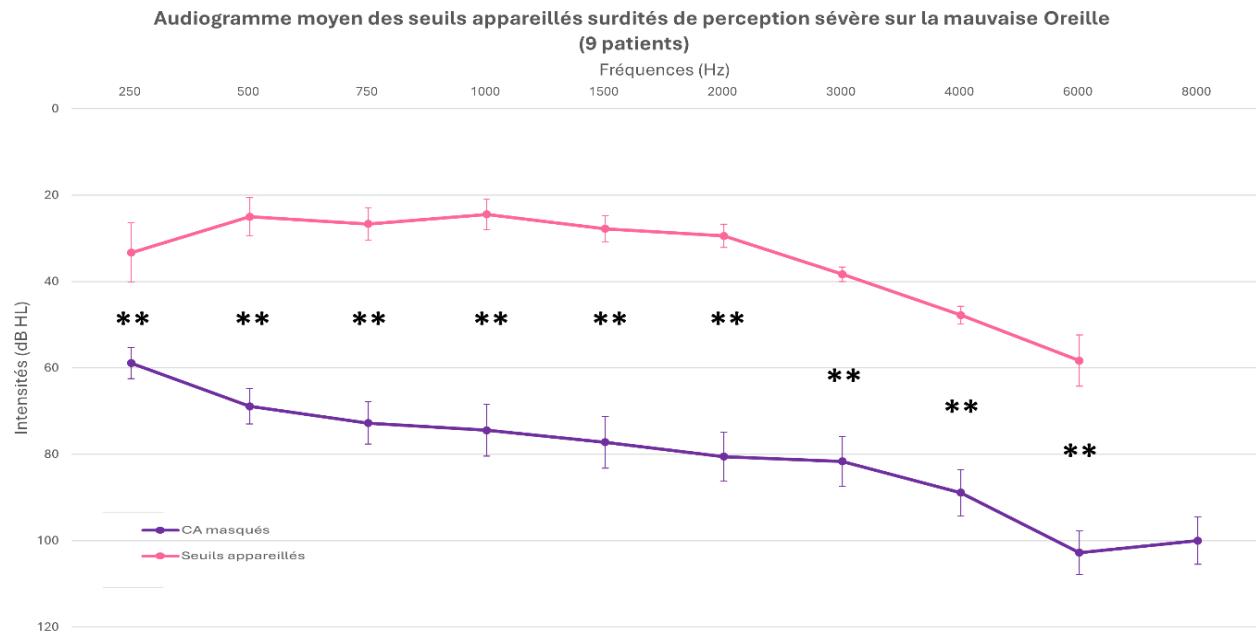


Figure 5 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils appareillés et CA masquée de la pire oreille chez 9 patients ayant une surdité de perception sévère ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Dans la figure 5, les seuils prothétiques des surdités de perception sévères sont significativement plus faibles que ceux en conduction aérienne masquée ($p < 0,01$).

3. Comparaison des seuils pour les subcophoses

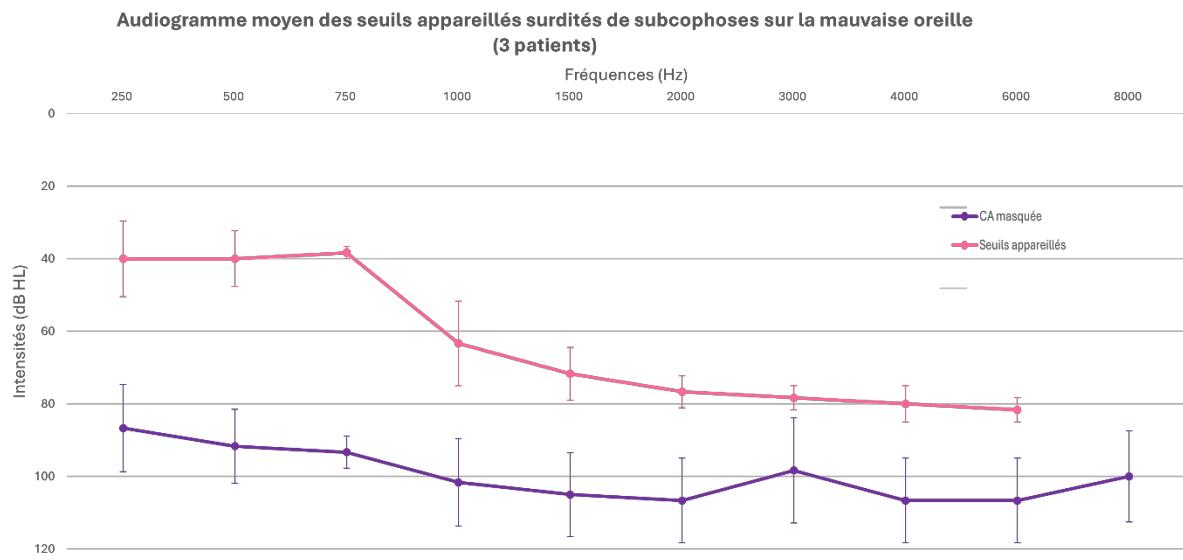


Figure 6 : Audiogramme moyen et erreurs standards des seuils appareillés et CA masquée de la pire oreille chez 3 patients ayant une subcophose ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Dans la figure 6, en raison d'un nombre insuffisant de participants testés (seulement 3 personnes ayant une subcophose étaient appareillées), les seuils prothétiques des subcophoses ne sont pas significativement différents des seuils en conduktion aérienne masquée.

III. Mesure de temps des tests

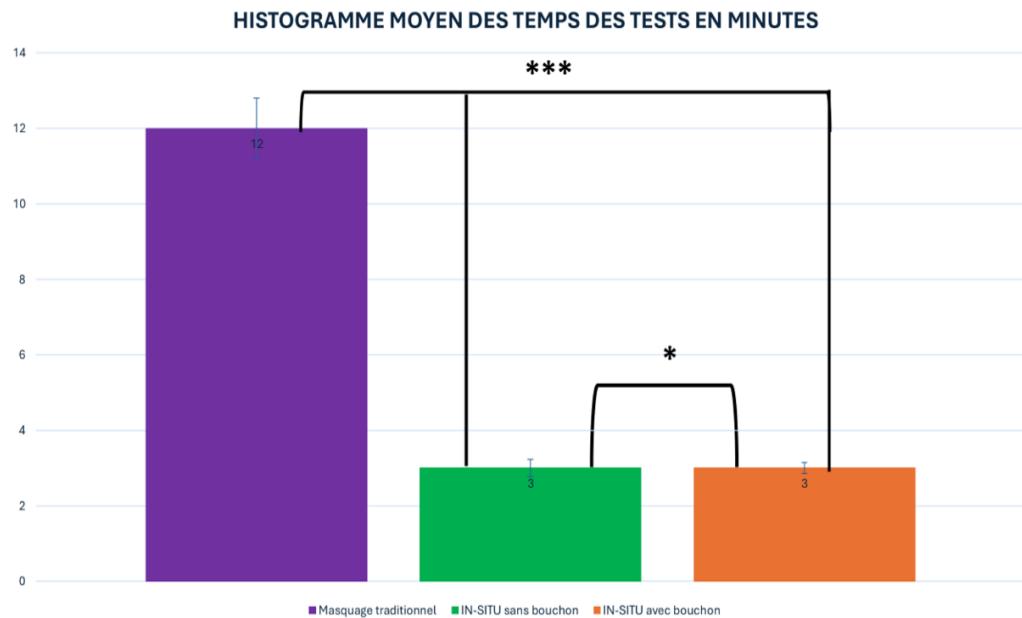


Figure 7 : Histogramme des temps mesurés pour chaque test avec les erreurs standards des 32 patients testés ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

Ce graphique met en évidence le temps moyen nécessaire pour effectuer les tests de chaque méthode.

Le temps moyen de la mesure des seuils en conduction aérienne masquée est significativement plus long que celui en in situ sans bouchon ($p<0,001$) d'après le test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon. La comparaison entre in situ avec et sans bouchon donne $p<0,05$ indiquant une légère différence significative. Le test en in situ sans bouchon est un peu plus rapide qu'avec bouchon.

Enfin, le test en in situ avec bouchon dans la meilleure oreille est significativement plus rapide que la méthode conventionnelle en conduction aérienne masquée ($p<0,001$).

IV. Questionnaire

1. Scores des tests par échelle d'évaluation

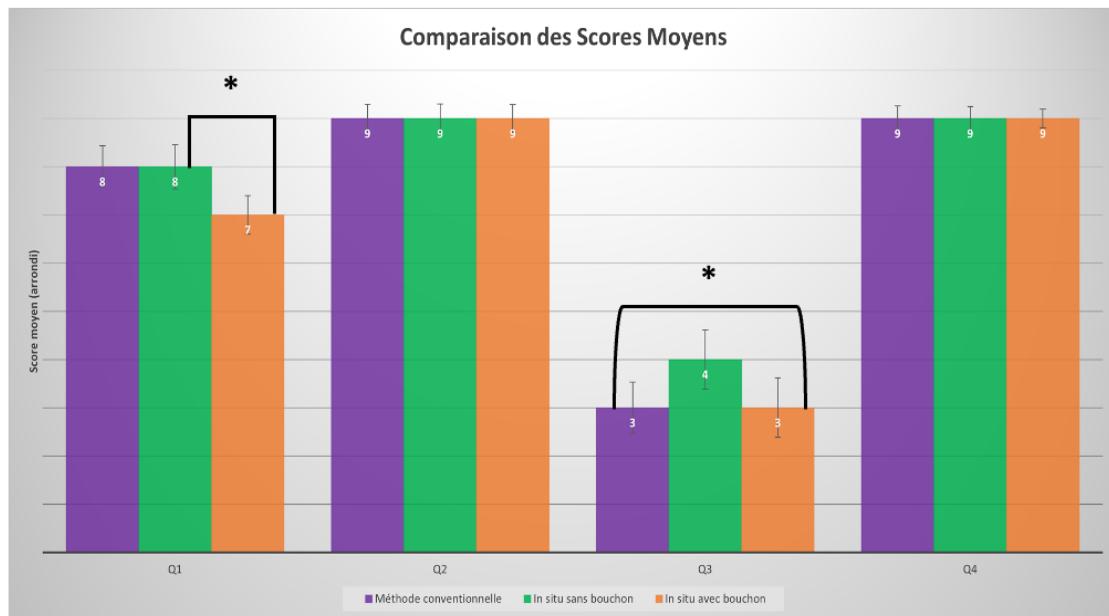


Figure 8 : Histogramme moyen et erreurs standards des réponses au questionnaire des 32 patients. Les éléments évalués sont : Q1 difficulté du test ; Q2 clarté des consignes ; Q3 niveau de concentration ; Q4 durée du test (plus le score est élevé, plus l'appréciation du test est bonne) ; test bilatéral des rangs signés de Wilcoxon.

On veut montrer grâce à la notation des patients la différence entre chaque méthode de test en prenant en compte leur niveau difficulté, le niveau de concentration requis, la clarté des consignes et la durée des tests.

Dans la figure 8, il y a une différence significative pour la question 1, la méthode in situ avec bouchon est considéré comme plus difficile que sans bouchon ($p<0,05$).

Pour la question 3, on a un $p< 0,05$, ce qui indique une différence significative entre la méthode de conduction aérienne masquée qui demande plus de concentration que la mesure in situ sans et avec bouchon.

2. Test le moins gênant

TEST AUDIOMÉTRIQUE JUGÉ LE MOINS GÊNANT

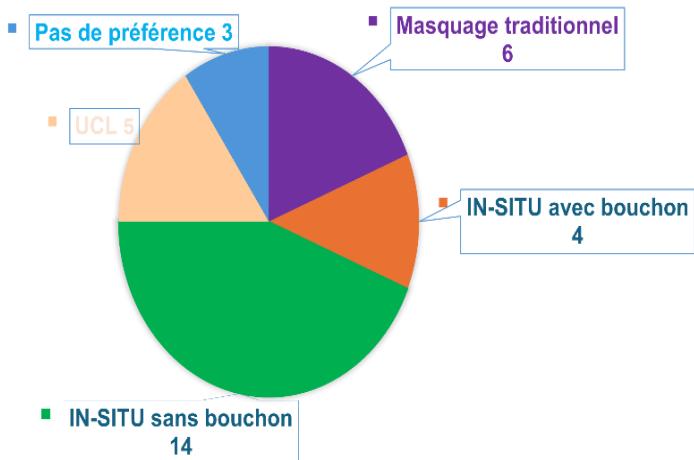


Figure 9 : Camembert représentant la répartition des tests audiométriques jugés les moins gênants par les 32 patients (le nombre de patients ayant choisi chaque test est indiqué).

A la fin du questionnaire, une dernière question a été posée aux patients afin de déterminer parmi l'ensemble des tests réalisés, celui qui leur semblait le plus acceptable, le moins gênant.

Concernant la question finale, 14 patients ont préféré la mesure in situ sans bouchon, contre 4 patients pour la mesure in situ avec bouchon. La mesure avec masquage au casque a été choisie par 6 patients, tandis que 5 patients ont préféré le test des UCL.

Enfin, 3 patients n'ont exprimé aucune préférence.

DISCUSSION

I. Fiabilité et comparaison des résultats avec la littérature

Nos résultats statistiques montrent que la méthode *in situ* est fiable, avec des seuils équivalents à ceux obtenus en conduction aérienne masquée pour les fréquences de 250 à 4000 Hz, pour les différents types de surdité testés sauf les cophoses et sub-cophoses, confirmant ainsi la fiabilité de cette approche (Kiessling et al., 2015). Cependant, il existe pour les hautes fréquences comme le 6000 Hz, des écarts entre les seuils de la conduction aérienne masquée qui sont légèrement plus élevés que ceux en *in situ* pour les surdités de transmission et de perception sévère. Cette différence est confirmée dans la littérature par Katz (1978), qui explique que la mesure *in situ* peut présenter des écarts sur les hautes fréquences en raison des propriétés acoustiques du conduit auditif, entre autres sa longueur et sa forme anatomique. Ce phénomène peut aussi être lié aux limitations techniques des aides auditives utilisées pour la mesure *in situ*, qui peuvent ne pas restituer fidèlement les sons de haute fréquence (Durisala, 2015).

Nos résultats montrent que sur les fréquences de 500 à 4000 Hz, les seuils en conduction aérienne non masquée sont bien meilleurs que ceux en conduction aérienne masquée et *in situ* pour les patients atteints de surdité asymétrique de type transmission/mixte confirmant l'effet du transfert transcrânien. Par ailleurs, ces résultats, sont en accord avec les travaux de Sanders et Rintelmann (1964) qui explique qu'en conduction aérienne lorsqu'un son atteint une certaine intensité, il peut être perçus par l'oreille qui entend le mieux par conduction osseuse, ce qui peut fausser la mesure des seuils lorsqu'on ne masque pas.

Comme on a pu l'observer, le bouchage de l'oreille controlatérale n'a pas modifié significativement les seuils mesurés en *in situ*, confirmant que l'effet d'occlusion de la meilleure oreille n'a pas d'impact majeur sur la précision de la mesure, sauf en présence d'une forte fuite acoustique (O'Brien et al., 2010).

Chez les patients présentant une surdité de perception sévères, nous avons observé que les seuils en CA non masquée restent significativement meilleurs que ceux en CA masquée et *in situ* sur les fréquences de 1000 à 4000 Hz bien que l'écart soit moins marqué que pour les surdités de transmission/mixtes. Pour les patients atteints de surdités de type subcophose et cophose, sur l'ensemble des fréquences nous avons trouvé des différences significatives des seuils entre les deux méthodes. Les seuils en conduction aérienne masquée sont systématiquement plus élevés que ceux en *in situ*. Ce phénomène peut s'expliquer par une atténuation transcrânienne variable (Yacullo, 1999). En effet, l'atténuation transcrânienne peut changer en fonction de l'épaisseur et de la densité osseuse du crâne, rendant le transfert transcrânien plus ou moins présent selon les patients (Snyder, 1973).

Notre étude a également mis en évidence une amélioration significative des seuils de la pire oreille lorsqu'elle est appareillée. La différence entre les seuils obtenus en conduction aérienne masquée au casque avec ceux mesurés avec l'aide auditive allumée en champ libre souligne l'efficacité de l'appareillage de la pire oreille dans le cas de surdité asymétrique.

II. Avantages pratiques de la mesure *in situ*

À travers notre étude, nous avons mis en évidence un gain de temps pertinent avec la mesure *in situ* comparée à la conduction aérienne masquée, validé par d'autres études qui montrent qu'elle permet une adaptation prothétique plus rapide (Block, 2008) et

réduit la fatigue ainsi que le niveau de concentration (British Society of Audiology, 2018). La rapidité de la mesure in situ est un élément clé chez les patients rencontrant des difficultés de concentration comme les personnes âgées ou pédiatriques, ou la durée du test est un facteur limitant (Keidser et al., 2011).

De plus, d'après le questionnaire réalisé auprès des 32 patients testés, 14 (en in situ sans bouchon) et 4 (en in situ avec bouchon) ont exprimé une préférence importante pour la mesure in situ en raison de son confort et de l'absence de bruit de masquage (Durisala, 2015), réduisant la fatigue auditive comme l'ont également souligné Gelfand (2016) et Keidser et al., (2011).

III. Limites et biais de l'étude

L'une des principales limitations de notre étude est que pour effectuer la mesure in situ, il est nécessaire d'avoir un appareil auditif. Cette contrainte limite l'utilisation de cette technique pour les premiers diagnostics ou les bilans pré-appareillage, un problème également mentionné dans le Phonak Field Study News, (2011).

De plus, nous avons pu tester les seuils uniquement sur les fréquences de 250 à 6000 Hz (plage restreinte), alors que l'audiométrie conventionnelle permet de mesurer jusqu'à 8000 Hz. Cette limitation peut poser un problème dans le cas de surdités affectant principalement les hautes fréquences, ce qui est souvent le cas dans les presbyacusies ou les atteintes ototoxiques (Rainville, 1962).

L'utilisation du double dôme dans notre protocole avait pour but d'améliorer l'étanchéité et réduire le transfert transcrânien, mais ces effets peuvent varier selon l'anatomie du conduit du patient, influençant ainsi la fiabilité des seuils mesurés (Kiessling et al., 2015). Des études futures pourraient explorer l'impact des différents embouts sur la précision des seuils obtenus en in situ.

Un biais important dans cette étude est que quatre patients cophotiques testés ont rapporté entendre le son du côté de la meilleure oreille malgré l'utilisation de la mesure *in situ*. Ce phénomène peut être lié à un transfert transcrânien résiduel, comme le suggère Yacullo (1999), qui souligne que l'atténuation intéraurale peut varier en fonction des caractéristiques individuelles du crâne et du type d'appareillage. Une mauvaise isolation acoustique du dôme pourrait aussi expliquer ce phénomène (Sanders & Rintelmann, 1964). Dans des études futures, une meilleure isolation acoustique (embout sur mesure) ou l'utilisation d'une calibration spécifique pour les patients cophotiques pourrait être envisagée.

Par ailleurs, dans l'objectif de mieux mettre en évidence l'intérêt d'appareiller la pire oreille, il me semblerait pertinent de compléter les résultats de seuils prothétiques par une mesure de l'intelligibilité, dans le silence et/ou dans le bruit, avec et sans appareil. Cela permettrait de mieux visualiser l'apport réel de cette oreille dans les situations d'écoute quotidien.

Dans l'évaluation des surdités asymétriques, nos résultats nous laissent penser que la mesure *in situ* pourrait être une alternative fiable, rapide et confortable au masquage conventionnel. Elle permet d'obtenir des seuils comparables en cas de surdité de transmission/mixte, avec un confort accru pour le patient. Cependant, cette méthode reste limitée chez les patients subcophotiques et cophotiques en raison du cross-hearing résiduel.

IV. Implications cliniques et perspectives

L'audiométrie *in situ* pourrait être intégrée systématiquement dès le premier rendez-vous des patients, notamment par le développement d'un dispositif de mesure *in situ* indépendant des aides auditives ou d'un modèle d'aide auditive utilisé spécifiquement

pour la mesure des seuils, facilitant le dépistage des pertes auditives (Vercammen, 2020) et permettant également un gain de temps en pratique (Phonak, 2011).

Selon Gelfand (2016), la mesure in situ permet d'obtenir des seuils plus proches des conditions d'écoute réelles, facilitant l'ajustement et l'efficacité du réglage prothétique.

Des recherches supplémentaires seraient également utiles pour mieux comprendre le phénomène de transfert transcrânien résiduel chez les patients cophotiques et développer des solutions pour minimiser cet effet, par exemple des méthodes d'isolation acoustique plus efficaces ou encore des corrections algorithmiques intégrées dans les aides auditives (Keidser et al., 2011).

Enfin, une étude sur un échantillon plus large permettrait d'évaluer plus en détail la fiabilité des résultats obtenus, en comparant les seuils mesurés avec différents embouts, dômes afin d'évaluer l'impact de l'étanchéité sur la précision des seuils (Keidser et al., 2011).

Il serait également intéressant de comparer la mesure in situ à une audiométrie réalisée avec des inserts sans masquage, étant donné que ces deux approches constituent des alternatives à la méthode conventionnelle. Cette comparaison permettrait de confirmer l'intérêt spécifique de la mesure in situ comme alternative fiable et confortable, puisqu'elle est réalisée directement avec l'aide auditive du patient, qui prend automatiquement en compte le couplage acoustique embout-appareil ainsi que les caractéristiques individuelles du conduit auditif.

CONCLUSION

L'enjeu principal était d'explorer une alternative fiable au masquage, particulièrement en cas de surdité asymétrique importante, où le transfert transcrânien complique le diagnostic.

Les résultats obtenus par notre étude, montrent que la mesure *in situ* permet une estimation des seuils auditifs comparable à celle réalisée par audiométrie tonale classique pour les personnes atteintes de surdité asymétrique de type transmission, mixte et de perception sévère, tout en réduisant l'inconfort lié au masquage. De plus, le temps de passation du test s'est révélé significativement plus court, et la majorité des patients ont exprimé une préférence pour cette méthode en raison de sa simplicité et de son confort demandant moins de concentration de leur part. L'analyse des conditions de mesure, avec et sans bouchage de l'oreille controlatérale en mesure *in situ* ou en conduction aérienne au casque, a également permis de mieux comprendre l'influence du transfert transcrânien sur les seuils obtenus.

D'un point de vue clinique, ces résultats montrent que la mesure *in situ* pourrait être une perspective intéressante aux méthodes conventionnelles, notamment pour les patients intolérants au masquage ou nécessitant des intensités élevées. Son intégration dans les protocoles d'évaluation audiolologique pourrait non seulement améliorer l'expérience des patients, mais aussi affiner la précision des diagnostics.

Sur le plan scientifique, cette étude contribue à l'évolution des méthodes de mesure audiométrique adaptée aux surdités asymétriques. Toutefois, certaines limites doivent être prises en compte, notamment pour les personnes atteintes de surdité asymétrique de type subcophose ou cophose. En effet, dans ces cas, les seuils en conduction aérienne sont bien plus élevés que ceux obtenus en *in situ*, ce qui suggère que le

transfert transcrânien pourrait ne pas être suffisamment réduit. Cette différence met en évidence le besoin d'une meilleure compréhension des mécanismes en cause et d'une adaptation des conditions de mesure à ces patients. Par ailleurs, la taille restreinte de l'échantillon et la nécessité d'évaluer cette approche sur une population plus large et diversifiée constituent également des limites à prendre en considération.

Des recherches complémentaires pourraient explorer l'utilisation de cette méthode chez d'autres groupes de patients, tels que les enfants, et étudier sa fiabilité ainsi que son efficacité sur le long terme.

En conclusion, la mesure *in situ* représente une alternative prometteuse à la fois confortable, fiable et rapide. Son intégration dans la pratique clinique pourrait améliorer la prise en charge des patients atteints de surdité asymétrique, en permettant une évaluation audiométrique dès le premier rendez-vous sans passer par l'audiométrie au casque grâce à un matériel directement exploitable, et ouvrir de nouvelles perspectives en audiométrie.

BIBLIOGRAPHIE

1. Block, M. (2008). Adding Precision to the Initial Hearing Aid Fitting. *The Hearing Professional*, 7-10.
2. Boven, C., Roberts, R., Biggus, J., Patel, M., Matsuoka, A. J., & Richter, C. P. (2023). In-situ hearing threshold estimation using Gaussian process classification. *Scientific reports*, 13(1), 14667. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40495-w>
3. British Society of Audiology. (2018). *Recommended Procedure: Pure-tone air-conduction and bone-conduction threshold audiometry with and without masking*.
4. Coles, R. R. A., & Priede, V. M. (1970). On the misdiagnoses resulting from incorrect use of masking. *The Journal of Laryngology & Otology*, 84(1), 41–63. DOI :10.1017/S0022215100071620
5. Consensus Formalisé d'Experts concernant l'Audiométrie de l'Adulte et de l'Enfant. (2016). Société Française d'ORL.
6. DiGiovanni, J. J., & Pratt, R. M. (2010). Verification of in situ thresholds and integrated real-ear measurements. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(10), 663-670. DOI : 10.3766/jaaa.21.10.6
7. Durisala, N. (2015). In-situ audiometry: How close is it to conventional audiometry?. *Hearing Balance and Communication*, 13(1), 8-14. DOI : 10.3109/21695717.2014.979585
8. Gelfand, S. A. (2016). Essentials of Audiology (4th edn.). *Thieme Medical Publishers*. ISBN 978 1 60406 861 0

9. Jerger, J. (1971). Principles and Limitations of the Rainville Methodology. *Audiology*, 10(3), 129–137. <https://doi.org/10.3109/00206097109072550>

10. Katz, J., PH. D (1978). *Handbook of Clinical Audiology* (2e edition). Williams & Wilkins Company.

11. Keidser, G., Dillon, H., Zhou, D., & Carter, L. (2011). Threshold measurements by self-fitting hearing aids: Feasibility and challenges. *Trends in Amplification*, 15(4), 167-174. <https://doi.org/10.1177/1084713812438700>

12. Kiessling, J., Leifholz, M., Unkel, S., Pons-Kühnemann, J., Jespersen, C. T., & Pedersen, J. N. (2015). A comparison of conventional and in-situ audiometry on participants with varying levels of sensorineural hearing loss. *Journal of the American Academy of Audiology*, 26(01), 068-079. DOI : 10.3766/jaaa.26.1.8

13. Mueller, H. G., & Hall, J. W. (1998). *Audiologists Desk Reference : Audiologic management, rehabilitation, and terminology* (Vol. 2). Singular Publishing Group.

14. O'Brien, A., Keidser, G., Yeend, I., Hartley, L., & Dillon, H. (2010). Validity and reliability of in-situ air conduction thresholds measured through hearing aids coupled to closed and open instant-fit tips. *International Journal of Audiology*, 49(12), 868–876. <https://doi.org/10.3109/14992027.2010.503664>

15. Perkins, C. J., & Mitchell, S. (2022). Audiology clinical masking. StatPearls Publishing.

16. Phonak. (2011). *AudiogramDirect - In-situ hearing tests at their best. Field Study News*.

17. Portmann, M., & Portmann, C. (1961). *Clinical Audiometry*. Charles.C. Thomas Publisher.

18. Rainville, M. J. (1962). L'Epreuve D'Assourdissement Ipsilateral Par Conduction Osseuse. *International Audiology* 1(2), 171-173.
<https://doi.org/10.3109/05384916209074034>

19. Sanders, J. W., & Rintelmann, W. F. (1964). Masking in audiometry: A clinical evaluation of three methods. *Archives of Otolaryngology*, 80(5), 541-556.
doi :10.1001/archotol.1964.00750040555008

20. Smith-Olinde, L., Nicholson, N., Chivers, C., Highley, P., & Williams, D. K. (2006). Test-retest reliability of in situ unaided thresholds in adults. *American Journal of Audiology*, 15(1), 75-80.

21. Snyder, J. M. (1973). Interaural attenuation characteristics in audiometry. *The Laryngoscope*, 83(11), 1847-1855.

22. Van Eeckhoutte, M., Jasper, B. S., Kjærboel, E. F., Jordell, D. H., & Dau, T. (2024). In-situ Audiometry Compared to Conventional Audiometry for Hearing Aid Fitting. *Trends in hearing*, 28, 23312165241259704.

23. Vercammen, C. (2020). Audiogramme et AudiogramDirect : comparaison des évaluations en clinique. *Phonak Field Study News*. Sonova AG

24. Withnell, R. H., Jeng, P. S., Waldvogel, K., Morgenstein, K., & Allen, J. B. (2009). An in situ calibration for hearing thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(3), 1605-1611.

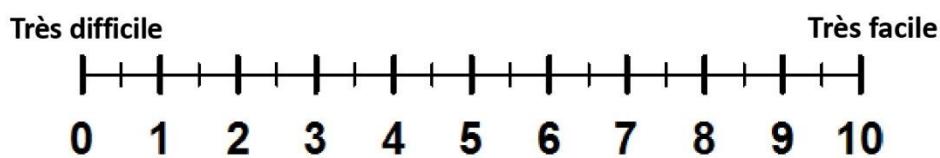
25. Yacullo, W. S. (1999). Clinical masking in speech audiometry: A simplified approach. *American Journal of Audiology*, 8(1), 1059-0889.

ANNEXES

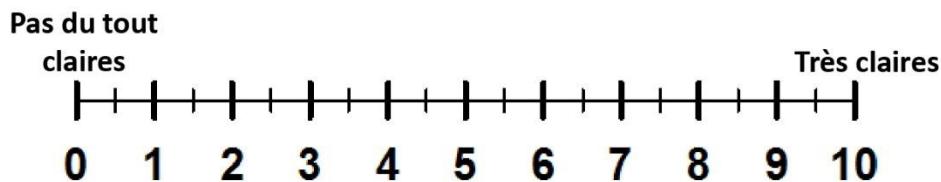
1. Questionnaire- Echelle d'évaluation

Ces questions nous aident à obtenir des retours précis sur votre perception de la difficulté du test

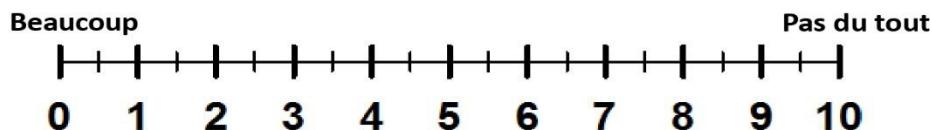
1. Comment jugeriez-vous la difficulté de ce test ?



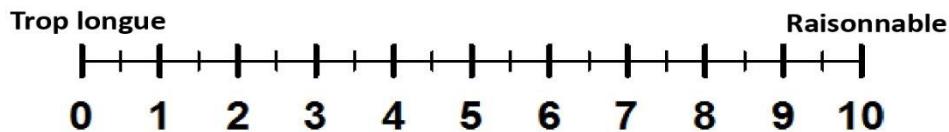
2. À quel point avez-vous trouvé les consignes claires, étaient-elles faciles à suivre ?



3. À quel point le test a mobilisé votre concentration ?



4. Comment avez-vous trouvé la durée du test ?



Parmi les tests que vous avez passés, lequel vous a semblé le plus acceptable/le moins gênant ?

2. Document RGPD, consentement



Note d'information

Concernant une étude intitulée « *Outils d'évaluation du bénéfice des prothèses auditives* », organisée en collaboration avec le Centre de Recherches en Neurosciences de Lyon.

Madame, Monsieur,

Toujours désireux d'améliorer nos connaissances sur la prise en charge de nos patients, **Audition Conseil** s'engage aujourd'hui dans la recherche scientifique et souhaiterait, à ce titre, votre participation. Cette recherche résulte d'une collaboration entre le Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Dr Annie Moulin, investigateur-coordonnateur) et votre centre d'audioprothèse Audition Conseil, dans le but de **mettre au point de meilleurs tests auditifs** permettant l'évaluation du **bénéfice apporté par l'appareillage auditif**. Cette recherche est enregistrée sous le numéro ID-RCB 2021-A00076-35 et a reçu un avis favorable le 28/04/2021 du Comité des Protection des Personnes d'Île de France II.

Dans le but de mieux cerner votre **satisfaction** et vos **difficultés**, vous êtes invité à compléter plusieurs questionnaires concernant différents aspects de votre audition et à participer à plusieurs tests auditifs. Ces tests sont similaires à ceux que vous connaissez déjà au sein de votre cabinet d'audioprothèse : il vous sera demandé de répéter des mots, ou de choisir vos réponses, parmi plusieurs, sur une feuille de papier. Il vous sera demandé également de quantifier l'effort que vous avez dû fournir (sous forme d'une note de 0 à 10) pour chacun de ces tests.

Pour tous ces tests, vous avez la possibilité de demander une pause, ou l'arrêt de votre participation à tout moment, même au cours d'un test, **sans avoir à vous justifier** et sans inconvénient pour vous.

- **Votre participation (ou non-participation) n'affecte en rien votre appareillage ou votre suivi audio-prothétique.**

Le fait de signer la présente feuille d'information montre votre non-opposition au traitement anonyme des données issues de ces tests, des questionnaires, et des données de votre suivi audioprothétique habituel.

Confidentialité des données

La société Entendre & comprendre (Audition Conseil), promoteur de l'étude, a signé un engagement de conformité à la « Méthodologie de Référence MR-003 » en date du 06 mars 2019. En application du RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données Personnelles) du 25 mai 2018 et des dispositions de la loi du 20 juin 2018 n°2018-493 concernant les dispositions

d'adaptation communes au règlement européen (UE) 2016/679 du parlement européen et du conseil du 27 avril 2016 et à la directive (UE) 2016/680 du parlement européen et du conseil du 27 avril 2016 relative à la protection des données personnelles, nous portons à votre connaissance les informations suivantes :

- Votre audioprothésiste est responsable du stockage des informations personnelles que vous lui avez confiées.
- Votre audioprothésiste pourra être amené à collecter les données suivantes : nom, prénom, âge, sexe, données relatives à votre expérience de l'appareillage auditif (questionnaires)
- Les informations personnelles que nous recueillons dans le cadre de cette étude sont conservées au sein de votre cabinet d'audioprothèse habituel. Ces informations peuvent être conservées pendant 15 ans ou plus.
- Les données issues des test auditifs et cognitifs, des questionnaires que vous complétez sont collectées à des fins de recherche scientifique. Vous avez le droit de vous opposer à l'utilisation de vos informations personnelles pour une recherche supplémentaire avec d'autres objectifs scientifiques que ceux de la présente étude, pour des raisons qui vous sont propres. Si vous souhaitez vous opposer à une telle utilisation, veuillez contacter l'investigateur de l'étude.
- Aucune information personnelle identifiante ne sera communiquée à quiconque, en dehors du cabinet d'audioprothèse et de son personnel qui assurent votre suivi. Votre audioprothésiste procèdera à l'anonymisation de vos questionnaires et données par encodage. Cet encodage sera composé de 2 lettres désignant le cabinet d'audioprothèse dans lequel vous êtes suivi (AA, BB,), suivi d'un code à 2 chiffres permettant d'identifier le test auquel vous avez participé, et un numéro à 4 chiffres correspondant à l'ordre de saisie des données. Ce numéro sera donc de la forme CC040236 (exemple).
- La transmission des données vous concernant ne sera donc effectuée que sous forme **anonyme** et uniquement vers les personnes impliquées dans cette recherche. Les résultats de cette recherche ne contiendront aucune donnée individuelle directement ou indirectement identifiante.
- Vous pouvez demander à voir les informations qui ont été recueillies à votre sujet et vérifier que nous les traitons conformément à la législation applicable. Si vous pensez qu'elles sont incorrectes, vous pouvez demander par écrit qu'elles soient modifiées ou retirées. Vous pouvez également demander à ce que nous restreignions l'utilisation de vos informations personnelles. Enfin, vous bénéficiez de la portabilité de vos données. Si vous changez d'avis au sujet de votre participation, nous ne pouvons pas supprimer les informations personnelles qui ont été collectées pour cette étude avant votre décision d'arrêt.
- Pour demander à voir et/ou modifier les informations vous concernant ou si vous avez des questions sur la façon dont nous utilisons vos informations personnelles, veuillez-vous adresser d'abord à **vos audioprothésistes Audition Conseil, M. Fabien SELDRAN et M. Paul BERGER** situés respectivement au 34 bis avenue LACASSAGNE 69003 LYON 3 et au 40 rue Michel Servet 69100 VILLEURBANNE, par téléphone au 04.72.12.01.08 et au 04.37.43.04.54 ou par courrier électronique : lyon3@auditionconseil.fr et villeurbanne1@auditionconseil.fr, à l'investigateur-coordonnateur de l'étude, Dr A. Moulin, au 04 72 13 89 37, ou annie.moulin@cnrs.fr, ou par courrier (Centre de recherches en neurosciences de Lyon, Bâtiment 452, Hôpital du Vinatier, 95, Bd Pinel, 69375 BRON Cedex). Vous pouvez également vous adresser au **délégué à la protection des données (DPD)**, madame M. Berger, par mèl marie.berger@ec-audio.fr ou par courrier : SARL ENTENDRE ET COMPRENDRE, 60, Avenue du Maréchal Foch, 69006 LYON. Si vous n'êtes pas satisfait(e) des réponses que vous obtenez, vous pouvez vous adresser à la **Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL)** en utilisant le lien : <https://www.cnil.fr/>.

Nous vous remercions vivement pour votre participation, qui, nous aidera à améliorer la prise en charge des pertes auditives.

Vos Audioprothésistes, M. Fabien SELDRAN et M. Paul BERGER et leurs stagiaires M^{me} Lahna MADENE et M^{me} Eden BENTOLILA

J'ai bien reçu et lu la présente feuille d'information concernant cette recherche et ai pu poser toute question concernant cette recherche à mon audioprothésiste. **En signant cette feuille, je montre que je ne suis pas opposé(e) au traitement anonyme des données me concernant, données recueillies au cours des tests proposés et des tests faisant partie de mon suivi audio-prothétique.**

J'ai bien compris que **je peux, à tout moment, retirer ma participation aux tests**, même lorsque ceux-ci sont en cours, ou refuser de répondre à certaines questions, **sans que je doive justifier** quoi que ce soit.

J'ai bien compris que ma participation (ou non-participation) n'affecte en rien mon appareillage ou mon suivi audio-prothétique.

Fait en double exemplaire, à Lyon, le/...../20.....

Nom..... Prénom.....

Signature :