

le cnam



Université de Paris

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

UNIVERSITÉ DE PARIS

Mémoire présenté en vue de l'obtention du
Diplôme d'État d'Audioprothésiste
par

sous la direction de

Maître de mémoire

Année Universitaire

Remerciements

Enfin, je tenais à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, chacun à leur manière, à l'aboutissement de mes études en audioprothèse.

Je tiens, dans un premier temps, à remercier **Monsieur Éric BIZAGUET**, professeur d'audioprothèse au Centre de Préparation au Diplôme d'Audioprothésiste, mon maître de stage qui a accepté que je réalise mon stage de troisième année au sein de son laboratoire de correction auditive situé à Opéra, qui m'a laissé l'accompagner durant ses rendez-vous et m'a permis d'assister aux séances de réglages d'implants à l'hôpital Necker.

Je suis également très reconnaissante auprès de **Monsieur Arnaud COEZ**, mon maître de mémoire qui en plus de nous avoir enseigné l'audioprothèse au cours de ces trois années, m'a été d'une grande aide tant quant à la réalisation de mon mémoire qu'à celle de mon stage au cours duquel sa bienveillance et ses conseils m'ont été d'une aide précieuse.

Je remercie aussi chacun des audioprothésistes avec qui j'ai eu l'occasion de travailler au LCA, et qui m'ont chacun, à leur manière, apporté des conseils et ont très gentiment partagé leur expérience avec moi : **Mesdames Sophie LEGOFF, Sophie DERAISON, Roxane FILIPPI** et **Messieurs Yoann Nahmani, David TRAN, Hervé BISCHOFF**.

J'exprime ma gratitude à **Madame Aurélie DEROUSSEN**, audioprothésiste indépendante gérante du laboratoire AUDITION SAINT GERMAIN, affiliée au réseau DYAPASON, qui m'a acceptée en stage deux années consécutives étant donné les événements sanitaires à cette période et m'a initié, de part la richesse de son enseignement quotidien, aux bases du métier d'audioprothésiste.

Je tiens également à remercier **Fabrice HERVE** et **Lionel LOPES**, techniciens au LCA ; qui m'ont soutenu tout au long de mon stage et m'ont, par leur bonne humeur et leur serviabilité, transmis les bases essentielles de l'aspect technique de l'audioprothèse.

Je pense également aux secrétaires et assistantes du LCA, **Chrystèle, Émilie, Valérie, Stéphanie, Sandra, Nathalie, Prudence** pour leur accueil et leur bienveillance. Elles m'ont fait confiance tout au long de ce stage, je leur en suis très reconnaissante.

Sans oublier Mademoiselle **Aurélien PREVOST**, assistante audioprothésiste au sein du laboratoire AUDITION SAINT GERMAIN. Elle m'a initié aux bases techniques et administratives du métier d'audioprothésiste. Je la remercie pour ses conseils, sa bonne humeur de tous les jours et sa disponibilité.

Aussi, je remercie **Monsieur Alexandre GARCIA**, directeur du CNAM ainsi que tous les professeurs et intervenants auquel il fait appel et qui contribuent au mieux à notre enseignement.

J'adresse également une pensée reconnaissante au **Professeur Thierry VAN DEN ABBELE**, ORL chef de service DEBRE, au **Professeur Natacha TESSIER**, ainsi qu'au **Docteur Audrey MAUDOUX** et au **Docteur Émilie BOIS** qui m'ont guidée lors de mon stage hospitalier, m'ont permis de les suivre en consultation et m'ont fait confiance.

Je remercie tout particulièrement **Guillaume MORAND**, audioprothésiste diplômé depuis juin 2022, pour son implication à mes côtés quant au binôme que nous avons formé pour la réalisation du mémoire, mais aussi pour l'année de concours que nous avons partagé et l'amitié qui en a découlé.

Je suis très reconnaissante envers **les patients** qui ont accepté de participer à mon mémoire et se sont prêtés au jeu de tests pour sa réalisation avec une gentillesse et une sympathie indéniable.

Il me paraît essentiel de remercier **ma famille** qui a été une bénédiction pour moi durant toutes ces années et qui m'a soutenu de la plus belle des manières qui soit, au quotidien, dans mon investissement pour mes études, qui m'a voué un soutien précieux et indispensable et sans qui rien de tout cela n'aurait été possible

Pour finir, je souhaite particulièrement remercier mes amis, **Aurélie, Elodie, Marine, Imanouel**, qui me sont d'un soutien sans faille depuis toujours, et m'ont accompagné durant tout ce parcours.

Table des figures

FIGURE 1 : PRINCIPE DES OEA PROVOQUEES.....	9
FIGURE 2 : PRINCIPE DES PRODUITS DE DISTORSIONS ACOUSTIQUES.	10
FIGURE 3 : TABLEAUX DE CONTINGENCE DE L'ETUDE DE GUILLAUME MORAND POUR VUE DE L'OBTENTION DU MEMOIRE D'AUDIOPROTHESE DE LILLE. 19 SUJETS NORMOENTENDANTS ETAIENT OEA(+)/PDA(+) MAIS 3 SUJETS SONT OEA(-)PDA(+). SUR LES SUJETS LEGERE ILS DEVRAIENT ETRE OEA(-)PDA(-) OU OEA(-)PDA(+), OR ON RETROUVE DES PROFILS INTERMEDIAIRES. DE MEME POUR LES SURDITES MOYENNE 1 ^{ER} GROUPE, OU LE PATTERN QUI DEVRAIT ETRE RETROUVE EST OEA(-)PDA(-) OR ON RETROUVE EGALEMENT DES PATTERNS DIFFERENTS INATTENDUS. LA CAUSE DE CETTE SURDITE N'EST DONC PAS UNE ATTEINTE DES CCE DE L'ORGANE DE CORTI.	11
FIGURE 4 : REPARTITION DE LA POPULATION GENERALE PAR DEGRE DE SURDITE EN NOMBRE DE SUJETS : 20 NORMOENTENDANTS ; 12 SURDITE LEGERE ET 16 PATIENTS PRESENTANT UNE SURDITE MOYENNE 1 ^{ER} DEGRE.....	12
FIGURE 5 : SEUILS AUDIOMETRIQUES MOYENS PAR FREQUENCES POUR LE GROUPE NORMOENTENDANTS.	13
FIGURE 6 : SEUILS AUDIOMETRIQUES MOYEN PAR FREQUENCE POUR LES SUJETS ATTEINT DE SURDITE LEGERE.	13
FIGURE 7 : SEUILS AUDIOMETRIQUES MOYENS PAR FREQUENCE POUR LES SUJETS ATTEINT DE SURDITE MOYENNE 1 ^{ER} GROUPE.....	14
FIGURE 8 : CRITERES DE VALIDITE DES OEAP (8A) ET DES PDA (8B).....	16
FIGURE 9 : AMPLITUDE DES PRODUITS DE DISTORSIONS ENREGISTRES POUR 3 VALEURS DIFFERENTES D'INTENSITE DE STIMULATION ENTRE F1 ET F2 EN CONSERVANT UNE RELATION ENTRE F1 ET F2 TELLE QUE $2 = 1,2 * F1$: 70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL ; 60/55 dB SPL.....	18
FIGURE 10 : NOMBRE D'OREILLES NEGATIVES SELON L'INTENSITE DE STIMULATION (70/70 dB SPL ET 70/60 dB SPL) PAR FREQUENCE.....	20
FIGURE 11 : NOMBRE D'OREILLES NEGATIVES SELON L'INTENSITE DE STIMULATION (70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL) EN FONCTION DE LA FREQUENCE.	20
FIGURE 12 : NOMBRE D'OREILLES NEGATIVES SELON L'INTENSITE (70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL) EN FONCTION DE LA FREQUENCE.	20
FIGURE 13 : MOYENNE DES SEUILS D'AUDITION MESURES PAR FREQUENCE.....	21
FIGURE 14 : COMPARAISON DE LA PERTE TONALE D'AUDITION A 1KHZ ET 10 KHZ EN FONCTION DE L'AGE. ...	21
FIGURE 15(A) : CORRELATION ENTRE LA PERTE A 10 KHZ ET LE SCORE SRT50.....	22
FIGURE 16 : TABLEAU RECAPITULATIF PAR FREQUENCE DE LA PRESENCE OU NON D'OTOEMISSIONS ACOUSTIQUES (16A) ET (16B) DE PRODUITS DE DISTORSION.....	23
FIGURE 17 : COMPARAISON DES SRT50 DES OREILLES (OEA+) A 1KHZ A CELLE (OEA-) A CETTE FREQUENCE.	25
FIGURE 18 : COMPARAISON DE L'AGE DES SUJETS N'AYANT PAS DE RESULTAT D'OEA SUR AU MOINS 2 FREQUENCES AUX RESULTATS OBTENUS SUR DES OREILLES AYANT AU MAXIMUM UNE SEULE FREQUENCE ATTEINTE.....	26
FIGURE 19 : COMPARAISON DES SEUILS AUDIOMETRIQUES A 10 KHZ ENTRE LES OREILLES PRESENTANT DES PDA A CETTE FREQUENCE (PDA+), A CELLE N'EN AYANT PAS (PDA-).....	26
FIGURE 20 : TABLEAU RECAPITULATIF PAR FREQUENCE DE LA PRESENCE OU NON D'OTOEMISSIONS ACOUSTIQUES ET 11(B) DE PRODUITS DE DISTORSIONS.....	27
FIGURE 21(A) : TABLEAU RECAPITULATIF DES OREILLES PRESENTANT DES OEA SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES (OEA+) A CELLES OEA(-), AINSI QUE LES PROFILS INTERMEDIAIRES. 24(B) : COMPARAISON DES SRT50 DES OREILLES OEA(-) SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES, A CELLE AYANT AU MOINS UNE FREQUENCE POSITIVE AUX OEAP. 24(C) : TABLEAU RECAPITULATIF DES OREILLES PRESENTANT DES PDA(+) SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES, AUX OREILLES PDA(-) AINSI QUE LES PROFILS INTERMEDIAIRES. 24(D) : COMPARAISON DES SRT50 DES OREILLES PDA(-) SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES, A CELLES PRESENTANT AU MOINS UNE FREQUENCE POSITIVE AUX PDA.	28
FIGURE 22 : TABLEAU RECAPITULATIF PAR FREQUENCE DE LA PRESENCE OU NON D'OTOEMISSIONS ACOUSTIQUES ET (13B) DE PRODUITS DE DISTORSIONS.....	29

FIGURE 23(A) : TABLEAU RECAPITULATIF DES GROUPES POUR LESQUELS DES OEA SONT PRESENTES SUR LES 5 FREQUENCES TESTEES (OEA+) A L'ABSENCE TOTALE D'OEA (OEA-) ET LES PROFILS INTERMEDIAIRES. 26(B) : COMPARAISON DES SRT50 DES OREILLES OEAP(-) SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES A CELLES AYANT AU MOINS UNE FREQUENCE POSITIVES AUX OEAP. 26(C) : TABLEAU RECAPITULATIF DES GROUPES POUR LESQUELS LES PDA SONT PRESENTS SUR LES 8 FREQUENCES TESTEES (PDA+) A L'ABSENCE TOTALE DE PDA (PDA-) AINSI QUE LES PROFILS INTERMEDIAIRES. 26(D) : COMPARAISON DES SRT50 DES OREILLES PDA(-) SUR L'ENSEMBLE DES FREQUENCES TESTEES A CELLES AYANT AU MOINS UNE FREQUENCE POSITIVE..... 29

Abréviations

BIAP : Bureau International d'Audiophonologie

CCE : Cellules Ciliées Externes

CCI : Cellules Ciliées Internes

dB : Décibel

dB HL : Décibel Hearing Level

dB HV : Décibel Hearing Vocal

dB SPL : Décibel Sound Pressure Level

OEA : Otoémissions acoustiques

OEAp : Otoémissions Acoustiques Provoquées

PDA : Produits de Distorsions Acoustiques

RSB : Rapport Signal sur Bruit

SIB50 : Seuil d'intelligibilité dans le Bruit donnant un score de 50%

SRT50 : Speech Recognition Threshold pour 50% d'intelligibilité

Sommaire

INTERETS DE LA MESURE DES OTOEMISSIONS ACOUSTIQUES PROVOQUEES PAR CLICS ET DES PRODUITS DE DISTORSION DANS LE CADRE DE L'APPAREILLAGE AUDIOPROTHETIQUE	1
REMERCIEMENTS	2
TABLE DES FIGURES	4
ABREVIATIONS.....	6
SOMMAIRE.....	7
1. INTRODUCTION	8
2. MATERIEL ET PROTOCOLE	12
POPULATION.....	12
MATERIEL.....	14
PROTOCOLE	15
EXTRACTION DES DONNEES	15
ANALYSE STATISTIQUE :	17
3. RESULTATS :	18
1. Résultats des amplitudes de produits de distorsions enregistrés pour 3 valeurs différentes d'intensité de stimulation.....	18
2. Comparaison des seuils audiométriques tonals sur les fréquences 1kHz, 4kHz et 10 kHz dans le groupe entendant.....	21
3. Groupe « entendant » et résultats des otoémissions et produits de distorsions	23
4. SRT(50) et mesure des OEAp : influence du nombre de fréquences atteintes.....	23
5. SRT(50) et mesure des PDA : influence du nombre de fréquences atteintes.....	24
6. Comparaison des SRT(50) entre oreilles saines et oreilles dysfonctionnelles.....	25
7. OEAp à 1kHz et SRT(50).....	25
8. OEAp et âge.....	26
9. PDA à 10 kHz et seuil audiométrique à 10 kHz	26
10. Résultats des otoémissions et produits de distorsions en fonction des degrés de surdités et leur impact sur la compréhension dans le calme	27
4. DISCUSSION.....	30
4.1 Qu'est-ce qu'une oreille saine ?.....	30
4.2. OEA/PDA et surdité.....	31
4.3. Cas cliniques.....	33
Groupe témoin – Normoentendants :	33
CONCLUSION	38
ANNEXES.....	39
Listes cochléaires de J.C Lafon.....	39
BIBLIOGRAPHIE.....	40
RESUME.....	42

1. Introduction

L'audiométrie tonale et l'audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit avec et sans appareils sont les principales explorations fonctionnelles de l'audition utilisées par les audioprothésistes pour réaliser un bilan d'orientation et un bilan d'évaluation audioprothétique. Ces informations sont complétées d'éventuelles autres explorations fonctionnelles menées par l'ORL et d'un potentiel diagnostique ayant conduit à la prescription d'appareils auditifs. Pour diverses raisons ces informations peuvent être incomplètes. Certains patients ont des résultats audioprothétiques variables, allant du port régulier des appareils plus de 12 heures par jour (50% des patients appareillés) à un échec d'appareillage (10% des prescriptions). En cas d'échec, le patient sort du circuit audioprothétique pour une période longue qui peut atteindre plus de 10 ans.

Ces dossiers de patients pourraient faire l'objet d'une réévaluation approfondie et de tests complémentaires tentant d'expliquer l'échec. Aujourd'hui, ils deviennent des perdus de vue au terme de nombreuses séances infructueuses de réglage. Cette infructuosité témoigne surtout d'une surdité particulière qui demande un accompagnement particulier et des investigations complémentaires.

Heureusement, l'audioprothésiste par l'anamnèse qu'il conduit et les tests qu'il effectue arrive à déceler les pièges de l'appareillage des surdités que son expérience lui a apporté. Par exemple, si l'audiométrie tonale haute fréquence est de plus en plus utilisée car les prothèses auditives sont maintenant capables de les amplifier, il est curieux de constater que le patient, quand il lève la main pour indiquer la détection d'un signal, peut décrire (si on le lui demande) un bruit blanc plutôt qu'un son pur continu. De même, sur des surdités importantes, à l'écoute d'un son pur, la sensation provoquée passe de la détection à la douleur sur une plage de 5dB (pas de mesure de l'audiomètre), ou provoque d'emblée une vibration que le patient décrit assez spontanément pour souligner sa gêne. Si cette analyse qualitative de l'audiométrie tonale ne correspond pas aux standards de l'audiométrie tonale à visée médicale, elle apporte un certain nombre d'informations utiles à l'audioprothésiste pour connaître les traitements du signal à appliquer selon les différentes bandes fréquentielles à sa disposition dans les appareils auditifs.

Un des traitements du signal le plus développé dans les appareils auditifs est la gestion du gain à apporter par bande de fréquence et l'ajustement de la compression d'entrée du signal. Ces deux paramètres de réglages permettent de compenser le dysfonctionnement des cellules ciliées externes (CCE) de l'organe de Corti. Effectivement, les CCE ont pour fonction par leurs propriétés contractiles d'augmenter la sensibilité des CCI à la détection des sons faibles et de limiter l'écoute hors fréquence des sons forts, raffinant la sélectivité fréquentielle sur une dynamique étendue d'intensité. Une atteinte de ces cellules induit une perte de sélectivité fréquentielle, une diplacousie et un phénomène de recrutement : les sons faibles ne sont plus perçus, les sons forts sont trop forts. Les compressions des appareils auditifs agissent comme une fonction inverse à la fonction de recrutement. L'emploi systématique de la compression suppose que toutes les surdités émanent d'un dysfonctionnement des cellules ciliées externes. Elles sont réglées selon les méthodologies en prenant compte des seuils liminaires et supraliminaires obtenus lors de l'audiométrie tonale.

Or, des explorations fonctionnelles dont la mesure des Otoémissions acoustiques (OEA) permettent d'apprécier le fonctionnement des cellules ciliées externes (Kemp, 1978) (Kemp, 2002). Elles sont atraumatiques, non invasives et rapides à mesurer.

La mesure des otoémissions provoquées par clics consiste à placer une sonde dans le conduit auditif externe (CAE). Cette sonde contient un haut-parleur qui génère une série de clics acoustiques. Si les cellules ciliées externes sont fonctionnelles (et que le patient n'a pas de pathologies de l'oreille moyenne), elles se contractent sous l'effet des clics. Le mouvement induit génère une onde de retour mesurée par le microphone présent dans la sonde placée dans le CAE.

Les OEA provoquées (OEAp) :

Un écouteur composé à la fois, d'un haut-parleur et d'un microphone est placé dans l'oreille du sujet (figure 1). Des clics sont émis à 84,6 dB SPL. Lorsque l'onde acoustique frappe le tympan, la chaîne ossiculaire se met en vibration, induisant des mouvements liquidiens à l'intérieur de la cochlée. Les stéréocils des CCE se mettent eux-aussi à osciller. En oscillant, ces derniers produisent un signal sonore qui va pouvoir être capté par le microphone de l'écouteur.

Ce test est très utile en matière de repérage des surdités. La présence d'OEAp témoigne d'un bon fonctionnement des CCE (Bonfils et al., 1995), leur absence, un dysfonctionnement cochléaire qui demande à être exploré. La durée de l'examen est souvent inférieure à une minute par oreille (Mom, 2007), ce qui a permis sa mise en place dans les maternités lors du dépistage systématique à la naissance mis en place depuis 2012 (Bonfils et al., 1995) (Moulin et al., 2001). Ainsi, leur présence permet d'éliminer des surdités inférieures à 30 dB HL.

Cet examen pourrait être utilisé de façon plus systématique pour explorer des surdités de perception avec des seuils tonals supérieurs à 35 dB HL (Cane et al., 1994) (Plinkert et al., 1995), de compléter des bilans de pathologie auditives centrales (Bonfils et al., 1995) et de neuropathies auditives (Loundon, 2007), (Institut national de la santé et de la recherche médicale., 2006), (Jakubíková et al., 2003).

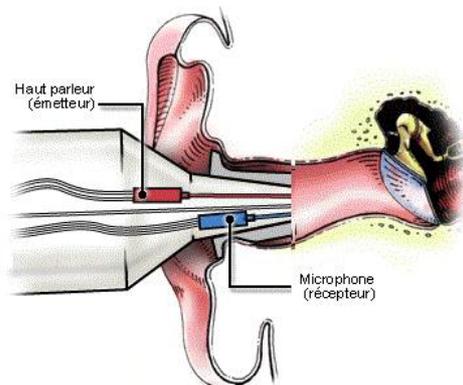


Figure 1 : Principe des OEA provoquées -
(COCHLEA, n.d.)

Produits de distorsions d'otoémissions acoustiques (PDA) :

Les produits de distorsions acoustiques testent la non-linéarité de la cochlée en bon état physiologique. Lors de ce test, deux primaires de fréquences f_1 et f_2 séparées par un rapport de 1,22 et émises à 70 dB SPL sont utilisées (figure 2). Une analyse spectrale par transformée de Fourier est réalisée par l'ordinateur pour extraire les différentes composantes fréquentielles. Lorsque la fréquence de stimulation entre en phase avec la moitié des CCE, de nouvelles vibrations vont être créées sur la membrane basilaire. L'absence de PDA est évocatrice d'une perte auditive tonale minimale de 50 dB HL, si la perte est due à une atteinte exclusive des CCE.

La mesure des PDA a permis de révéler que des seuils auditifs tonaux subnormaux ne garantissent pas une intelligibilité dans le bruit si les CCE sont dysfonctionnelles (Hoben et al., 2017). Des études ont montré qu'un déficit de performance de compréhension dans le bruit serait dû à une atteinte des CCE et d'autres paramètres liés à l'âge (Léger et al., 2012). La mesure des PDA a été proposée chez l'adulte comme moyen de dépistage des surdités liées au travail dans le bruit (Institut national de la santé et de la recherche médicale., 2006) (Avan et al., 2008)

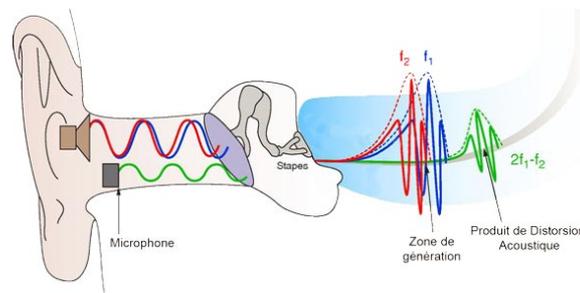


Figure 2 : Principe des produits de distorsions acoustiques. (Avan et al., 2013)

Ces mesures ont trouvé une application dans le dépistage systématique des surdités à la naissance : la présence d'OEAp est le signe d'un bon fonctionnement des CCE. Couplées aux PEA dits de raréfaction, elle permet d'écarter la suspicion de surdité à la naissance. Croisées à l'audiométrie comportementale, elles permettent de confirmer les seuils mesurés. Mais elles pourraient aussi avoir des applications audioprothétiques plus qualitatives (Kimberley, 1999).

Les OEAp et PDA permettraient aussi de connaître la dynamique résiduelle d'audition du malentendant (Müller and Janssen, 2004) (Suckfüll et al., 1996), et le fonctionnement précis de l'organe de Corti (Hoth and Baljić, 2017).

Ce sont des tests non invasifs du fonctionnement et des mécanismes de la cochlée (Kemp, 2002) pour l'appareillage du malentendant. Ceci permettrait de mettre en place des stratégies d'appareillage différentes pour certains sujets. L'audiométrie tonale liminaire au casque en son pur s'avère nécessaire mais insuffisante pour la prise en charge audioprothétique d'un patient (Stenfelt, 2008) même si elle est complétée par une audiométrie vocale (Loundon, 2007) pour vérifier la cohérence des résultats.

Ainsi, les neuropathies auditives sont également caractérisées par une discordance importante entre l'audiométrie tonale et vocale (Rouillon et al., 2021) : l'audiométrie tonale peut paraître 'normale' alors que le score en audiométrie vocale ne dépasse pas 50% d'intelligibilité. Parfois l'audiométrie tonale et vocale sont 'normales' et seule l'audiométrie vocale dans le bruit est altérée. Ces surdités sont décrites comme des surdités cachées évocatrices de neuropathies (Morlet et al., 2018).

Certaines surdités cachées seraient consécutives à des traumatismes sonores qui auraient dégradé des fibres de hauts seuils (basses activités spontanées) impactant fortement la compréhension dans le bruit (Kujawa and Liberman, 2009) ou qui aurait induit des zones inertes cochléaires (ZIC) (Moore, B.C.J., Huss, H., Vickers, D.A., Glasberg, B.R., Alcantara, J.I, 2000).

Les surdités de l'adulte ne se résument donc pas à la presbyacousie. En effet, un abaissement des seuils audiométrique peut également être associé à d'autres atteintes périphériques (Souchal, 2017).

Afin d'établir la contribution du dysfonctionnement des cellules ciliées externes dans le suivi d'appareillage d'adultes suivis au laboratoire, nous avons entrepris la mesure systématique des OEAp et des PDA en plus du bilan audioprothétique biennuel qui prévoit entre autres une audiométrie tonale liminaire et supraliminaire, une audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit avec et sans appareils.

Des résultats intermédiaires ont été obtenus par Guillaume Morand (Morand, 2022) dans le cadre de son mémoire de fin d'étude. Lors de la précédente étude, était considéré OEA(-) ou PDA(-) toute oreille dont l'ensemble des fréquences testées était négatif. A l'inverse, la présence d'une seule fréquence positive aux OEA ou PDA sur chaque oreille suffisait à considérer le sujet respectivement comme OEA(+) ou PDA(+). Alors que le résultat attendu était que les entendants soient OEA(+) et PDA (+) et que les presbyacousiques soient OEA(-) PDA(-) d'autres profils ont été trouvés dans les deux groupes OEA(-) PDA(+), OEA(+)PDA(-) (figure 3). Dès lors il nous est paru pertinent d'explorer les intensités optimales permettant l'obtention de PDA et d'entamer une analyse par fréquence des OEA et des PDA. Effectivement, OEA= PDA+ de ce travail préliminaire ne permet pas de connaître le nombre de fréquences sur lesquelles les OEA et le PDA sont retrouvées.

Normoentendants étude 1		
N=22 oreilles	PDA +	PDA-
OEA +	19	0
OEA -	3	0

Surdité légère étude 1		
N=12 oreilles	PDA +	PDA-
OEA +	5	1
OEA -	5	1

Surdité moyenne 1er groupe étude 1		
N=12 oreilles	PDA +	PDA-
OEA +	2	3
OEA -	2	5

Figure 3 : Tableaux de contingence de l'étude de Guillaume MORAND pour vue de l'obtention du mémoire d'audioprothèse de Lille. 19 sujets normoentendants étaient OEA(+)/PDA(+) mais 3 sujets sont OEA(-)PDA(+). Sur les sujets légère ils devraient être OEA(-)PDA(-) ou OEA(-)PDA(+), or on retrouve des profils intermédiaires. De même pour les surdités moyenne 1^{er} groupe, où le pattern qui devrait être retrouvé est OEA(-)PDA(-) or on retrouve également des patterns différents inattendus. La cause de cette surdité n'est donc pas une atteinte des CCE de l'organe de Corti.

Afin de mieux caractériser ces populations nous avons analysé les mesures d'otoémissions acoustiques et de produits de distorsions à différentes fréquences.

Nous faisons l'hypothèse qu'une oreille « entendante » doit être fonctionnelle sur l'ensemble des fréquences testées. Elle doit donc présenter des otoémissions et des produits de distorsions sur l'ensemble de ces fréquences.

Guillaume Morand conclut que les OEA et les PDA étaient nécessaires à l'audioprothésiste pour comprendre et adapter l'appareillage. Le but de ce mémoire est de poursuivre dans cette direction, en tentant d'affiner l'analyse par bande de fréquence et oreilles séparées.

2. Matériel et protocole

Population

Cette étude a été proposée aux patients suivis à Audition Santé - Laboratoire de Correction Auditive - Bizaguet dans le cadre de leur suivi audioprothétique. Le bilan durait une heure et demie, et nécessitait une otoscopie normale (absence de bouchon de cérumen). Nous avons testé 20 normoentendants et 28 patients (figure 4). Le même protocole de mesure a été utilisé pour les deux études : pour être inclus dans l'étude, ils devaient présenter une audition symétrique (moins de 10 dB HL de différence entre les deux oreilles selon la perte tonale moyenne du BIAP), et avoir pour langue maternelle le français. Toute surdité de transmission ou mixte a été exclue.

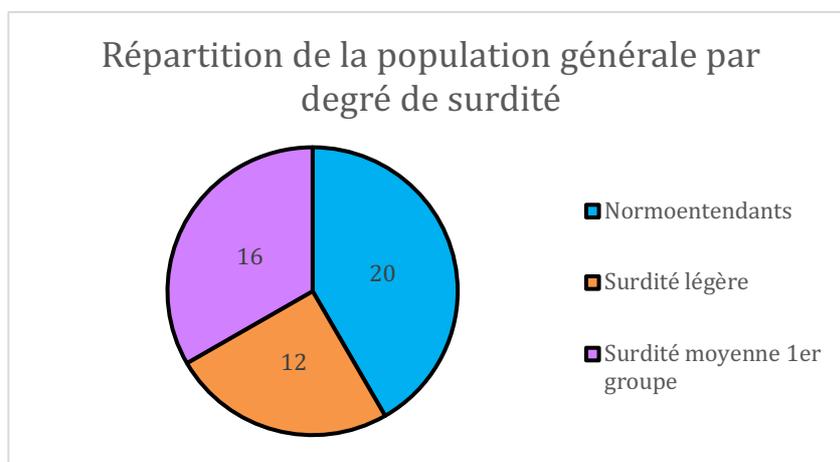


Figure 4 : Répartition de la population générale par degré de surdité en nombre de sujets : 20 normoentendants ; 12 surdité légère et 16 patients présentant une surdité moyenne 1^{er} degré.

Dans la partie résultats, nous présenterons les données recueillies au cours de ces deux études, soit :

▪ Groupe normoentendant :

• 20 sujets normoentendants dont :

- Le seuil moyen est inférieur à 20 dB HL selon la classification du BIAP (figure 5).
- Le SRT50 moyen est de -1,3 dB HV (min = -13 dB HV et max = 14 dB HV)
- Le SIB50 moyen est de -4 dB RSB (min = -7,2 dB RSB, max = -1,1 dB RSB).

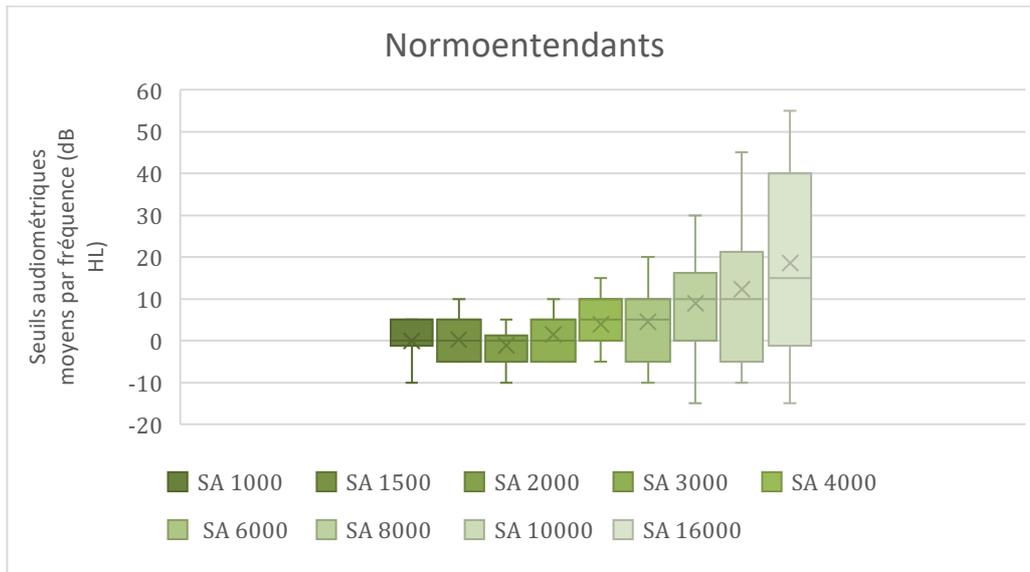


Figure 5 : Seuils audiométriques moyens par fréquences pour le groupe normoentendants.

▪ Groupe surdité légère :

• 12 sujets atteint d'un degré de surdité légère dont :

- Le seuil moyen est compris entre 21 dB HL et 40 dB HL selon la classification du BIAP (figure 6)
- Le SRT50 moyen est de 23,6 dB HV (min = 11 dB HV ; max = 39 dB HV)
- Le SIB50 moyen de 0,1 dB RSB (min = -2,2 dB RSB ; max = 7,3 dB RSB).

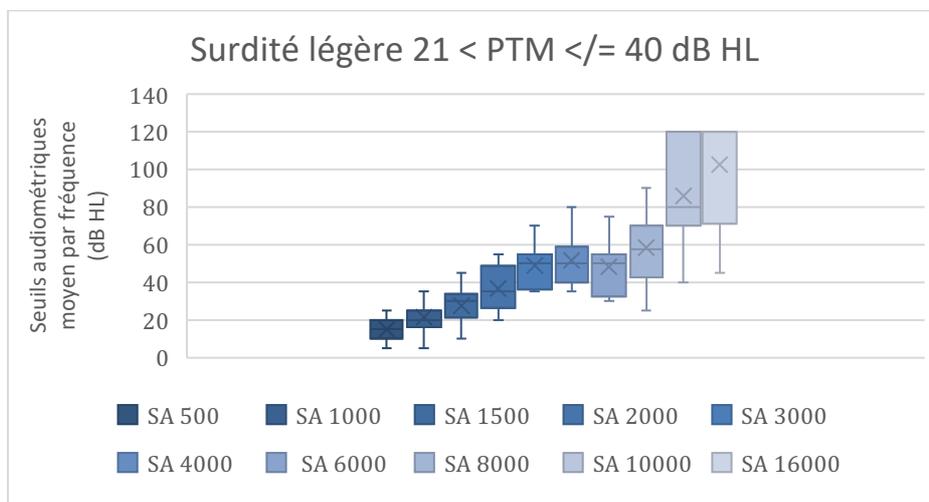


Figure 6 : Seuils audiométriques moyen par fréquence pour les sujets atteint de surdité légère.

- Groupe surdité moyenne 1^{er} groupe :
- 16 sujets atteint d'un degré de surdité moyenne dont :
 - Le seuil moyen est compris entre 41 dB HL et 55 dB HL selon la classification du BIAP (figure 7)
 - Le SRT50 moyen de 41,2 dB HV (min = 20 dB HV ; max = 64 dB HV)
 - Le SIB50 moyen de 8,9 dB RSB (min = -1,3 dB RSB ; max = 25 dB RSB).

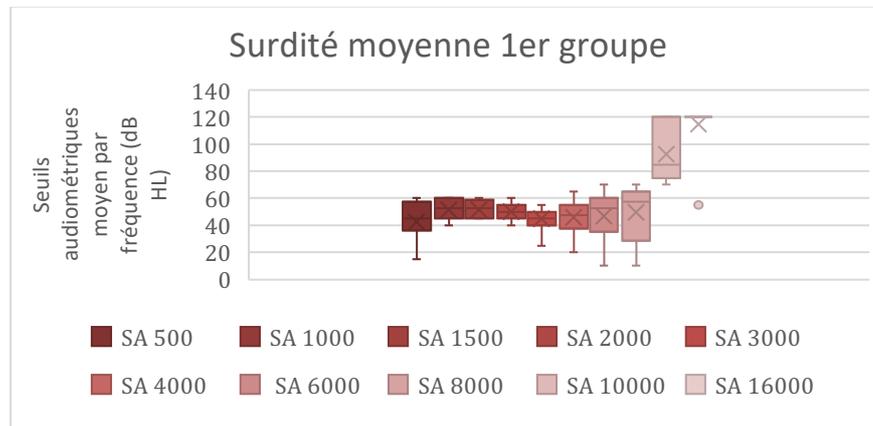


Figure 7 : Seuils audiométriques moyens par fréquence pour les sujets atteint de surdité moyenne 1er groupe.

Matériel

Afin d'obtenir des résultats comparables, les deux études ont été réalisées au sein de la même cabine audiométrique.

De la même façon, le matériel utilisé était le même, à savoir :

- Audiomètre ASTERA de NATUS
- Casque Sennheiser HDA 200
- Un haut-parleur central SIARE
- Echoport 292 II otodynamics avec la sonde Te+DPOEA UGD-2N3922
- Chaîne de mesure AURICAL de NATUS
- Logiciel NOAH de HIMSA et OTOSUITE de NATUS

Matériel d'audiométrie vocale :

- Listes cochléaires de Lafon voix féminine (ANNEXE)
- Test FRAMATRIX configuré avec la parole et le bruit sur le même haut-parleur, bruit fixe à 65 dB SPL et une voix variable.

Protocole

La durée de passation du bilan complet était comprise entre une heure et une heure et demie, selon que le sujet est ou non appareillé.

Pour les sujets non appareillés :

- Anamnèse
- Otoscopie à visée audioprothétique
- Audiométrie tonale liminaire au casque
- Audiométrie tonale hautes fréquences
- Audiométrie supraliminaire au casque
- Audiométrie vocale avec les listes cochléaires de Lafon voix féminine oreilles séparées
- Audiométrie vocale en champ libre avec les listes cochléaires de Lafon voix féminine
- Test du FRAMATRIX en champ libre
- OEA par clics
- PDA à trois intensités différentes : 70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL ; 60/55 dB SPL

Pour les sujets appareillés :

- Anamnèse
- Otoscopie à visée audioprothétique
- Nettoyage des appareils auditifs
- Passage des appareils en chaîne de mesure : vérification du gain
- Audiométrie tonale liminaire au casque
- Audiométrie tonale hautes fréquences
- Audiométrie supraliminaire au casque
- Audiométrie vocale avec les listes cochléaires de Lafon voix féminine oreilles séparées
- Audiométrie vocale en champ libre avec les listes cochléaires de Lafon voix féminine
- Test du FRAMATRIX en champ libre
- OEA par clics
- PDA à trois intensités différentes : 70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL ; 60/55 dB SPL

Extraction des données

 Otoémissions acoustiques provoquées (OEA_p) :

Ont été considérées comme OEA(+) les OEA_p dont l'indice de confiance (confidence) était supérieur ou égal à 80% (figure 8A).

OEA (+) : les oreilles qui présentent des OEA_p aux 5 fréquences testées (1000 Hz ; 1414 Hz ; 2000 Hz ; 2828 Hz ; 4000 Hz) (figure 8A).

OEA (1-) : les oreilles pour lesquelles une fréquence testée ne donne pas d'OEA_p

OEA (2-) / OEA (3-) / OEA (4-) : le chiffre entre parenthèse correspondant au nombre de fréquences pour lesquelles il n'y a pas eu de résultat de mesure des OEA_p.

✚ Produits de Distorsions Acoustiques (PDA) :

Ont été considéré comme PDA(+) les oreilles dont la différence : DP (dB) – Noise+2sd est supérieur à 0 (figure 8B). Cette fois, ont été considéré :

PDA(+) : les oreilles pour lesquelles un résultat est obtenu pour chacune des 8 fréquences testées (1000 Hz ; 1501 Hz ; 2002 Hz ; 3003 Hz ; 4004 Hz ; 6006 Hz ; 7996 Hz ; 9998 Hz.

PDA (1-)/(2-)/ etc. : les oreilles pour lesquelles une ou 2 fréquence(s) testée(s) ne donne(nt) pas de PDA

PDA(-) : les oreilles pour lesquelles l'ensemble des fréquences testées ne permet pas le recueil des produits de distorsions (figure 8B). Le chiffre entre parenthèse correspondant au nombre de fréquences pour lesquelles il n'y a pas eu de résultat de mesure des PDA.

Freq (Hz)	Confiance	Freq (Hz)	DP (dB)	Noise+2sd (dB)	Total
1000	75,9	1001	-8,7	-6	-2,7
1414	93,2	1501	2,2	-5,6	7,8
2000	60,6	2002	1,6	-8,4	10
2828	78,6	3003	-3,7	-15,3	11,6
4000	80,1	4004	-30	-13,8	-16,2
		6006	-18,8	-13,7	-5,1
		7996	-19,9	-14,8	-5,1
		9998	-15,1	-12,4	-2,7

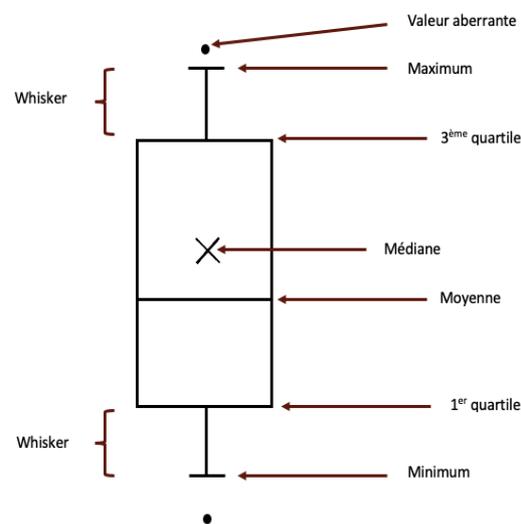
Figure 8 : Critères de validité des OEA_p (8A) et des PDA (8B).

Analyse statistique :

Les valeurs statistiques et les p ont été réalisés grâce au logiciel JAMOVI. Étant donné le nombre de sujets dans chaque groupe, et par soucis de cohérence, nous avons utilisé des tests non paramétriques pour des groupes indépendants : Test de Mann et Whitney, avec un taux de significativité statistique mesuré par p, dont le seuil est fixé à 5%.

Pour illustrer nos résultats, plusieurs graphiques ont été employés :
Boîtes à moustaches :

- La boîte à moustache permet de représenter à la fois les minima et maxima de la variable étudiée. Elle met en évidence la répartition des valeurs en affichant la moyenne, la médiane, le 1^{er} et 3^{ème} quartile ainsi que les valeurs aberrantes.



- Nuage de point avec courbe de régression linéaire, dont chaque point représentant une oreille. Deux points peuvent se superposer. La courbe de régression linéaire indique le taux de corrélation entre deux variables, plus le R est grand, plus le lien entre les deux variables est grand.
- Diagramme en barre qui permet de représenter la valeur d'une variable, par sa hauteur.

3. Résultats :

1. Résultats des amplitudes de produits de distorsions enregistrés pour 3 valeurs différentes d'intensité de stimulation.

L'intensité de stimulation recommandée (Kemp, 1978) pour réaliser des mesures de produits de distorsions est 70 dB SPL sur les deux primaires de fréquences de stimulation f_1 et f_2 avec une relation entre f_1 et f_2 telle que : $f_2 = 1,2 * f_1$. Pour le vérifier nous avons comparé les résultats obtenus pour trois intensités différentes de f_1 et f_2 : 70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL et enfin 60/55 dB SPL.

Ont été exclues les mesures pour lesquelles il est jugé que les PDA sont absents, selon les critères énoncés précédemment.

Les intensités d'émission 70/60 dB SPL permettent d'obtenir l'amplitude moyenne maximale même si elle ne peut pas être jugée significativement différente de celles obtenues à 70/70 dB SPL dans le groupe entendant (figure 9).

Par ailleurs, l'intensité 70/70 dB SPL permet d'obtenir plus sûrement une mesure des produits de distorsions en cas de surdité faible ou moyenne qu'une mesure avec une intensité de 70/60 dB SPL (figure 10 à 12). Effectivement, l'utilisation de l'intensité la plus forte est la certitude de ne pas avoir une absence de réponse à cause d'un manque de puissance.

Aussi, dans la suite du mémoire nous n'avons conservé que les mesures réalisées à l'intensité 70/70 dB SPL. L'utilisation de cette intensité nous a permis d'exploiter les données recueillies par Guillaume MORAND dans le cadre de son mémoire (Morand, 2022). Les prochains résultats, regroupent l'ensemble des sujets normoentendants des deux études, soit N=40 oreilles. Les prochains résultats, regroupe l'ensemble des sujets normoentendants des deux études, soit N=40 oreilles.

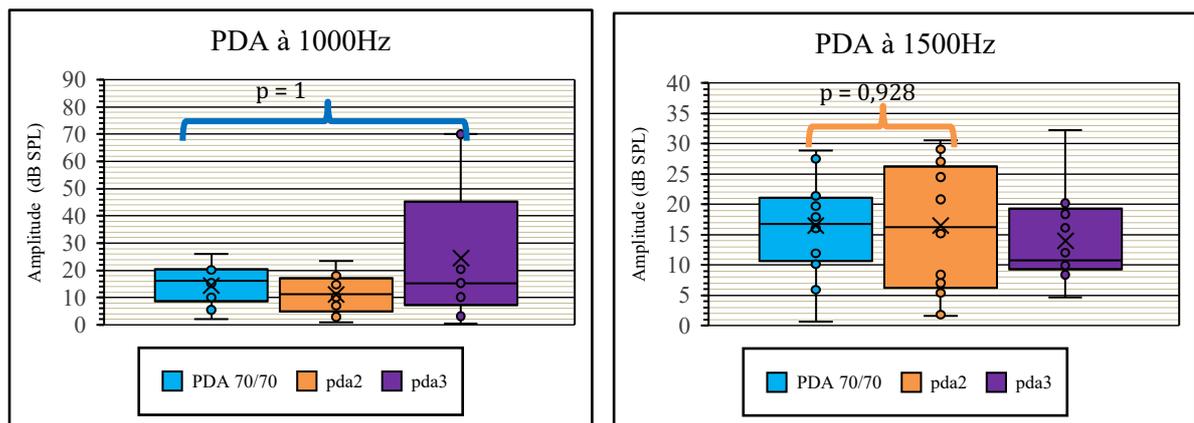
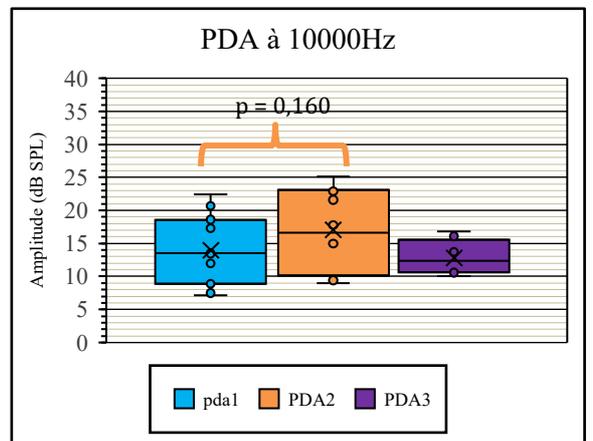
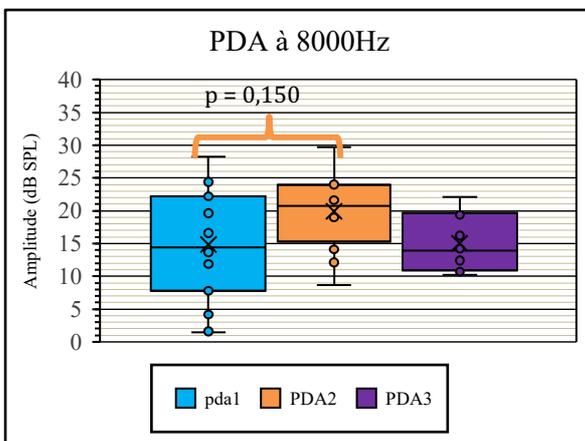
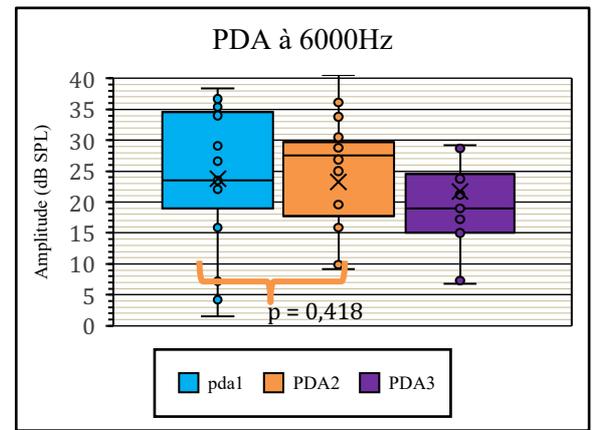
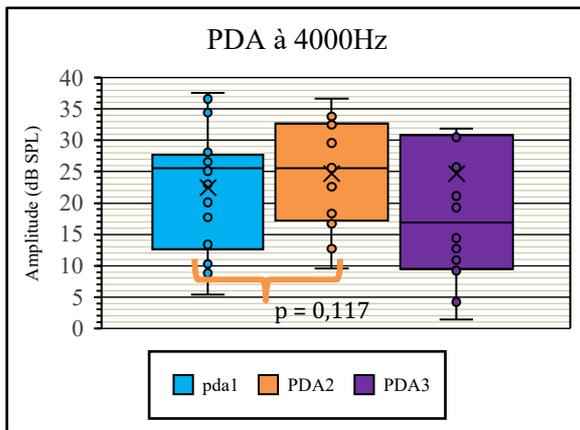
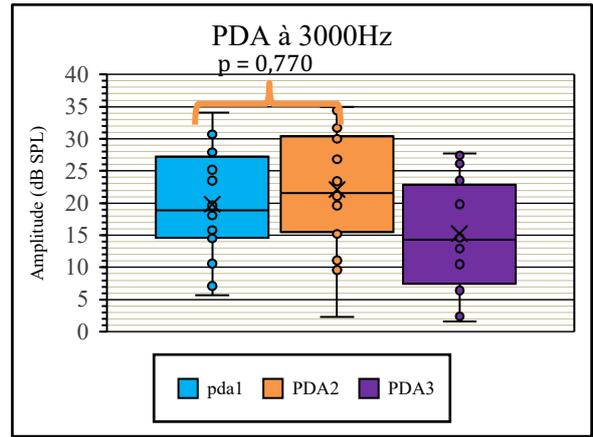
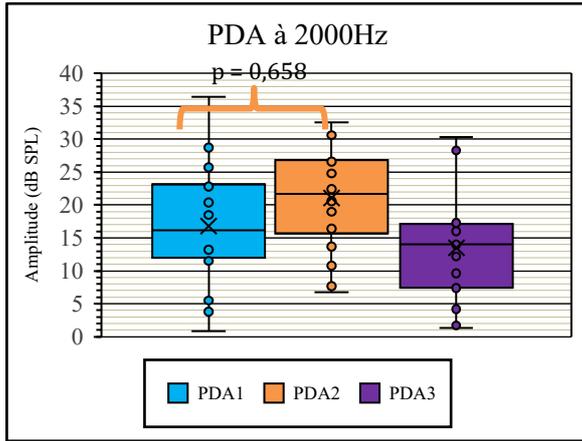


Figure 9 : Amplitude des produits de distorsions enregistrés pour 3 valeurs différentes d'intensité de stimulation entre f_1 et f_2 en conservant une relation entre f_1 et f_2 telle que $f_2 = 1,2 * f_1$: 70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL ; 60/55 dB SPL.



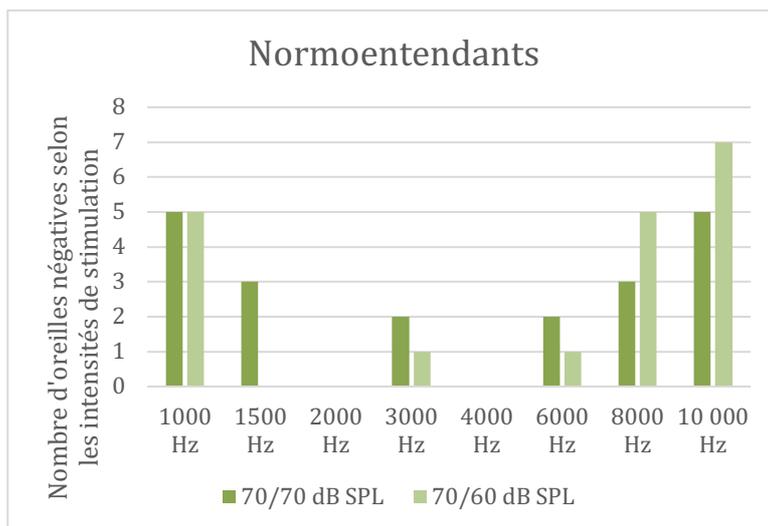


Figure 10 : Nombre d'oreilles négatives selon l'intensité de stimulation (70/70 dB SPL et 70/60 dB SPL) par fréquence.

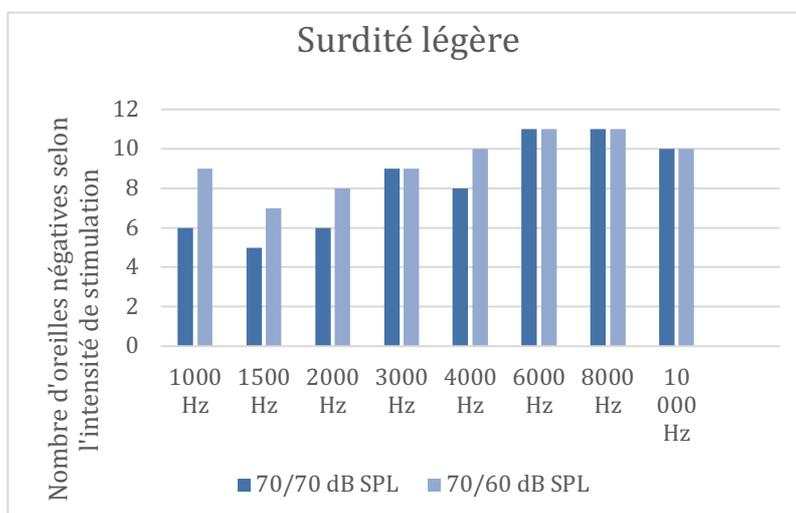


Figure 11 : Nombre d'oreilles négatives selon l'intensité de stimulation (70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL) en fonction de la fréquence.

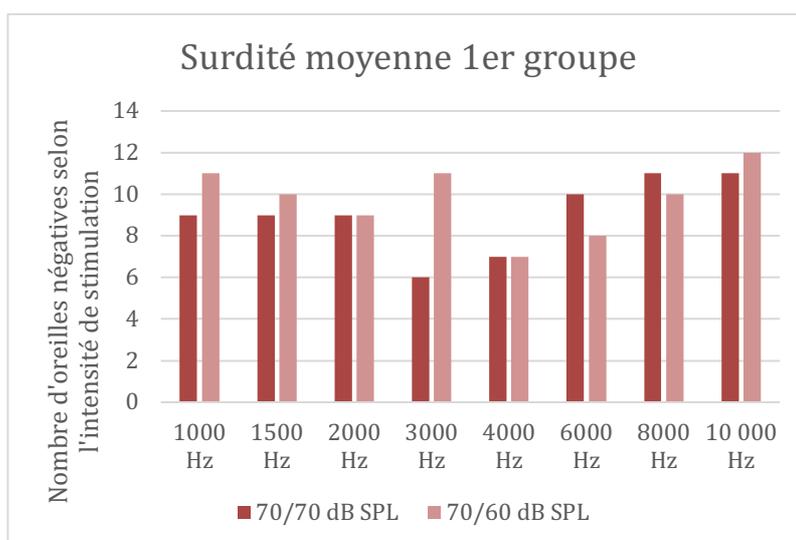
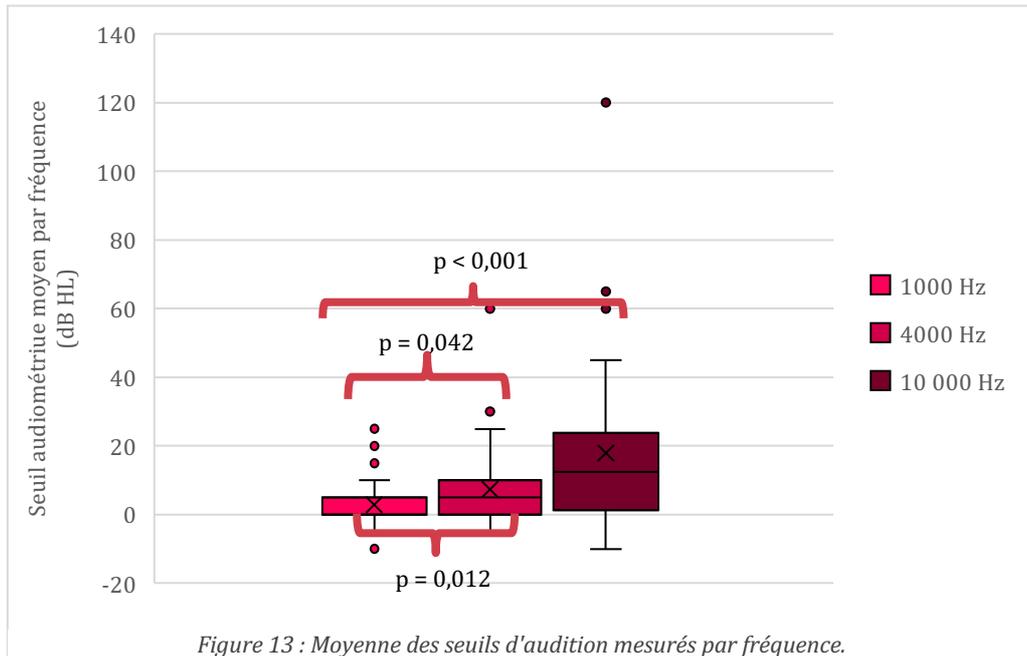
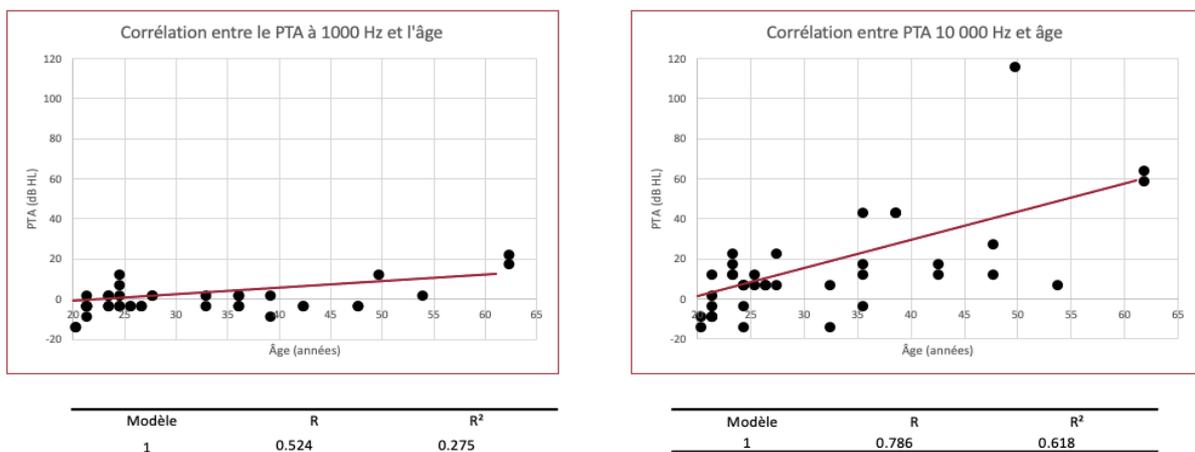


Figure 12 : Nombre d'oreilles négatives selon l'intensité (70/70 dB SPL ; 70/60 dB SPL) en fonction de la fréquence.

2. Comparaison des seuils audiométriques tonals sur les fréquences 1kHz, 4kHz et 10 kHz dans le groupe entendant



Les seuils auditifs moyens de cette population sont de 3 dB HL en moyenne à 1kHz, de 7 dB HL à 4 kHz et de 18 dB HL à 10 kHz. Les seuils sont inférieurs à 20 dB HL sur ces 3 fréquences en moyenne, néanmoins les seuils sont plus bas à 4 kHz qu'à 1 kHz ($p < 0,05$) et encore plus bas à 10 kHz qu'à 1 kHz ($p < 0,001$) (figure 13).



La corrélation entre l'âge et le seuil audiométrique à 1 kHz est faible ($R=0,28$) mais est plus marqué à 10 kHz ($R=0,62$) (figure 14).

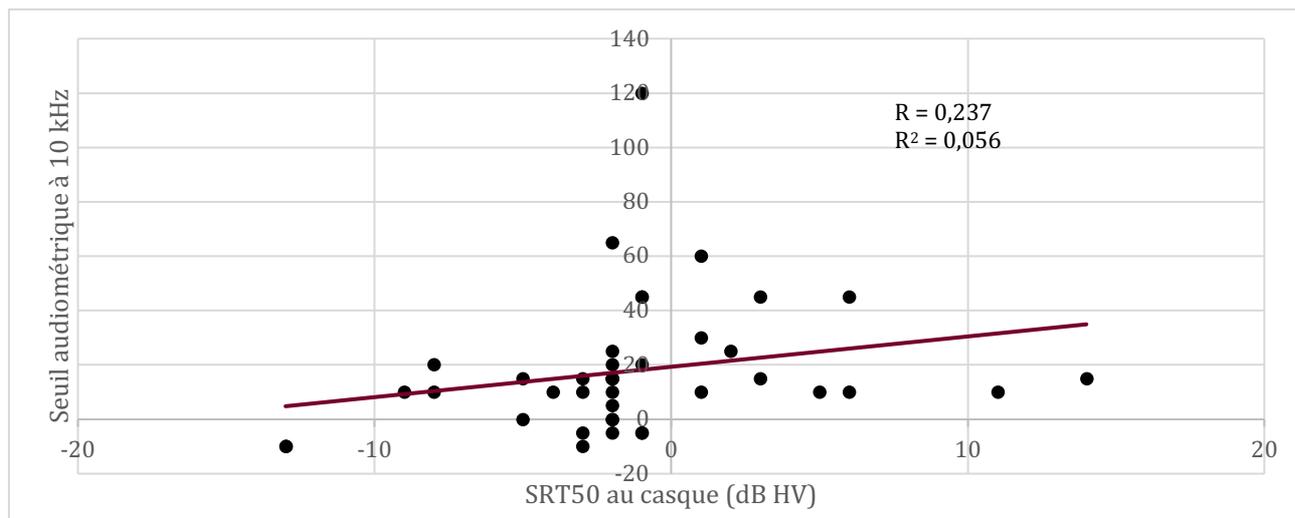


Figure 15(A) : Corrélation entre la perte à 10 kHz et le score SRT50.

Par contre, il n'y a pas de corrélation ($R=0,2$) entre le seuil à 10 kHz et le score de SRT50 (figure 15 A)

Mais, il existe une corrélation entre les seuils audiométriques à 10 kHz et le score de SIB50 est plus nette ($R=0,5$) (figure 15B).

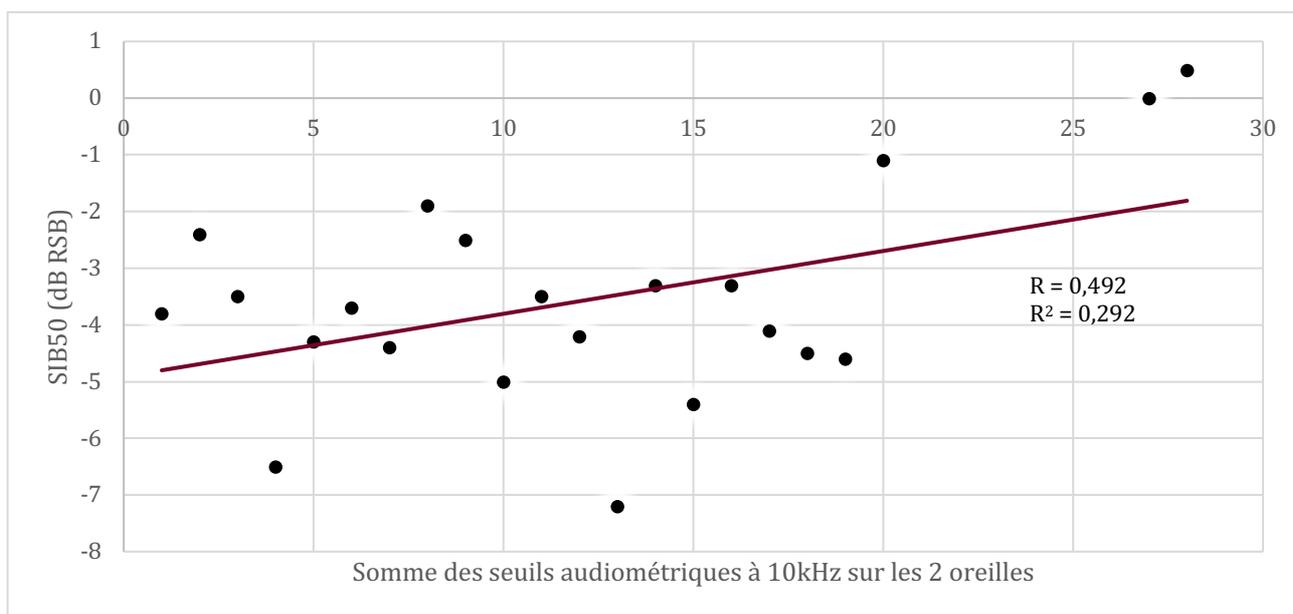


Figure 15(B) : Corrélation de la somme des pertes à 10kHz sur les 2 oreilles avec le score de SIB50 (dB RSB). Le Le FRAMATRIX ayant été réalisé en binaural, nous avons sommé les seuils audiométriques à 10 kHz des deux oreilles, afin d'étudier une corrélation avec le SIB50.

OEA +	26
OEA 1-	6
OEA 2-	3
OEA 3-	2
OEA 4-	0
OEA -	3
Total	40

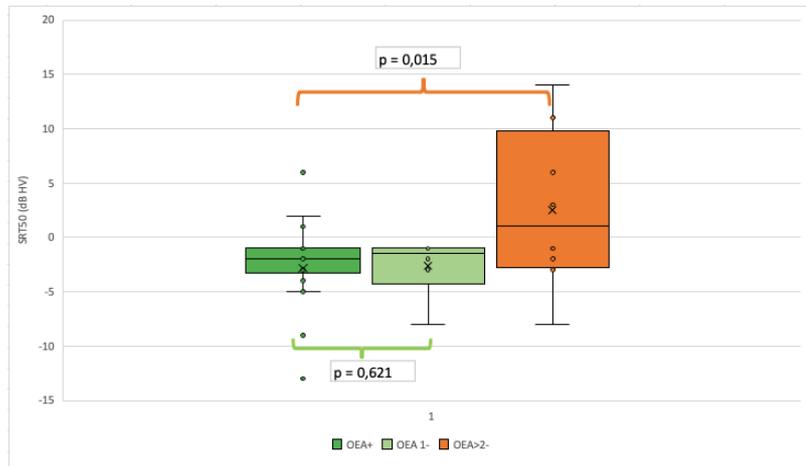


Figure 17(A) : Tableau récapitulatif des oreilles présentant des OEA sur les 5 fréquences testées (OEA+), en l'absence d'OEA (OEA-) et les profils intermédiaires. 17(B) : comparaison des SRT50 des oreilles OEA(+) à celles ayant une fréquence atteinte (OEA1-) à celle dont les fréquences atteintes sont au moins au nombre de 2.

5. SRT(50) et mesure des PDA : influence du nombre de fréquences atteintes

Les oreilles PDA(+) sur l'ensemble des fréquences ont un SRT50 moyen de -3,1 dB HV en moyenne. Si au moins une fréquence est atteinte alors le SRT50 moyen est de -1,6 dB HV (figure 18). La comparaison des SRT50 des oreilles présentant des PDA sur l'ensemble des fréquences à celui des oreilles ayant au moins une fréquence atteinte montre une différence significative ($p=0,032$) de 1,5 dB entre ces 2 populations.

PDA +	20
PDA 1-	7
PDA 2-	4
PDA 3-	4
PDA 4-	2
PDA 5-	2
PDA 6-	0
PDA 7-	1
PDA -	0
Total	40

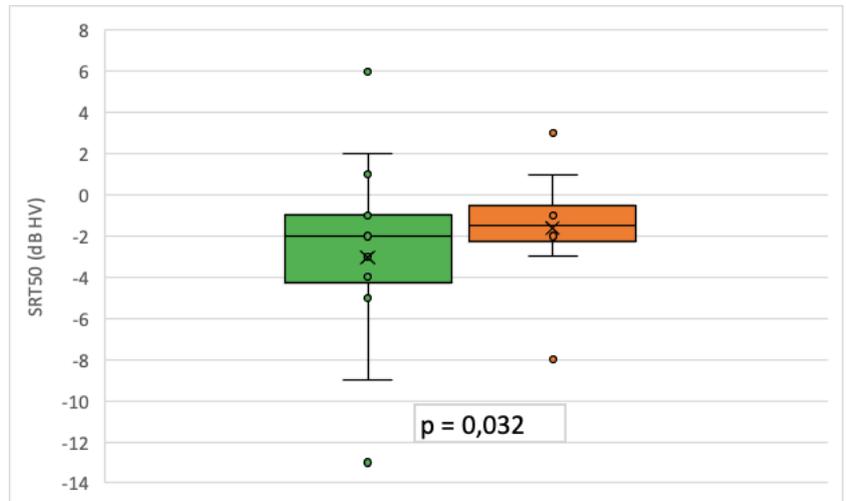


Figure 18(A) : Tableau récapitulatif des oreilles présentant des PDA sur les 8 fréquences testées (PDA+) à l'absence de PDA (PDA-) et aux oreilles au profil intermédiaire. Figure 18(B) : comparaison de SRT50 d'oreilles PDA(+) sur l'ensemble des fréquences testées, aux oreilles ayant au moins une fréquence négative au PDA.

6. Comparaison des SRT(50) entre oreilles saines et oreilles dysfonctionnelles

Les oreilles saines, c'est-à-dire dont les résultats combinés des OEAp et PDA sont positifs sur l'ensemble des fréquences ont un SRT moyen de -3 dB HV alors que les autres oreilles qui ont donc au moins un résultat négatif à l'un de ces deux tests, signant une dysfonction des cellules ciliées externes, ont un SRT50 moyen de 0,5 dB HV (figure 19).

La différence significative ($p < 0,05$) de SRT50 entre ces deux groupes est de 3,5 dB.

N = 40 oreilles	OEA+/PDA +	OEA/PDA -
	20	20

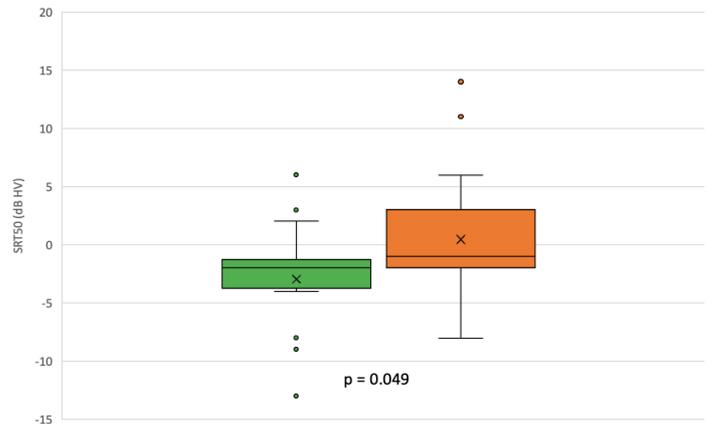


Figure 19 : Comparaison des SRT50 entre les oreilles (OEA+) ET (PDA+) sur l'ensemble des fréquences aux oreilles ayant au moins un résultat négatif sur l'un des deux tests.

7. OEAp à 1kHz et SRT(50)

On constate sur la figure 16, que la fréquence la plus souvent atteinte lors de la mesure des OEAp est à 1kHz. La comparaison des SRT50 des groupes présentant ou non des otoémissions à 1kHz n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$) (figure 17).

N = 40 oreilles	1000 Hz	
	OEA +	OEA -
	27	13

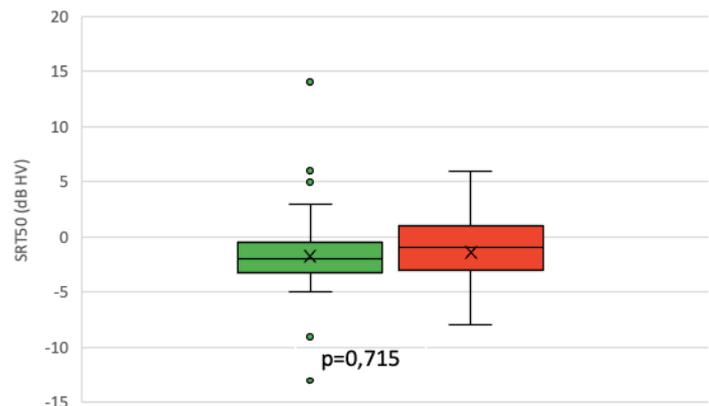


Figure 17 : Comparaison des SRT50 des oreilles (OEA+) à 1kHz à celle (OEA-) à cette fréquence.

8. OEAp et âge

L'âge moyen des personnes ayant au plus une seule fréquence sans résultat au test des OEAp est de 28 ans.

L'âge moyen des personnes ayant au moins 2 fréquences sans résultat au test des OEAp est de 50 ans (figure 18).

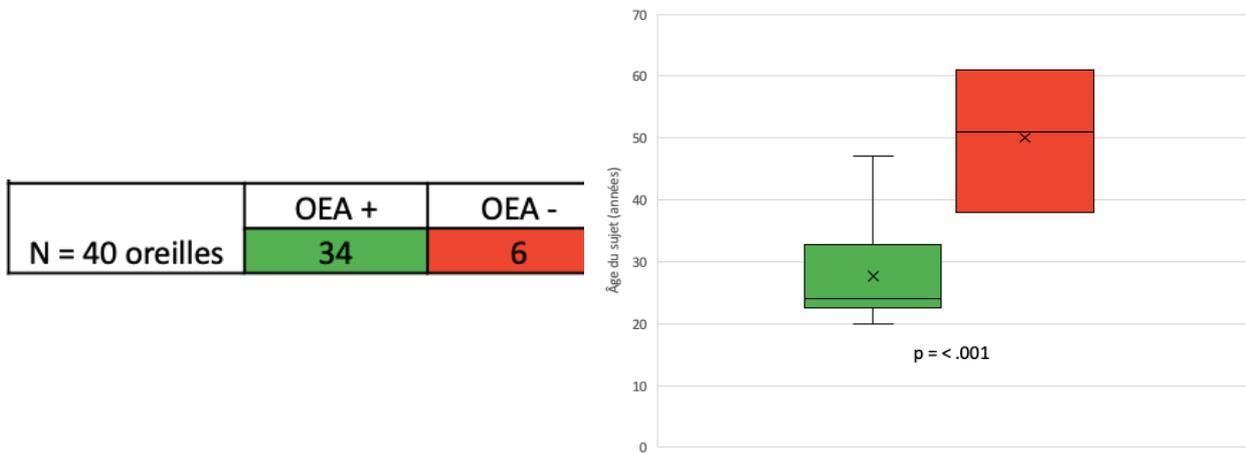


Figure 18 : Comparaison de l'âge des sujets n'ayant pas de résultat d'OEA sur au moins 2 fréquences aux résultats obtenus sur des oreilles ayant au maximum une seule fréquence atteinte.

9. PDA à 10 kHz et seuil audiométrique à 10 kHz

Les PDA permettent de tester les fréquences jusqu'à 10 kHz. Or la mesure à cette fréquence est souvent négative. Par ailleurs, le seuil audiométrique à 10kHz peut être variable d'un individu à l'autre.

Nous avons comparé les seuils audiométriques à 10 kHz des oreilles ayant des PDA à cette fréquence à ceux n'en ayant pas.

Le seuil audiométrique est de 11 dB HL en moyenne pour les sujets PDA(+) et de 33,6 dB HL chez les sujet PDA(-) (figure 19).

On constate alors une dégradation significative ($p < 0,05$) du seuil auditif chez les sujets dont les PDA sont absents. Des seuils audiométriques abaissés à 10kHz compromettent significativement la mesure de produits de distorsions à cette fréquence. On ne peut pas exclure qu'une perte d'audition trop importante à 10 kHz empêche la réalisation de la mesure.

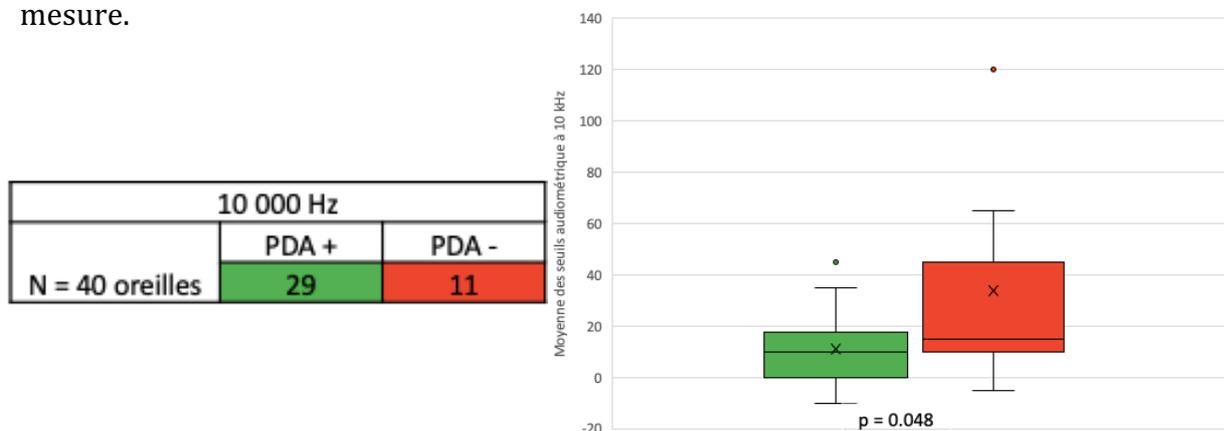
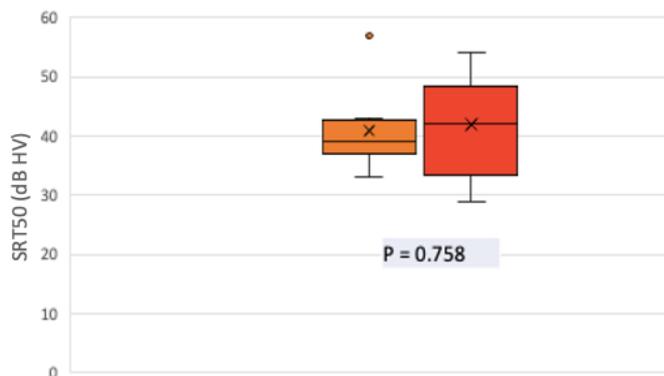


Figure 19 : Comparaison des seuils audiométriques à 10 kHz entre les oreilles présentant des PDA à cette fréquence (PDA+), à celle n'en ayant pas (PDA-).

OEA +	0
OEA 1-	1
OEA 2-	2
OEA 3-	2
OEA 4-	5
OEA -	14
Total	24



PDA +	0
PDA 1-	0
PDA 2-	0
PDA 3-	1
PDA 4-	6
PDA 5-	2
PDA 6-	2
PDA 7-	10
PDA -	3
Total	24

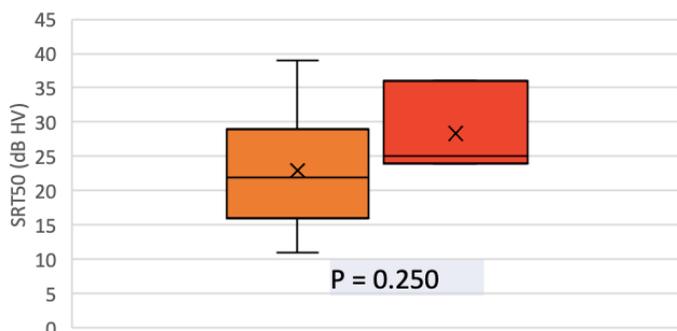


Figure 21(A) : Tableau récapitulatif des oreilles présentant des OEA sur l'ensemble des fréquences (OEA+) à celles OEA(-), ainsi que les profils intermédiaires. 24(B) : comparaison des SRT50 des oreilles OEA(-) sur l'ensemble des fréquences, à celle ayant au moins une fréquence positive aux OEA+. 24(C) : Tableau récapitulatif des oreilles présentant des PDA(+) sur l'ensemble des fréquences, aux oreilles PDA(-) ainsi que les profils intermédiaires. 24(D) : Comparaison des SRT50 des oreilles PDA(-) sur l'ensemble des fréquences, à celles présentant au moins une fréquence positive aux PDA.

▪ Surdité moyenne de 1^{er} groupe

Certaines oreilles (N=15/32 oreilles) ont le résultat attendu avec l'absence d'OEA sur l'ensemble des fréquences (figure 22). En revanche, d'autres profils sont également présents :

- OEA(+)/PDA(+)
- OEA(-)/PDA(-)
- OEA(-)/PDA(+)

Nous avons étudié le SRT50 selon ces différents profils de résultats aux OEA et PDA. Les oreilles au profil intermédiaire sont annotées du nombre de fréquences atteintes. Par exemple, une oreille avec 2 fréquences, parmi les 5 testées, pour lesquelles il n'y a pas de résultat d'OEA est légendée (OEA 2-).

De la même façon pour les PDA, lorsqu'une oreille présente, par exemple, 3 fréquences négatives aux PDA, parmi les 8 testées, alors elle est classée (PDA 3-).

4. Discussion

4.1 Qu'est-ce qu'une oreille saine ?

La population entendants (N=20, 20 ans à 61 ans) a des seuils audiométriques inférieures à 20 dB HL selon la classification BIAP. Néanmoins le seuil audiométrique à 1 kHz est proche de 0 alors que le seuil à 10 kHz est proche de 20 dB HL. La corrélation entre l'âge et le seuil audiométrique à 1 kHz est faible ($R=0,28$) mais est plus marquée à 10 kHz ($R=0,618$). A la fréquence 10 kHz, un seuil audiométrique abaissé apparaît corrélé à une dégradation de l'intelligibilité dans le bruit ($R=0,5$). Par contre, aucune corrélation n'a été trouvée entre le seuil à 10 kHz et le seuil d'intelligibilité dans le calme SRT(50).

Si 50% des oreilles testées présentent un fonctionnement correct des cellules ciliées externes (présence d'OEA et de PDA sur l'ensemble des fréquences), 7,5% des oreilles ne présentent aucune OEAp sur l'ensemble des fréquences testées même si elles présentent des PDA sur certaines fréquences. Cette atteinte partielle des cellules ciliées semble dégrader en moyenne le seuil d'intelligibilité dans le calme de 5,5 dB mais ne semble pas avoir d'impact sur l'intelligibilité dans le bruit qui semble plus sensible à une perte d'audibilité sur les hautes fréquences à 10 kHz.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par l'équipe de Lille (Morand, 2022) qui avait trouvé une perte de SRT (50) de 7,5 dB lors de la comparaison des groupes OEA(+)/PDA(+) OEA(+)/PDA(-). La différence entre les résultats peut s'expliquer par un critère de jugement retenu différent par l'équipe Lilloise. Il suffisait que l'oreille ait des OEAp sur 1 fréquence pour être considérée positive. Était considéré OEA- les oreilles qui n'avaient aucune réponse à aucune fréquence. Notre étude suggère la nécessité de considérer le nombre de fréquences atteintes. Effectivement, l'absence d'otoémission sur plus de 2 fréquences testées semble diminuer la capacité à analyser des sons faibles. Il est intéressant de noter que l'âge moyen des personnes ayant au moins 2 fréquences sans résultat au test des OEA est de 50 ans alors que l'âge moyen des personnes ayant au plus une seule fréquence sans résultat au test des OEA est de 28 ans.

Nous faisons l'hypothèse qu'une population 'saine' de référence ne peut être qu'une population jeune (moins de 30 ans) ayant des otoémissions sur au moins 4 des 5 fréquences testées. La présence des otoémissions signe l'absence de dysfonctionnement des mécanismes actifs cochléaires. Une atteinte sur plus d'une fréquence signe une presbyacousie débutante sans signes audiométriques détectables.

Un léger dysfonctionnement des cellules ciliées externes pourrait expliquer que l'intensité de stimulation pour provoquer la production d'OEA est insuffisante.

Pour explorer le niveau d'atteinte réel, il est judicieux de rechercher des produits de distorsion déclenchés par des intensités de stimulation plus importantes. Nous avons retenu la valeur de 70/70 préconisée par Kemp, utilisée par (Morand, 2022) et qui se justifiera d'autant plus en cas de surdité.

Dans le groupe entendant, aucun sujet n'a une absence totale de PDA sur l'ensemble des fréquences testées. Une seule fréquence atteinte sur les 8 mesurées a un impact significatif supplémentaire de 1,5 dB sur la valeur de SRT.

La mesure des OEA et des PDA sur plusieurs fréquences s'avère essentielle dès lors que l'on veut constituer un groupe entendant de référence, ne présentant pas en son sein les stigmates d'une presbyacousie précoce et d'un manque d'analyse des sons faibles. La recherche des seuils liminaires notamment aux hautes fréquences s'avère utile car un manque d'audibilité pourra rendre la stimulation inefficace pour générer une production de PDA.

L'exploration de l'audition devrait donc systématiquement associer une audiométrie tonale haute fréquence, une audiométrie vocale dans le silence et dans le bruit et la mesure d'OEA et de PDA pour pouvoir exclure un début de presbyacousie qui demanderait à être suivie.

4.2. OEA/PDA et surdité

La classification BIAP permet de classer les surdités selon le degré de perte audiométrique tonale moyenne. 80% des surdités appareillées sont supposées être des presbyacousies dont le critère d'appareillage retenu est selon l'arrêté de 2018, une perte tonale moyenne supérieure à 30 dB HL, un SRT(50) supérieur à 30dB, et un écart de plus de 3 dB de RSB dans le bruit. La presbyacousie se caractérise par une atteinte bilatérale, symétrique, progressive atteignant davantage les mécanismes actifs des cellules ciliées externes dans les fréquences aiguës que dans les fréquences graves. Nous nous attendons donc à une absence d'OEA lors de l'exploration des fréquences aiguës et à la présence possible d'OEA sur les fréquences mieux conservées. 50% des surdités légères et moyennes n'ont aucun résultat d'OEA sur l'ensemble des fréquences et ne présentent pas de produits de distorsion pour les fréquences au-delà de 6 kHz. Inversement des mécanismes actifs semblent persister aux fréquences 1500 Hz sur lesquelles des PDA ont pu être mesurés en cas de surdité faible. Par contre en cas de surdité moyenne premier degré, la quasi-totalité des sujets ne présentent plus de PDA. On ne peut pas exclure que l'absence d'OEA et de PDA sur une fréquence donnée peut être due à un manque d'audibilité et d'intensité des stimulations acoustiques. Néanmoins certaines oreilles avec le même profil audiométrique et les mêmes intensités de stimulations possèdent des OEA et PDA sur de nombreuses fréquences signant la fonctionnalité des cellules ciliées externes, même en cas de surdité moyenne premier degré.

La mesure des OEA et des PDA s'avère dès lors essentielle pour comprendre les mécanismes de surdités :

OEA- PDA- à une fréquence : probable presbyacousie avec des mécanismes cochléaires actifs détruits qui pourraient être compensés par un appareillage auditif capable de compenser les mécanismes de compression naturelle absent au travers de compressions d'entrée du signal soigneusement choisis.

OEA-PDA+ : probable dysfonctionnement des mécanismes cochléaires actifs qui demeurent partiellement actifs. Le choix des compressions s'avèrera d'autant plus subtil que le mécanisme est partiellement fonctionnel. L'art audioprothétique consistera à en déterminer les subtilités afin de régler au mieux le gain et les compressions.

OEA+ PDA + : la surdité n'est pas une presbyacousie. D'autres mécanismes que la perte des cellules ciliées externes sont impliqués et demandent à être explorés. Les réglages à envisager pour compenser cette perte devraient être orientés vers un gain plus linéaire puisque les mécanismes de compression naturelle sont à priori fonctionnels.

Le choix des paramètres de réglage en fonction des profils audiométriques et du résultat des OEA et PDA pourrait être l'objet d'un futur mémoire.

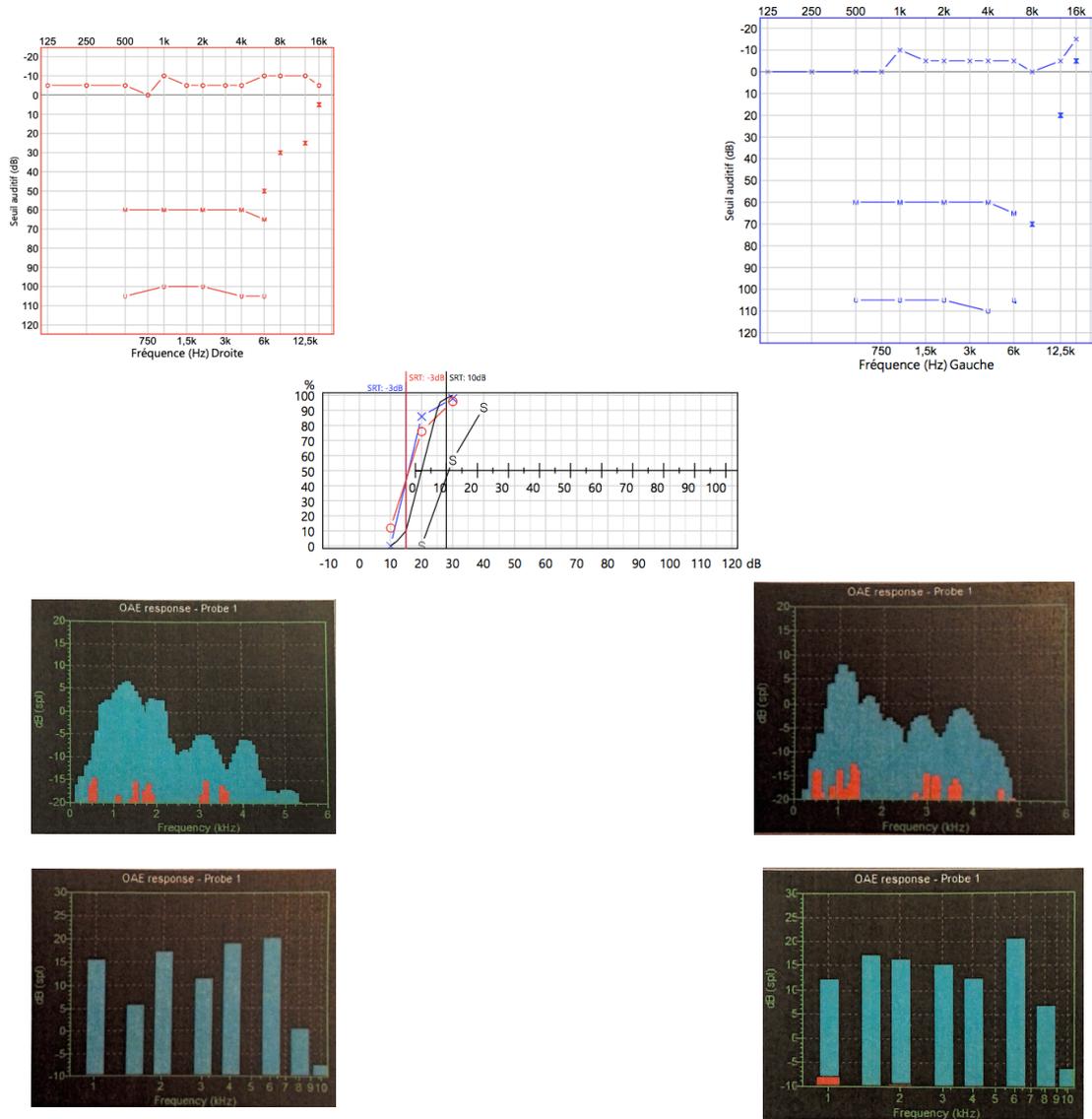
Pour l'heure nous nous sommes attachés à décrire des cas cliniques dont les seuils audiométriques sont comparables mais dont les résultats aux tests des OEA et des PDA sont différents.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de corrélations entre une dégradation des SRT, des seuils audiométriques et du SIB (50) avec la présence ou non d'otoémission et de produits de distorsion. Les mesures audiométriques cliniques apparaissent liées entre elles : plus la perte est importante, plus la valeur de SRT(50) augmente ainsi que le SIB(50). Les résultats des OEA et de PDA peuvent pour un cas donné permettre de comprendre les limites rencontrées dans l'appareillage d'un sujet

4.3. Cas cliniques

Groupe témoin – Normoentendants :

Sujet N°101 :

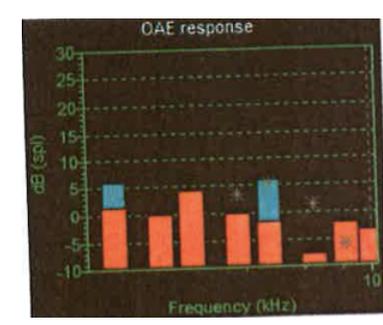
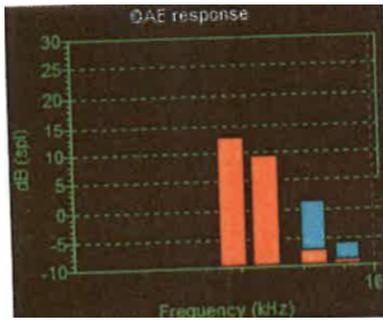
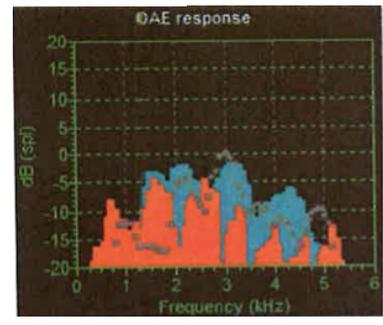
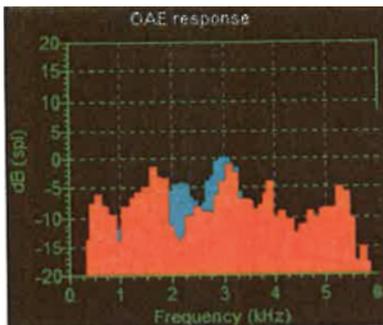
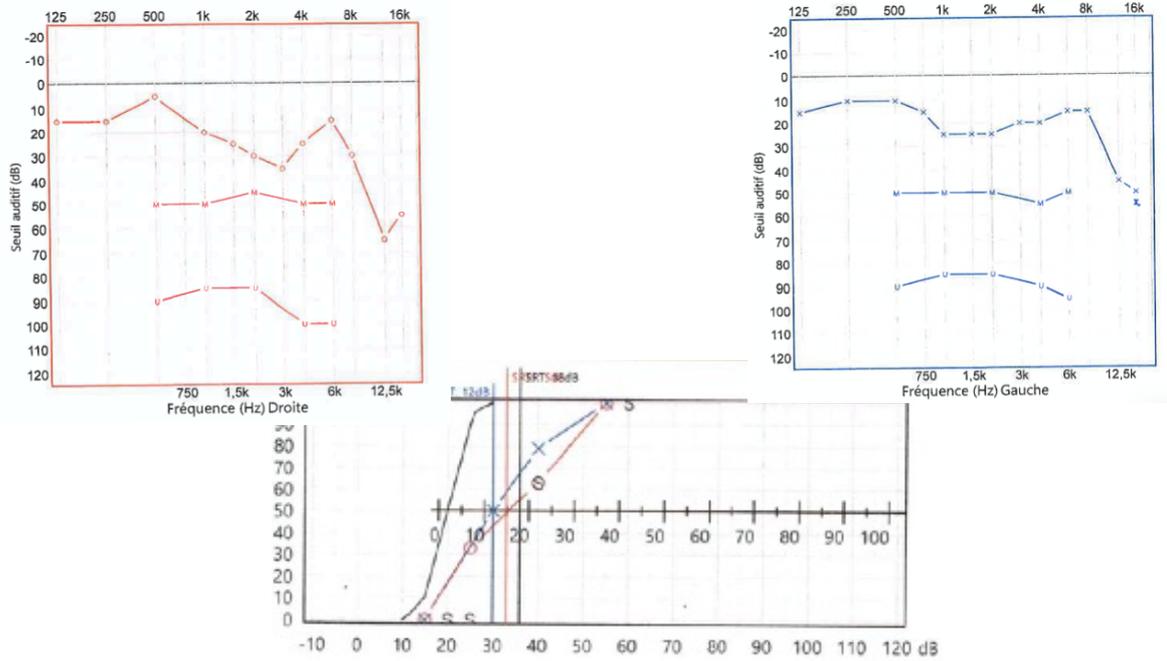


OEA 1000	OEA 1500	OEA 2000	OEA 3000	OEA 4000	PDA1 1000	PDA1 1500	PDA1 2000	PDA1 3000	PDA1 4000	PDA1 6000	PDA1 8000	PDA1 10000
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Madame P, 20 ans présente un seuil de -5 dB HL en moyenne. Elle ne présente pas de difficulté d'intelligibilité, ni dans le calme : SRT50 = -3 dB HV, ni dans le bruit : SIB50 = -3,8 dB RSB. Son audiométrie vocale concorde avec son audiométrie tonale, et ne présente pas de distorsion de cochlée. Son audiométrie hautes fréquences est normale. Elle présente des OEAp(+) sur l'ensemble des fréquences. Il en est de même concernant les PDA.

Ses oreilles sont donc saines, elle peut être considérée comme une «vraie» normoentendante, pouvant être incluse dans un groupe contrôle.

Cas clinique N°19 :



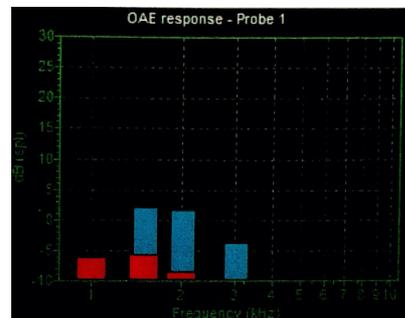
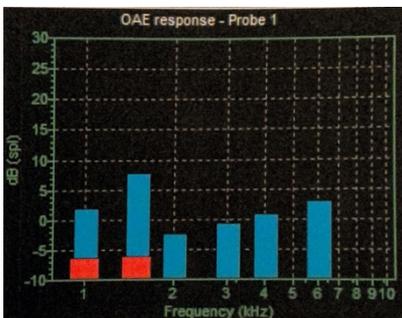
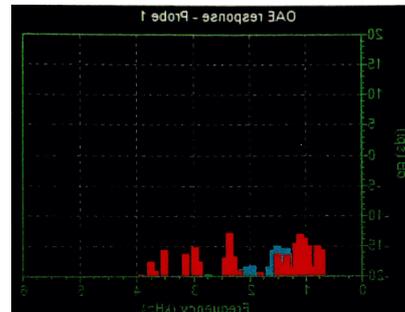
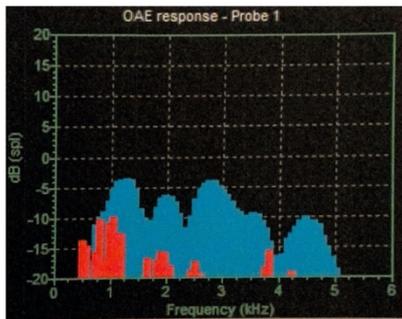
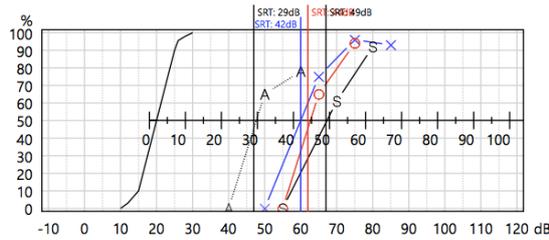
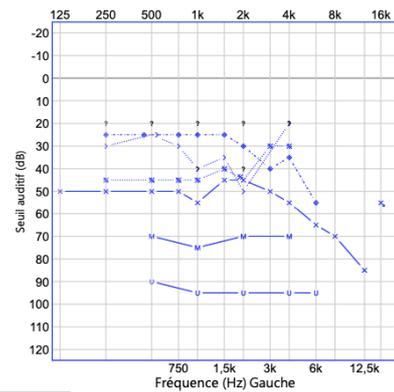
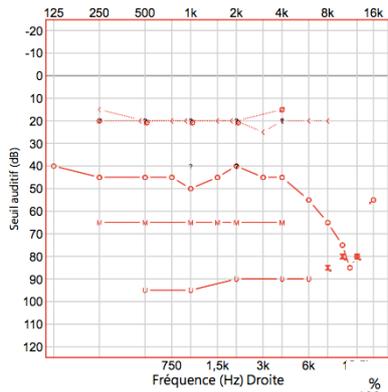
-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-

Madame G, 61 ans, présente un profil audiométrique classé comme « normal » d'après le BIAP. Son seuil d'audition moyen est de 20 dB HL sur les deux oreilles. Son audiométrie vocale concorde avec son audiométrie tonale (SRT50 = 12 dB HV à gauche et 15 dB HV à droite). Son score SIB50 est de : -3,3 dB RSB.

Par ailleurs, son audiométrie tonale hautes fréquences est fortement abaissée.

Cette dernière répond donc aux critères définis par le BIAP et est exclue des indications d'appareillage datant du décret du 14 novembre 2018. En revanche, elle ne répond pas aux exigences concernant les tests objectifs. En effet, elle présente une réponse négative sur plusieurs fréquences aux tests des OEAp et PDA.

Sujet N°106 :



+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-

Madame D, 27 ans, présente une surdité moyenne de 1^{er} groupe (PTM = 51,25 dB HL à droite et 45 dB HL à gauche). Comme pour le sujet précédent, les seuils audiométriques hautes fréquences sont fortement abaissée avec une absence de réponse à partir de 12,5 kHz.

Il existe une concordance tonale/vocale avec un SRT50 de 44 dB HV (à droite) et 42 dB HV (à gauche).

Tout comme dans le précédent cas clinique, elle est assez gênée dans le bruit, ce qui la handicape dans ses relations sociales (SIB50 = 3,2 dB RSB).

Étonnamment avec ce type de profil, on retrouve des OEAp partout sur une oreille (droite) et des PDA présents avec des amplitudes relativement importantes, excepté sur les extrêmes aigus (8kHz et 10kHz). En revanche, sur l'oreille controlatérale, plus aucune OEAp n'est retrouvée et des PDA sont retrouvés sur 4 fréquences (1,5 kHz ; 2 kHz ; 3 kHz ; 6 kHz).

La présence d'OEAp et de PDA sur l'oreille droite laisse supposer que la perte d'audition n'est pas dû à une atteinte des CCE et nécessite des explorations complémentaires.

Conclusion

La définition de l'entendant devrait reposer sur un bilan audiométrique tonal et vocal dans le silence et dans le bruit mais aussi par des résultats positifs sur l'ensemble des fréquences testées en otoémissions acoustiques et en PDA. Effectivement l'atteinte d'une seule fréquence est suffisante pour modifier la valeur de SRT(50). Cet examen fonctionnel permet de déceler une perte fonctionnelle que sur les audiométries conventionnelles ne mettront pas en évidence. De plus l'atteinte fonctionnelle augmente avec l'âge et se combine à une altération de la perception des très hautes fréquences qui impactent les capacités d'intelligibilité dans le bruit des sujets. Cette définition d'une oreille 'saine' rend difficile l'appariement en âge avec les groupes de malentendants. Un groupe 'entendant' est supposé être jeune (moins de 28 ans), avoir des examens audiométriques 'normaux' et une absence de résultat négatif aux OEAp et aux PDA.

Les sujets malentendants presbyacousiques sont supposés avoir une perte d'audition symétrique bilatérale progressive atteignant davantage les fréquences aiguës que les fréquences graves. La cause de la presbyacousie est relative à une dysfonction des cellules ciliées externes. Aussi les OEAp et les PDA se raréfient quand la perte d'audition augmente et les fréquences aiguës sont davantage concernées par ce phénomène que les fréquences graves. Néanmoins certains sujets malentendant ne présentent pas ce pattern de résultat et malgré une perte d'audition moyenne premier degré gardent des OEA (+) et des PDA(+) sur l'ensemble des fréquences (cas clinique 4). L'origine de la perte d'audition n'est donc pas liée à une presbyacousie avec une dysfonction des mécanismes actifs cochléaires. Des examens complémentaires sont à envisager pour en comprendre l'origine. Dans ce cas précis, les compressions d'entrée des prothèses auditives ne semblent pas être les paramètres les plus judicieux à activer compte tenu de l'existence de mécanismes de compression cochléaires naturels fonctionnels.

Certains patients présentent des résultats intermédiaires signant une surdité dont la cause ne dépend pas uniquement d'une atteinte des cellules ciliées externes et qui demanderait des explorations complémentaires pour en décrire les mécanismes exacts et envisager les réglages les plus judicieux des prothèses auditives en gain et en compression. L'étude des paramètres de réglage optimum dans ces cas particuliers à activer pourrait faire l'objet d'un futur mémoire de recherche en audioprothèse. L'accès par l'audioprothésiste à l'ensemble des explorations fonctionnelles d'un patient lui permettra d'optimiser les réglages des prothèses auditives.

Annexes

Listes cochléaires de J.C Lafon

AUDIOMETRIE VOCALE

Listes cochléaires

Test phonétique de J.-C. Lafon

Patient										
Date	Voix		Voix		Voix		Voix		Voix	
	M		M		M		M		M	
Automobile	F		F		F		F		F	
	E		E		E		E		E	
Opérateur	CD 1		CD 1		CD 1		CD 1		CD 1	
	piste		piste		piste		piste		piste	
Observations	1	5 25 35	2	6 26 36	3	7 27 37	4	8 28 38	5	9 29 39
	buée		bile		rôde		abbé		balle	
	ride		dors		fente		sud		soude	
	foc		sage		tige		fausse		mur	
	agis		gaine		grain		joute		nef	
	vague		fil		cave		dogue		change	
	croc		cru		buile		acquis		gagé	
	lobe		boule		somme		ville		trou	
	mieux		cale		maine		mare		mal	
	nalte		bonne		preux		noce		tonne	
	col		rive		bord		appas		peur	
	fort		sol		rouille		route		rampe	
	soupe		tempe		oser		cil		puce	
	fonte		fauve		site		fête		cor	
	vête		phase		boude		voile		vite	
	nage		mule		sauve		chaise		rance	
	souche		challe		chance		bâche		mouche	
	rogne		règne		gagne		souille		file	
	/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50	
	Voix		Voix		Voix		Voix		Voix	
	M		M		M		M		M	
	F		F		F		F		F	
	E		E		E		E		E	
	CD 1		CD 1		CD 1		CD 1		CD 1	
	piste		piste		piste		piste		piste	
	6	10 30 40	7	11 31 41	8	12 32 42	9	13 33 43	10	14 34 44
	bille		brin		bol		bois		tube	
	doute		faïlle		rade		dard		dalle	
	laine		saugé		touffe		faute		four	
	longe		langue		gêne		amas		jante	
	gave		sotte		raïde		gîte		gaz	
	seul		molle		étang		ganse		caisse	
	ami		drap		roule		cahot		folie	
	tasse		mille		mise		père		maine	
	chêne		nsaine		année		mine		saine	
	pré		pire		pile		tronc		pris	
	sur		tank		sort		passe		soute	
	crin		pur		masse		tord		rite	
	vol		suer		fève		élan		bave	
	front		rève		pince		voix		bouse	
	ruse		vase		bac		pèse		nappe	
	louche		mèche		manche		bûche		riche	
	bagne		teigne		saïgne		païlle		peigne	
	/ 50		/ 50		/ 50		/ 50		/ 50	

Bibliographie

- Avan, P., bordure, P., Bouccara, D., 2008. Electrophysiologie en ORL. Société française d'ORL. 2008 : 17-106.
- Bonfils, P., François, M., Aidan, D., Avan, P., Parat, S., Boissinot, C., Narcy, P., 1995. [Deafness in the neonatal period: basis for screening]. *Arch Pediatr* 2, 685–691. [https://doi.org/10.1016/0929-693x\(96\)81228-0](https://doi.org/10.1016/0929-693x(96)81228-0)
- Cane, M.A., Lutman, M.E., O'Donoghue, G.M., 1994. Transiently evoked otoacoustic emissions in patients with cerebellopontine angle tumors. *Am J Otol* 15, 207–216. COCHLEA, n.d. Principe des OEAp.
- Hoben, R., Easow, G., Pevzner, S., Parker, M.A., 2017. Outer Hair Cell and Auditory Nerve Function in Speech Recognition in Quiet and in Background Noise. *Front Neurosci* 11, 157. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00157>
- Hoth, S., Baljić, I., 2017. Aktuelle audiologische Diagnostik. *Laryngo-Rhino-Otol* 96, S4–S42. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120339>
- Institut national de la santé et de la recherche médicale., 2006. Déficiets auditifs- Recherches émergentes et applications chez l'enfant. Inserm. Expertise collective.
- Jakubíková, J., Kabátová, Z., Závodná, M., 2003. Identification of hearing loss in newborns by transient otoacoustic emissions. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 67, 15–18. [https://doi.org/10.1016/s0165-5876\(02\)00285-9](https://doi.org/10.1016/s0165-5876(02)00285-9)
- Kemp, D.T., 2002. Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function, and use. *Br Med Bull* 63, 223–241. <https://doi.org/10.1093/bmb/63.1.223>
- Kemp, D.T., 1978. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 64, 1386–1391. <https://doi.org/10.1121/1.382104>
- Kimberley, B.P., 1999. Applications of Distortion-Product Emissions to an Otolological Practice. *Laryngoscope* 109, 1908–1918. <https://doi.org/10.1097/00005537-199912000-00003>
- Kujawa, S.G., Liberman, M.C., 2009. Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after “temporary” noise-induced hearing loss. *J Neurosci* 29, 14077–14085. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2845-09.2009>
- Léger, A.C., Moore, B.C.J., Lorenzi, C., 2012. Abnormal speech processing in frequency regions where absolute thresholds are normal for listeners with high-frequency hearing loss. *Hear Res* 294, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2012.10.002>
- Loundon, N., 2007. [Audiometric assessment in children: clinical practice]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 124, 333–336. <https://doi.org/10.1016/j.aorl.2006.08.005>
- Mom, T., 2007. [Otoacoustic emissions in clinical and surgical practice]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 124, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.aorl.2006.09.002>

Moore, B.C.J., Huss, H., Vickers, D.A., Glasberg, B.R., Alcantara, J.I., 2000. A test for the diagnosis of dead regions in the cochlea . *British Journal of Audiology*, 2000, vol 34.

Morand, G., 2022. Suivi d'appareillage et exploration du champ d'audition résiduel du malentendant : analyse rétrospective des résultats audioprothétiques obtenus.

Morlet, T., Nagao, K., Bean, S.C., Mora, S.E., Hopkins, S.E., Hobson, G.M., 2018. Auditory function in Pelizaeus-Merzbacher disease. *J Neurol* 265, 1580–1589. <https://doi.org/10.1007/s00415-018-8884-x>

Moulin, A., Ferber-Viart, C., Berland, M., Dubreuil, C., Duclaux, R., 2001. [Systematic screening of deafness at a maternity ward using evoked otoacoustic emissions: practical aspects and parental attitudes]. *Arch Pediatr* 8, 929–936. [https://doi.org/10.1016/s0929-693x\(01\)00557-7](https://doi.org/10.1016/s0929-693x(01)00557-7)

Müller, J., Janssen, T., 2004. Similarity in loudness and distortion product otoacoustic emission input/output functions: implications for an objective hearing aid adjustment. *J Acoust Soc Am* 115, 3081–3091. <https://doi.org/10.1121/1.1736292>

Plinkert, P.K., Hemmert, W., Zenner, H.P., 1995. [Comparison of methods for early detection of noise vulnerability of the inner ear. Amplitude reduction of otoacoustic emissions are most sensitive at submaximal noise impulse exposure]. *HNO* 43, 89–97.

Rouillon, I., Achard, S., Parodi, M., Denoyelle, F., Loundon, N., 2021. Neuropathies auditives chez l'enfant : particularités cliniques et bilan audiométrique. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture* 34, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.jpp.2020.12.008>

Souchal, M., 2017. Surdités cachées ; atteinte des cellules sensorielles cochléaires ou du nerf auditif ?

Stenfelt, S., 2008. Towards understanding the specifics of cochlear hearing loss: a modelling approach. *Int J Audiol* 47 Suppl 2, S10-15. <https://doi.org/10.1080/14992020802307396>

Suckfüll, M., Schneeweiss, S., Dreher, A., Schorn, K., 1996. Evaluation of TEOAE and DPOAE measurements for the assessment of auditory thresholds in sensorineural hearing loss. *Acta Otolaryngol* 116, 528–533. <https://doi.org/10.3109/00016489609137884>

Résumé

Les indications de l'appareillage auditif reposent essentiellement sur des critères d'audiométrie comportementale (audiométrie tonale, audiométrie vocale dans le calme et dans le bruit). L'exploration des otoémissions permet de repérer des régions cochléaires disposant de mécanismes encore fonctionnels. Ainsi, une étude récente montre que certains patients malentendants peuvent présenter des produits de distorsion alors que leur perte d'audition tonale (moyenne deuxième degré) laisse supposer que les cellules ciliées externes ne sont plus fonctionnelles. Cette connaissance a des implications directes dans le choix des paramètres de réglage des aides auditives en termes de gain, de compression d'entrée et de sortie du signal.

Objectif : Notre objectif est de vérifier ces résultats en utilisant des tests d'otoémission et de produits de distorsions réalisées respectivement sur 5 et 8 fréquences. En outre, nous avons cherché les conditions tests optimales des produits de distorsion en comparant 3 intensités de stimulation f_1 et f_2 : 70/70 ; 70/60 ; 60/55dB SPL.

Matériel et méthode : Un groupe de 20 entendants âgés de 20 à 61 ans, a été comparé à un groupe de 12 malentendants ayant une perte d'audition faible âgés de 60 à 85 ans, un groupe de 16 malentendants ayant une perte d'audition moyenne premier degré âgés de 27 à 88 ans. Une audiométrie tonale liminaire au casque a permis de mesurer les seuils limites aux fréquences de 250 Hz à 10 kHz, le SRT50 a été mesuré au casque (listes cochléaires de Lafon) et le SIB50 (rapport signal sur bruit permettant la répétition de 50% des mots) a été mesuré en binaural (FRAMATRIX).

Résultats : Une intensité 70/70 a été retenue comme optimale pour exploiter les résultats du test de mesure des produits de distorsion.

50% des entendants ont des résultats positifs sur l'ensemble des fréquences testées aux otoémissions et aux produits de distorsion. Ceux présentant au moins un résultat négatif ou plus à un de ces tests ont un seuil d'intelligibilité de la parole significativement ($p < 0,05$) abaissé de 3,5 dB par rapport aux entendants. Les plus atteints sont souvent aussi les plus âgés (plus de 38 ans, $p < 0,001$). En outre ces sujets plus âgés ont également une perte moyenne à 10kHz plus élevée que ceux plus jeunes. Cette perte à 10 kHz ne semble pas impacter le résultat de SRT(50) mais semble dégrader l'intelligibilité de la parole dans le bruit.

58% des oreilles ayant une surdité faible, 47% des oreilles ayant une surdité moyenne premier degré, ne présentent aucune OEA et aucun PDA. La comparaison des SRT de ce groupe OEA-/PDA- aux oreilles présentant un résultat positif sur au moins une fréquence ne montre pas de différences. Certaines oreilles avec une surdité moyenne premier degré présentent des OEA et de PDA sur l'ensemble des fréquences. L'étiologie de la perte d'audition ne semble pas être un dysfonctionnement des cellules ciliées externes. Des explorations complémentaires s'avèrent utiles pour déterminer les causes de cette surdité.

Conclusion : La définition de l'entendant devrait reposer davantage sur des résultats positifs sur l'ensemble des fréquences testées en otoémissions acoustiques et en PDA que sur les seuls seuils audiométriques tonals sur 4 fréquences. Cette définition rendrait très difficile l'appariement en âge avec les groupes de malentendants.

Les sujets malentendants ne présentent plus dans la moitié des cas d'otoémissions et de produits de distorsions signant la dysfonction cochléaire attendue en cas de presbycusie. Néanmoins, certains patients présentent des résultats intermédiaires signant une surdité dont la cause ne dépend pas uniquement d'une atteinte des cellules ciliées externes et qui demanderait des explorations complémentaires pour en décrire les mécanismes exacts et envisager les réglages les plus judicieux des prothèses auditives en gain et en compression.