



## AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

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



---

Prise en charge audioprothétique des  
malentendants appareillés travaillant en  
milieu bruyant

---

**MEMOIRE**

présenté en vue de l'obtention du

**DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE**

Par

**Justine GERARD**

Maître de mémoire : Romain DECOLIN

Novembre 2017

# REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont,

A Monsieur Romain DECOLIN, audioprothésiste Diplômé d'Etat, maître de stage et de mémoire, pour son investissement certain et son aide précieuse à la réalisation de ce mémoire,

A Monsieur Joël DUCOURNEAU, co-directeur de la formation menant au Diplôme d'Etat d'audioprothésiste à la faculté de pharmacie de Nancy, enseignant de physique acoustique, pour son accompagnement pédagogique au cours de ces trois années d'études et ainsi que pour la préparation de ce mémoire,

Aux médecins du travail, le Docteur Philippe GUERIN pour m'avoir dirigé vers ce sujet de mémoire, ainsi qu'au Docteur Marie-Christine HOUILLIEZ, qui se sont tous les deux investis dans la recherche des patients et la démarche auprès des entreprises participantes,

A l'ergonome Monsieur Nicolas BONNET du SIST BTP, pour son accompagnement et sa bienveillance quant à la réalisation des mesures acoustiques sur les chantiers,

Aux entreprises Demathieu et Bard, Eurovia, FLB, GTM Hallé et SPIE Est qui m'ont permis d'effectuer les différentes mesures sonométriques auprès de leurs salariés et pour la compréhension envers mon sujet de mémoire dont elles ont fait preuve,

Aux patients, pour m'avoir donné leur accord et avoir participé activement à mon étude,

Aux différents intervenants de l'école d'audioprothèse de Nancy, pour leurs enseignements de qualité,

A mes camarades de classe, sans qui ces trois années n'auraient sûrement pas été les mêmes,

A mes parents et mon frère, qui m'ont toujours soutenue et accompagnée dans la réalisation de mes projets.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE 1 : L'AUDITION FACE AU BRUIT PROFESSIONNEL.....</b>	<b>3</b>
<b>I. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION.....</b>	<b>3</b>
1. L'oreille, amplificateur naturel des ondes sonores.....	3
a. Oreille externe.....	3
b. Oreille moyenne.....	5
c. Oreille interne.....	6
d. Physiologie de l'audition.....	8
2. Filtres auditifs.....	9
3. Sensibilité auditive.....	12
4. Définition d'une surdité.....	15
<b>II. BRUIT : NOTIONS D'ACOUSTIQUE ET DE PSYCHOACOUSTIQUE.....</b>	<b>16</b>
1. Généralités sur les sons.....	16
a. Représentation graphique des sons.....	16
b. Sons aléatoires.....	17
c. Sons impulsionnels.....	19
2. Notions fondamentales autour du bruit.....	20
a. Définition.....	20
b. Caractéristiques.....	21
c. Niveaux sonores.....	21
d. Pondérations.....	22
e. Evaluation de l'exposition sonore.....	24
i. Niveau sonore équivalent.....	24
ii. Niveau d'exposition sonore sur une durée effective de travail.....	25
iii. Niveau d'exposition sonore quotidienne au bruit.....	26
iv. Niveau crête.....	27
v. Matériels de mesure.....	27
3. Effets du bruit sur la santé.....	28
a. Effets auditifs.....	28
i. Adaptation auditive.....	28
ii. Fatigue auditive.....	28
iii. Traumatisme sonore.....	29
iv. Acouphènes.....	30
v. Surdité traumatique.....	30
vi. Effet de masque.....	32
b. Effets extra-auditifs.....	33
4. Bruit en milieu professionnel.....	34
a. Etat des lieux.....	34
b. Réglementation en vigueur.....	36
i. Prévention du risque d'exposition au bruit.....	36
ii. Facteur de pénibilité.....	38
iii. Signaux de danger auditifs.....	38

c.	Reconnaissance de la surdité professionnelle.....	40
<b>III.</b>	<b>PRISE EN CHARGE AUDIOPROTHETIQUE EN MILIEU BRUYANT.....</b>	<b>42</b>
1.	Fonctionnement général de la prothèse auditive.....	42
2.	Réglages adaptés au bruit.....	43
a.	<i>Influence du coupleur auriculaire.....</i>	43
i.	Event.....	43
ii.	Embout.....	44
b.	<i>Influence des paramètres de réglage.....</i>	48
i.	Compression dynamique et MPO.....	48
ii.	Temps d'attaque et temps de retour.....	50
iii.	Directivité microphonique.....	51
iv.	Réducteurs de bruit.....	53
v.	Programmes.....	53
	<b>PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE.....</b>	<b>55</b>
<b>I.</b>	<b>EXPLOITATION DU QUESTIONNAIRE.....</b>	<b>55</b>
1.	Objectif.....	55
2.	Exploitation des résultats.....	55
3.	Conclusion de l'enquête.....	58
<b>II.</b>	<b>ETUDE EXPERIMENTALE DES TRAVAILLEURS APPAREILLES.....</b>	<b>59</b>
1.	Etude sonométrique.....	59
a.	<i>Protocole.....</i>	59
b.	<i>Matériel utilisé.....</i>	59
c.	<i>Exemples.....</i>	59
2.	Etude audiométrique.....	60
a.	<i>Audiométrie tonale.....</i>	61
b.	<i>Audiométrie vocale.....</i>	61
c.	<i>Test ANL.....</i>	62
3.	Etude audioprothétique.....	62
a.	<i>Chaîne de mesure.....</i>	62
b.	<i>Réglages des appareils auditifs.....</i>	63
4.	Etude de cas.....	63
a.	<i>Cas n°1.....</i>	63
i.	Anamnèse et tests audiométriques.....	63
ii.	Environnement sonore au travail.....	65
iii.	Mise en relation des données relevées.....	66
b.	<i>Cas n°2.....</i>	68
i.	Anamnèse et tests audiométriques.....	68
ii.	Environnement sonore au travail.....	70
iii.	Mise en relation des données relevées.....	70
c.	<i>Cas n°3.....</i>	72
i.	Anamnèse et tests audiométriques.....	72
ii.	Environnement sonore au travail.....	74
iii.	Mise en relation des données relevées.....	75
d.	<i>Cas n°4.....</i>	78

i.	Anamnèse et tests audiométriques .....	78
ii.	Environnement sonore au travail.....	80
iii.	Mise en relation des données relevées.....	81
e.	Cas n°5.....	83
i.	Anamnèse et tests audiométriques .....	83
ii.	Environnement sonore au travail.....	84
iii.	Mise en relation des données relevées.....	85
5.	Limites .....	87
6.	Conclusion de l'étude .....	87
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>90</b>
<b>TABLE DES FIGURES .....</b>		<b>94</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX .....</b>		<b>96</b>
<b>TABLE DES ANNEXES.....</b>		<b>97</b>

# INTRODUCTION

L'ouïe, l'un des cinq sens que possède l'Homme, est à la base de la communication et du fondement des relations humaines. L'organe de l'audition qu'est l'oreille constitue un système complexe de perception de l'environnement sonore. Ce sens est un élément essentiel à la vie sociale, au développement personnel et également à la survie de l'espèce. Néanmoins, de par le vieillissement cellulaire ou par un facteur perturbant tel que le bruit, l'audition peut être mise à mal.

Parfois gênant et nocif, le bruit perturbe la sensation auditive et son interprétation par le cerveau. Souvent, il est négligé par l'être humain, et pourtant il est présent partout dans son quotidien, à domicile, dans la rue, dans les lieux de loisir et jusqu'au milieu professionnel. Malgré la multiplication de la prévention sur les effets néfastes induits par le bruit, de nombreuses personnes restent peu informées sur le sujet et multiplient les expositions à des niveaux sonores élevés, parfois pendant de longues durées.

Ce scénario est très souvent retrouvé chez les salariés du milieu du bâtiment et des travaux publics. Exposés à des sons de fortes intensités sur une longue période, certains omettent de se protéger efficacement. Après de multiples répétitions à ces expositions sur leur milieu de travail, ces salariés voient leur audition se détériorer. La baisse auditive s'installe lentement et s'aggrave de plus en plus jusqu'à ce que le travailleur confronté au bruit ressente le besoin de s'équiper de prothèses auditives.

Ces malentendants présentant une surdité justifiant le port de prothèses auditives restent toujours actifs professionnellement et continuent de s'exposer à un milieu sonore bruyant. Face à cette situation, le salarié doit pouvoir se protéger du bruit ambiant et néanmoins percevoir efficacement les signaux d'alerte tout en étant capable de communiquer avec ses collègues, tout ceci pour assurer sa propre sécurité sur un chantier. La combinaison entre protection et correction auditive est difficile à mettre en place chez ces salariés. C'est donc sur cette problématique, constatée à plusieurs reprises par des médecins du travail du SIST BTP<sup>1</sup>, qu'a été engagé le sujet de ce mémoire.

Cette étude a pour objectif d'effectuer un état des lieux, à un instant donné, des conditions de l'exposition sonore et des réglages spécifiques implantés dans les prothèses auditives de ces patients qui permettent d'assurer à la fois un confort auditif en termes d'intelligibilité et la protection contre les forts niveaux sonores.

Connaître l'environnement sonore dans lequel évoluent ces malentendants a paru une évidence. Des mesures de l'exposition sonore ont donc été effectuées afin de se rendre

---

<sup>1</sup> Services interentreprises de Santé au Travail, médecine du travail pour les travailleurs du bâtiment et des travaux publics.

compte du milieu bruyant caractéristique du milieu du BTP. Le but de cette étude est de mettre en relation les mesures de l'exposition sonore de plusieurs salariés ainsi que leurs tests audiométriques avec les réglages intégrés dans leur appareillage. De plus, il semble important d'avoir connaissance de leur ressenti personnel et de leur gêne face à leur condition de travail. C'est pourquoi l'idée de concevoir un questionnaire sur leurs habitudes a paru intéressante à mettre en place.

C'est d'abord avec des rappels anatomiques de l'oreille et de sa physiologie que débutera ce mémoire. Ensuite, il sera détaillé les caractéristiques du bruit ainsi que ses impacts sur le système auditif. Nous nous intéresserons aux méthodes employées actuellement pour mesurer l'exposition sonore d'un salarié confronté au bruit et les divers textes de loi qui encadrent cette exposition. La fin de la première partie énumérera les méthodes de réglages audioprothétiques dont dispose l'audioprothésiste pour apporter un maximum de confort auditif à son patient. Il sera également question de discuter des paramètres acoustiques de la prothèse auditive adaptés à un travail en milieu bruyant.

La deuxième partie mettra en avant le travail d'étude basé sur notre problématique. Ainsi, les résultats du questionnaire rempli par chaque salarié seront développés afin d'en apprendre davantage sur leur vie professionnelle et sur l'utilisation de leurs prothèses auditives. Ensuite, le détail sera fait sur les données récoltées à la suite des mesures d'exposition effectuées à l'aide d'un sonomètre et d'un exposimètre. Pour chacun des salariés malentendants, nous évaluerons la dynamique auditive résiduelle puis nous décrirons les différents tests qui ont été pratiqués en cabine audiométrique. Enfin, nous constaterons pour chaque patient les caractéristiques de leur appareillage et les réglages implantés afin de les comparer aux conditions d'exposition sonore dont ils sont soumis sur leur lieu de travail.

# PARTIE 1 : L'AUDITION FACE AU BRUIT PROFESSIONNEL

## I. ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION

### 1. L'oreille, amplificateur naturel des ondes sonores

L'oreille est l'organe de l'audition. Elle permet de recevoir un signal acoustique et de le retranscrire en un signal électrique à destination du cerveau. Anatomiquement, le système auditif comprend trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. Avant d'aborder l'impact du bruit sur le système auditif, étudions le parcours du son à travers l'oreille jusqu'à sa perception par les centres nerveux.

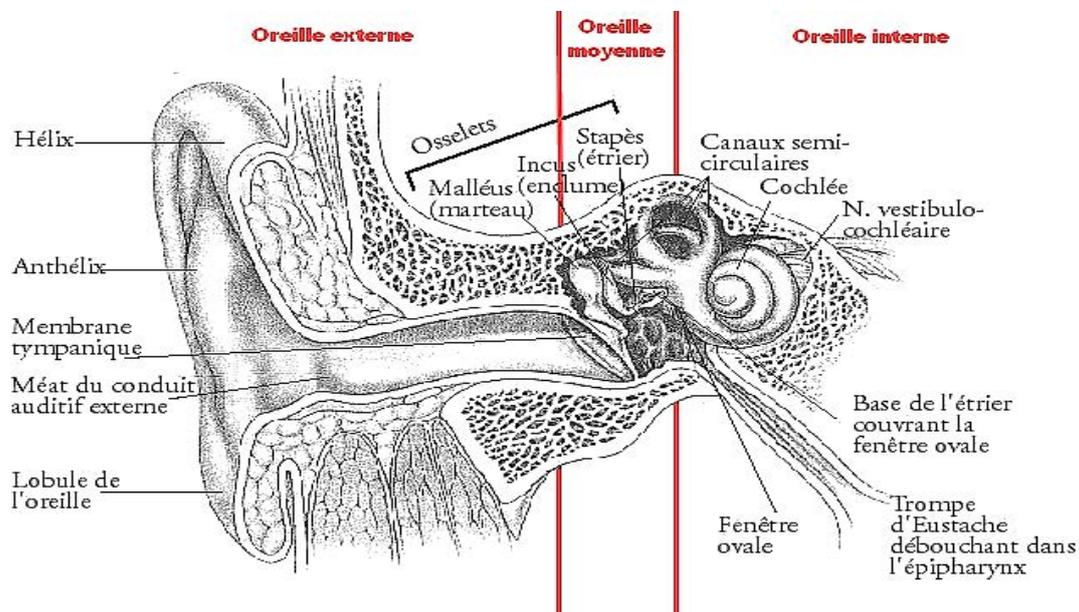


Figure 1 - Schéma anatomique de l'oreille [1]

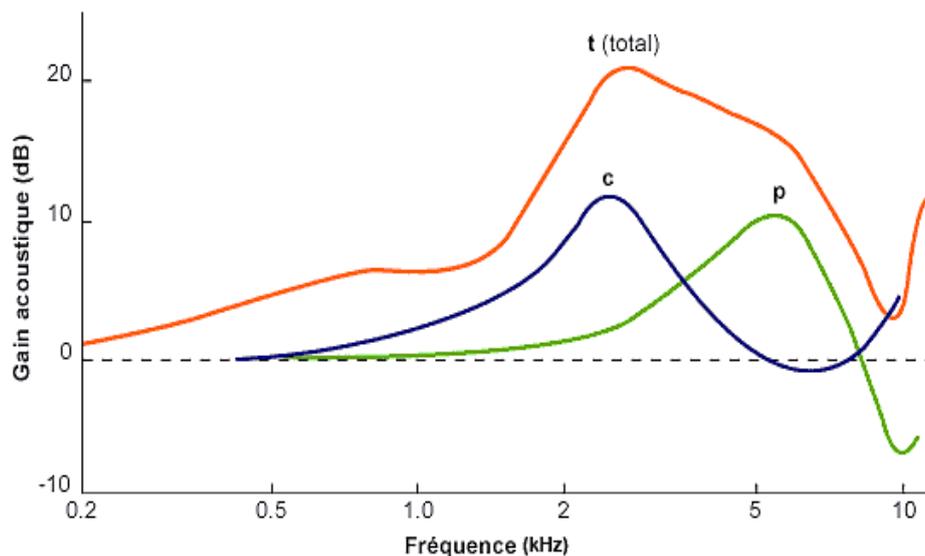
#### a. Oreille externe

L'oreille externe, composée du pavillon et du conduit auditif externe, a pour rôle de capter, amplifier et focaliser les sons vers le tympan.

Le pavillon est la partie externe et visible de l'organe de l'audition. Essentiellement composé de cartilage et de peau, il collecte les ondes sonores et les dirige vers le conduit auditif externe. Ce conduit long d'environ trois centimètres présente deux parties, une première partie cartilagineuse tapissée de poils auriculaires et de glandes sécrétant le cérumen et une seconde partie osseuse. Le conduit auditif externe a un rôle protecteur et antiseptique.

La pression acoustique au pied du tympan est différente de celle arrivant devant le pavillon. En effet, la conque et le conduit auditif externe assurent une première amplification naturelle principalement située sur les hautes fréquences. Celle-ci permet notamment de localiser avec précision l'origine spatiale d'une source sonore.

La fonction de transfert correspond à la transformation de la pression acoustique en amplitude et en phase, du champ libre au tympan. Ainsi, en focalisant les ondes sonores vers le méat acoustique, le pavillon constitue un premier résonateur autour de 5 000 Hz avec une amplification d'environ 10 dB. A son tour, le conduit auditif externe assure une amplification de 10 dB située vers la fréquence 2 800 Hz. A 3 000 Hz, l'amplification totale d'un son apportée par l'oreille externe est donc de 20 dB, ce qui correspond à un niveau sonore multiplié par 10.



**Figure 2** - Effet du pavillon (p, vert) et du conduit auditif externe (c, bleu) sur le gain acoustique et fonction de transfert totale de l'oreille externe (t, rouge) [2]

La fonction de transfert est néanmoins spécifique à chaque individu et dépend des caractéristiques anatomiques propres à chacun (profondeur et forme de la conque, longueur, diamètre et courbure du conduit auditif externe).

Il est à noter également que la fonction de transfert de l'oreille externe peut être modifiée par l'insertion d'un embout de prothèse auditive dans le conduit auditif externe. De par sa forme, sa profondeur et son aération, un embout peut venir changer certaines caractéristiques physiques de cette fonction de transfert telles que la modification de l'amplification naturelle de l'oreille externe ou encore la modulation de la fréquence d'amplification maximum.

## b. Oreille moyenne

Le rôle de l'oreille moyenne est d'assurer le transfert des ondes sonores du milieu aérien aux liquides et structures de l'oreille interne.

Le tympan, fine membrane fibreuse et transparente, sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne. La membrane tympanique vibre à l'arrivée d'ondes sonores provenant du conduit auditif externe et transmet ses vibrations à la chaîne ossiculaire. Les osselets sont au nombre de trois, le marteau, l'enclume et l'étrier. Reliés mécaniquement les uns aux autres, ils relaient les vibrations jusqu'à la fenêtre ovale.

L'oreille moyenne est un amplificateur de pression, c'est-à-dire qu'elle récupère l'énergie acoustique disponible dans le milieu aérien afin de l'augmenter dans l'oreille interne. Ainsi, du tympan à la fenêtre ovale, l'adaptation d'impédance est réalisée à l'aide de deux moyens :

- Au rapport des surfaces (20) entre le tympan ( $S_1 = 0,65 \text{ cm}^2$ ) et la platine de l'étrier ( $S_2 = 0,036 \text{ cm}^2$ ),
- Au rapport des leviers (1,3) dû à la différence de longueur entre le bras du marteau (9 mm) et celui de l'enclume (7 mm).

Par multiplication des rapports, l'amplification de l'oreille moyenne est donc de 26,4 dB.

Une fonction de transfert agit également dans l'oreille moyenne. Elle correspond au rapport entre la pression acoustique au niveau du tympan et celle mesurée dans la périlymphe, à proximité de la fenêtre ovale.

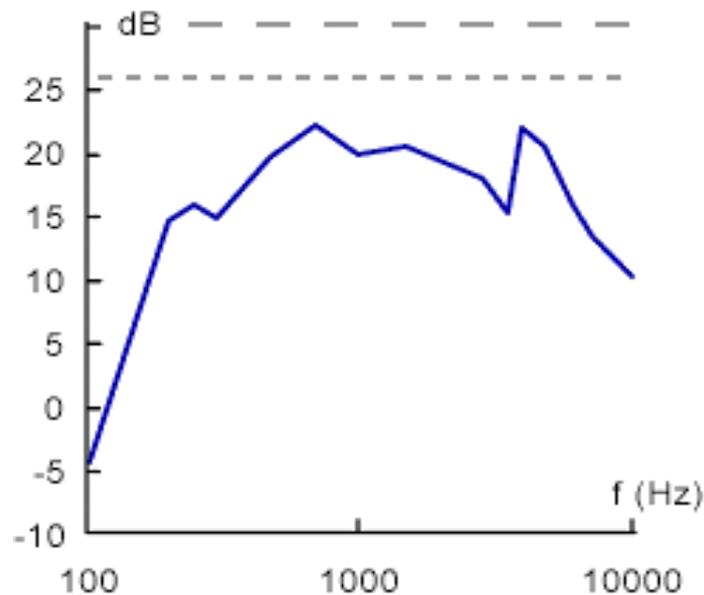


Figure 3 - Fonction de transfert de l'oreille moyenne [3]

L'oreille moyenne joue aussi le rôle de protection de l'oreille interne grâce à l'action du réflexe stapédien. Lorsque l'oreille est soumise à un niveau sonore supérieur à 80 dB, le muscle tenseur du tympan et le muscle stapédien se contractent par voie réflexe. La transmission du son est ainsi diminuée par l'augmentation de la rigidité du système ossiculaire de l'oreille moyenne. Ce réflexe agit de façon bilatérale et symétrique et permet d'atténuer les dommages que peuvent subir les cellules ciliées de l'oreille interne en présence d'un son de forte intensité. [4]

Le réflexe stapédien possède néanmoins quelques limites. En effet, il se produit après une période de latence de 40 ms et présente une fatigabilité, par conséquent il ne protège pas les récepteurs contre les bruits impulsionnels et les bruits de longue durée. La protection apportée est également faible puisqu'elle est de l'ordre de 5 à 10 dB et varie selon la fréquence du son. De plus, le réflexe stapédien est limité en fréquence puisqu'il atténue essentiellement les fréquences graves inférieures à 2 000 Hz et est peu efficace sur les fréquences aigües.

Le réflexe stapédien présente également des limites inter-individuelles. En effet, ce réflexe peut parfois être absent chez un individu sain sans qu'il y ait une cause précise à son absence. De plus, son seuil de déclenchement varie d'une personne à l'autre. Il peut s'étendre de 70 dB à 100 dB selon la fréquence de stimulation pour une audition normale.

### c. Oreille interne

L'oreille interne renferme d'une part l'organe de l'équilibre (le vestibule et les trois canaux semi-circulaires) et d'autre part l'organe de l'audition (la cochlée) dont le rôle est de traduire et de coder les messages acoustiques à destination des centres nerveux. Aussi appelée labyrinthe du fait de sa complexité, elle est située dans le rocher et est constituée de deux parties structurelles. La coque externe, appelée labyrinthe osseux, comprend deux ouvertures pour la fenêtre ovale et la fenêtre ronde. A l'intérieur de ce labyrinthe osseux se trouve une partie plus molle appelée labyrinthe membraneux où sont localisés les récepteurs sensoriels de l'audition.

La cochlée forme un long tube spiralé enroulé sur deux tours et demi autour d'un axe osseux. Elle est divisée en trois parties : la rampe vestibulaire, la rampe tympanique et le canal cochléaire. Les deux rampes contiennent le liquide périlymphatique riche en sodium et communiquent entre elles à l'apex de la cochlée par l'hélicotrème. Le canal cochléaire contenant l'organe de Corti à l'origine de la transduction mécano-sensorielle est quant à lui rempli d'endolymphe riche en potassium. [5]

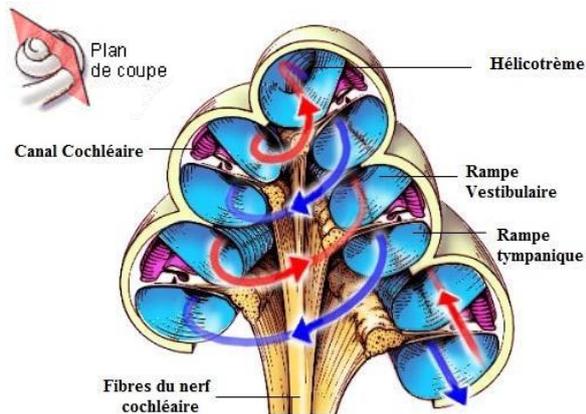


Figure 4 - Coupe schématisée de la cochlée avec visualisation du sens de circulation des liquides [6]

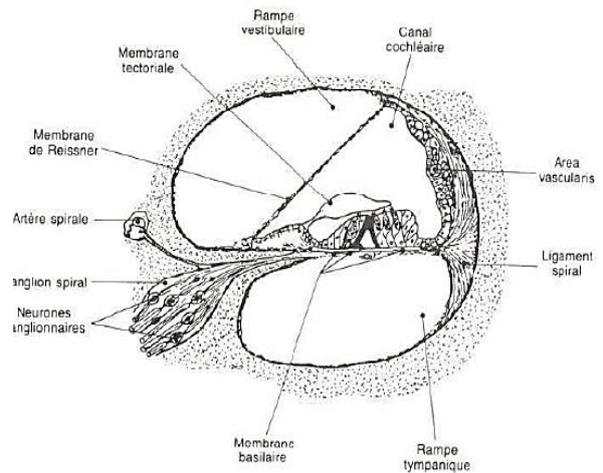


Figure 5 - Schéma d'une section d'un tour de spire de la cochlée [7]

L'organe de Corti contenu dans le canal cochléaire est composé des cellules neurosensorielles, des fibres nerveuses qui leur sont connectées et des cellules de soutien. Il existe deux sortes de cellules neurosensorielles, les cellules ciliées internes (CCI) et les cellules ciliées externes (CCE). Ce sont elles qui assurent la transformation de la stimulation mécanique en message bioélectrique.

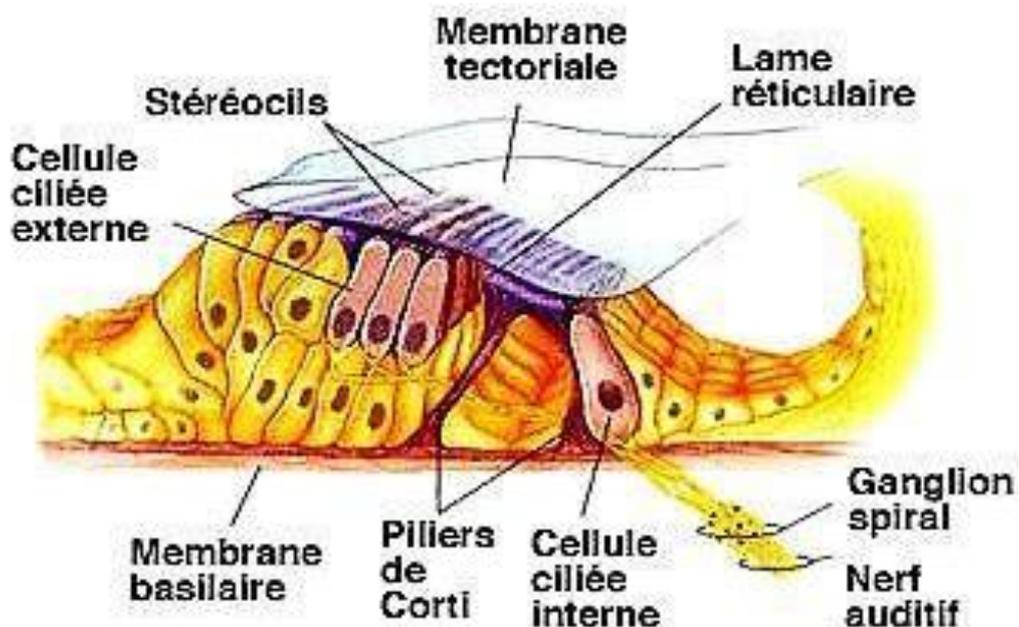


Figure 6 - Schéma de l'organe de Corti [8]

Les cellules ciliées internes, au nombre de 3 500, sont réparties sur une seule rangée entourée de cellules de soutien. Ces cellules sont coiffées de stéréocils arrangés en forme de palissade qui baignent dans le liquide endolympatique. Les cellules ciliées internes sont connectées avec 90 % des fibres afférentes du nerf auditif.

Les cellules ciliées externes sont quant à elles réparties sur 3 rangées et sont plus nombreuses, 13 000 environ. Leurs corps cellulaires ne sont pas entourés de cellules de soutien mais chaque extrémité est fermement rattachée, en bas aux cellules de Deiters et en haut par leur stéréocils en forme de W à la membrane tectoriale. Il existe donc un lien mécanique entre la membrane basilaire et la membrane tectoriale. Les cellules ciliées externes sont connectées avec 90 % des fibres efférentes du nerf auditif.

De par la disposition de ces éléments, ce sont donc les cellules ciliées internes qui sont à l'origine du message auditif nerveux tandis que les cellules ciliées externes permettent la modulation de celui-ci.

#### d. Physiologie de l'audition

D'abord capté par le pavillon, le son arrive jusqu'au tympan par le conduit auditif externe. Par vibration du tympan, ce son est transformé en énergie mécanique et amplifié partiellement par les osselets puis relayé dans l'oreille interne. La périlymphe étant un liquide incompressible, lorsque l'étrier appuie sur la fenêtre ovale à l'entrée de la rampe vestibulaire, le déplacement du liquide périlympatique se propage jusqu'à la rampe tympanique en passant par l'hélicotrème mettant finalement en mouvement la fenêtre ronde qui se situe à l'autre extrémité de la cochlée. La membrane de Reissner et la membrane basilaire se déforment alors suite à la différence de pression hydraulique entre les deux rampes avec un maximum à un endroit précis qui sera décrit en fonction de la fréquence de l'onde sonore.

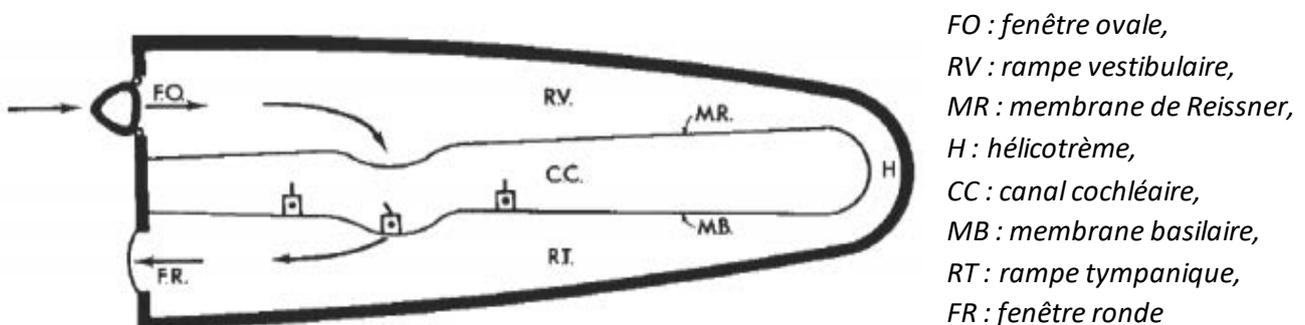


Figure 7 - Trajet de l'onde propagée le long de la cochlée [9]

Ainsi, la membrane basilaire est responsable d'une discrimination fréquentielle où les basses fréquences sont codées à l'apex de la cochlée tandis que les hautes fréquences sont codées à la base. Cette corrélation entre une fréquence donnée et la stimulation de la membrane basilaire est appelée tonotopie, c'est le mécanisme passif cochléaire.

A ce phénomène passif s'ajoute un mécanisme actif. Lors du mouvement de la membrane basilaire suite à une stimulation sonore, les stéréocils des cellules ciliées externes imbriqués dans la membrane tectoriale fixe s'inclinent ce qui permet l'ouverture de canaux ioniques et induit une entrée de potassium dans les cellules ciliées externes. Cette polarisation due à une décharge de potassium entraîne la contraction des cellules, c'est l'électromotilité des cellules ciliées externes. Le mouvement de la membrane basilaire se trouve alors amplifiée dans la zone stimulée. Les cellules ciliées externes sont donc responsables de la modulation du signal et réalisent ainsi une amplification sélective à l'origine de la sensibilité et de la discrimination fréquentielle de l'oreille.

La région concernée vibre suffisamment pour que les stéréocils des cellules ciliées internes se déplacent également. Leur dépolarisation permet de libérer un neurotransmetteur, le glutamate, qui se fixe sur la membrane post-synaptique du protoneurone et qui déclenche un potentiel d'action unitaire. Le signal électrique se déplace ensuite le long du nerf auditif pour parvenir jusqu'aux centres nerveux où il sera interprété. Les cellules ciliées externes jouent donc le rôle de transmission de l'information auditive puisqu'elles assurent la transduction mécano-électrique.

Cette description anatomique et physiologique de l'audition étant donnée, il sera alors possible de détailler et d'expliquer les effets auditifs du bruit et les mécanismes qui sont perturbés en présence de celui-ci.

## 2. Filtres auditifs

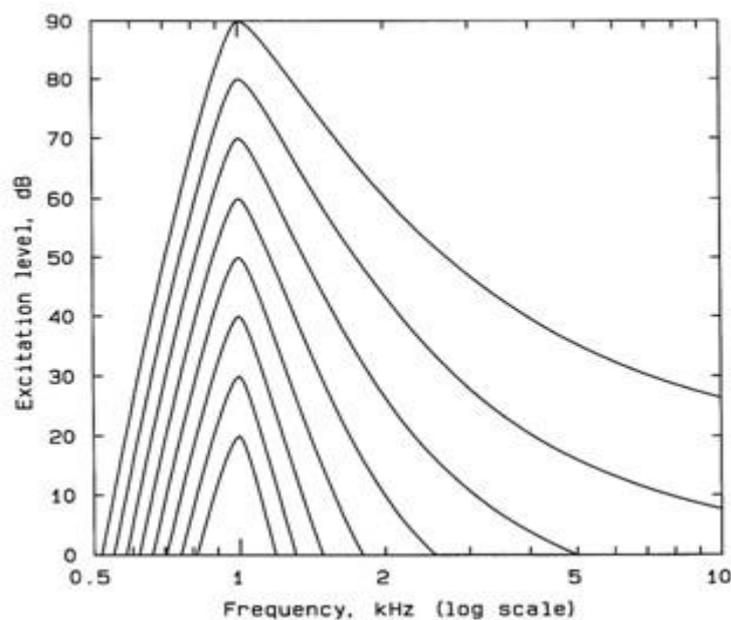
La cochlée décompose le signal comme le ferait une banque de filtres passe-bande juxtaposés. Appelés filtres auditifs ou encore filtres cochléaires, la cochlée humaine en compterait 24. Ces filtres auditifs représentent la réponse du nerf auditif en fonction de la fréquence et de l'intensité d'une stimulation.

L'existence de ces filtres et leurs caractéristiques ont été mis en évidence à travers de multiples expériences au cours de ces dernières années. C'est Fletcher qui en est l'instigateur en 1940 en élaborant un test permettant d'estimer la réponse en fréquence des filtres cochléaires au moyen d'expériences de masquage. Ainsi, en masquant un son pur par une bande de bruit de largeur croissante, il a démontré que plus la largeur de la bande augmente plus le masque est important et ceci jusqu'à atteindre une valeur de fréquence d'un filtre adjacent.

Les bandes critiques représentant la largeur de bande des filtres auditifs de l'oreille ont par conséquent été découvertes. Elles correspondent à la largeur de bande d'un bruit en-dessous de laquelle la sonie reste constante si la pression acoustique est maintenue constante. Ainsi, une oreille aura une sensation de sonie à l'écoute d'un son complexe composé de deux sons purs de fréquences différentes mais très proches. Mais dès lors que l'écart entre ces deux fréquences dépasse une certaine valeur appelée bande critique, le son perçu paraît plus fort à cette même oreille. [10]

L'allure de ces filtres auditifs est en forme de triangle où le sommet définit la fréquence centrale du filtre. Les 24 filtres cochléaires sont relativement symétriques, néanmoins, leur bande passante est plus étroite pour des niveaux modérés alors qu'elle est beaucoup plus large pour des niveaux de forte intensité. Également, la largeur d'un filtre cochléaire est plus étroite à l'apex de la cochlée (codage des basses fréquences) tandis qu'elle est plus large à la base (codage des hautes fréquences).

Ainsi, plus un travailleur est exposé à un bruit d'un niveau élevé, plus ce bruit impacte sur une gamme de fréquence plus large. Le bruit étant en général de très forte intensité, le salarié est donc soumis à une stimulation qui affecte toutes les fréquences. La connaissance du fonctionnement de ces filtres auditifs et de leur allure est donc importante afin de comprendre l'effet nocif du bruit sur l'organe de l'audition, c'est ce que nous expliquerons plus précisément dans les pages suivantes.



**Figure 8** - Filtres auditifs à 1 000 Hz pour des excitations de 20 dB à 90 dB

L'excitation de la membrane basilaire en réponse à un stimulus peut être représentée schématiquement par la modélisation de ces filtres auditifs. Cette représentation est appelée pattern d'excitation. Il est obtenu en juxtaposant les réponses produites par chaque filtre auditif à la stimulation acoustique en fonction de plusieurs fréquences de référence. [11]

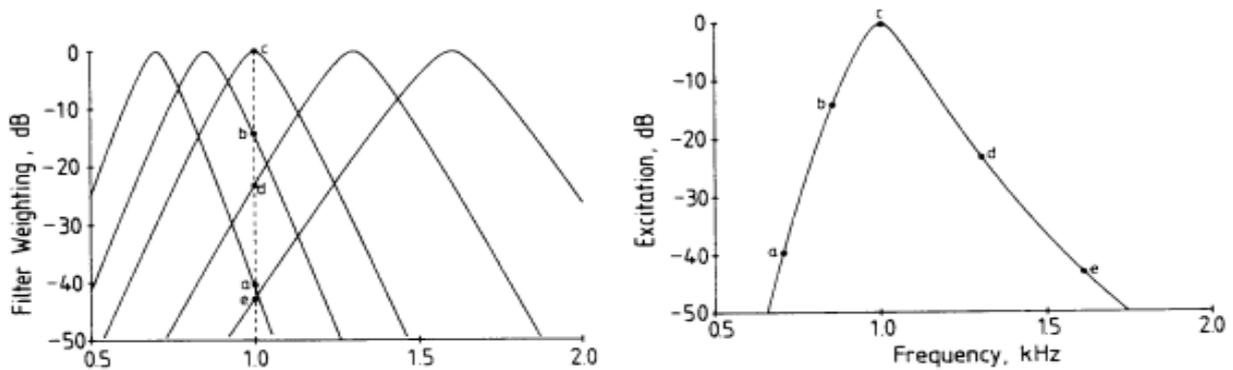


Figure 9 - Exemple d'un pattern d'excitation correspondant à une stimulation à 1000 Hz [12]

Chez les malentendants, et surtout chez les personnes atteintes d'une surdité perceptionnelle, les filtres auditifs sont déformés, avec notamment un élargissement de leur bande critique. Cette fatigabilité des mécanismes cochléaires entraîne une perte de la sensibilité normale de la cochlée, les filtres étant moins sélectifs en fréquence. C'est pourquoi la détérioration des filtres auditifs d'une personne malentendante dégrade fortement sa compréhension dans le bruit. Son intelligibilité dans le bruit ne sera donc pas uniquement due à sa perte auditive. Un malentendant dira par exemple qu'il peut entendre un signal de parole, pourtant émit à forte intensité, dans le bruit mais le comprend rarement.

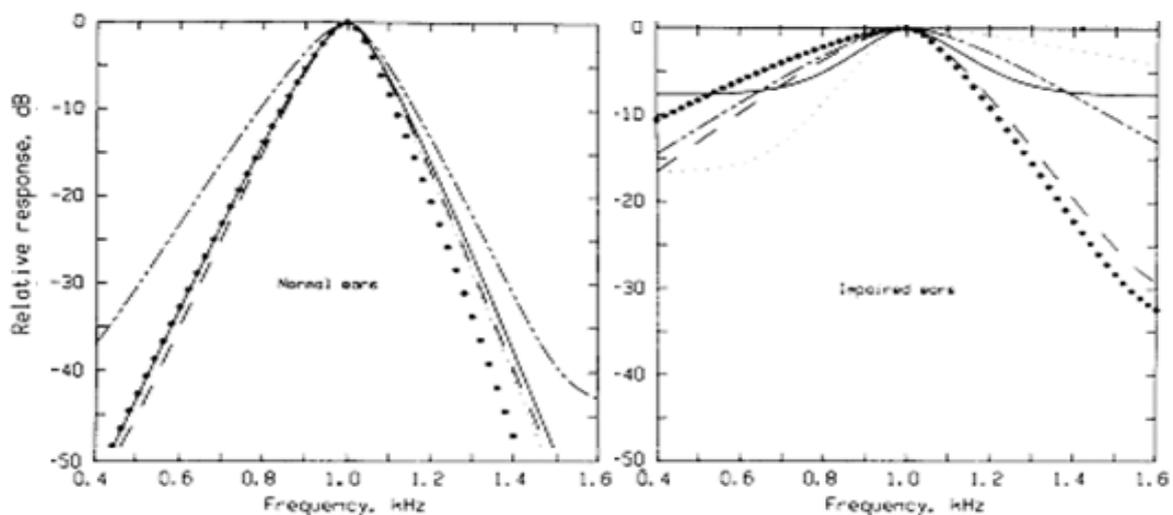


Figure 10 - Allure des filtres auditifs chez un normo-entendant (à gauche) comparée à ceux d'un malentendant (à droite)

La dégradation de la sélectivité fréquentielle n'est pas corrigée avec l'appareillage prothétique. Néanmoins, les prothèses auditives d'aujourd'hui proposent des réducteurs de bruit et une directivité microphonique qui peuvent améliorer le rapport signal sur bruit au niveau du tympan d'un patient malentendant. Or, lorsque le son amplifié dépasse le tympan, l'appareillage n'est alors plus capable d'aider ce patient et il se retrouve dans une situation compliquée d'écoute, surtout en présence de bruit.

### 3. Sensibilité auditive

Chez l'Homme, les fréquences audibles s'étendent de 16 Hz à 18 000 Hz. De par son anatomie particulière, l'oreille n'est pas sensible de la même manière pour chaque fréquence. En effet, la sensation auditive varie en fonction de la fréquence. La sommation des fonctions de transfert de l'oreille externe et de l'oreille moyenne conditionne ainsi l'allure de la courbe des seuils d'audition. Cette courbe est telle que les fréquences proches de 4 000 Hz sont plus amplifiées que les fréquences voisines. [13][14]

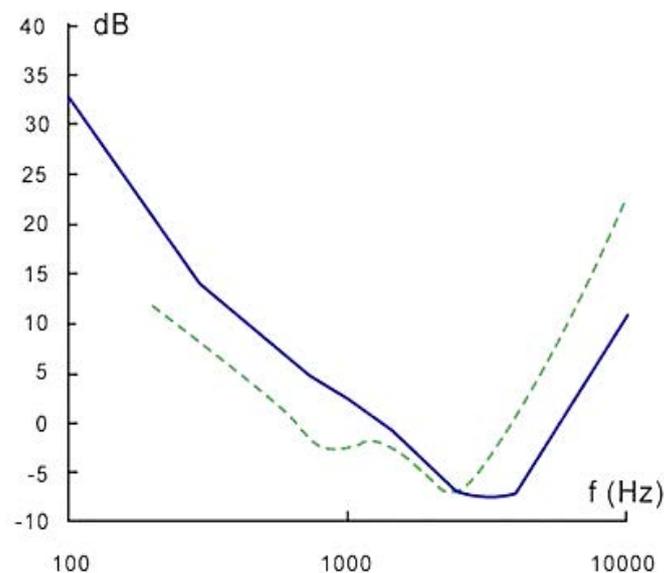


Figure 11 - Seuils de sensibilité auditive (trait plein bleu) versus la fonction de transfert de l'oreille externe et de l'oreille moyenne (trait pointillé vert) [15]

Le champ auditif correspondant à l'ensemble des sons pouvant être perçus par l'oreille humaine peut être représenté par un graphique à deux dimensions :

- La fréquence exprimée en Hertz sur l'axe des abscisses,
- Le niveau d'intensité acoustique exprimé en  $dB_{HL}$  ou  $dB_{SPL}$  sur l'axe des ordonnées.

Il est ainsi possible de déterminer l'étendue du champ auditif humain en mesurant pour chaque fréquence le niveau d'intensité sonore minimal déclenchant une sensation auditive chez un sujet testé ainsi que le niveau d'intensité maximal provoquant une sensation d'inconfort chez ce même sujet. Sur le champ dynamique de l'audition, ces mesures correspondent respectivement au seuil de perception et à la limite supérieure de perception (ou seuil d'inconfort).

L'étendue du spectre utilisable par l'Homme est ainsi délimitée en fréquence mais aussi en intensité puisque l'oreille humaine perçoit les niveaux d'intensité sonore compris entre 0 dB et 120 dB, ce qui correspond à des pressions acoustiques de  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa et 20 Pa (Pascal) ou encore à des intensités acoustiques de  $10^{-12}$  W et 1 W (Watt). [16]

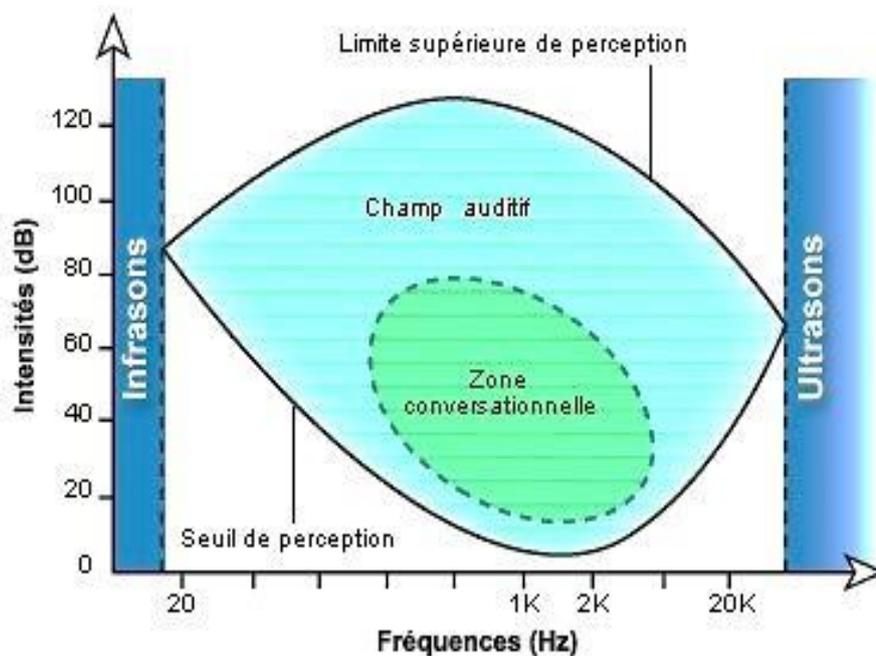


Figure 12 - Champ dynamique de l'audition humaine [17]

Fletcher et Munson ont établi des courbes isosoniques à partir de mesures effectuées sur un large panel d'individus. Ces courbes mettent en évidence les variations de la sensation auditive en fonction de la fréquence. Ainsi, une ligne isosonique représente les points de même sonie, c'est-à-dire provoquant la même sensation d'intensité sonore pour l'oreille humaine. Chaque courbe isosonique est repérée par une graduation exprimée en Phone qui correspond au  $dB_{SPL}$  pour une fréquence de 1 000 Hz. Les courbes isosoniques rendent compte du champ auditif humain puisque la courbe la plus basse représente le seuil de perception et la courbe la plus haute donne le seuil de douleur. [18]

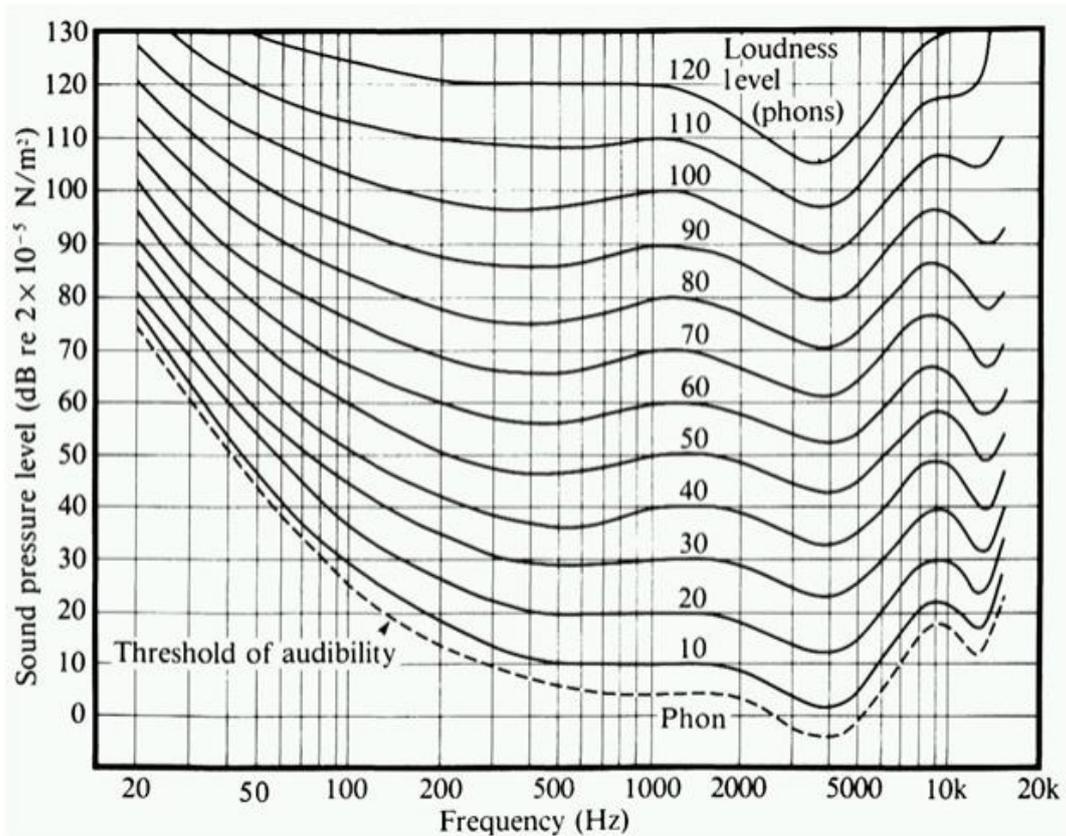


Figure 13 - Courbes isoniques de Fletcher et Munson [19]

Pour un même niveau de pression acoustique, la sensation de l'intensité sonore diffère selon la fréquence du son émis. Par exemple, pour un niveau de 60 dB et pour une fréquence de 125 Hz, nous tombons sur la courbe de 40 Phones alors qu'à la fréquence de 8 000 Hz il s'agit de la courbe de 60 Phones. Aussi, la perception du bruit est totalement subjective. C'est pourquoi certains patients ressentent une gêne différente selon la fréquence du bruit. Du fait d'une perception auditive différente, nous pouvons avoir des patients qui ne se sentent pas gênés malgré un niveau de pression acoustique considéré comme nocif pour les oreilles. Ainsi, cela peut expliquer pourquoi certains salariés ne se protègent pas du bruit étant donné qu'ils ne sont pas dérangés et ne le pensent pas être nocif pour leur audition.

#### 4. Définition d'une surdité

Par définition, « une surdité se rapporte à toute baisse de l'audition quelle qu'en soit l'importance ». [20]

Le BIAP<sup>2</sup> classe les surdités en fonction du seuil minimal de perception auditive moyen, calculé en dB<sub>HL</sub>, à partir des seuils tonaux liminaires relevés sur les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz. Cette valeur est également nommée Perte Tonale Moyenne (PTM).

Perte tonale moyenne	Degré de surdité	Type de surdité
Inférieure ou égale à 20 dB	-	Normale ou subnormale
21 à 40 dB	-	Légère
41 à 55 dB	1 <sup>er</sup> degré	Moyenne
56 à 70 dB	2 <sup>ème</sup> degré	
71 à 80 dB	1 <sup>er</sup> degré	Sévère
81 à 90 dB	2 <sup>ème</sup> degré	
91 à 100 dB	1 <sup>er</sup> degré	Profonde
101 à 110 dB	2 <sup>ème</sup> degré	
111 à 119 dB	3 <sup>ème</sup> degré	
Egale ou supérieure à 120 dB	-	Cophose

Tableau 1 - Classification des surdités selon le BIAP [21]

Une surdité peut également être classée selon la localisation de l'atteinte auditive. On distingue ainsi trois types de surdités :

- Les surdités transmissionnelles liées à un défaut de fonctionnement de l'appareil de transmission du son ; sur l'audiogramme elles se caractérisent par un Rinne audiométrique avec une courbe tonale osseuse normale et une courbe tonale aérienne abaissée,
- Les surdités perceptionnelles consécutives à une atteinte de l'oreille interne (surdité dite endocochléaire) ou des voies nerveuses auditives (surdité dite rétrocochléaire) ; au niveau de l'audiogramme, elles se caractérisent par des seuils osseux et aériens juxtaposés et abaissés,
- Les surdités mixtes correspondent à une anomalie conjointe de la transmission et de la perception de l'oreille ; les seuils tonaux en conduction aérienne et en conduction osseuse sont tous les deux abaissés sur l'audiogramme.

Un bruit nocif porte atteinte essentiellement à la cochlée, c'est pourquoi les travailleurs exposés au bruit présentent, en général, une surdité de perception endocochléaire. Les voies de transmission du son ne sont en principe pas dégradées, seul son codage par l'oreille interne est perturbé.

<sup>2</sup> Le Bureau International d'Audiophonologie (BIAP) est une société scientifique créée par arrêté Royal Belge du 24 Mars 1967. [22]

## II. BRUIT : NOTIONS D'ACOUSTIQUE ET DE PSYCHOACOUSTIQUE

### 1. Généralités sur les sons

Le son est une onde acoustique produite par la vibration mécanique de l'air qui se propage suite à des événements de compression-dilatation de ce milieu matériel élastique. Le son correspond donc à une variation de pression de l'air créée par une source sonore et captée par un récepteur, comme l'oreille humaine.

Notre environnement sonore est riche d'une multitude de variétés de signaux acoustiques qui rend difficile la classification des sons. Cependant, en se basant sur des critères physiques, il a été établi deux classements :

- En prenant en compte la variation du niveau sonore en fonction du temps, le premier classement permet de distinguer trois sortes de sons :
  - Les sons stables ou stationnaires, dont le niveau sonore ne varie pas plus de 3 dB sur une période déterminée,
  - Les sons fluctuants qui varient de plus de 3 dB au cours du temps,
  - Les sons impulsionnels dont la durée est très brève, de l'ordre ou inférieure à la seconde.
- Un deuxième classement tient compte de la variation temporelle de la pression acoustique. Selon ce critère, on distingue :
  - Les sons périodiques parmi lesquels on retrouve les sons purs composés d'une seule fréquence et les sons périodiques complexes comportant plusieurs fréquences,
  - Les sons aléatoires qui comprennent de nombreuses fréquences et qui n'ont aucune périodicité. [23]

#### a. Représentation graphique des sons

Les ondes sonores, comme toutes les vibrations, peuvent être décrites par deux types de représentation graphique :

- Une représentation temporelle qui détaille les variations d'amplitude de la pression acoustique en fonction du temps. Visualisé sur un oscilloscope après sa transformation en signal électrique, ce graphique permet d'observer la durée, l'amplitude maximale ou encore la forme d'onde d'un son. Cependant, cette représentation est rarement utile lors de l'étude d'un son aléatoire car le tracé est difficile à décrypter,
- Une représentation spectrale qui décrit les variations d'une grandeur énergétique (intensité, puissance, niveau sonore...) en fonction d'une grandeur caractéristique de la vibration (fréquence, période, pulsation...). Le plus souvent, ce graphique porte le

niveau sonore ou la densité spectrale en ordonnées et le logarithme des fréquences en abscisses. Obtenu par un analyseur de spectre, la représentation spectrale met en évidence les composantes d'une vibration complexe, c'est pourquoi il présente davantage un intérêt pour l'étude des sons complexes.

La représentation temporelle et le spectre sont deux aspects d'un même phénomène acoustique. Il existe une relation mathématique entre ces deux représentations et les fonctions qui les déterminent. La transformation de Fourier permet de passer de la fonction temporelle à la fonction spectrale. Inversement, à un spectre correspond une représentation temporelle obtenue par une opération mathématique inverse appelée transformation de Fourier inverse.

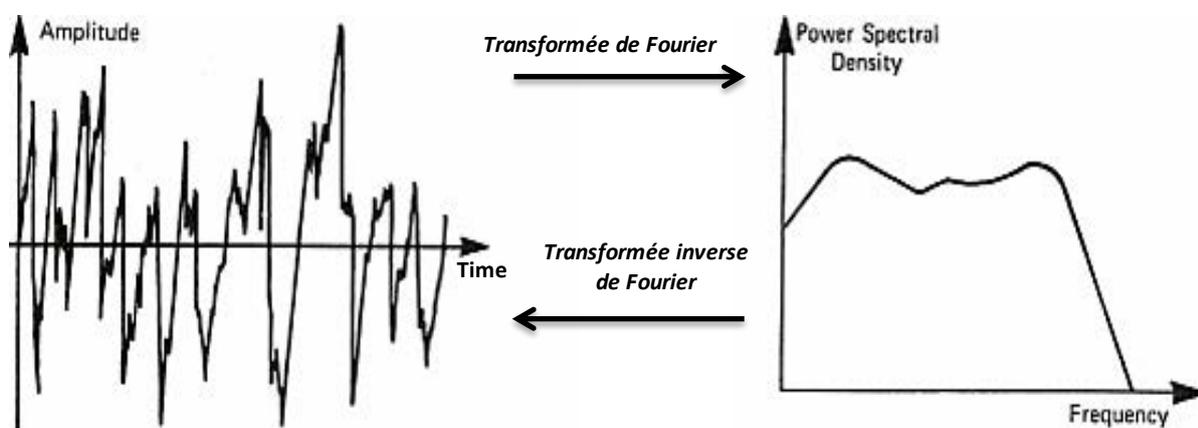


Figure 14 - Représentation temporelle et représentation spectrale d'un son aléatoire [24]

La plupart des sons présents dans notre environnement ne présentent pas de périodicité et sont donc dits aléatoires. De plus, il est très rare d'y trouver des sons purs. En effet, les sons produits par les divers outils et machines que l'on peut retrouver chez les professionnels de l'industrie et du bâtiment sont bien plus complexes. C'est pourquoi, dans les pages qui suivent, nous étudierons plus particulièrement les sons complexes aperiodiques.

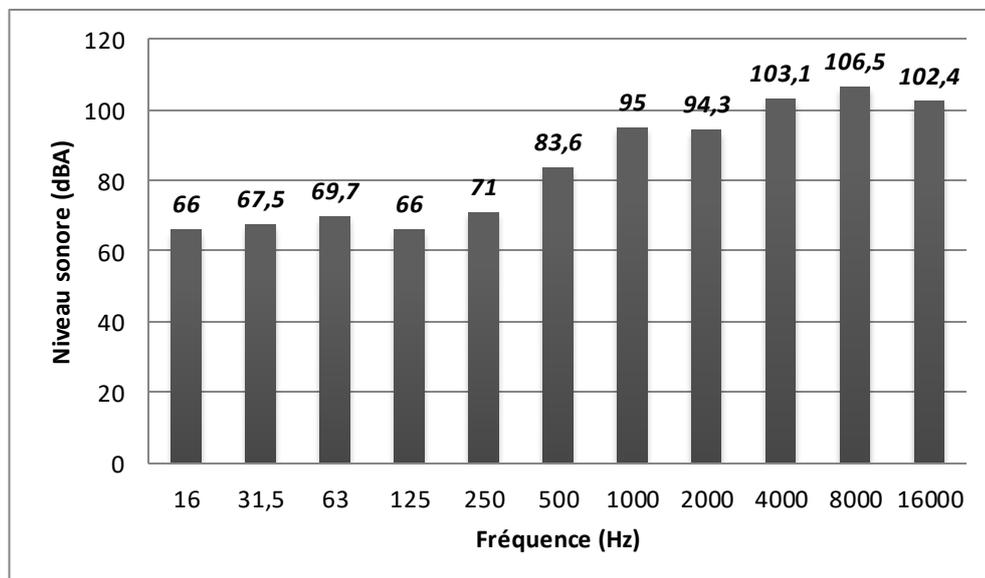
### b. Sons aléatoires

Les sons aléatoires sont à différencier des sons dits périodiques. Les premiers ont un spectre continu décomposable en une infinité de fréquences et la pression acoustique varie aléatoirement. A l'inverse, les sons périodiques, aussi appelés sons musicaux, possèdent une fréquence fondamentale et des harmoniques facilement repérables sur une représentation spectrale.

Pour étudier les sons aléatoires, la représentation temporelle peut être utile afin de distinguer les sons stables, les sons fluctuants, les sons intermittents ou encore les sons impulsionnels. Il sera alors possible de déterminer le niveau sonore sur un intervalle de temps donné.

La représentation spectrale présente un plus grand intérêt dans l'étude de ces sons. En effet, il est possible de décomposer le spectre continu d'un son aléatoire à l'aide de filtres passe-bande juxtaposés. Un analyseur de spectre peut découper le signal sonore en un nombre fini de bandes de fréquence de largeur plus ou moins grande et mesurer l'énergie contenue dans chacune de ces bandes. La bande passante d'un filtre est la bande de fréquence comprise entre ses deux fréquences de coupure qui correspondent à la fréquence d'intersection de la pente du filtre et d'une droite parallèle aux abscisses au point d'atténuation 3 dB.

La décomposition du spectre peut s'effectuer de deux façons, soit par une analyse à bandes fines, soit par une analyse en bandes d'octave ou tiers d'octave. En pratique, il est plus simple d'utiliser l'analyse en bandes d'octave car elle fournit des informations beaucoup plus faciles à exploiter. Lors de cette étude, des sonomètres portatifs comportant des filtres d'octave ont été utilisés afin de déterminer le niveau sonore compris dans chaque bande d'octave. Un graphique correspondant au spectre d'un bruit peut ainsi être réalisé dont l'axe des abscisses est découpé suivant une échelle logarithmique de telle sorte que chaque intervalle d'octave a la même importance.



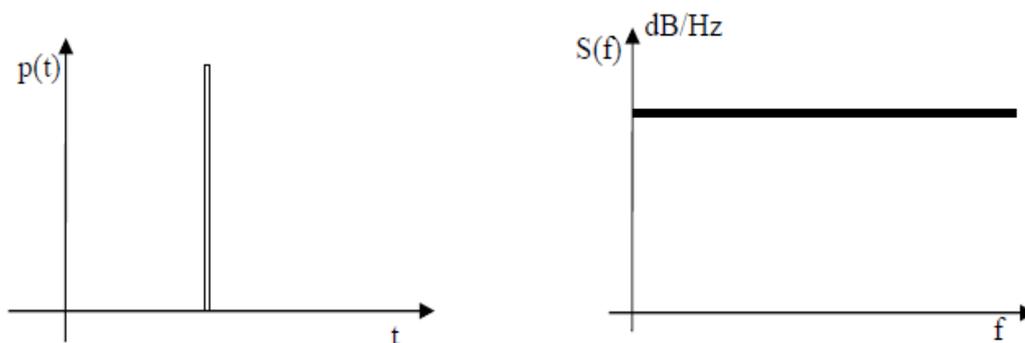
**Figure 15** - Exemple d'une analyse spectrale en bandes d'octave du bruit émis par une meuleuse utilisée par un maçon coffreur

Les bandes d'octave et de tiers d'octave sont normalisées par la norme NF EN ISO 266<sup>3</sup> [25]. Le spectre audible est ainsi divisé en dix octaves juxtaposées désignés par leur fréquence centrale : 31, 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000 et 16 000 Hz. Les fréquences de coupure sont aussi inscrites dans cette norme. Elles peuvent être déterminées facilement par calcul. Pour obtenir la fréquence de coupure inférieure il faut diviser la fréquence centrale par  $\sqrt{2}$ , tandis que pour la fréquence de coupure supérieure il faut multiplier la fréquence centrale par  $\sqrt{2}$ . Le tableau de la norme donnant les caractéristiques de chaque bande d'octave est situé en annexe 1.

### c. Sons impulsionnels

La norme NF S 31-010 définit un bruit impulsionnel comme un « bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 seconde et séparée(s) par des intervalles de temps, de durées supérieures à 0,2 secondes ». [26]

Bien que théorique, un son impulsionnel peut être représenté par une impulsion dont l'amplitude est infinie et la durée nulle, c'est l'impulsion de Dirac. Il s'agit d'un transitoire parfait, c'est-à-dire que les durées d'attaque et d'extinction du son sont considérées comme infiniment petites. D'un point de vue spectral, un son impulsionnel possède un spectre semblable à celui d'un bruit blanc puisqu'il est continu et sa densité spectrale est constante. Autrement dit, un son impulsionnel s'étend sur toutes les fréquences, c'est donc un son complexe d'une durée très brève.



<sup>3</sup> Norme AFNOR (Association Française de Normalisation), organisme officiel français de normalisation membre de l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) créé en 1926.

Ces sons large bande dont les variations sont rapides et la dynamique élevée sont difficiles à mesurer avec précision. La réglementation demande de caractériser les bruits impulsionnels par leur niveau crête ce qui nécessite l'usage de sonomètres particuliers.

Les sons impulsionnels sont nombreux dans notre environnement sonore, en particulier dans le milieu du BTP. Or, la législation actuelle ne tient pas compte du fonctionnement de l'oreille. Outre leurs niveaux crêtes élevés, la nocivité des bruits impulsionnels peut également s'expliquer par l'opposition entre leur apparition brusque et la latence du réflexe stapédien. La durée de latence de ce réflexe variant de 150 ms à 80 dB à 25-35 ms à un plus fort niveau sonore, ceci suggère une dangerosité accrue des sons dont le temps d'apparition est inférieur à ces durées. Les sons impulsionnels, ayant un caractère soudain et imprévisible, représentent donc un risque réel pour l'oreille puisqu'ils peuvent être encore plus dangereux qu'un bruit stable et continu. [27]

## 2. Notions fondamentales autour du bruit

### a. Définition

De multiples termes existent pour définir le mot « bruit ». En règle générale, le bruit est « l'ensemble des sons produits par des vibrations plus ou moins irrégulières ; tout phénomène perceptible par l'ouïe » selon le dictionnaire Larousse. [28]

Sur le plan purement physique, la norme NF S 30-101 définit le bruit à partir du stimulus sonore comme une « vibration acoustique erratique, intermittente ou statistiquement aléatoire ». [29]

D'autres définitions déterminent le bruit en fonction de la sensation perçue au niveau de l'oreille. Sur le plan psycho-sensoriel, il est identifié comme étant un élément inutile, gênant, indésirable et parasite. L'AFNOR prend en compte cet aspect psychophysique avec la norme NF S 30-105 en donnant une nouvelle définition qualifiant ainsi le bruit comme « toute sensation auditive désagréable ou gênante ». [30]

Cette dernière définition est relative. En effet, un son peut se trouver agréable pour un individu et gênant pour un autre qui le qualifiera alors de bruit. La distinction entre un son et un bruit est donc purement subjective. Dans le cadre de cette étude, on pourra prendre en compte la norme NF S 30-105 qui est cependant incomplète puisqu'elle n'envisage pas les effets nocifs du bruit. En revanche, dans la législation, plusieurs textes prennent en considération la nocivité du bruit notamment le décret n°88-405 du 21 avril 1988 du Code du Travail, portant sur la prévention des risques dus au bruit, qui qualifie de surdité traumatique une surdité causée par le bruit.

## b. Caractéristiques

Plusieurs paramètres physiques sont à prendre en compte afin d'évaluer la nocivité plus ou moins importante d'un bruit pour l'oreille humaine :

- L'intensité ; elle exprime la quantité d'énergie vibratoire reçue par seconde et par mètre carré. Plus elle est grande, plus l'oreille encours un risque traumatique,
- La fréquence ; elle caractérise le nombre d'oscillations de la pression de l'air en une seconde. De par la tonotopie cochléaire, un bruit riche en fréquences aigües sera plus dangereux pour l'oreille qu'un bruit riche en fréquences graves,
- La durée ; elle peut être évaluée selon deux échelles, une échelle courte permettant l'étude des sons impulsionnels et une échelle plus longue qui rend compte de l'exposition sonore par heure ou par journée.

## c. Niveaux sonores

En acoustique, on utilise une échelle logarithmique pour exprimer le niveau sonore. Cette échelle permet d'obtenir le rapport entre deux grandeurs (pression, intensité ou encore puissance) en décibel (dB). Le décibel a été créé afin de simplifier les calculs et de comprimer l'énorme étendue des pressions audibles par l'oreille humaine. L'unité se rapporte également à la loi décrite par les scientifiques Weber et Fechner décrivant le comportement de l'oreille face à la pression acoustique : « la sensation auditive croît linéairement avec le logarithme de l'excitation ». [31]

L'oreille humaine et les microphones sont sensibles à la pression acoustique que l'on peut exprimer par un niveau de pression sonore en décibel. Il est également noté « SPL » de l'anglais « Sound Pressure Level » et se formule par :

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{p_{eff}^2}{p_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p_{eff}}{p_0}\right) \quad \text{Avec } p_{eff} \text{ en Pascal}$$

Le niveau d'intensité acoustique est défini par :

$$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{Avec } I \text{ en Watt/mètre}^2$$

La dernière formule donne la puissance acoustique totale rayonnée par une source sonore. Cette valeur permet d'indiquer le bruit total émis par une machine :

$$L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad \text{Avec } W \text{ en Watt}$$

Pour chaque formule, les niveaux de référence correspondent au seuil minimal perceptible de l'oreille humaine à 1 000 Hz et valent respectivement :

- $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa,
- $I_0 = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>,
- $W_0 = 10^{-12}$  W.

#### d. Pondérations

Si l'on se réfère uniquement au niveau de pression sonore en dB<sub>SPL</sub> la sensation de l'oreille humaine n'est pas prise en compte. Comme nous l'avons vu précédemment, la sensation d'intensité de l'oreille humaine diffère suivant la fréquence pour un son émis à un même niveau sonore. Ce phénomène, dû aux fonctions de transfert de l'oreille externe et de l'oreille moyenne, a amené à construire les courbes isosoniques qui fournissent le niveau de sons purs en fonction de la fréquence procurant la même sensation d'intensité. Pour rappel, ces courbes démontrent que la zone la plus sensible de l'oreille humaine se situe autour de 4 000 Hz et que plus l'intensité augmente, plus l'oreille humaine entend les basses fréquences de la même manière que les hautes fréquences.

C'est ce qui nous amène à la notion de pondération. Afin de traduire au mieux l'effet physiologique du bruit au niveau de l'oreille des pondérations ont été introduites dans la mesure des niveaux sonores. Les filtres de pondération tiennent compte de la sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences sonores pour décrire la sensation perçue. Les courbes de pondération sont normalisées et se rapportent aux courbes isosoniques approximées et inversées. Les trois pondérations principalement utilisées sont :

- La pondération A (dB<sub>A</sub>), correspondant à la courbe isosonique de 40 Phons et utilisée pour les bruits faibles,
- La pondération B (dB<sub>B</sub>), correspondant à la courbe isosonique de 70 Phons et utilisée pour les bruits moyens,
- La pondération C (dB<sub>C</sub>), correspondant à la courbe isosonique de 100 Phons et utilisée pour les bruits forts.

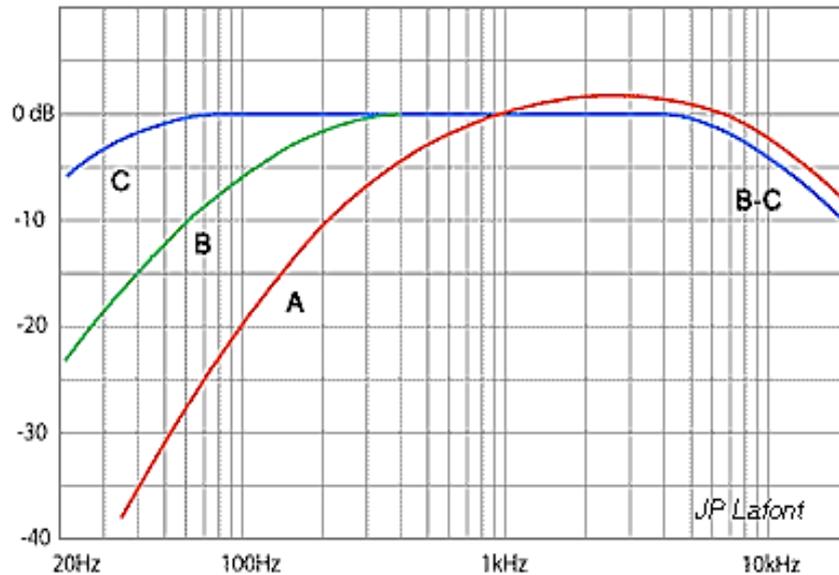


Figure 17 - Courbes de pondération [32]

En métrologie, les sonomètres captent les variations de la pression et affichent des niveaux de pression acoustique en décibel linéaire ( $dB_{lin}$ ). Il est possible de régler l'appareil de mesure sur une autre pondération pour se rapprocher de la physiologie de l'oreille humaine. Ainsi, la pondération choisie agit comme un filtre qui applique une correction sur les niveaux mesurés par bandes d'octave ou tiers d'octave.

Il est aussi possible d'obtenir le niveau sonore en décibel A à l'aide d'une application mathématique et des valeurs connues de la pondération A :

$$\text{Niveau sonore en } dB_A = \text{Niveau sonore en } dB_{SPL} + \text{Pondération A}$$

Fréquence centrale par octave (Hz)	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000
Pondération A (dB)	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1	-6,6

Tableau 2 - Valeurs de la pondération A en fonction des fréquences [33]

Dans la réglementation française, dans le but de faire apparaître le caractère physiologique des décibels, la pondération A est la plus utilisée pour mesurer l'évolution globale de l'environnement sonore et les nuisances sonores. Cependant, cette utilisation est discutable puisque la pondération A sous-estime ce que reçoit réellement l'oreille dans les basses fréquences. En effet, la pondération A filtre beaucoup plus les basses fréquences que la pondération C. Les bruits impulsionnels sont eux réglementés par des seuils en décibel C afin d'évaluer les niveaux crêtes. Nous verrons par la suite la réglementation concernant la mesure du bruit en milieu professionnel et par conséquent celle qui a encadré nos mesures.

#### e. Evaluation de l'exposition sonore

La mesure de l'exposition sonore d'un travailleur a pour but d'évaluer la gêne et la nocivité du bruit perçu par celui-ci. L'exposition sonore peut varier au cours d'une journée de travail ou d'une journée à une autre ; ceci dépend des activités réalisées par le travailleur, de l'utilisation d'outils ou encore de la situation plus ou moins proche de machines. Cette exposition se trouve donc nuancée en fonction de l'espace et du temps. Par conséquent, il a été établi plusieurs paramètres permettant de se rendre compte du niveau sonore du bruit professionnel. Nous citerons les critères les plus employés aujourd'hui en se basant sur la norme NF EN ISO 9612 qui décrit les méthodes de mesure d'exposition au bruit en milieu de travail. [34]

##### i. Niveau sonore équivalent

Le niveau sonore équivalent noté  $L_{eq,T}$ , ou  $L_{Aeq,T}$  en prenant en compte la pondération en décibel A, donne le niveau sonore représentatif d'un événement acoustique sur une période définie T. Cette durée peut grandement varier de quelques secondes à plusieurs heures. Cette mesure s'applique à un grand nombre d'émissions sonores fournissant un niveau fluctuant. [35]

Appelé également niveau de puissance acoustique moyenne, le niveau sonore continu équivalent est défini par la relation suivante :

$$L_{eq,T} = L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

Avec T : durée d'observation

$p_A$  : pression acoustique du signal sonore filtrée par la pondération A

$p_0$  : pression acoustique de référence ( $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa)

Le niveau sonore équivalent est fréquemment utilisé en milieu professionnel afin d'évaluer l'exposition sonore d'un travailleur. Il permet notamment de connaître l'exposition engendrée par le fonctionnement d'une machine bruyante pendant une durée d'utilisation définie.

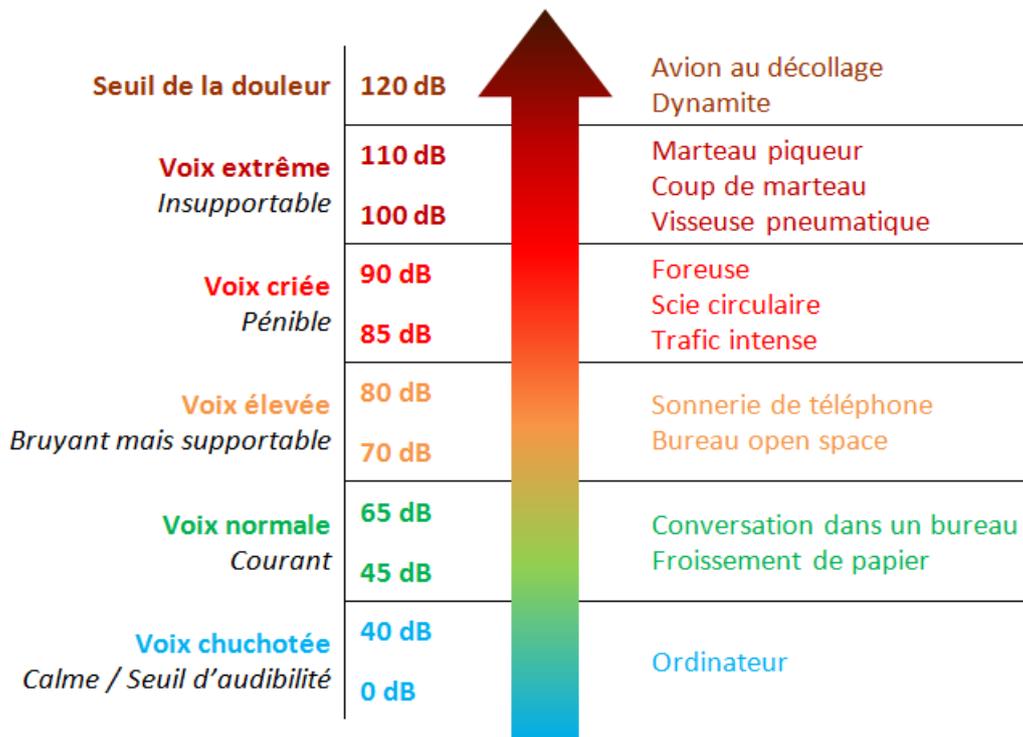


Figure 18 - Exemple de niveaux sonores de quelques bruits professionnels

ii. Niveau d'exposition sonore sur une durée effective de travail

Supposons une journée de travail de durée effective  $T_E$  divisée en  $M$  tâches<sup>4</sup> de durée  $T_m$  exposant le travailleur à un niveau  $L_{Aeq,T_m}$ . Le niveau d'exposition sonore pondéré  $A$  durant la période  $T_E$ , noté  $L_{Aeq,T_E}$ , est l'estimateur du niveau acoustique continu équivalent durant cette période. Il est donné par la formule :

$$L_{Aeq,T_E} = 10 \cdot \log \left[ \sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_E} \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,T_m}}{10}} \right]$$

Avec  $T_m$  : durée de la tâche réalisée

$T_E$  : durée totale effective de la journée de travail

Cette formule permet d'évaluer l'exposition sonore d'un travailleur dont les tâches réalisées au cours d'une journée et leurs niveaux sonores respectifs varient suivant le type de machine ou d'outil utilisé. Dans cette mesure, les temps de pause lors du travail peuvent également être inclus.

<sup>4</sup> Dans le cadre de la mesure des expositions sonores, « une tâche est définie comme une partie de l'activité professionnelle effectuée par un travailleur dans un intervalle de temps de travail spécifié. Elle est généralement constituée d'une suite d'activités coordonnées pouvant former un cycle de travail ».

*iii. Niveau d'exposition sonore quotidienne au bruit*

Exprimé en  $dB_A$ , le niveau d'exposition quotidienne au bruit correspond au niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, évalué pendant une journée effective de travail  $T_E$ , normalisé par la durée de référence  $T_0$  de 8 heures.

Noté  $L_{EX,8h}$ , ou  $L_{EX,d}$  pour le mot « day », il est défini par la formule suivante :

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_E} + 10 \cdot \log \left( \frac{T_E}{T_0} \right)$$

Avec  $T_E$  : durée totale effective de la journée de travail

$T_0$  : durée de référence ( $T_0 = 8 \text{ heures} = 28\,800 \text{ secondes}$ )

D'une entreprise à une autre, d'un travailleur à un autre, l'amplitude des journées de travail varie. Or la dose quotidienne de bruit dépend du niveau moyen du bruit  $L_{Aeq,TE}$  et de la durée quotidienne effective de travail  $T_E$ . Pour tenir compte de ces faits, la législation a normalisé la dose quotidienne de bruit reçu par une durée de référence fixée à 8 heures.

Le niveau d'exposition sonore quotidienne normalisé est intéressant dans l'évaluation de la dose de bruit journalière reçu par le travailleur. En effet, il est possible de comparer, pour un même type de bruit, l'intensité et la durée d'exposition de ce bruit qui induit la même nocivité au système auditif. Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre le niveau de bruit et la durée maximale d'exposition afin de respecter la valeur d'exposition inférieure définie par la réglementation. Par exemple, être exposé 8 heures à 80 dB est aussi dangereux que d'être exposé 7,5 minutes à 98 dB. Ce n'est donc pas tant le bruit par lui-même qui est la cause des troubles auditifs mais bien son niveau d'intensité et sa durée d'exposition.

Niveau sonore en $dB_A$	Durée d'exposition
80 dB	8 h
83 dB	4 h
86 dB	2 h
89 dB	1 h
92 dB	30 min
95 dB	15 min
98 dB	7,5 min

Tableau 3 - Exemple de durées d'exposition quotidiennes équivalentes [36]

#### *iv. Niveau crête*

Le niveau crête correspond à l'amplitude maximale de la pression acoustique atteinte par un bruit à un moment précis. Il est donné en décibel C par la formule :

$$L_{pc} = 10 \cdot \log \left( \frac{p_c}{p_0} \right)^2$$

Avec  $p_c$  : valeur maximale de la pression acoustique instantanée mesurée avec la pondération C pendant une durée à spécifier

#### *v. Matériels de mesure*

La mesure de l'exposition au bruit professionnel est effectuée avec des exposimètres et des sonomètres intégrateurs. Ces appareils intègrent les variations du bruit dans le temps mais diffèrent dans leurs caractéristiques métrologiques.

Les exposimètres sont autonomes et doivent être portés en permanence par le travailleur exposé au bruit. Ils mesurent  $L_{EX,8h}$  et  $L_{pc}$  en continu et stockent en mémoire les valeurs mesurées. Les exposimètres disposent en général d'un logiciel permettant de visualiser et d'analyser toute la série chronologique du bruit mesuré.

Les sonomètres intégrateurs mesurent  $L_{Aeq,T}$  et  $L_{pc}$  pendant une durée fixée par l'opérateur. Ils permettent de visualiser directement et instantanément le niveau équivalent à mesure que l'on procède au mesurage en continu d'un bruit fluctuant. Les sonomètres sont plus précis que les exposimètres car ils peuvent procéder à une analyse par bandes d'octave ou tiers d'octave du bruit. C'est l'instrument de mesure qui estime le mieux le niveau sonore perçu par notre oreille. [37]



**Figure 19** - Sonomètre intégrateur utilisé pour les mesures sonores lors de cette étude

### 3. Effets du bruit sur la santé

L'exposition prolongée et répétée à de forts niveaux sonores sur le lieu de travail est susceptible d'affecter la santé des travailleurs concernés en provoquant des lésions plus ou moins importantes selon les individus. L'altération de l'audition en est l'effet le plus connu mais il existe d'autres conséquences. Qu'ils portent atteinte au système auditif ou à l'état psychologique et physique d'une personne, ces troubles ne sont pas à négliger. [38][39]

#### a. Effets auditifs

##### *i. Adaptation auditive*

Lorsque l'oreille est soumise à une stimulation sonore élevée, les seuils auditifs peuvent s'élever et entraîner une diminution de la capacité d'entendre ou une gêne à la compréhension par masquage ou parasitage. Tant que le niveau sonore est insuffisant pour détériorer l'oreille, cet effet est réversible en quelques secondes et ne provoque pas de séquelles auditives. L'adaptation auditive est spontanée et transitoire et correspond très souvent à la durée d'exposition au bruit.

Par contre, si le bruit persiste trop longtemps, l'oreille peut s'affaiblir. Et si la diminution de sensibilité persiste au-delà de la durée d'exposition, on parle alors de fatigue auditive.

##### *ii. Fatigue auditive*

La fatigue auditive est en lien avec l'adaptation auditive, elle correspond également à une élévation temporaire du seuil de l'audition. La fatigue auditive peut aussi se définir comme étant « la diminution passagère de sensibilité de la fonction de l'audition sous l'influence d'une excitation sonore ». [40]

Généralement, la fatigue auditive est le résultat d'une exposition de longue durée (supérieure à 4 heures) à un bruit modéré (inférieur à 80 dB) qui entraîne des dommages d'origine métabolique. La fatigue auditive est la conséquence d'une sur-stimulation chronique, c'est donc le facteur temps qui domine sur le facteur intensité.

La fatigue auditive métabolique découle de la succession de plusieurs événements. Lorsque l'oreille est soumise à une stimulation sonore, les cellules ciliées internes de la zone fréquentielle considérée libèrent un neurotransmetteur, le glutamate, dans la fente synaptique. Au niveau du bouton post-synaptique, le glutamate se fixe à des récepteurs spécifiques ce qui entraîne l'entrée massive d'ions potassiques et sodiques au sein de la

terminaison dendritique. Ainsi, l'exposition répétée et prolongée au bruit, au niveau des mêmes corps cellulaires, conduit à une hyper-concentration de ces ions dans l'élément post-synaptique. Afin de réduire cette hyper-concentration, des molécules d'eau pénètrent par osmose dans la fibre nerveuse sous forme de vacuoles. La vacuolisation des dendrites provoque un découplage synaptique entre les cellules ciliées internes et les fibres nerveuses afférentes. La cellule nerveuse ne peut plus émettre de potentiel d'action pour convertir le message sonore en message électrique. [41]

Comme toute fatigue, le déficit auditif est réversible à condition que le sujet touché respecte un repos métabolique. Ce repos permet la diminution de l'hyper-concentration ionique et la disparition des vacuoles afin de rétablir l'activité synaptique. Le temps de récupération est de l'ordre de 24 heures en général, mais le retour d'une audition normale ne signifie pas que l'incident n'a pas laissé de traces et qu'il ne subsiste aucune altération de l'oreille interne. Les traumatismes de l'oreille sont cumulatifs, par conséquent leur répétition est dangereuse.

Si ce temps de repos n'est pas respecté et que l'exposition au bruit perdure, la synapse peut éclater, c'est le choc excitotoxique. Lorsque le déficit auditif persiste au-delà de deux semaines, les risques d'une lésion sur une partie de l'organe de Corti ne sont donc pas négligeables. On parlera alors de déficit auditif permanent, autrement dit d'une surdité traumatique.

### *iii. Traumatisme sonore*

Le traumatisme sonore résulte d'une exposition à des bruits de fortes intensités (supérieures à 90 dB), de durée courte ou prolongée. Le traumatisme sonore se traduit par des dommages mécaniques au niveau des stéréocils des cellules ciliées. Lorsque la stimulation sonore est d'une intensité critique et dépasse la limite d'élasticité des stéréocils, le stress mécanique est tel que les stéréocils se cassent et se désorganisent. Sur le long terme, les forts mouvements de la membrane basilaire en réponse à un bruit élevé peuvent provoquer la dégénérescence des cellules ciliées qui les portent. Aussi, les tensions mécaniques peuvent entraîner l'arrachement des cellules ciliées ou encore des déchirements de la membrane réticulaire et de la membrane de Reissner. Ces dommages sont irréversibles, même lors de courtes expositions. La transduction mécano-sensorielle de l'organe de Corti n'est donc plus assurée.

Les lésions engendrées par le bruit dépendent donc à la fois de la durée d'exposition et de l'intensité du niveau sonore. La fatigue auditive et le traumatisme sonore sont tous deux les résultats de l'impact du bruit sur l'oreille interne mais différent au niveau de la zone de l'organe de Corti atteinte.

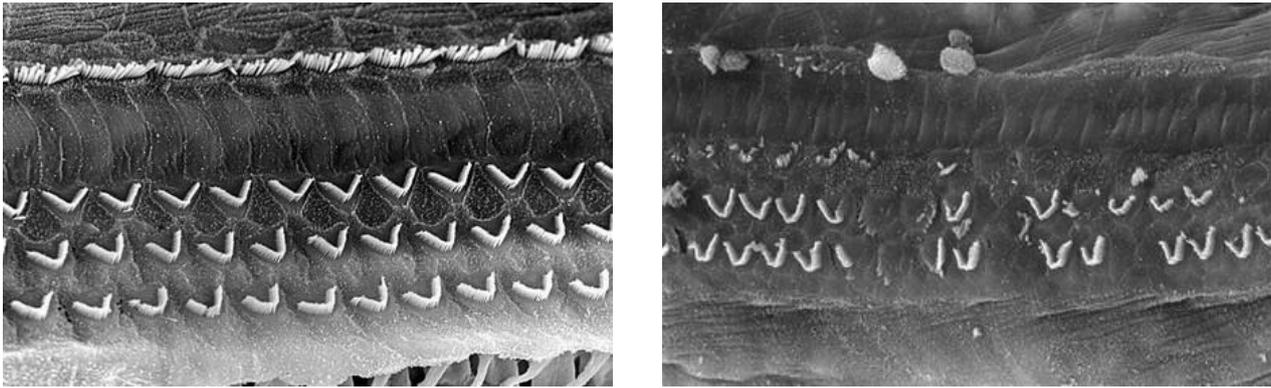


Figure 20 - Vue au microscope de cellules ciliées saines (à gauche) et de cellules ciliées endommagées après un traumatisme sonore (à droite) [42]

#### *iv. Acouphènes*

Les acouphènes correspondent à une perception auditive en l'absence de toute stimulation acoustique (bourdonnement, sifflement, tintement d'oreille...). Ils peuvent être temporaires ou permanents, bilatéraux ou non, de fréquence et d'intensité aléatoires. L'origine des acouphènes reste encore aujourd'hui mal définie, mais certaines théories les présentent comme le résultat d'une activité anormale d'un site du système auditif qui est interprétée par erreur comme un son gênant par le cerveau. La souffrance due aux acouphènes est très aléatoire selon les individus qui en souffrent. L'exposition au bruit augmenterait le risque d'apparition des acouphènes en même temps que la surdité.

#### *v. Surdité traumatique*

La surdité traumatique est une élevation permanente et irrversible du seuil de l'audition. Son apparition peut s'effectuer progressivement au cours d'expositions prolongées à du bruit ou brutalement lors d'une exposition à des niveaux sonores très élevés. La surdité traumatique est une atteinte perceptionnelle d'origine endocochléaire due à l'altération de la cochlée.

L'atteinte est bilatérale et évolue le plus souvent de façon lente et insidieuse en plusieurs stades audiométriques et cliniques :

- La phase d'accoutumance ; elle correspond à la fatigue auditive pour un sujet nouvellement exposé au bruit. Ce premier stade peut être accompagné d'acouphènes, de céphalées et d'une sensation d'oreille bouch e en quittant le travail. Cette sensation peut disparaître si le salarié est retiré du milieu bruyant,
- La phase de surdité latente ; ce stade est caractérisé par des acouphènes intermittents, une gêne dans le bruit et l'apparition d'un scotome auditif sur une

zone de fréquences centrées sur 4 000 Hz, plus ou moins élargie selon le type de bruit. Ce déficit auditif initial n'est à ce stade pas perçu par le travailleur,

- La phase de surdité débutante ; la perte auditive progresse avec un élargissement du scotome auditif qui s'étend vers 2 000 Hz. Elle est aussi marquée par une certaine accoutumance au bruit du travailleur,
- La phase de surdité confirmée ; le scotome auditif s'étend vers 1 000 et 8 000 Hz et touche donc maintenant les fréquences conversationnelles. Le sujet commence à ressentir une gêne sociale car il y a une perte d'informations sonores considérable. Il fait répéter, l'intelligibilité de certains mots devient difficile,
- La phase de surdité sévère ; ce dernier stade est caractérisé par l'atteinte de toutes les fréquences avec une extension prédominante sur les fréquences aigües (de 6 000 à 8 000 Hz). Le salarié subit une véritable gêne sociale et professionnelle.

Ainsi, au fil des années, le travailleur exposé au bruit voit son déficit auditif augmenter considérablement tant au niveau des fréquences que de la perte auditive. Le graphique suivant montre l'évolution typique de la surdité professionnelle due au bruit en fonction du nombre d'années d'exposition.

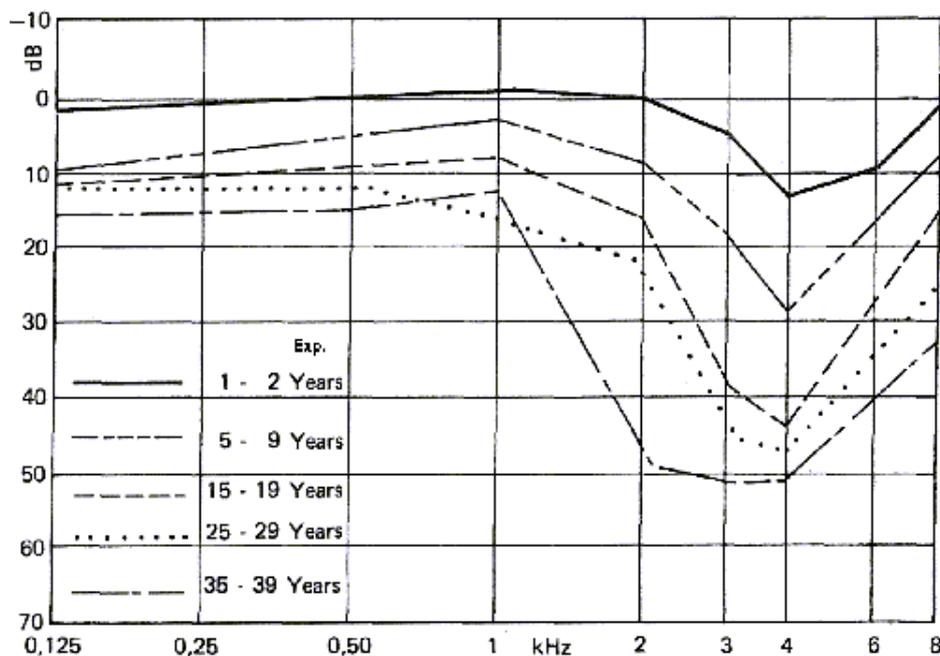


Figure 21 - Evolution de la perte auditive due au bruit en fonction du nombre d'années d'exposition

vi. Effet de masque

Le masquage auditif est un phénomène perceptif qui fait qu'un son n'est pas perçu lorsqu'il est en présence d'un autre son plus fort que lui, surtout si ces deux sons sont de fréquences proches. La courbe de masquage démontrant ce phénomène présente une pente raide du côté des fréquences graves et une pente plus faible du côté des fréquences aiguës, ainsi le masquage est plus important dans cette zone, c'est-à-dire que les graves masquent plus facilement les aigus.

De manière générale, l'effet de masque se caractérise de deux manières :

- Un son fort masque plus facilement un son faible,
- Un son fort masque ceux dont la fréquence est supérieure.

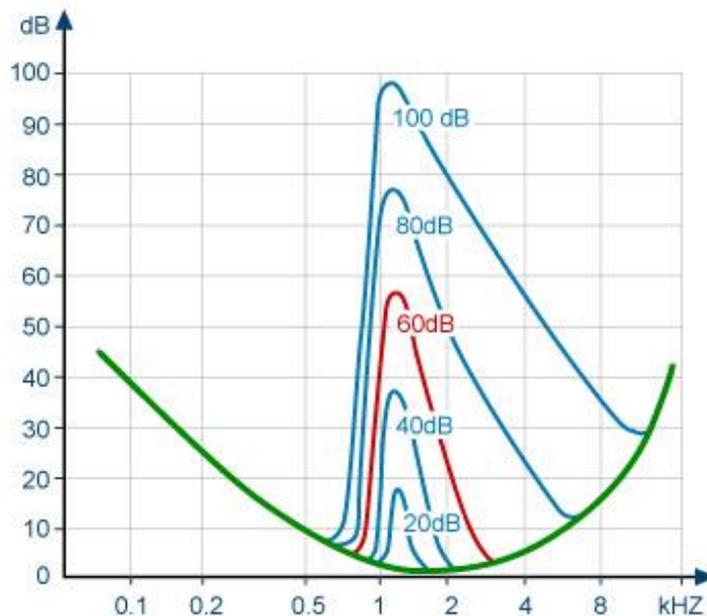


Figure 22 - Représentation de l'effet de masque (seuil auditif sans masquage en vert puis avec un masquage par un bruit (de 1 100 à 1 300 Hz) à divers niveaux d'intensité) [43]

Physiologiquement, au niveau de la cochlée, cela signifie que lorsque la membrane basilaire est excitée à une certaine fréquence par le son masquant, une excitation à une fréquence proche par le son faible n'est pas perçue car elle ne surmonte pas la vibration induite par la première.

Ce phénomène de masquage d'un son par un autre est souvent retrouvé dans le milieu du travail. En effet, le bruit ambiant ou le bruit provoqué par une machine peut masquer les signaux d'alerte et la parole des autres travailleurs. Ceci est dangereux, la non-perception des indications d'alerte vis-à-vis d'un salarié peut le mettre en situation de risque accru d'accidents, d'autant plus s'il présente une baisse auditive.

L'effet de masque dépend de l'allure des filtres auditifs, de leur position et de leur largeur. Chez un malentendant appareillé, une prothèse auditive multicanaux permettra de recanaliser un peu l'énergie sur chaque filtre auditif élargi par le problème de surdité afin de réduire au mieux cet effet de masque.

#### b. Effets extra-auditifs

En dehors des effets auditifs que peut provoquer l'exposition au bruit, il existe également d'autres conséquences plus méconnues, ce sont les effets extra-auditifs. [44][45] On en dénombre un certain nombre que l'on peut diviser en deux grandes catégories :

- Les effets biologiques : le bruit est capable d'influencer et de modifier une partie des activités inconscientes de l'organisme, de jour comme de nuit. Ces effets sont étroitement liés aux réactions de stress induites par une exposition sonore à travers des réactions nerveuses :
  - Accélération de la fréquence cardiaque,
  - Accélération du rythme respiratoire,
  - Augmentation de la pression artérielle,
  - Troubles digestifs,
  - Troubles du système immunitaire,
  - Modifications hormonales,
  - Troubles de la vision...
- Les effets subjectifs et comportementaux : il n'a pas été établi pour l'instant de liens directs et certains entre le bruit et la santé mentale, cependant l'exposition au bruit sur le long terme suggère des troubles cognitifs pouvant être prononcés ou non chez certains individus :
  - Asthénie,
  - Stress,
  - Isolement,
  - Troubles de l'humeur (irritabilité, anxiété, agressivité),
  - Dépression,
  - Céphalées,
  - Perturbation du sommeil,
  - Troubles de l'attention et de la mémoire,
  - Augmentation des risques d'accidents du travail...

Cette liste rend compte des multiples effets du bruit sur l'organisme humain ; qu'ils soient présents ou non chez un travailleur exposé au bruit, il reste évident que tous ces troubles ne sont pas à minimiser. C'est pourquoi la prévention et la mise en place de plusieurs réglementations sont indispensables pour améliorer la santé auditive et la santé en général des salariés travaillant en milieu bruyant.

#### 4. Bruit en milieu professionnel

##### a. Etat des lieux

La connaissance des nuisances sonores auxquelles sont exposés les salariés pendant leur temps de travail est indispensable pour définir des politiques de prévention et établir des textes de lois. Plusieurs enquêtes ont ainsi réussi à mettre en évidence quelques chiffres alarmants sur le problème du bruit professionnel.

Selon l'enquête Sumer 1994, organisée et mise en place entre juin 1994 et juin 1995 par le ministère du Travail et des Affaires sociales, 27,4 % des salariés sont exposés au bruit<sup>5</sup> sur leur lieu de travail, cela représente plus de 3 millions de travailleurs en France. Une distinction en fonction de la catégorie socio-professionnelle a également été réalisée ; les résultats indiquent que 46,7 % des ouvriers travaillent dans le bruit, contre 21,9 % des professions intermédiaires, 12,8 % des employés et 10,4 % des cadres supérieurs. De plus, cette enquête montre que la proportion de salariés exposés au bruit est quasiment la même pour chaque tranche d'âge. L'exposition au bruit des jeunes entre 15 et 29 ans est plus élevée avec 55,1 %. Ce chiffre est alarmant quand on sait que les lésions auditives dues au bruit professionnel sont proportionnelles au nombre d'années d'exposition. [46]

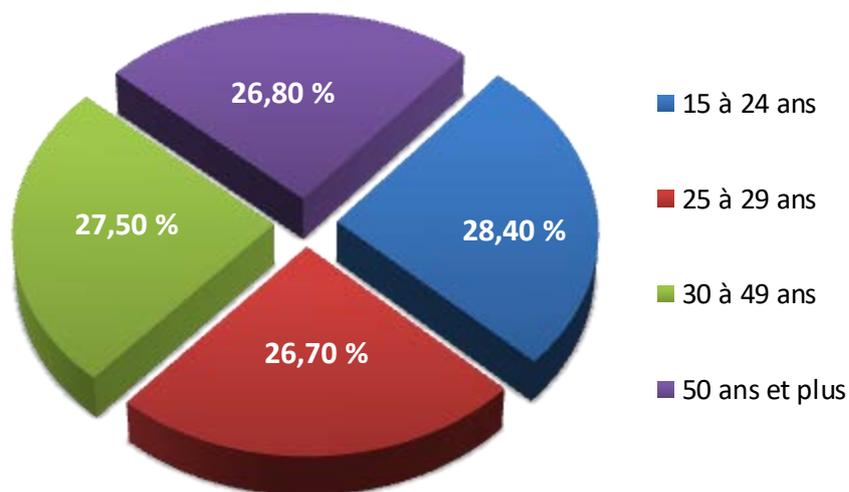


Figure 23 - Répartition des travailleurs exposés au bruit en fonction de l'âge

---

<sup>5</sup> Selon cette enquête, le bruit comprend le bruit de niveau d'exposition sonore quotidienne supérieur à 85 dB<sub>A</sub>, le bruit comportant des chocs ou des impulsions, les autres bruits gênants pour le salarié et les ultra-sons.

L'enquête Sumer 2010 fait l'état des lieux des nuisances sonores selon les secteurs professionnels. Les nuisances sonores arrivent en deuxième position, après les contraintes posturales et articulaires, des grands types de contraintes physiques en touchant 64,4 % des salariés travaillant dans le secteur de la construction. Parmi ces nuisances sonores, on peut dénombrer 55,6 % des salariés confrontés à un bruit supérieur à 85 dB<sub>A</sub>, 35,8 % à des bruits comportant des chocs ou des impulsions et 14,8 % à des bruits gênants. [47]

Cette enquête place le secteur de la construction en première position des activités économiques ayant le plus grand nombre de salariés exposés au bruit professionnel avec plus de la moitié des travailleurs (55,6 %), toute profession confondue. Selon l'enquête menée par les journées nationales de l'audition JNA-IPSOS-Réunica en 2011, 39 % des travailleurs sont gênés par le bruit sur leur lieu de travail dont 71 %, les plus concernés, travaillent sur des chantiers [48]. D'après tous ces chiffres, le milieu du BTP est donc le premier secteur professionnel touché par le bruit d'où la prise en considération de ce milieu dans la réalisation de cette étude.

D'après le baromètre santé environnement 2007, les ouvriers, qui sont ici le nombre d'actifs le plus exposés à un milieu professionnel bruyant avec 66,2 %, estiment seulement à 28,6 % que le bruit est un risque très élevé pour la santé. Ce pourcentage est faible compte tenu du nombre de salariés exposés au bruit. Cette négligence du bruit est une source de risque pour le salarié qui ne se rend pas compte des effets sur sa santé et les minimise. [49]

L'enquête Sumer 2010 s'est également intéressée au nombre de salariés exposés à un bruit de niveau d'exposition sonore supérieur à 85 dB<sub>A</sub> portant une protection auditive individuelle. Ce chiffre est de 66,9 % en 2010 contre 62,6 % en 2003. Cette augmentation, bien qu'elle soit faible, est en hausse significative. Il reste malgré tout 1 267 800 salariés ne portant pas de protections auditives lorsqu'ils sont exposés à un bruit élevé qui dépasse le seuil de réglementation. Ce nombre est alarmant puisque le manque d'informations, la minimisation des effets auditifs avec l'association du non port de protection auditive favorise considérablement l'apparition de surdités professionnelles.

Une augmentation également frappante d'après les enquêtes Sumer concerne la proportion de salariés exposés à des bruits supérieurs à 85 dB<sub>A</sub>. Ce nombre s'est accru, passant de 13 % en 1994 à 18 % en 2003 puis à 20 % en 2010. Cette hausse concerne l'ensemble des catégories professionnelles mais est particulièrement marquée pour les ouvriers. Cette évolution est possiblement due à un meilleur repérage du bruit grâce à des campagnes de mesurage. L'abaissement du seuil réglementaire en 2006 a pu accroître le nombre de salariés, plus particulièrement ceux qui bénéficient d'un suivi médical du fait de leur exposition au bruit. [50]

b. Réglementation en vigueur

i. Prévention du risque d'exposition au bruit

La législation relative à la prévention du bruit en milieu de travail est vaste et fait l'objet de plusieurs textes de lois répartis sur trois axes principaux :

- La protection des travailleurs contre le bruit (directive 2003/10/CE, décret 2006-892),
- La réglementation des locaux de travail (arrêté du 30 août 1990),
- Les obligations des fabricants de machines (directive 2006/42/CE, Décret 2008-1156).

Dans le cadre de cette étude, nous allons principalement nous intéresser aux moyens mis en œuvre concernant la protection des travailleurs exposés au bruit. La dernière réglementation date de 2006 avec la transposition en droit français de la directive européenne 2003/10/CE dans le Code du Travail par le décret n°2006-892 du 19 juillet 2006.

L'exigence de la réglementation est basée sur des paramètres physiques utilisés comme indicateurs du risque (Article R4431-1) :

- Le niveau de pression acoustique de crête  $L_C$  : niveau de la valeur maximale de la pression acoustique instantanée mesurée avec la pondération fréquentielle C,
- Le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX}$  : moyenne pondérée dans le temps des niveaux d'exposition au bruit pour une journée de travail nominale de huit heures,
- Le niveau d'exposition hebdomadaire au bruit : moyenne pondérée dans le temps des niveaux d'exposition quotidienne au bruit pour une semaine nominale de cinq journées de travail de huit heures.

Ces niveaux sont soumis à des seuils d'exposition réglementaires (Article R4431-2) qui définissent, pour chaque niveau atteint, des actions de prévention à mettre en place ; à noter que les valeurs d'exposition inférieures et les valeurs d'exposition supérieures tiennent compte de l'atténuation des protections individuelles contre le bruit (PICB) alors que les valeurs limites d'exposition n'en tiennent pas rigueur. [51]

Valeurs d'exposition	Niveau d'exposition quotidienne $L_{EX,8h}$	Niveau de pression acoustique de crête $L_C$	Actions de prévention à mettre en place
Valeurs d'exposition inférieures	80 dB <sub>A</sub>	135 dB <sub>C</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise à disposition de PICB</li> <li>- Formation et information des salariés</li> <li>- Examen audiométrique à la demande des salariés ou du médecin du travail</li> </ul>
Valeurs d'exposition supérieures	85 dB <sub>A</sub>	137 dB <sub>C</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Port de PICB obligatoire</li> <li>- Mise en place d'un programme de mesures techniques de réduction d'exposition au bruit</li> <li>- Surveillance médicale renforcée</li> </ul>
Valeurs limites d'exposition	87 dB <sub>A</sub>	140 dB <sub>C</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Dépassement interdit</b></li> <li>- Prendre des mesures immédiates de réduction de l'exposition sonore</li> </ul>

Tableau 4 - Valeurs réglementaires relatives au bruit en milieu de travail [52]

C'est à l'employeur de prendre toutes les mesures nécessaires afin d'évaluer le risque sonore, de supprimer ou de réduire au minimum les risques résultant de l'exposition au bruit, de protéger ses employés et de réparer les éventuelles séquelles.

Le mesurage du bruit doit être renouvelé au moins tous les 5 ans ou lorsque l'environnement de travail est modifié suite à une nouvelle installation susceptible d'entraîner une élévation des niveaux de bruit. Cette mesure du bruit doit être réalisée par des personnes compétentes ou dans le cas échéant par le service de santé du travail en référence à la norme NF EN ISO 9612. Cette norme garantit que les mesures sont effectuées partout dans des conditions comparables et qu'elles fournissent un résultat dont l'incertitude est connue. Ce mesurage reste complexe et l'analyse des résultats demande un outil adapté. Nous nous inspirerons de cette norme lors de nos mesures expérimentales.

### *ii. Facteur de pénibilité*

Sur les chantiers, dans le bâtiment comme dans les travaux publics, force est d'admettre que les métiers de la branche du BTP peuvent être bruyants. Qu'il provienne des outils, des machines, des engins ou d'autres actions très sonores, le bruit est présent au plus près des salariés. Malgré l'existence de solutions individuelles et collectives, le bruit professionnel a été défini comme facteur de pénibilité par le décret n°2015-1888 du 30 décembre 2015. [53][54]

La pénibilité, telle que décrite dans le Code du Travail, caractérise « une exposition à un ou plusieurs facteurs de risques professionnels susceptibles de laisser des traces durables, identifiables et irréversibles sur la santé ». Les facteurs de pénibilité détaillés dans le décret sont répartis en trois catégories : les contraintes physiques marquées, certains rythmes de travail et l'environnement physique agressif dont le bruit fait partie. La réglementation prévoit que seules les expositions dépassant certains seuils, après application des mesures de protection collective et individuelle, sont prises en compte pour l'application du dispositif pénibilité. Ainsi, il est indiqué que le bruit est considéré comme un facteur de pénibilité si le niveau d'exposition sonore rapporté à une période de référence de 8 heures est d'au moins 80 dB<sub>A</sub> sur une durée minimale de 600 heures par an ou si l'exposition à un niveau de pression acoustique de crête d'au moins 135 dB<sub>C</sub> est constaté au minimum 120 fois par an.

Tout salarié exposé à au moins un facteur de pénibilité au-delà des seuils réglementaires peut justifier d'un compte personnel de prévention de la pénibilité (C3P), d'après la loi du 20 janvier 2014 garantissant l'avenir et la justice du système de retraites. Les points du C3P sont accumulés au cours de la carrière et peuvent être utilisés sous plusieurs formes : un temps de formation, un passage à un temps partiel en fin de carrière ou pour compenser des trimestres de retraite. [55]

### *iii. Signaux de danger auditifs*

Le secteur du bâtiment et des travaux publics est le plus accidentogène de tous les secteurs professionnels. Les accidents d'engins de travaux publics caractéristiques du milieu du BTP représentent le type d'accident le plus fréquent avec 23 % des cas. Ces accidents surviennent sur les voies de transports publics ou sur le chantier et reflètent les risques liés au déplacement d'engins dans des zones où circulent des piétons ou à proximité de travailleurs. [56]

En matière de prévention, il existe une signalisation sonore sur ce type d'engins pour alerter les piétons situés aux alentours d'un éventuel danger. Or, il existe plusieurs facteurs pouvant expliquer l'inefficacité des dispositifs d'avertissements sonores à prévenir un

travailleur d'un accident fortuit. Parmi ceux-ci, on compte l'accoutumance du personnel aux signaux sonores de danger et la perte d'efficacité de l'avertisseur dû, entre autres, à des perturbations sonores dans un environnement bruyant, au port de PICB gênant à la perception du signal d'avertissement et évidemment la baisse auditive des salariés. L'inefficacité des dispositifs d'avertissements sonores dans ce genre de situations peut donc s'avérer très dangereuse pour une personne malentendante. [57]

La bonne efficacité des avertisseurs sonores dépend uniquement de la perception auditive des salariés, c'est pourquoi il a été établi des normes portant sur ces signaux de danger auditifs. Notamment, la norme NF EN ISO 7731, relative à ces signaux pour les lieux de travail, définit les critères nécessaires à la bonne perception des signaux auditifs d'alerte, spécialement lorsque le niveau de bruit ambiant est élevé. [58]

Le premier critère concerne l'audibilité du signal de danger. Celui-ci doit être clairement audible, sans ambiguïté, et le seuil effectif de masquage doit être largement dépassé, et ce même chez une personne malentendante ou porteuse d'une protection auditive contre le bruit. Le signal de danger doit être supérieur à un niveau de pression acoustique de 65 dB<sub>A</sub> et dépasser le niveau de bruit ambiant d'au moins 15 dB, ou 10 dB dans le cas d'une analyse par bandes d'octave. Il est précisé que si le niveau de pression acoustique du bruit ambiant dans la zone de réception du signal dépasse 100 dB<sub>A</sub>, il est recommandé d'utiliser en complément des signaux de danger exclusivement auditifs des signaux de danger visuels. Dans tous les cas, le niveau maximal du signal ne doit pas excéder 118 dB<sub>A</sub>.

Concernant son spectre, le signal de danger doit comprendre des composantes de la gamme de fréquences de 500 Hz à 2 500 Hz, cependant il est recommandé d'utiliser deux composantes dominantes entre 500 Hz et 1 500 Hz. Il doit également avoir une énergie suffisante dans le domaine de fréquences en dessous de 1 500 Hz pour répondre aux besoins des personnes ayant une perte auditive ou portant des PICB.

Quant au temps, il est préférable que le signal d'avertissement soit pulsatile plutôt que constant avec des fréquences de répétition incluses dans une gamme de 0,5 Hz à 4 Hz. Il est important que la durée et la fréquence de répétition des pulsations ne soient pas identiques à celles du bruit ambiant dans la zone de réception du signal.

Enfin, les fabricants doivent pouvoir fournir les fiches techniques des signaux de danger et préciser les valeurs minimale et maximale du niveau de puissance acoustique pondéré A, les composantes spectrales par octave ou tiers d'octave dans les fréquences centrales comprises entre 125 Hz et 8 000 Hz mesurées à une distance de 1 m ainsi que l'enveloppe temporelle du signal d'avertissement sur une période de temps représentative.

### c. Reconnaissance de la surdité professionnelle

Par définition, une maladie professionnelle est le résultat d'une exposition plus ou moins longue à un risque physique, chimique ou biologique pendant une activité professionnelle. Le Code de la Sécurité Sociale a instauré un système de tableaux dans lesquels sont décrites les maladies présumées d'origine professionnelle et les conditions de contraction de ces maladies. Le bruit a ainsi été reconnu comme cause de maladie professionnelle depuis 1963 et est inscrit dans le tableau n°42 du régime général de la Sécurité Sociale intitulé « Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels » (annexe 2), et dans le tableau n°46 du régime agricole.

La surdité professionnelle était la première cause de maladie professionnelle reconnue jusqu'en 1996. Actuellement, elle est dépassée par les troubles musculo-squelettiques et occupe le 4<sup>ème</sup> rang des maladies professionnelles. En 2003, le tableau n°42 a été modifié avec un élargissement des critères de prise en compte de la surdité professionnelle, ce qui explique l'augmentation du nombre annuel de surdités professionnelles reconnues sur ce graphique.

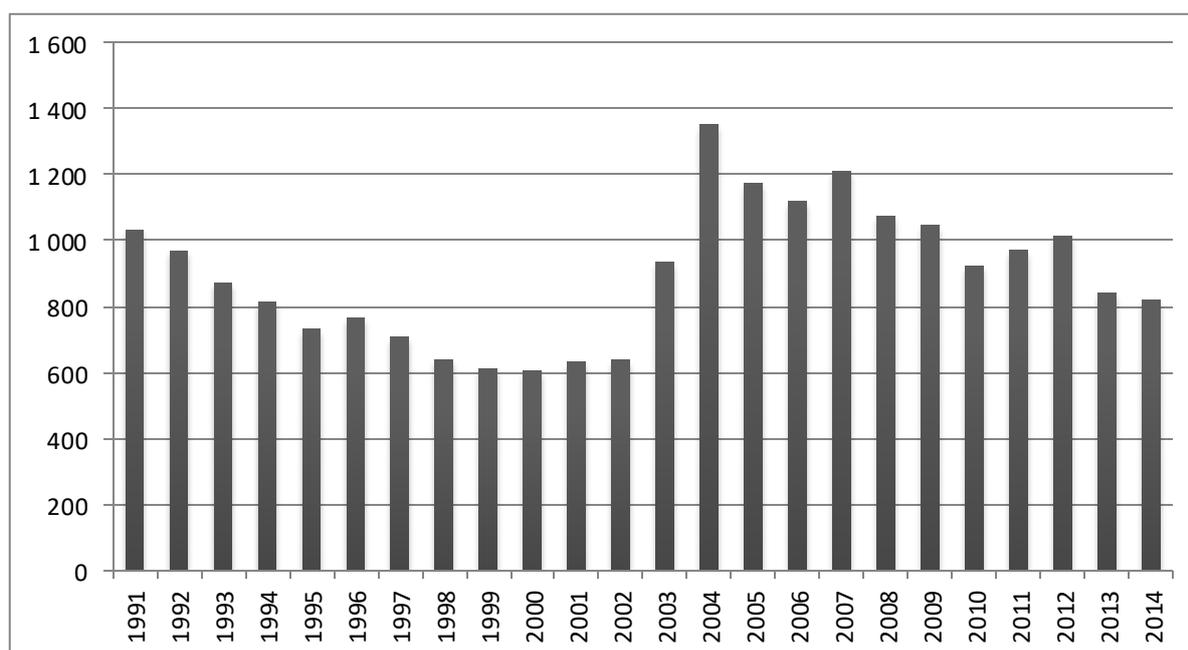


Figure 24 - Evolution du nombre de surdités professionnelles reconnues au cours des années

Pour être reconnue en maladie professionnelle, la surdité doit répondre à plusieurs critères médicaux et administratifs, en voici les principaux :

- Le déficit auditif doit être une hypoacousie de perception, irréversible et bilatérale,
- Le diagnostic de la surdité doit être effectué par une audiométrie tonale liminaire et une audiométrie vocale en concordance ; ou en cas de non concordance par une impédancemétrie et une étude du réflexe stapédien,
- L'audiométrie doit être réalisée après une cessation d'exposition au bruit lésionnel d'au moins trois jours,
- La meilleure oreille doit faire apparaître un déficit moyen d'au moins 35 dB, calculé d'après la mesure des seuils auditifs sur les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz,
- Le délai de prise en charge est de un an, sous réserve d'une durée d'exposition d'au moins une année pour les travaux inscrits sur la liste limitative.

La surdité professionnelle n'épargne personne et a de véritables conséquences humaines et économiques. En effet, le nombre de personnes victimes d'une surdité professionnelle est évalué à 800 cas en France chaque année. Avec une indemnisation moyenne de 100 000 euros par cas, les surdités professionnelles coûtent environ 120 millions d'euros aux entreprises chaque année en engendrant des dépenses diverses (prestations d'assurances sociales et privées, journées de travail perdues, rentes d'incapacité permanente partielle, prothèses, médications, contentieux judiciaires, dépenses de prévention...). C'est l'une des maladies les plus coûteuses pour la collectivité. [59]

Aucun traitement ne peut rendre la surdité professionnelle réversible. La seule manière d'y échapper et de conserver des seuils auditifs normaux est de se protéger des milieux trop bruyants, c'est pourquoi la prévention doit être efficace, répétée et évoquée de plusieurs façons (par la médecine du travail, par les organismes de prévention, par les employeurs et bien d'autres). Mais lorsqu'il est trop tard et que le patient ressent une gêne et un inconfort dû à sa baisse auditive, le seul traitement envisageable reste l'appareillage prothétique chez un professionnel de santé, l'audioprothésiste.

### III. PRISE EN CHARGE AUDIOPROTHETIQUE EN MILIEU BRUYANT

L'objectif premier d'une prothèse auditive est de « compenser la perte auditive du patient en captant et en modifiant le stimulus acoustique afin de l'appliquer au système auditif de telle sorte que puissent être utilisés les restes fonctionnels de l'organe défaillant » [60]. Or, il est fréquent de rencontrer des patients professionnellement actifs qui évoluent dans un environnement bruyant. L'enjeu est alors double, il s'agit de concilier réhabilitation prothétique et protection auditive. Les prothèses auditives numériques de nos jours ont des caractéristiques modifiables, que ce soit en termes de réglages ou de paramètres physiques. Faisons une évaluation des moyens dont dispose l'audioprothésiste pour appareiller au mieux ces personnes confrontées au bruit professionnel.

#### 1. Fonctionnement général de la prothèse auditive

La structure de base d'une prothèse auditive conventionnelle à conduction aérienne est généralement toujours la même, elle est composée de :

- Un transducteur d'entrée : le microphone qui capte le signal acoustique et le transforme en signal électrique,
- Un amplificateur qui contient tous les éléments pour permettre l'analyse et le traitement du signal,
- Une source d'alimentation : une pile ou une batterie,
- Des organes de commande,
- Un transducteur de sortie : l'écouteur qui convertit le signal électrique corrigé en signal acoustique. [61]

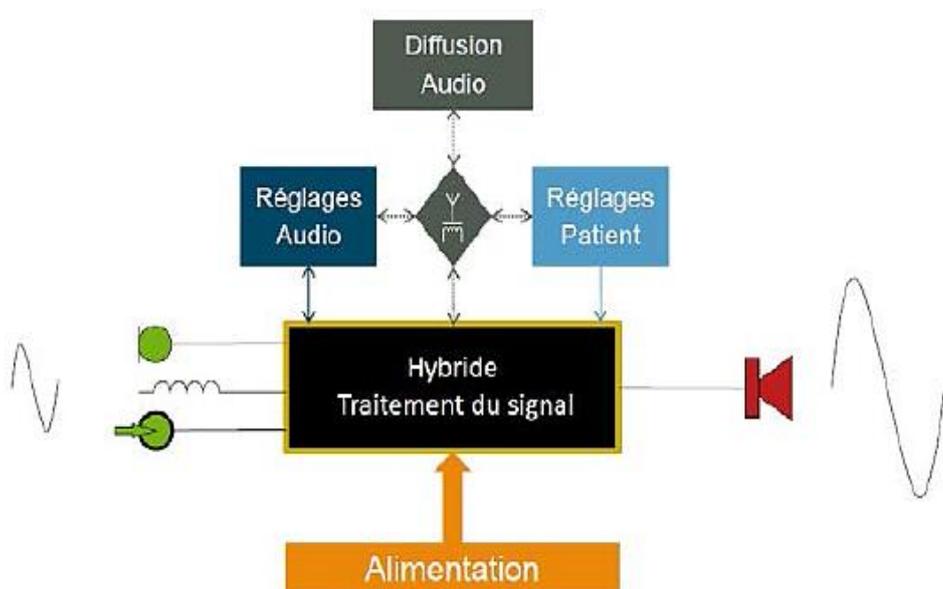


Figure 25 - Structure schématique d'une prothèse auditive [62]

## 2. Réglages adaptés au bruit

L'enjeu de l'appareillage d'un salarié exposé au bruit sur son temps de travail est de combiner l'amplification de la prothèse auditive avec la protection contre les forts niveaux sonores, ceci afin d'assurer un confort auditif au patient. L'audioprothésiste peut agir manuellement ou informatiquement sur certains paramètres pour permettre à son patient de continuer à porter ses aides auditives à son travail. Il n'existe malheureusement pas de réglages types pour ce genre de patient, il faut donc faire preuve de rigueur et bien cerner les besoins et les contraintes du patient afin de comprendre les différents points sur lesquels agir. Faisons un bilan de ces paramètres modifiables et de leur influence sur le rapport signal sur bruit.

### a. Influence du coupleur auriculaire

Le coupleur auriculaire désigne l'ensemble des éléments qui établissent la liaison acoustique entre l'écouteur et le conduit auditif externe. Plus précisément, il s'agit du tube, du coude, de l'évent ou encore de l'embout. Ces paramètres physiques constituent un premier choix prothétique pour la réhabilitation auditive d'un patient puisqu'ils agissent directement sur la courbe de réponse de la prothèse auditive. Les principaux éléments sur lesquels agit l'audioprothésiste aujourd'hui reste l'évent, la forme de l'embout et sa matière, ce que nous détaillerons ci-après.

#### *i. Event*

L'évent est un canal de décompression naturel réalisé en parallèle au conduit comportant le tube de liaison entre l'appareil auditif et l'embout. Ce canal peut être de différents diamètres selon le type d'effet souhaité. En général, il est utilisé pour aérer l'oreille du patient afin de limiter l'effet d'occlusion et de réduire la sensation de pression dans le conduit auditif externe. D'un point de vue prothétique, plus la taille de l'évent est grande, plus l'oreille est dite ouverte et plus les sons sont transmis de façon naturelle. L'évent a également une utilité dans l'amplification ou l'atténuation des fréquences graves. En effet, lorsqu'un patient présente une surdité plus accentuée sur les fréquences aiguës, un grand évent est en général privilégié car le besoin d'amplification des fréquences graves est quasiment nul. Ainsi, le degré de réduction d'amplification des fréquences graves dépend du diamètre de l'évent.

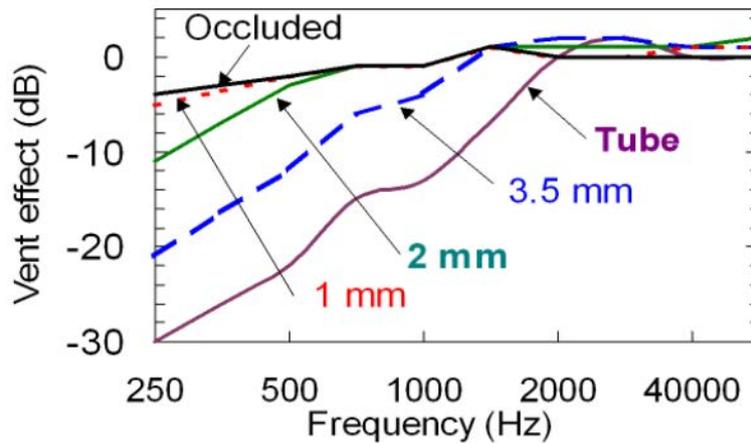


Figure 26 - Effet de différents diamètres d'évent sur la réponse en fréquence du signal amplifié [63]

La ventilation de l'embout présente néanmoins un inconvénient majeur puisqu'il accroît le risque de retour acoustique du son, également appelé l'effet Larsen. Il se traduit par un sifflement gênant et désagréable pour le porteur de la prothèse auditive et parfois même pour son entourage.

En résumé, l'évent a trois effets principaux : la réduction de l'occlusion, la réduction de l'amplification des fréquences graves et l'aération du conduit auditif externe. Cependant, il n'est pas possible de choisir un effet sans l'implication des deux autres. En pratique, une oreille ouverte est plus confortable pour le patient, mais cette aération cause une perte d'amplification dans les fréquences graves. De plus, compte tenu de la problématique de cette étude, un large évent ne permet pas d'occlure suffisamment l'oreille afin de rendre l'appareillage protecteur dans les basses fréquences, un embout présentant un évent serait donc à priori à éviter. Il faut donc trouver un difficile compromis alliant le confort, l'efficacité et la protection auditive.

## ii. *Embout*

Le choix de l'embout (sa matière, sa forme et son évent) revient à l'audioprothésiste en évaluant ce qui est le mieux adapté pour son patient. Il doit tenir compte de son degré de surdité et de la forme de sa courbe audiométrique, de l'état local du conduit auditif, de sa dextérité, de son environnement et de ses considérations esthétiques.

Il existe plusieurs formes d'embouts sur-mesure, les plus utilisés en pratique sont le fond de conque, la canule, la canule épaulement, le squelette et la pince de crabe. Le choix de la forme de l'embout dépendra de l'esthétisme souhaité par le patient mais également de sa rétention dans la conque du pavillon.



Figure 27 - Différentes formes d'embout (de gauche à droite : fond de conque, canule, canule épaulement, squelette, pince de crabe) [64]

Concernant la matière de l'embout, il en existe deux sortes : les embouts durs réalisés le plus souvent en acrylique et les embouts souples fabriqués avec du silicone. L'embout souple est surtout préconisé pour les pertes auditives sévères à profondes car il offre davantage d'étanchéité. Plus généralement, on privilégie les matières souples pour des textures d'oreille dures et les matières dures pour des textures d'oreille souples.

Un autre type d'embout a fait son apparition plus tardivement pour équiper les appareils à écouteurs déportés, il s'agit du dôme. Aujourd'hui, il est très prisé par les professionnels car il ne demande pas de prise d'empreinte et peut s'adapter à toutes les formes et les tailles de conduit auditif de par sa large gamme. Il existe en plusieurs diamètres et en différentes aérations : le dôme open, le dôme fermé, le dôme tulipe et enfin le dôme power (ou double dôme).



Figure 28 - Différents types de dôme (de gauche à droite : open, fermé, power et tulipe)

Les embouts et les dômes sont nombreux, ils se différencient les uns par rapport aux autres par leurs effets acoustiques, notamment sur l'effet d'occlusion de l'oreille. Ce paramètre a déjà été étudié précédemment dans le cadre d'une recherche de l'ADA<sup>6</sup> en 2012 [65]. Cette étude portait sur la comparaison d'un BTE équipé d'un tube fin et d'un RIC avec diverses propriétés du coupleur acoustique. La partie que nous pouvons relier à ce mémoire concerne la mesure de l'effet d'occlusion selon la matière de l'embout, le diamètre de l'évent et l'aération du dôme et plus généralement ce qu'apporte un embout réalisé sur-mesure par rapport à un dôme standard.

<sup>6</sup> The Academy of Doctors of Audiology (ADA).

Tout d'abord, il a été évalué, par une mesure in vivo, le REAR avec un appareil RIC équipé de trois embouts différents : un embout dur, un embout souple en silicone et un dôme power. Le premier résultat démontré sur la figure 29 prouve bien que l'embout fabriqué en silicone possède une bonne étanchéité, surtout dans les fréquences comprises entre 3 000 et 7 000 Hz. Cependant, la comparaison avec l'embout dur reste difficile car les deux courbes sont très proches. En revanche, le dôme Power a un tracé bien en-dessous des deux embouts, il est donc moins étanche et demande donc davantage de gain acoustique sur chaque fréquence.

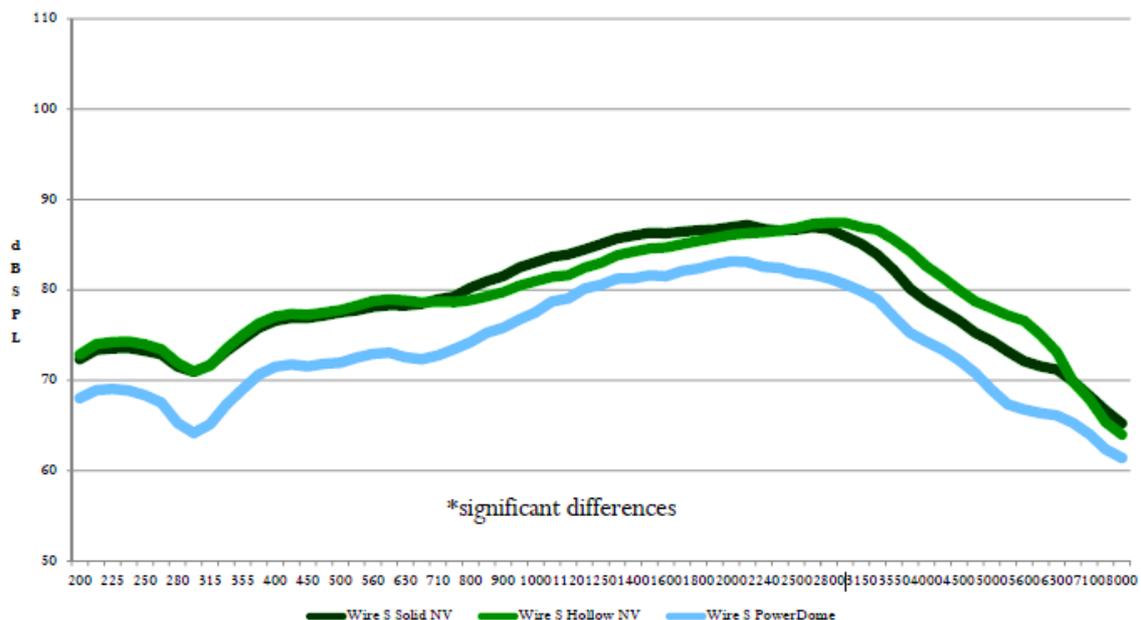


Figure 29 - Mesure du REAR avec un appareil RIC équipé d'un embout solide (bleu foncé), d'un embout souple (vert) et d'un dôme Power (bleu clair)

Un autre problème posé lors de cette étude a été de savoir si un embout sur-mesure apporte une meilleure occlusion qu'un dôme standard. Les mesures reportées sur la figure suivante ont été réalisées à l'aide d'un appareil RIC équipé de plusieurs types d'embout et de dôme. Ces mesures se concentrent seulement sur les fréquences allant de 1 000 à 3 000 Hz. D'après le graphique obtenu, il est important de constater que l'embout souple ne procure pas systématiquement une meilleure étanchéité que l'embout dur, le dôme standard Power serait d'ailleurs situé entre ces deux embouts en termes d'efficacité de l'occlusion. Par conséquent, l'embout le plus étanche qui offre un meilleur effet d'occlusion est l'embout dur sans événement, suivi du dôme Power puis de l'embout souple sans événement.

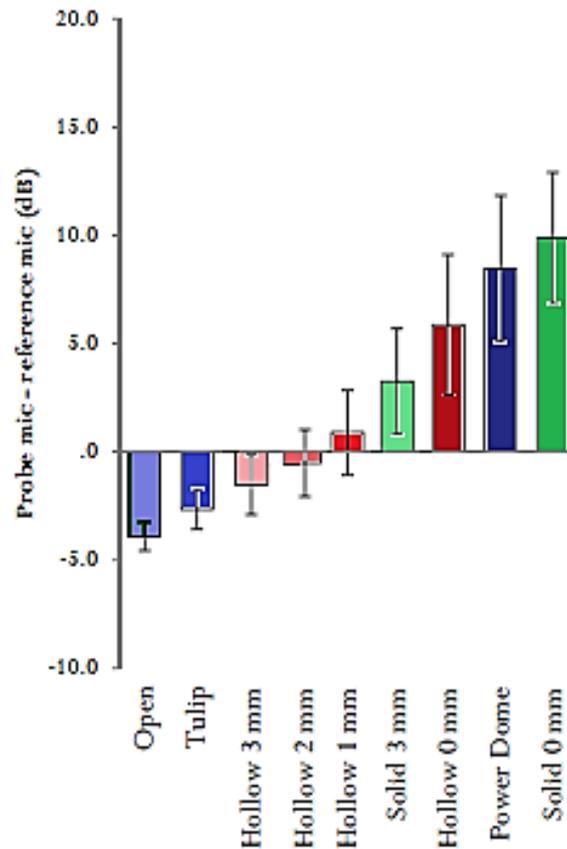


Figure 30 - Mesure de l'effet d'occlusion selon le type de dôme (bleu), la matière de l'embout et le diamètre de son événement (embout silicone « Hollow » en rouge et embout dur « Solid » en vert)

L'effet d'occlusion d'un embout revient à parler de la protection qu'apporte cet embout face à un environnement sonore bruyant. Plus l'embout est étanche, plus il est protectif vis-à-vis de l'oreille. Ainsi, d'après cette recherche, l'embout qui paraît le plus protecteur est l'embout dur sans événement avec un effet d'occlusion de l'ordre de 10 dB, tandis que l'embout souple sans événement aurait une protection de l'ordre de 5 dB. Cependant, il est extrêmement rare et difficile d'équiper un patient avec un embout sans aération, il faudrait donc plutôt choisir le dôme Power qui est plus facilement apprécié pour sa souplesse. Cette théorie semble vraie pour des fréquences allant de 1 000 à 3 000 Hz, or le bruit au travail concerne toute la gamme des fréquences audibles. Concernant les fréquences graves, c'est l'événement qui joue le plus grand rôle, en milieu bruyant il est préférable de choisir un événement d'un diamètre inférieur à 2 mm car un événement plus grand ne permet pas d'occlure suffisamment l'oreille et de rendre l'appareillage protecteur dans les basses fréquences.

L'audioprothésiste peut jouer sur la taille de l'évent et sur la matière de l'embout pour amoindrir l'intensité de sons forts parvenant jusqu'au tympan. Néanmoins, une atténuation de 10 dB n'offre pas de réelle protection suffisante contre ces sons forts mais plutôt un faible abaissement du niveau sonore moyen d'exposition. En pratique, l'audioprothésiste choisit et modifie les caractéristiques physiques principalement en fonction du degré de surdité et de la sensation de son patient. En effet, les nombreuses options de réglages que proposent les prothèses auditives actuellement sont davantage utilisées pour réduire le bruit gênant. Il est également important de ne pas oublier que certaines caractéristiques de l'aide auditive ne peuvent pas fonctionner de façon optimale avec un événement très large. Par exemple, l'utilisateur peut moins percevoir l'effet d'un réducteur de bruit si l'aération est grande étant donné que le bruit passe directement à travers le large événement à atténuation des basses fréquences.

#### b. Influence des paramètres de réglage

Le microprocesseur d'une aide auditive est l'élément clef du traitement du signal. Il a pour but de modifier le signal d'entrée de façon à ce que le signal de sortie soit situé au sein du champ dynamique résiduel du patient, c'est-à-dire au-dessus du seuil de perception et en-dessous du seuil d'inconfort. Pour ce faire, le signal est traité selon plusieurs algorithmes contrôlant les réducteurs de bruit, l'anti-larsen, la directivité microphonique ou encore d'autres fonctionnalités que peuvent proposer les aides auditives numériques aujourd'hui. Dans le cadre de cette étude, nous allons nous intéresser plus particulièrement aux fonctionnalités permettant à l'audioprothésiste d'assurer un maximum de confort pour un salarié travaillant en milieu bruyant.

##### i. Compression dynamique et MPO

Dans les aides auditives modernes, la compression est un aspect important du traitement du signal qui dépend de la fréquence, du niveau et des caractéristiques du signal sonore. La compression est utilisée pour comprimer ce signal sonore afin de l'appliquer au sein de la dynamique d'audition résiduelle du porteur de la prothèse auditive. Les pertes auditives sont rarement plates sur l'ensemble de la gamme de fréquences, c'est pourquoi il existe plusieurs compresseurs fonctionnant chacun dans leur région fréquentielle, ce sont les canaux de réglage auxquels l'audioprothésiste a accès. Dans chaque canal, un compresseur effectue divers degrés de compression. En effet, lorsque le niveau d'entrée est élevé, le son doit être comprimé de telle sorte à ce qu'il ne soit pas gênant, à l'inverse, pour un niveau d'entrée faible, l'appareil auditif doit amplifier le signal pour le rendre audible. Le rapport de compression varie donc en fonction du niveau d'entrée. [66]

Le taux de compression, ou CR pour « Compression Ratio », correspond au rapport entre le niveau d'entrée et le niveau de sortie de l'appareil auditif, ainsi plus ce taux est important, plus la compression est forte. Lorsque ce ratio est égal à 1, la compression est dite linéaire.

Le point d'activation de la compression dépend du seuil d'enclenchement, ou TK pour « Treshold Kneepoint ». Il correspond à la valeur minimale, en dB, à partir de laquelle la compression s'applique, ceci pour chaque bande de réglage.

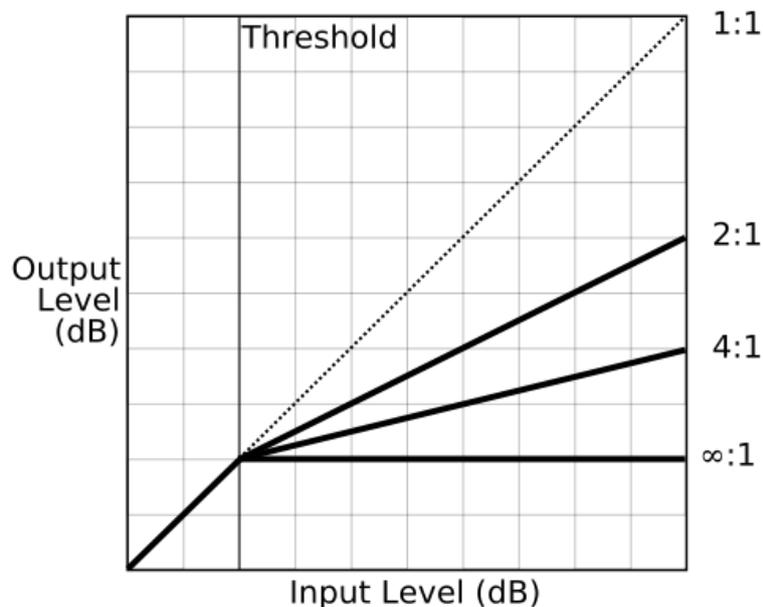


Figure 31 - Niveau de sortie en fonction du niveau d'entrée selon plusieurs ratios de compression [67]

La compression, également dénommée contrôle automatique de gain, existe sous deux formes qui ont été conçues pour des applications différentes :

- Le contrôle automatique de gain dépendant du niveau d'entrée : AGCi,
- Le contrôle automatique de gain dépendant du niveau de sortie : AGCo.

L'AGCi et l'AGCo diffèrent par leur niveau de référence mais également par leur taux de compression, celui-ci est beaucoup plus grand pour le deuxième. En effet, l'AGCo a un taux de compression élevé, de l'ordre de 10, car il est couramment utilisé comme un système de limitation du niveau de sortie, c'est le MPO (« Maximum Power Output »). Son but est de réduire le niveau de sortie de l'appareil de façon à ne pas dépasser le seuil d'inconfort du patient. Il permet également de protéger l'oreille d'un éventuel traumatisme sonore en réduisant l'intensité des sons trop élevés.

Le MPO peut être directement ajusté par l'audioprothésiste via le logiciel de programmation de toutes les aides auditives numériques. Cet ajustement est réalisable sur chaque canal de réglage. Le fait d'abaisser le MPO permet d'éviter la suramplification des sons déjà trop élevés auxquels le salarié est confronté lorsqu'il travaille dans le bruit. La limitation du niveau de sortie par la compression est présente sur toutes les aides auditives de nos jours, c'est donc le premier moyen, et le plus simple, pour réduire les effets du bruit néfastes pour l'oreille. Cependant, il est aussi important de préciser qu'un abaissement trop important du MPO peut rendre difficile la perception d'un signal de danger. Une protection vis-à-vis des sons forts peut s'avérer complexe à mettre en place, il faut protéger l'oreille mais sans pour autant la surprotéger ce qui peut rendre les signaux d'alerte inaudibles et présenter un risque certain pour le salarié.

*ii. Temps d'attaque et temps de retour*

L'action des contrôleurs automatiques de gain ne s'effectue pas instantanément. Avec la compression, le gain varie automatiquement en fonction du changement du niveau d'entrée, cependant cette modification se fait sur un laps de temps de l'ordre de la milliseconde.

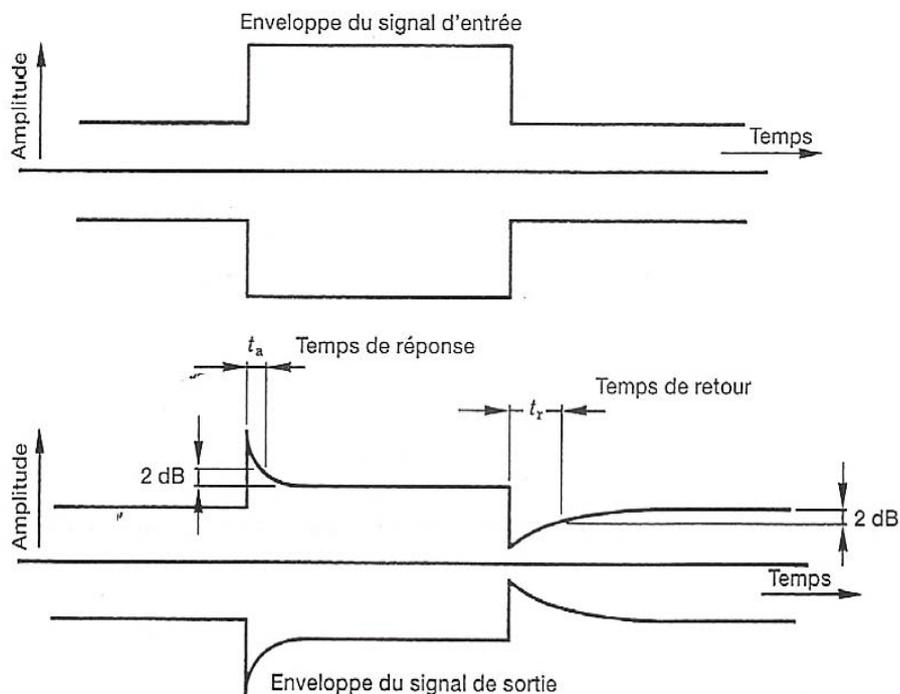


Figure 32 - Schéma du temps d'attaque ( $t_a$ ) et du temps de retour ( $t_r$ )

On appelle temps d'attaque, le temps mis par le compresseur pour se stabiliser à environ 2 dB lors d'une augmentation de 25 dB du niveau d'entrée. A l'inverse, le temps de retour correspond au temps mis par le compresseur pour se stabiliser à environ 2 dB lors d'une diminution du niveau d'entrée. En règle générale, le temps d'attaque est plus rapide, entre 1 ms et 33 ms, alors que le temps de retour est plus lent, entre 1 et 1 120 ms. [68]

La technologie numérique donne la possibilité de contrôler les variations des réglages du gain. Cela peut être utile car le porteur d'une aide auditive est exposé à une multitude de milieux sonores différents. Une même variation du gain ne conviendrait donc pas pour chaque situation. Il existe donc deux compressions, l'une agissant plus lentement que l'autre. La compression lente est préconisée lorsque le niveau sonore ambiant est continu et stable tandis que la compression rapide convient mieux pour des situations où des bruits impulsionnels émergent du niveau sonore ambiant. De plus, si le niveau d'entrée fluctue beaucoup, des temps d'attaque et de retour relativement longs ne permettent pas un ajustement assez rapide du gain, le niveau de sortie ne suit donc pas les fluctuations soudaines du niveau d'entrée.

Dans un milieu bruyant il est donc préférable que la régulation de l'amplification agisse rapidement. Si la modification est possible sur l'aide auditive, un temps d'attaque court contribuera à davantage de confort pour le porteur. La variation rapide du gain permettra également une moindre exposition à des niveaux sonores très élevés et limitera également les impacts d'un bruit impulsionnel.

### *iii. Directivité microphonique*

Dans les aides auditives récentes, plusieurs stratégies de traitement du signal ont été spécialement conçues pour améliorer l'intelligibilité du porteur dans le bruit. L'une des méthodes les plus efficaces pour permettre la communication en milieu bruyant est d'équiper les prothèses auditives d'un microphone directionnel adaptatif, le plus souvent il s'agit d'un système à double microphone omnidirectionnel. Ce système est plus sensible au son provenant d'une certaine direction plutôt que d'autres, autrement dit, il amplifie une direction particulière et atténue les autres directions.

L'apparition du traitement du signal numérique avec les algorithmes a permis l'émergence de ce type de directivité. Ce système évalue continuellement l'environnement sonore. Il est capable de localiser l'emplacement d'une source sonore, comme la parole, de manière à l'amplifier tout en diminuant le niveau sonore bruyant. La sensibilité polaire du microphone s'ajuste automatiquement de sorte à garantir des caractéristiques directionnelles optimales en fonction de l'environnement dans lequel se situe le porteur. Le

système suit la source de bruit quand elle se déplace ou quand l'utilisateur tourne la tête, et la performance directionnelle est optimisée en permanence.

De façon plus technique, le double microphone numérique adaptatif est un réseau microphonique contrôlé directement par le micro-processeur de l'appareil auditif. Après la conversion du signal acoustique en signal électrique, le processeur intègre l'écart temporel entre les deux microphones afin de toujours orienter la polarité vers la source sonore cible tout en minimisant les sources de bruit gênantes à proximité. Le rapport signal sur bruit est considérablement amélioré.

L'ajustement des lobes de directivité peut être d'une grande aide pour le porteur d'un appareil auditif. Il peut bénéficier d'un mode omnidirectionnel pour les environnements calmes de façon à pouvoir détecter les sons provenant de toutes les directions et de tous les angles tout autour de lui. Puis, lorsque un bruit perturbant apparaît, le système passe en mode directionnel avec une allure cardioïde qui peut s'adapter selon la localisation de la source cible et du bruit.

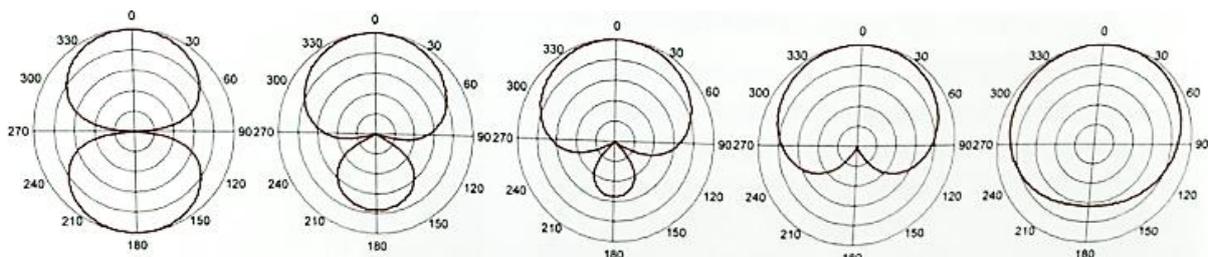


Figure 33 - Exemple de diagrammes de polarité d'un système de directivité adaptatif

Ce système présente par contre quelques inconvénients. Il est d'autant plus efficace lorsque la distance entre le porteur et la personne qui parle est faible et si cette personne se trouve en face de lui. Or, ce n'est pas toujours le cas, surtout dans le milieu du BTP. Les sources de bruit sont mobiles et peuvent être aussi lointaines que proches. Spécialement conçu pour améliorer l'intelligibilité de la parole dans un bruit quotidien (restaurant bruyant, bruit de route...), ce système peut se révéler limité dans un milieu à forte intensité sonore. Le microphone directionnel est perturbé par l'augmentation du champ réverbéré en milieu bruyant qui devient parfois plus important que le champ direct. Le mode directif n'a donc plus lieu d'être. De plus, dans le cas des travaux de construction, les avertisseurs de danger peuvent être considérés comme un signal indésirable par ce système qui ne l'amplifiera alors pas correctement.

#### *iv. Réducteurs de bruit*

Des algorithmes présents dans pratiquement toutes les prothèses auditives actuelles permettent d'apporter plus de confort acoustique au malentendant appareillé en améliorant l'intelligibilité dans le bruit. Ces réducteurs de bruit ont tous un objectif commun qui est de permettre au patient de comprendre la parole quel que soit le type de bruit environnant. Il en existe plusieurs, variant d'un fabricant à un autre et d'une gamme à une autre, ils ne sont pas forcément dénommés de la même façon. De manière générale, on trouve les débruiteurs, les réducteurs de bruit impulsif et les réducteurs de bruit de vent.

Les réducteurs de bruit fonctionnent à partir d'algorithmes intégrés dans le microprocesseur. Après l'analyse du signal en temps réel et son traitement, ces algorithmes transmettent le signal résultant selon des paramètres définis par la puce de la prothèse auditive et par l'audioprothésiste au préalable. En effet, les réducteurs de bruit dépendent de l'intensité du bruit environnant mais également du réglage choisi sur le logiciel de programmation de l'aide auditive. Ils peuvent travailler sur des bruits ayant une composition fréquentielle différente simultanément car les réducteurs de bruit sont adaptatifs et multicanaux. Le principe de base d'un réducteur de bruit est donc d'estimer la présence de bruit et de réduire le gain dans les régions fréquentielles qui en contiennent.

Dans un milieu professionnel bruyant il est donc possible de réduire l'effet du bruit avec les prothèses auditives. Le porteur peut percevoir alors la situation plus calme qu'une personne normoentendante. Il est même possible de réduire le gain dans des fréquences spécifiques où le bruit domine, cela demande de connaître la composition spectrale du bruit auquel est exposé le patient.

#### *v. Programmes*

Les prothèses auditives proposent différents réglages sous forme de programmes à changement manuel ou automatique. L'audioprothésiste peut créer pour son patient des programmes spécifiques pour chaque situation qu'il rencontre en se basant sur des tests vocaux dans le silence et dans le bruit, ainsi qu'en fonction du ressenti du patient dans les différentes situations d'écoute auxquelles il est confronté.

Manuellement, le patient appuie sur un bouton situé sur la coque de son appareil auditif pour passer d'un programme spécifique pour un environnement calme à un autre réservé pour un milieu bruyant. Ce changement peut également se faire automatiquement si l'appareil auditif est équipé de cette option. Pour cela, l'appareil fait en permanence l'analyse de certains critères acoustiques pour définir s'il s'agit d'une situation calme ou bruyante, avec ou sans signaux de parole.

Par contre, le système automatique demande à ce que la situation sonore soit stable pendant plus de 15 secondes pour qu'il change de programme, cela peut être difficile dans un environnement fluctuant, par exemple lorsqu'il y a mise en fonctionnement d'une machine puis son arrêt à de multiples répétitions. De plus, les fortes intensités peuvent troubler ce système automatique de changement de programme. Ces algorithmes ne répondent donc pas facilement à la question de protection du travailleur exposé au bruit. En revanche, un changement manuel de programme que le patient active lorsqu'il le souhaite est plus adapté à ce genre de situation.

Il n'existe donc pas de réglage type parfaitement adapté pour un travailleur exposé aux bruits de fortes intensités. En répertoriant les moyens de réduction du bruit, l'audioprothésiste peut régler manuellement certains paramètres pour réduire l'environnement bruyant de manière à apporter plus de confort à son patient. Malgré tout, les salariés exposés au bruit sont gênés et la plupart d'entre eux ne portent pas leurs appareils auditifs lorsqu'ils travaillent. La solution qui paraît la plus appréciable serait de mettre en place un deuxième programme où tous les seuils et le MPO sont abaissés et où les réducteurs de bruit sont fortement activés. Cela reste dangereux si on tient compte des signaux de danger qui pourraient devenir imperceptibles par le salarié, de même que pour la parole.

C'est en se rendant compte de cette difficulté de réglage que notre étude prend tout son sens. Plusieurs questions entrent alors en jeu : doit-on privilégier le confort à l'audibilité, ou inversement ? Le ressenti du patient doit-il primer sur le réglage efficace et protecteur de son aide auditive ? Comment peut-on mettre en place une protection auditive adaptée sans imputer sur la protection physique du salarié ?

## PARTIE 2 : ÉTUDE EXPERIMENTALE

### I. EXPLOITATION DU QUESTIONNAIRE

#### 1. Objectif

La problématique exposée dans ce mémoire s'intéresse essentiellement au confort de chaque patient et à leur ressenti quant au port de leur appareillage sur leur lieu de travail bruyant. Etablir un questionnaire semble une évidence pour connaître exactement le point de vue de ces salariés. A travers une vingtaine de questions, l'objectif de ce questionnaire a donc été de recueillir, pour chaque salarié interrogé, leur habitude de port des prothèses auditives ainsi que leurs connaissances sur la prévention et les effets du bruit sur leur santé. Le questionnaire établi pour cette étude est situé en annexe 3.

Les personnes interrogées sont des hommes appareillés qui travaillent dans un environnement bruyant. Ce questionnaire leur a été donné lors d'un rendez-vous au centre d'audioprothèse Audition Maurice Frères – Audition Conseil de Nancy, où se situe mon maître de stage de troisième année. Ce questionnaire a été rempli par cinq travailleurs ayant bien voulu se libérer sur leur temps de travail, en accord avec leur direction.

Ce faible chiffre de salariés ayant répondu au questionnaire s'explique à travers quelques difficultés rencontrées lors de la réalisation de cette étude. Notamment, avec l'aide des médecins du travail du SIST BTP, la recherche des patients ne s'est pas avérée facile. Il a fallu trouver des patients volontaires et des entreprises qui acceptent de libérer les salariés sur leur temps de travail.

#### 2. Exploitation des résultats

L'exploitation des réponses à ce questionnaire se fait donc à partir de cinq patients interrogés. Parmi ces cinq personnes se trouvent trois maçons, un électricien et un technicien de maintenance, âgés de 51 ans à 56 ans.

Les premières questions s'intéressent à leur habitude de port de l'appareillage et de leur condition de travail. Tout d'abord, la première constatation est que tous ces salariés portent parfois leur appareil auditif sur leur lieu de travail, qu'il soit bruyant ou non. Deux personnes disent le porter entre 4 et 8 heures par jour, une personne entre 8 et 12 heures par jour et deux autres plus de 12 heures par jour. De plus, tous les salariés estiment que leur prothèse auditive leur est utile lorsqu'ils travaillent. Egalement, ils se disent tous exposés au bruit à leur travail. Force est de constater que la problématique de cette étude a donc véritablement lieu d'être explorée.

A la question « quelles sont les causes du non port de l'appareil auditif au travail ? », deux réponses arrivent en tête : le lieu trop salissant et l'environnement sonore trop bruyant. Le bruit est donc un facteur gênant au port de l'appareillage auditif, au même titre que la poussière sur le lieu de travail.

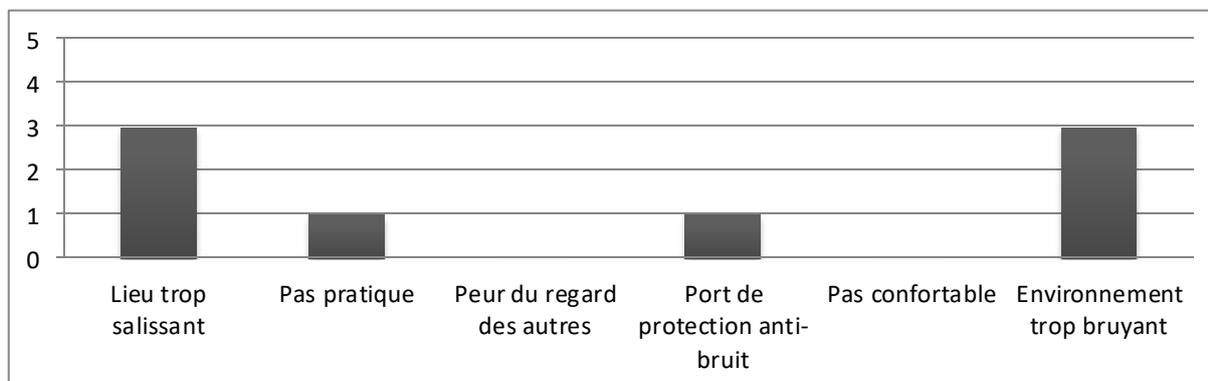


Figure 34 - Quelles sont les causes du non port de l'appareil auditif au travail ?

Une deuxième partie de ce questionnaire concerne le type de bruit auquel sont exposés ces travailleurs. Selon eux, il est aussi bien continu qu'impulsionnel, il peut être fixe ou variable et il peut s'interrompre quelquefois. Cette question a créé des problèmes de compréhension face à tous ces adjectifs. Chacun des cinq salariés interrogés n'a pu définir précisément le bruit auquel il est confronté, selon leur dire, chaque type de bruit est présent mais à des moments différents et sur une durée aléatoire.

Ce questionnaire s'est également intéressé aux impressions et aux connaissances des salariés face à ce bruit. Cette question est analysée selon chaque salarié afin de mettre en confrontation leur réponse.

Salarié	Selon vous, le niveau sonore de ce bruit est plutôt ?	Selon vous, à combien évaluez-vous le niveau sonore auquel vous êtes exposé à votre travail ?	Selon vous, quelle est la durée de votre exposition à ce bruit par jour ?
1	Modéré	60 – 70 dB	Plus de 8 heures
2	Très fort	40 – 50 dB	Entre 2 et 4 heures
3	Fort	80 – 90 dB	Entre 2 et 4 heures
4	Très fort	80 – 90 dB	Entre 4 et 8 heures
5	Fort	80 – 90 dB	Entre 2 et 4 heures

Tableau 5 - Réponses au questionnaire concernant les impressions des salariés sur le bruit

D'après ce tableau, il est important de constater que chaque salarié évalue différemment le niveau de bruit auquel il est confronté. Cette différence peut s'agir éventuellement d'un manque de connaissance ou d'une difficulté à estimer le bruit perçu. Effectivement, certains salariés sous-évaluent le niveau sonore et donc le risque encouru par leurs oreilles. Par cette question, nous pouvons noter l'importance pour les salariés d'être formés quant à la prévention du bruit et ses multiples risques.

Concernant le réglage de leur prothèse auditive, le questionnaire leur demande s'ils utilisent un programme secondaire lorsqu'ils sont exposés à ce bruit. Trois possèdent effectivement un deuxième programme qu'ils peuvent activer manuellement. Pour les deux autres, l'un porte un intra-auriculaire ne disposant pas de second programme et l'autre a un appareil qu'il dit bien supporter tel quel et ne voit donc pas l'utilité d'un deuxième programme.

Il a également été demandé quels types de sons doivent-ils entendre en dehors du bruit. Pour ces cinq personnes, toutes ont besoin d'entendre leurs collègues et les signaux de danger. Ces signaux de danger correspondent à une alarme de nacelle, au signal d'avertissement de recul d'engins et à d'autres alarmes sonores.

Une autre partie de ce questionnaire concerne la protection qu'ils adoptent face au bruit et ce qui est mis à leur disposition pour prévenir des risques liés à un niveau sonore de forte intensité. D'après leurs réponses, ils disposent tous au moins d'un protecteur individuel qui peut être un casque anti-bruit, des bouchons standards anti-bruit ou des bouchons sur-mesure anti-bruit. D'une façon unanime, tous répondent porter au moins un PICB pour se protéger du bruit lorsqu'ils utilisent une machine bruyante ou lorsqu'un collègue situé à proximité en utilise une. Il est important de constater que ces cinq salariés préfèrent souvent retirer leur prothèse auditive et opter pour une protection auditive contre le bruit lorsqu'ils utilisent un outil bruyant.

Il a également été intéressant de connaître l'implication de leur employeur pour veiller à la bonne protection de ces salariés. Ainsi, trois personnes ont répondu oui à la question « votre employeur réalise-t-il une évaluation régulière du bruit ? ». Les deux autres personnes ne savent pas.

Une dernière question concernant l'exposition au bruit de ces salariés leur a été posée. Il s'agit de savoir combien de temps ont passé ces salariés à leur travail en étant exposés au bruit. Sachant que l'âge de ces hommes est compris entre 51 et 56 ans, pour quatre de ces salariés, la durée de l'exposition au bruit englobe tout ou presque de leur carrière professionnelle. Si l'on se rapporte au chapitre sur les effets du bruit sur la santé, lors des tests audiométriques, il faudra donc s'attendre à trouver une baisse auditive proportionnelle à leur durée d'exposition au bruit.

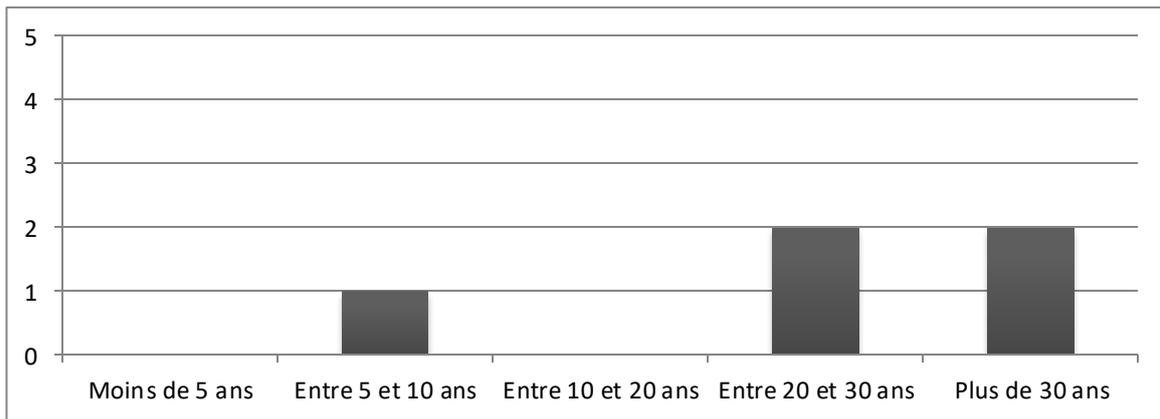


Figure 35 - Depuis combien de temps êtes-vous exposé au bruit à votre travail ?

Les dernières questions ont rapport à l'audition des cinq salariés :

- A la question « pensez-vous que le bruit a une influence sur votre audition ? », trois personnes ont répondu oui,
- A la question « pensez-vous que votre baisse d'audition est principalement due à un travail dans le bruit ? », trois personnes ont répondu oui,
- A la question « pensez-vous qu'il soit judicieux de garder ses appareils auditifs lorsque le milieu de travail est bruyant ? », deux personnes ont répondu oui.

Malgré trois personnes pensant que le bruit n'a pas d'influence sur leur audition, deux personnes ignorent complètement les effets néfastes qui peuvent survenir. La question de prévention revient également sur le devant car tous devraient être conscients du risque qu'ils encourent si une protection auditive contre le bruit n'est pas ou peu portée. Ces réponses sont à nuancer car certains de ces salariés semblent avoir un problème auditif d'une autre origine que l'exposition au bruit.

### 3. Conclusion de l'enquête

Le questionnaire a permis d'avoir un point de vue d'ensemble sur les problèmes rencontrés par ces cinq salariés. D'après ces résultats la problématique a véritablement lieu d'être posée. Effectivement, les salariés exposés à un milieu bruyant portent tantôt leur appareil auditif dans un environnement avec de forts niveaux sonores tantôt des protecteurs auditifs contre le bruit, sans qu'il n'y ait à priori une raison valable de privilégier le port de l'un plutôt que l'autre. Un autre point clef de la problématique, les signaux d'alerte sont bien présents sur le lieu de travail et doivent être perçus, de même pour la parole de leurs collègues à proximité. Enfin, la méconnaissance des risques encourus suite à l'exposition prolongée au bruit reste un problème actuel malgré les dispositifs de prévention mis en place par la réglementation.

## II. ETUDE EXPERIMENTALE DES TRAVAILLEURS APPAREILLES

### 1. Etude sonométrique

#### a. Protocole

L'un des objectifs de ce mémoire est d'étudier les nuisances sonores en milieu professionnel, spécialement dans le milieu du BTP. Ainsi, des mesures sonométriques ont été réalisées pour se rendre compte des niveaux sonores élevés. Cette étude a été effectuée en accord avec les entreprises participantes, sur le lieu de travail de salariés malentendants exposés au bruit. Elle s'est déroulée en deux parties : une étude de l'exposition sonore quotidienne puis une analyse spectrale des différentes machines et des outils utilisés par les salariés dans le cadre de leur travail.

#### b. Matériel utilisé

Pour la mesure de l'exposition sonore quotidienne, il a été utilisé un exposimètre prêté par Mr BONNET, ergonomiste au SIST BTP. L'exposimètre permet de mesurer l'exposition au bruit pendant une durée déterminée et dans un environnement donné. Directement placé au niveau du col du travailleur, il enregistre les données permettant d'évaluer le niveau sonore subi par le salarié pour les confronter à la réglementation en vigueur, ceci sur une période de temps déterminée. L'exposimètre donne les valeurs des niveaux continus équivalents avec la pondération A ou C et les niveaux crêtes pondérés C. Le spectre du bruit perçu pendant le temps de la mesure est donné par bandes d'octave de 63 à 8 000 Hz.

Le spectre de chaque machine a également été enregistré par un sonomètre intégrateur. Cet appareil relève le niveau de bruit pondéré A par bandes d'octave de 16 à 16 000 Hz. Le microphone du sonomètre est placé à hauteur du salarié pour représenter au mieux le son perçu par son oreille en temps réel. La mesure est intégrée sur une période d'observation de 30 secondes pour chacun des outils.

#### c. Exemples

Seulement cinq personnes ont subi les tests audiométriques sur les quelques dizaines de personnes sur lesquelles des mesures de l'exposition sonore ont été effectuées. Pour exemple, voici des mesures du niveau sonore chez des corps de métiers différents rencontrés lors de l'étude sonométrique sur le terrain qui ne font pas partie des cinq cas cités dans les pages suivantes. Les détails des résultats sont situés en annexe 4 pour le tailleur de pierres, en annexe 5 pour le maçon coffreur et en annexe 6 pour le maçon VRD.

	Tailleur de pierres	Maçon coffreur	Maçon VRD (Voirie et Réseaux Divers)
<b>Niveau d'exposition sonore quotidienne</b> $L_{EX,8h}$ (en $dB_A$ )	<b>98,6</b>	<b>94,4</b>	<b>100,5</b>
<b>Niveau crête <math>L_{pc}</math></b> (en $dB_C$ )	131,7	130,5	<b>135,5</b>

Tableau 6 - Résultats des mesures sonométriques pour trois métiers

Pour ces trois exemples ci-dessus, les résultats de l'exposimètre montrent que les valeurs du niveau d'exposition sonore quotidienne dépassent largement le premier seuil d'action réglementaire fixé à 80  $dB_A$ . D'après cette réglementation, des mesures de réduction du bruit doivent être prises par l'employeur, les sources de bruit doivent être identifiées et des mesures de protection doivent être adaptées. Egalement, le port d'une protection auditive contre le bruit est obligatoire.

Concernant le niveau crête, deux sont en-dessous des seuils réglementaires, cependant pour le maçon VRD, l'exposimètre enregistre 135,5  $dB_C$  ce qui correspond au dépassement de la valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action. Pour ce cas, des protections auditives doivent être mises à disposition à proximité du salarié et ce dernier doit pouvoir bénéficier d'une formation adaptée à son métier concernant son environnement sonore.

Ces trois exemples donnent un bref aperçu de l'environnement sonore très élevé que subissent les professionnels du BTP chaque jour. L'intensité sonore est véritablement forte et dépasse même les seuils réglementaires, ceci est donc alarmant lorsque l'on connaît les conséquences néfastes du bruit sur le système auditif. Pour chacune de ces personnes, il est donc judicieux de leur proposer une formation et des indications relatives à la prévention du bruit pour leur corps de métier.

## 2. Etude audiométrique

L'objectif de cette deuxième partie est d'examiner d'un point de vue auditif les cinq salariés qui ont été exposés au bruit pendant plusieurs années. Les mesures audiométriques ont été réalisées dans le laboratoire d'audioprothèse de Mr DECOLIN, maître de stage de ma troisième année d'études et maître de mémoire. Les tests audiométriques présentés ci-dessous ont été effectués à l'aide du logiciel Audyx et de l'audiomètre Affinity avec le patient installé dans une cabine insonorisée normalisée.

### a. Audiométrie tonale

Le but de l'audiométrie tonale est de connaître la dynamique d'audition du patient en recherchant son seuil de perception et son seuil d'inconfort en conduction aérienne. La gamme des fréquences testées s'étend de 125 à 8 000 Hz. Le test commence en général par la meilleure oreille puis l'autre.

D'abord au casque, il a été déterminé l'audiométrie tonale liminaire visant à identifier, pour chaque octave, l'intensité minimale en dB<sub>HL</sub> perçue par le patient. Celui-ci doit en effet nous indiquer dès lors qu'il perçoit le signal pulsé. Ensuite, il a été demandé au patient de nous dire lorsque le son perçu devient insupportable afin d'obtenir son seuil d'inconfort, ou UCL pour « Uncomfortable Level ».

De plus, une audiométrie tonale en champ libre a été procédée à l'aide de haut-parleurs placés dans la cabine insonorisée. Le principe est le même que l'audiométrie tonale au casque, le patient indique lorsqu'il perçoit le son pour chaque octave testé. Ce test s'effectue en champ libre et évalue les deux oreilles en même temps, il est donc dit binaural. L'audiométrie tonale en champ libre est d'abord réalisée sans l'appareillage puis avec l'appareillage ce qui permet de déterminer l'efficacité prothétique tonale apportée par son appareil auditif, ceci pour chaque fréquence examinée.

### b. Audiométrie vocale

Il a également été effectué une audiométrie vocale en champ libre à l'aide des listes dissyllabiques de Fournier. L'audiométrie vocale a été réalisée sans les appareils auditifs puis avec, en commençant dans le calme puis avec un bruit OVG « cocktail party ».

Le patient doit répéter les mots lorsqu'il les entend. Le résultat est ensuite donné en pourcentage de mots justes et reporté sur un graphique. Sur ce graphique nous prendrons essentiellement en compte la valeur du seuil d'intelligibilité, qui correspond au niveau sonore le plus bas pour lequel le patient obtient un score de 50 % de mots justes, et celle du maximum d'intelligibilité où le patient répète 100 % des mots correctement.

Ce test permet d'en apprendre davantage sur l'intelligibilité dans le bruit du patient avec ses appareils auditifs, en se rapprochant d'une situation sonore bruyante.

### c. Test ANL

Enfin, cette étude audiométrique s'est terminée par un test ANL pour « Acceptable Noise Level ». Ce test a pour origine l'étude de la quantité de bruit de fond acceptable par un patient lorsque celui-ci écoute une personne parler. Il est utilisé en pratique pour connaître l'efficacité d'un appareillage face à un milieu bruyant afin d'effectuer des réglages précis.

Ce test a été réalisé avec l'appareillage de chaque patient en deux parties. Une première mesure consiste à déterminer le MCL, pour « Most Comfortable Level », sans bruit perturbateur. Le patient, à 5 dB près puis à 1 dB près, doit être capable d'entendre le locuteur de façon confortable. Puis, la deuxième mesure cherche le BNL, pour « Background Noise Level ». Cette deuxième partie consiste à augmenter le niveau de bruit perturbant jusqu'à ce que le patient ne perçoive plus le locuteur convenablement.

Le score ANL exprimant le rapport signal sur bruit est ensuite calculé comme la différence, en décibels, entre le MCL et le BNL :

$$\mathbf{ANL = MCL - BNL}$$

Dans ce mémoire, le test ANL s'est avéré intéressant à mettre en place car il permet de connaître le niveau de bruit supporté par un salarié sans qu'il ne perturbe un signal vocal, par exemple émis par ses collègues.

## 3. Etude audioprothétique

### a. Chaîne de mesure

Afin d'étudier les caractéristiques de l'appareillage des patients sélectionnés, nous avons procédé à l'évaluation des paramètres de sortie à l'aide d'une chaîne de mesure. Plusieurs courbes ont ainsi été recherchées :

- Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie selon les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hz,
- Réponse en fréquences pour un niveau d'entrée de 80 dB,
- Réponse en fréquences pour un niveau d'entrée de 90 dB,
- Temps d'attaque et temps de réponse.

Ces différentes courbes évaluent les réponses de l'appareil auditif suivant plusieurs paramètres. Elles permettent de connaître la réaction de l'appareillage de chaque patient lorsqu'il est exposé à un milieu sonore bruyant.

Les résultats obtenus seront mis en relation avec la législation actuelle afin de déceler si l'appareillage du patient outrepassé la réglementation des 80 dB sur une journée effective de travail de 8 heures. Nous pouvons ainsi comparer le besoin d'amplification due à sa perte auditive avec les normes et ainsi évaluer si celles-ci peuvent s'adapter aux patients malentendants appareillés ou bien si l'appareillage déroge à la réglementation.

#### b. Réglages des appareils auditifs

Pour chaque cas, une analyse des réglages de l'appareillage a été réalisée. Il s'agit de connaître le niveau de sortie, le gain des sons forts, le niveau du MPO, le taux de compression, les programmes intégrés et d'autres options que peut offrir une aide auditive.

En ce qui concerne la méthodologie adoptée par leur audioprothésiste respectif, pour chacun des cas suivants et sur chaque logiciel, nous nous sommes aperçus qu'il s'agit de la méthode de préréglage proposée par le fabricant qui leur a été proposée.

L'ensemble des résultats recueillis suite à l'étude sonométrique, aux tests audiométriques ainsi qu'à l'analyse de l'appareillage prothétique peuvent être comparés les uns par rapport aux autres. Les données récoltées pour chaque patient seront examinées et confrontées afin d'effectuer un état des lieux de l'appareillage de chacun des cinq salariés et de déceler d'éventuels problèmes.

### 4. Etude de cas

#### a. Cas n°1

##### *i. Anamnèse et tests audiométriques*

Le patient n°1 est un homme âgé de 56 ans, maçon de métier, appareillé uniquement à droite depuis une vingtaine d'années. Il porte un appareil auditif Siemens Nitro 301 SP, spécialement approprié pour les pertes auditives allant de sévères à profondes, équipé d'un embout souple en silicone sans évent.

Ce patient présente effectivement, à l'audiométrie tonale, une surdité profonde bilatérale. Lors de notre anamnèse, le patient nous a indiqué avoir cette perte auditive depuis l'enfance sans en donner la cause. A l'audiométrie tonale, nous relevons des seuils tonaux bas et constatons une dynamique d'audition très compressée sur les deux oreilles. En effet, l'écart entre son seuil de perception et son seuil d'inconfort ne va pas au-delà de 10 dB. En champ libre, avec son appareil auditif droit, le patient obtient une perte tonale prothétique moyenne de 80 dB, avec une bonne efficacité prothétique sur les fréquences

allant de 500 à 1 500 Hz essentiellement. Néanmoins, malgré son appareil auditif surpuissant, celui-ci reste insuffisant pour mener à bien et sans contraintes une discussion. Ce patient utilise quasiment tout le temps la lecture labiale pour lui permettre de comprendre correctement une personne qui lui parle en face à face.

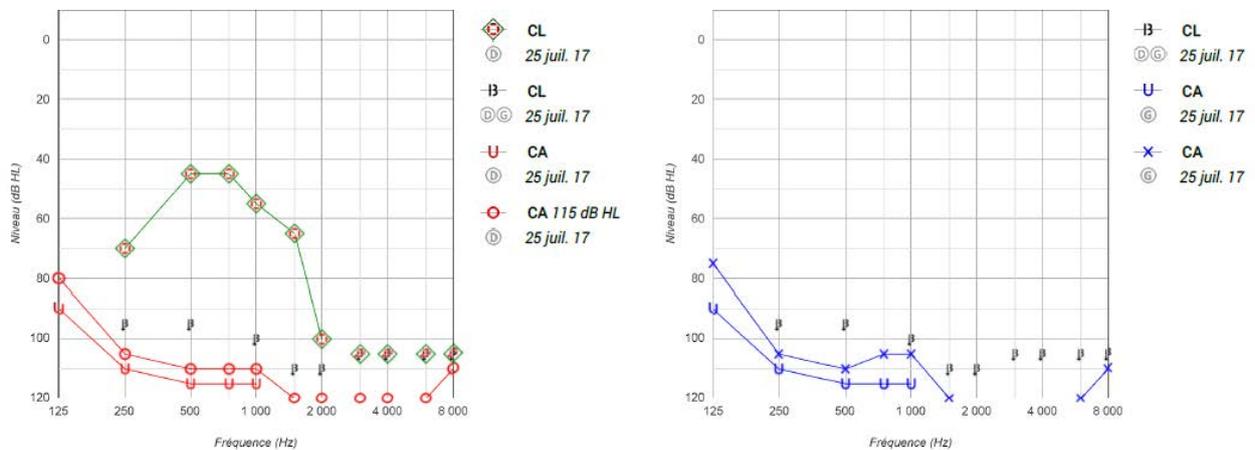


Figure 36 - Audiométrie tonale du cas n°1

Lors de l'audiométrie vocale réalisée en champ libre à partir d'une voix émise par le haut-parleur, nous nous rendons compte effectivement de l'utilité de la lecture labiale pour ce patient. Le pourcentage d'intelligibilité ne décolle pas de zéro, même à forte intensité. Il dit entendre mais ne pas comprendre. Ce type de discours est typique d'une surdité présentant des troubles de distorsions, autrement dit, même lorsque le niveau sonore augmente, le patient ne distingue pas correctement le mot pour pouvoir le répéter.

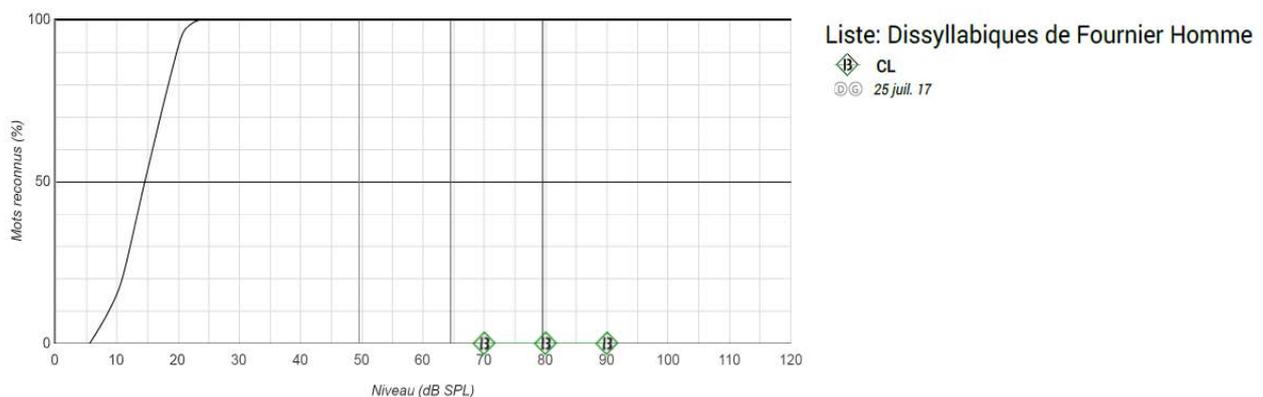


Figure 37 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°1

Suite aux résultats de cette audiométrie vocale, il n'a pas semblé nécessaire d'effectuer une audiométrie vocale dans le bruit, tout comme précédemment les scores resteraient à zéro. De plus, étant donné que le test ANL demande au patient de déterminer un niveau confortable d'écoute, sans lecture labiale, ce test est impossible à réaliser chez ce patient.

La surdité de ce patient n'est pas, ou peu, d'origine professionnelle. Son problème auditif remontant à l'enfance, nous ne pouvons pas constater l'effet nocif qu'a pu engendrer le bruit sur son audition.

## *ii. Environnement sonore au travail*

Lors de la réalisation du questionnaire, ce patient nous confie qu'à son travail il trouve le bruit fort mais ne porte qu'occasionnellement des protections auditives, sa perte d'audition faisant diminuer sa perception du niveau sonore ambiant. Il porte de temps en temps son appareil auditif mais le retire dès que son environnement de travail est poussiéreux et qu'il transpire. De plus, lorsqu'il le porte et même s'il dispose d'un programme supplémentaire spécialement conçu pour être toléré dans un environnement bruyant, il a souvent l'impression que le bruit le fatigue et qu'il devient de plus en plus insupportable à la fin de la journée.

Concernant les signaux à entendre sur son lieu de travail, il nous dit qu'il doit réussir à entendre ses collègues qui peuvent lui parler mais cela est évidemment très compliqué pour ce patient s'ils ne sont pas à portée de sa vue. Il n'a pas précisé si des signaux de danger sont présents sur son lieu de travail.

Les mesures de son environnement sonore, visibles en annexe 7, ont été réalisées sur un chantier de construction à Nancy. Les résultats sont les suivants :

- Niveau d'exposition sonore quotidienne :  $L_{EX,8h} = 90,6 \text{ dB}_A$ ,
- Niveau de pression acoustique de crête :  $L_{PC} = 133,8 \text{ dB}_C$ .

D'un point de vue législatif, le niveau acoustique de crête ne dépasse pas le premier seuil réglementaire qu'est la valeur limite inférieure. En revanche, le niveau d'exposition quotidienne au bruit est largement plus important que le premier seuil d'action à  $80 \text{ dB}_A$ .

Avec le sonomètre, nous nous rendons compte du niveau de puissance des outils que ce patient utilise couramment lors de son activité professionnelle. Le bruit émis par ces outils touche tout le spectre avec une augmentation de la densité spectrale pour les fréquences allant de 500 à 16 000 Hz où le bruit atteint et dépasse même le seuil de  $80 \text{ dB}_A$ . Nous remarquons un pic d'intensité à  $101,3 \text{ dB}_A$  donné pour le petit marteau piqueur utilisé en hauteur à la fréquence 16 000 Hz. L'évaluation du bruit émis par ces outils a été mesuré

sur une observation de 30 secondes, lors de son travail le maçon peut se servir des outils plusieurs fois par jour ou pas du tout, de plus la durée d'utilisation n'est jamais la même. Il est donc difficile de connaître l'exposition exacte du salarié à chaque outil sur une journée type.

*iii. Mise en relation des données relevées*

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		133,8						
Seuil de perception (dBHL)	OD	80	105	110	110	120	120	110
	OG	75	105	110	105	-	-	110
Seuil d'inconfort (dB <sub>HL</sub> )	OD	90	110	115	115	-	-	-
	OG	90	110	115	115	-	-	-

**Tableau 7** - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°1

Nous pouvons constater que ce patient perçoit le bruit d'une façon moindre puisque son seuil de perception est très largement en-dessous du niveau d'exposition quotidienne mesuré sur le terrain. Egalement, le bruit ne dépasse pas son seuil d'inconfort. Lors de notre échange en laboratoire, ce patient nous dit qu'il ne porte que très rarement des protections auditives contre le bruit car il a la sensation de percevoir moins fort le bruit, oreilles nues, à cause de sa perte auditive. Son discours est donc tout à fait vérifié puisque le niveau d'exposition quotidienne ne dépasse pas son seuil d'inconfort, il est donc peu gêné par le bruit environnant.

Pour ce patient, la connexion de l'appareil auditif à l'ordinateur s'est avérée compliquée. En effet, la liaison n'a pas pu s'établir, ceci à cause d'un dysfonctionnement au niveau de l'appareil où se trouve la prise de branchement du câble de liaison. Les données du réglage de l'appareil auditif droit de ce patient n'ont donc pas pu être collectées.

L'appareil auditif droit a cependant pu être analysé en chaîne de mesure. Les résultats sont reportés en annexe 8.

Fréquences (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )	70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )	90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )	133,8						
Réponses en fréquences à 80 dB de l'appareil droit (dB)	-	120	123	130	123	100	-
	Moyenne = 131,8 dB						
Réponses en fréquences à 90 dB de l'appareil droit (dB)	-	127	128	135	128	100	-
	Moyenne = 136,9 dB						
Taux de compression à droite	-	-	1,11	1,25	1,33	1,53	-

**Tableau 8** - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec les résultats obtenus en chaîne de mesure pour le cas n°1

A première vue, nous pouvons remarquer un maximum d'amplification sur la fréquence 1 000 Hz avec, pour un niveau d'entrée de 90 dB, un niveau de sortie atteignant 135 dB. Autrement dit, si ce patient subit un bruit d'un niveau sonore de 90 dB ; niveau correspondant à son niveau d'exposition sonore quotidienne ; l'appareil auditif amplifiera ce son jusqu'à obtenir un signal de sortie à 135 dB. Cette valeur dépasse donc le seuil d'inconfort mesuré à l'audiométrie tonale. Sans l'appareil auditif droit, le niveau d'exposition sonore quotidienne est déjà supérieur à la valeur limite d'exposition ; lorsqu'il le porte, cette valeur est donc encore davantage dépassée puisque son niveau d'exposition sonore quotidienne supposée avec son appareillage est de 135 dB. Ce patient ressent donc une gêne évidente qui pourrait certainement être réduite en abaissant le MPO dans le réglage de son aide auditive.

Si l'on se rapporte à la réglementation, son niveau d'exposition sonore quotidienne est donc au-dessus de la valeur limite d'exposition, ce qui est normalement interdit.

Lorsqu'il porte son appareil auditif droit, ce patient nous dit ressentir une gêne auditive car le bruit lui paraît trop fort. En effet, les valeurs des réponses en fréquences à 80 dB et à 90 dB sont élevées et dépassent même son seuil d'inconfort. Sachant que le niveau d'exposition quotidienne est égal à 90,6 dB<sub>A</sub> et étant donnée l'amplification élevée apportée par son aide auditive, ce patient obtient un gain acoustique qui outrepassé les valeurs seuils réglementaires. La réponse en fréquences moyenne calculée est de 131,8 dB pour un niveau d'entrée de 80 dB et de 136,9 dB pour un niveau d'entrée de 90 dB. Si nous prenons en

compte ces niveaux moyens, avec son appareil auditif droit, ce patient subit un niveau d'exposition sonore quotidienne largement au-dessus de la législation. Effectivement, s'il est soumis à un bruit d'une intensité de 80 dB pendant 8 heures, en réalité il perçoit ce bruit à 131,8 dB. Cette valeur est donc très dangereuse et nocive pour son audition.

Concernant le temps d'attaque et le temps de retour, ils sont respectivement de 4 ms et 30 ms. L'appareil auditif est donc très réactif au changement d'intensité sonore. Le niveau crête est de 133,8 dB<sub>C</sub>, soit une valeur qui ne dépasse pas le seuil réglementaire. D'après la réglementation, ce patient n'est pas exposé à un niveau crête considéré comme dangereux, néanmoins l'appareil auditif reste assez efficace en matière de rapidité lorsque le salarié est soumis à des sons impulsionnels de forte intensité.

En conclusion, pour ce patient le gain acoustique proposé par son aide auditive lui est nécessaire pour pouvoir percevoir d'éventuels signaux de danger. Mais il est également trop élevé puisque, d'une part, il dépasse le seuil d'inconfort du patient et, d'autre part, il excède les seuils légaux définis par la législation.

## b. Cas n°2

### i. Anamnèse et tests audiométriques

Le patient n°2 âgé de 55 ans est également maçon dans la même entreprise que le patient n°1, c'est d'ailleurs pourquoi les mesures sonométriques seront les mêmes. Lors de l'anamnèse, il nous dit que sa surdité est ancienne, remontant à l'enfance. Son origine est assez floue mais elle serait due, entre autres, à des otites à répétition. Depuis 2012, ce patient est équipé d'un appareil auditif Naida III Up uniquement à droite avec un embout souple et un évent de 0,6 mm.

L'audiogramme tonal ci-dessous nous indique une surdité profonde bilatérale avec une dynamique auditive très rapprochée. En effet, nous pouvons observer une perte moyenne de 106 dB à droite comme à gauche, avec un seuil d'inconfort supérieur de 10 dB. De plus, sur l'oreille gauche nous n'obtenons pas de réactions sur les fréquences aigües à partir de 3 000 Hz. Nous pouvons donc comprendre ses difficultés à converser dans sa vie quotidienne. Avec son appareil droit, ce patient obtient une perte auditive moyenne de 52 dB à droite. Le gain prothétique est donc important mais ne suffit pas à améliorer la compréhension.

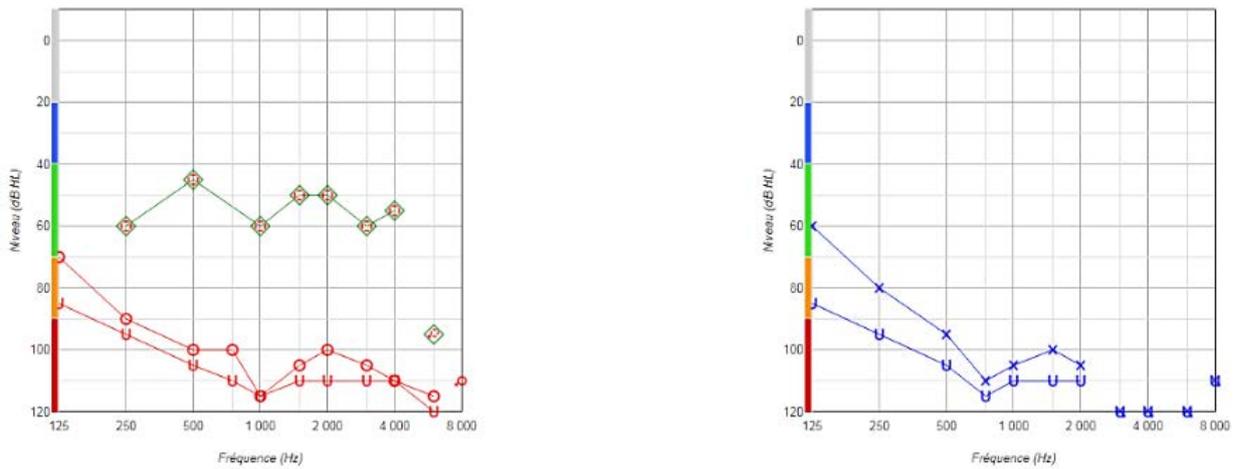


Figure 38 - Audiométrie tonale du cas n°2

En effet, sur le graphique obtenu suite à l'audiométrie vocale avec l'appareil auditif droit, le seuil d'intelligibilité est faible, 0 % à 80 dB et 10 % à 90 dB. Ce patient nous dit se servir énormément de la lecture labiale lorsqu'il parle avec une personne. En effet, sans support visuel de son interlocuteur, il entend mais ne discerne pas correctement les mots.

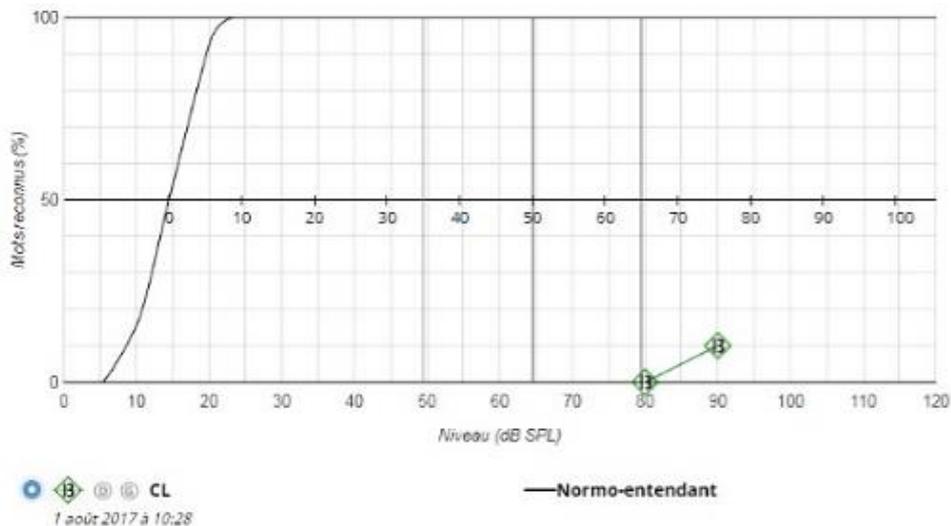


Figure 39 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°2

Pour les mêmes raisons données pour le patient n°1, l'audiométrie vocale dans le bruit et le test ANL n'ont pas pu être réalisés étant donné ces résultats.

*ii. Environnement sonore au travail*

Les mesures de l'exposition sonore sont les mêmes que pour le patient n°1, ceux-ci travaillant sur le même lieu de travail et ayant la même profession.

Lors de l'anamnèse, ce patient nous dit qu'il porte très peu son appareil auditif car il préfère ne pas entendre le bruit autour de lui. Il se décrit comme dans « une bulle » car il perçoit moins le bruit fort étant donné sa perte auditive. Il porte essentiellement son appareil auditif quand il fait des travaux de finitions qui ne nécessitent pas l'utilisation d'outils bruyants. Il nous dit également disposer d'un second programme qu'il peut changer manuellement mais il ne l'utilise pas puisqu'il préfère retirer sa prothèse auditive.

*iii. Mise en relation des données relevées*

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		133,8						
Seuil de perception (dB <sub>H</sub> L)	OD	70	90	100	115	100	110	-
	OG	60	80	95	105	105	-	-
Seuil d'inconfort (dB <sub>H</sub> L)	OD	85	95	105	115	110	110	-
	OG	85	95	105	115	110	-	-

**Tableau 9** - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°2

Tout d'abord, nous pouvons remarquer que sur toutes les fréquences, hormis à 125 Hz, le niveau d'exposition quotidienne ne dépasse pas le seuil d'inconfort du patient. En revanche, le niveau de pression acoustique de crête est bien au-dessus de son seuil d'inconfort car il atteint 133,8 dB<sub>C</sub>. En effet, à 1 000 Hz on trouve un dépassement de l'UCL de l'ordre de 18,8 dB et à 125 Hz, fréquence où cet écart est le plus important, ce dépassement atteint 48,8 dB.

Les résultats de la chaîne de mesure de l'appareil auditif droit de ce patient sont reportés en annexe 9 et les réglages observés sur le logiciel fabricant sont indiqués sur l'annexe 10.

Sur les courbes du niveau d'entrée en fonction du niveau de sortie, nous observons un maximum de ce niveau de sortie à 120 dB pour la fréquence 1 000 Hz. Sur la courbe de réponse en fréquences, ce maximum est atteint autour de 1 150 Hz à 117 dB lorsque le signal d'entrée est de 80 dB et à 122 dB lorsqu'il est de 90 dB. Le niveau de sortie est donc ici encore au-dessus du niveau d'inconfort relevé à l'audiométrie tonale.

Le temps d'attaque et le temps de retour de cet appareil sont légèrement plus élevés que pour le patient n°1 puisqu'ils sont respectivement de 15 ms et 100 ms.

Fréquences (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )	70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )	90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )	133,8						
Réponses en fréquences à 80 dB de l'appareil droit (dB)	-	104	109	115	105	95	-
	Moyenne = 116,6 dB						
Réponses en fréquences à 90 dB de l'appareil droit (dB)	-	110	114	120	110	95	-
	Moyenne = 121,6 dB						
MPO à droite (dB)	-	119	125	125	122	112	100
Niveau de sortie des sons forts G80 (dB)	59	68	80	90	104	90	65
Taux de compression	1,7	2	2,4	3	2	3,5	3,5

**Tableau 10** - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage de l'appareil auditif droit pour le cas n°2

Sur le logiciel du fabricant, nous visualisons le gain d'insertion et le niveau de sortie donnés pour les sons faibles (G60), les sons moyens (G60) et les sons forts (G80) ainsi que le MPO. Sur ces graphiques nous constatons que l'appareil amplifie le son davantage sur la zone de fréquence autour de 2 000 Hz, avec un gain maximum de 65 dB accolé au seuil de Larsen. En ce qui concerne les sons forts, leur niveau de sortie est élevé, notamment sur les fréquences allant de 500 à plus de 4 000 Hz, puisqu'il dépasse 80 dB, atteignant même un maximum de 104 dB autour de 2 000 Hz. Le MPO est également élevé puisqu'il dépasse le seuil d'inconfort du patient sur toutes les fréquences.

Comme pour le premier patient, nous pouvons faire le constat d'un niveau de sortie élevé lorsque le niveau d'entrée est de 80 dB ou 90 dB. Sachant que pendant une durée de travail de 8 heures, il est exposé à un niveau d'exposition sonore de 90,6 dB<sub>A</sub>, l'appareil auditif amplifie ce niveau sonore à plus de 120 dB. Cette amplification est donc bien au-dessus du seuil d'inconfort de ce patient et dépasse les valeurs inscrites dans la réglementation. En effet, si ce patient travaille 8 heures en présence d'un bruit d'une intensité de 80 dB, avec son appareil auditif droit il est soumis à un niveau d'exposition quotidienne de 116,6 dB. Et si ce bruit est de 90 dB, ce niveau passe à 121,6 dB. Dans ce cas aussi, le niveau d'exposition de ce patient, une fois amplifié par l'appareil auditif droit, est très largement nocif pour le système auditif.

Nous pouvons également noter que l'appareil auditif de ce patient dispose de l'option « SoundFlow » conçue par le fabricant. Cet algorithme permet le repérage de l'environnement sonore dans lequel se situe le patient de manière à réduire le bruit ambiant lorsqu'il se trouve dans une situation type « Parole dans le bruit ».

Enfin, il est certain que le réglage actuel de son appareil auditif droit lui permet de percevoir les signaux d'avertissements. Quand il porte sa prothèse auditive, il est gêné par le bruit des machines qu'il utilise. En effet, à la chaîne de mesure, nous nous rendons compte des réponses en fréquences élevées en présence d'un son d'une intensité de 80 dB ou de 90 dB. La fatigue et la gêne auditive qu'il ressent est donc tout à fait vérifiée. Pour ce patient nous pouvons faire les mêmes remarques que pour le premier cas. Les réglages sont peu adaptés au bruit et l'amplification dépasse la valeur limite d'exposition réglementaire. Son appareil auditif n'apporte aucune protection contre les forts niveaux sonores qu'il peut rencontrer sur son lieu de travail.

### c. Cas n°3

#### i. Anamnèse et tests audiométriques

Le patient n°3 est un maçon de 51 ans. Il est équipé d'un appareil auditif BTE, Solana microP, avec un embout dur et un évent de 0,6 mm, à droite et à gauche.

A l'audiométrie tonale, sa perte auditive moyenne est de 72 dB à droite et 81 dB à gauche. Le patient présente donc une surdité sévère bilatérale. En champ libre, l'audiométrie tonale binaurale nous indique une courbe à l'allure pentue allant d'une perte auditive de 40 dB à 250 Hz puis 60 dB à 1 000 Hz jusqu'à atteindre 90 dB à 4 000 Hz. Le gain prothétique avec son appareillage remonte son seuil de perception de façon conséquente puisque sa perte tonale moyenne prothétique est de 32 dB, ce qui est un bon score d'efficacité prothétique. Les fréquences graves sont très bien amplifiées, en revanche, on retrouve une allure de pente de ski pour les fréquences aigües allant de 1 000 à 6 000 Hz.

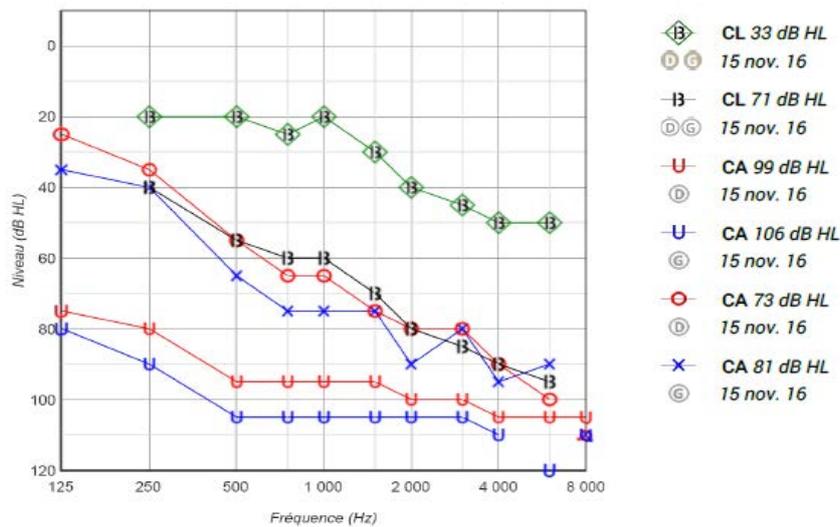


Figure 41 - Audiométrie tonale du cas n°3

A propos de l'audiométrie vocale dans le calme, le maximum d'intelligibilité n'est pas obtenu sans les appareils auditifs et la moitié des mots sont répétés à 100 dB. Avec son appareillage, le patient donne un maximum d'intelligibilité à 80 dB et le seuil d'intelligibilité est noté vers 60 dB.

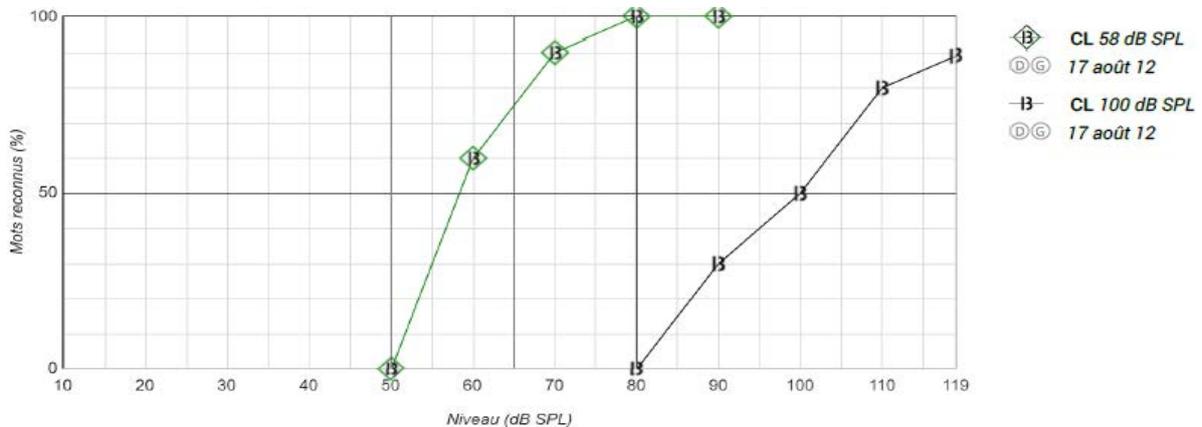


Figure 40 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°3

A l'audiométrie vocale dans le bruit, ce patient éprouve de réelles difficultés lorsqu'il ne porte pas ses appareils auditifs puisqu'il reconnaît seulement 10 % des mots quand le rapport signal sur bruit est de + 9 dB. En revanche, avec son appareillage, l'intelligibilité dans le bruit est nettement améliorée. Il obtient un maximum de 80 % de mots reconnus pour un RSB de + 9 dB, aucun mot n'est reconnu lorsque l'intensité du mot est égale à l'intensité du bruit. Cependant ce résultat est bien en-dessous de la ligne de référence pour un normoentendant. Que ce soit dans le calme ou dans le bruit, l'apport prothétique de l'appareillage est nettement constaté chez ce patient.

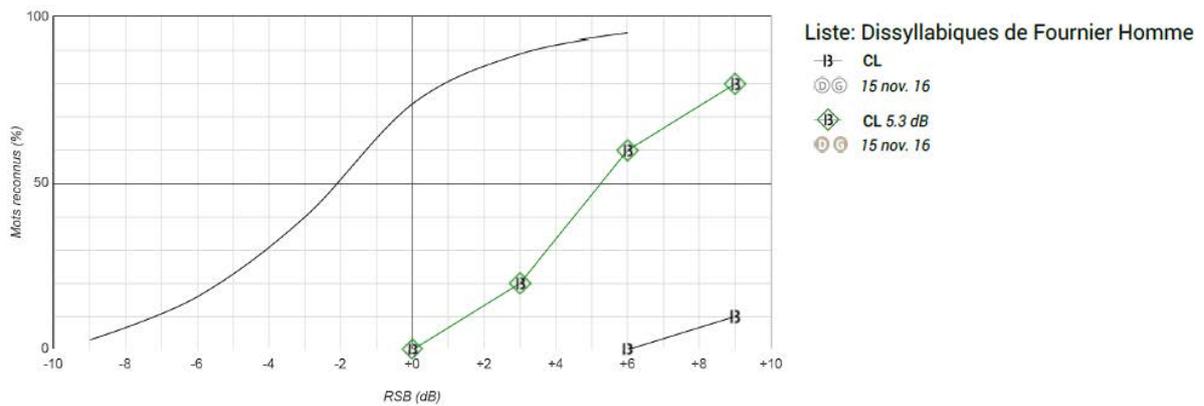


Figure 42 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°3

Au test ANL, nous obtenons un MCL à 50 dB et un BNL à 49 dB, ce qui donne un ANL évalué à 1 dB. Ce score satisfaisant indique que l'appareillage est bien accepté par ce patient et que le niveau de bruit acceptable par celui-ci est important. Autrement dit, il n'éprouve pas de difficultés particulières à supporter le bruit.

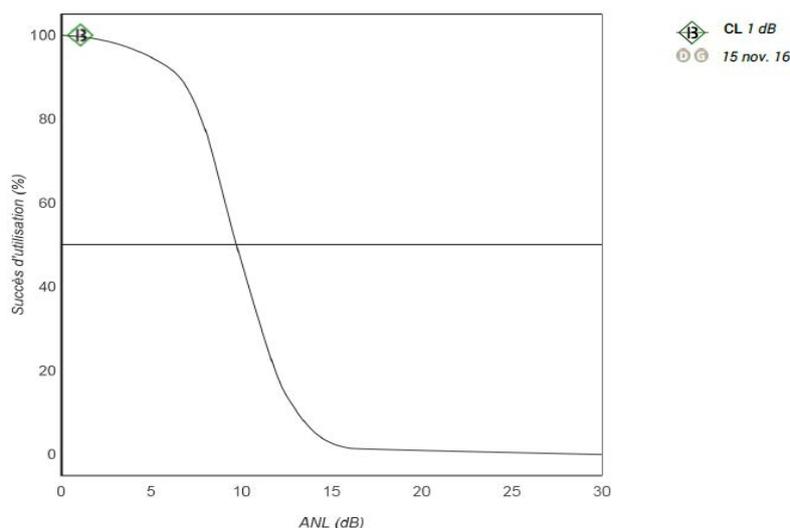


Figure 43 - Test ANL du cas n°3

ii. Environnement sonore au travail

Lors de l'anamnèse, ce patient dit porter ses appareils auditifs en permanence, même sur son lieu de travail bruyant. Il les enlève très rarement, seulement lorsqu'il estime que le bruit est très fort et trop aigu. Appareillé depuis quatre années, il est satisfait de son appareillage qu'il trouve indispensable lorsqu'il travaille puisqu'il doit entendre aussi bien ses collègues que les signaux sonores des engins qui reculent. Il ne porte pas de protections auditives contre le bruit et n'en a jamais porté avant d'être appareillé.

Concernant les signaux à percevoir, il a pris l'habitude de s'écarter de la source de bruit pour pouvoir comprendre convenablement ses collègues. Ce patient nous dit qu'il entend très bien les signaux de recul des engins de chantier.

Le patient n°3 est également maçon sur un chantier de construction, au même titre que les deux premiers cas. Les mesures de l'exposition sonore réalisées sur le terrain sont donc les mêmes.

*iii. Mise en relation des données relevées*

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		133,8						
Seuil de perception (dBHL)	OD	25	35	55	65	80	90	90
	OG	35	40	65	75	90	95	90
Seuil d'inconfort (dB <sub>HL</sub> )	OD	75	80	95	95	100	105	105
	OG	80	90	105	105	105	110	110

**Tableau 11** - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°3

A première vue, le niveau moyen d'exposition sonore quotidienne relevé dépasse le seuil d'inconfort de ce patient seulement sur les fréquences allant de 125 Hz à 250 Hz. Pour ce patient également, le niveau de pression acoustique de crête est au-dessus des valeurs du seuil d'inconfort mesuré.

A la chaîne de mesure (annexe 11), les résultats obtenus sur l'appareil droit et l'appareil gauche sont semblables. En effet, les courbes ont la même allure. On observe une amplification maximale à la fréquence 2 240 Hz avec un niveau de sortie de 109 dB à droite et 112 dB à gauche. L'appareil gauche a donc une amplification légèrement supérieure à celle de droite, pour cause son seuil de perception à l'audiométrie tonale est plus bas.

L'appareil droit possède un temps d'attaque et un temps de retour plus courts que l'appareil gauche, réciproquement 33 et 53 ms contre 35 et 56 ms. Mais cette différence est peu significative. Ces appareils sont très réactifs quant à une modification brusque de l'environnement sonore.

Lors de l'étude des réglages avec le logiciel fabricant visibles en annexe 12, nous pouvons constater que ces appareils auditifs sont dotés de programmes automatiques, le premier étant un programme pour une situation calme, le deuxième pour de la parole dans le bruit et le troisième pour le confort dans le bruit. Tous ont des réducteurs de bruit actifs, notamment pour le troisième programme où le réducteur de bruit « NoiseBloc » est modéré. Sur les trois programmes automatiques, le réglage du MPO est exactement le même. Nous distinguons un MPO atteignant 114 dB à droite et 116 dB à gauche, localisé sur la fréquence 3 600 Hz. En revanche, les gains des sons forts, des sons moyens et des sons faibles sont abaissés pour les deux programmes spécifiques au bruit. L'amplification apportée par les appareils auditifs est donc plus réduite lorsque ce patient se retrouve dans un milieu sonore bruyant. Par rapport à une situation calme, le gain est ainsi plus faible d'environ 10 dB.

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		90,6						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		133,8						
Réponses en fréquences à 80 dB (dB)	OD	-	70	80	87	102	92	-
		Moyenne = 102,6 dB						
	OG	-	70	82	88	105	93	-
		Moyenne = 105,4 dB						
Réponses en fréquences à 90 dB (dB)	OD	-	70	89	93	108	92	-
		Moyenne = 108,3 dB						
	OG	-	70	89	94	110	91	-
		Moyenne = 110,2 dB						
MPO (dB)	OD	90	95	97	100	110	114	103
	OG	90	96	98	101	112	116	104
Gain des sons forts G80 (dB)	OD	0	0	9	21	31	30	19
	OG	2	5	18	25	34	36	29
Taux de compression	OD	-	1,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8
	OG	-	1,6	1,9	2	2,2	2,1	1,7

**Tableau 12** - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage des appareils auditifs pour le cas n°3

En ce qui concerne le niveau crête mesuré sur le terrain, lorsque ce patient porte ses appareils auditifs, ce niveau est peu amplifié car le temps d'attaque est assez réactif et le niveau de sortie maximum ne dépasse pas 114 et 116 dB.

Le niveau d'exposition sonore quotidienne étant de 90,6 dB, il n'est pas amplifié par ses appareils auditifs sur les fréquences allant de 125 à 500 Hz. En revanche, pour un niveau d'entrée de 90 dB, l'appareillage a tendance à apporter du gain sur les fréquences supérieures, notamment sur la fréquence 2 000 Hz. Le niveau d'exposition quotidienne estimé en prenant en compte le port de son appareillage est donc plus grand encore que celui mesuré sur le chantier. Au regard de la législation, nous dépassons ici encore la valeur limite d'exposition.

A propos du MPO, sur les deux oreilles celui-ci dépasse constamment le seuil d'inconfort du patient. Nous savons que ce patient retire ses appareils dès lors qu'il trouve le son trop fort. Cette gêne peut donc s'expliquer en visualisant le niveau de sortie maximum qui est effectivement au-dessus de son seuil d'inconfort. De plus, le niveau sonore mesuré à l'aide de l'exposimètre est plus élevé à partir de 2 000 Hz où il dépasse 80 dB, ce qui correspond à la zone fréquentielle la plus amplifiée par l'appareillage.

Si l'on se rapporte à la réglementation, supposons que ce patient est exposé à un bruit d'une intensité sonore de 80 dB pendant 8 heures, avec ses appareils auditifs, il subit véritablement un niveau d'exposition quotidienne de 102,6 dB à droite et 105,4 dB à gauche. Egalement, si ce bruit est émis à 90 dB, ce niveau passe à 108,3 dB à droite et 110,2 dB à gauche. Le calcul de ces niveaux moyens nous permet de constater que le port de son appareillage sur son lieu de travail bruyant n'est pas adapté et outrepassé très largement la législation actuelle.

Par conséquent, pour ce cas n°3, le réglage est également critiquable notamment en ce qui concerne le MPO qui est au-dessus du seuil d'inconfort. Malgré tout, le patient ne se sent pas particulièrement gêné puisqu'il garde ses appareils auditifs sur son lieu de travail bruyant. Son appareillage n'apporte pas d'amplification supplémentaire de 125 à 500 Hz contrairement aux fréquences supérieures où l'on peut constater un gain plus important qui entraîne le dépassement des valeurs limites inscrites dans la réglementation.

d. Cas n°4

i. Anamnèse et tests audiométriques

Le cas n°4 est un électricien âgé de 54 ans. Il est en activité depuis plus de 30 ans, et est donc soumis depuis plusieurs années à de fortes expositions sonores. Pour compenser sa surdité acquise, ce patient est équipé de prothèses auditives depuis plusieurs années. Il possède actuellement deux appareils intra-auriculaires Insio 7 Mi de la marque Siemens, ceci principalement pour une raison esthétique. Il dispose d'un écart de 1 mm à droite et de 1,3 mm à gauche. Le patient n'utilise pas forcément d'outil aggravant son audition, mais il est très fréquemment confronté au bruit routier.

Sur l'audiogramme tonal au casque, nous pouvons observer une surdité bilatérale sévère. En effet, l'oreille droite a une perte moyenne de 79 dB, et l'oreille gauche de 71 dB. Nous notons néanmoins que le patient a une conservation des basses et médiums fréquences jusqu'à 2 000 Hz relativement correcte, à défaut des hautes fréquences qui chutent à plus de 110 dB. Par la suite, nous avons mesuré le seuil d'inconfort, et pouvons observer une dynamique réduite d'environ 50 dB jusqu'à 2 000 Hz.

Le gain prothétique tonal est relativement bon, étant donné que le patient a une bonne récupération sur les fréquences allant de 750 à 2 000 Hz. Néanmoins, la chute sur les hautes fréquences doit tout de même l'empêcher de bien comprendre dans les milieux bruyants, notamment sur son lieu de travail.

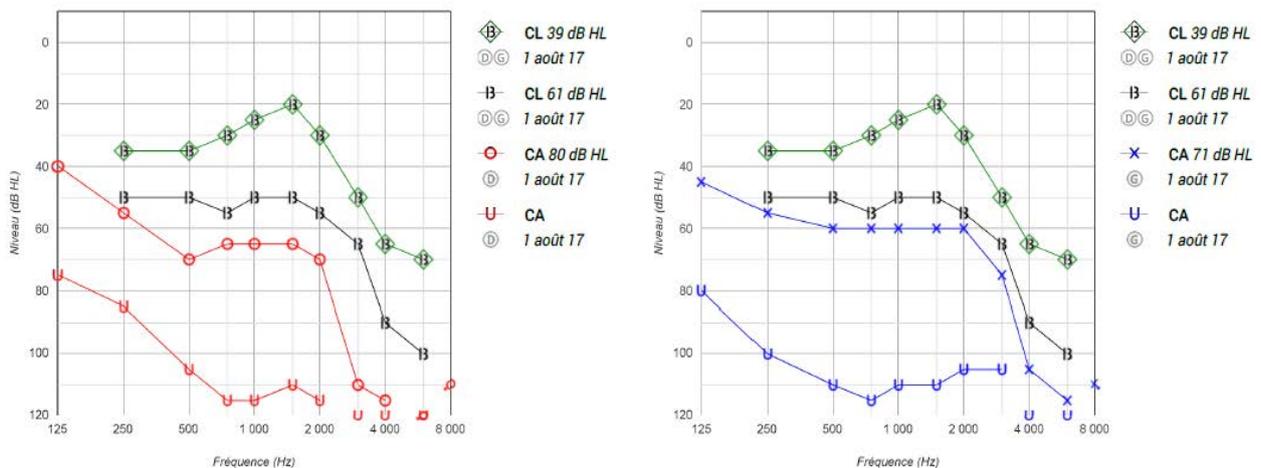


Figure 44 - Audiométrie tonale du cas n°4

A l'audiométrie vocale dans le calme, le gain prothétique apporté par ses appareils auditifs est nettement visible. En effet, sans son appareillage, le seuil d'intelligibilité est de 70 dB alors qu'avec il est évalué à 45 dB. Et pour le maximum d'intelligibilité, il est aussi amélioré en passant de 80 dB à 60 dB.

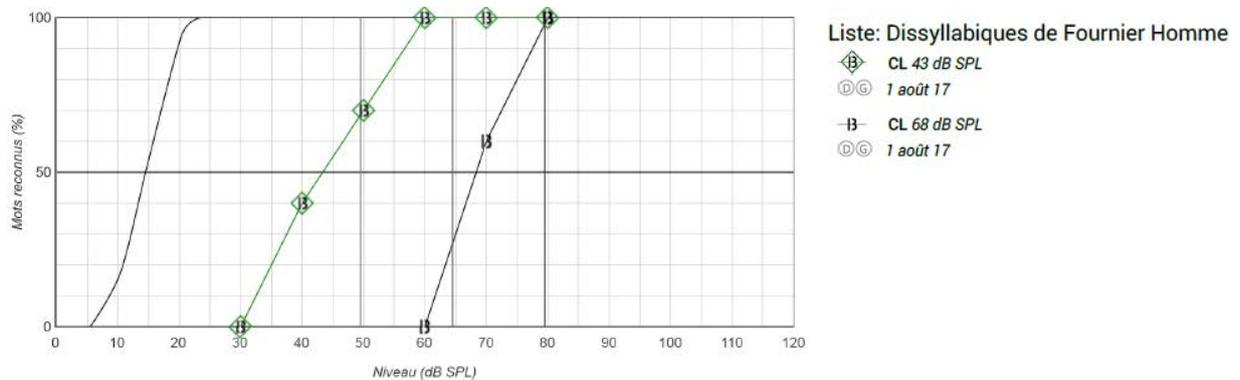


Figure 45 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°4

Concernant l'audiométrie vocale dans le bruit, le gain prothétique est également apprécié sur le graphique. Le patient sans son appareillage ne répète pas 100 % des mots, avec ses appareils auditifs il y arrive pour un RSB de + 6 dB. On note une différence de 30 % par rapport à la référence d'un normoentendant lorsque la voix est aussi forte que le bruit. Puis lorsque le bruit augmente, ses résultats poursuivent cette courbe de référence.

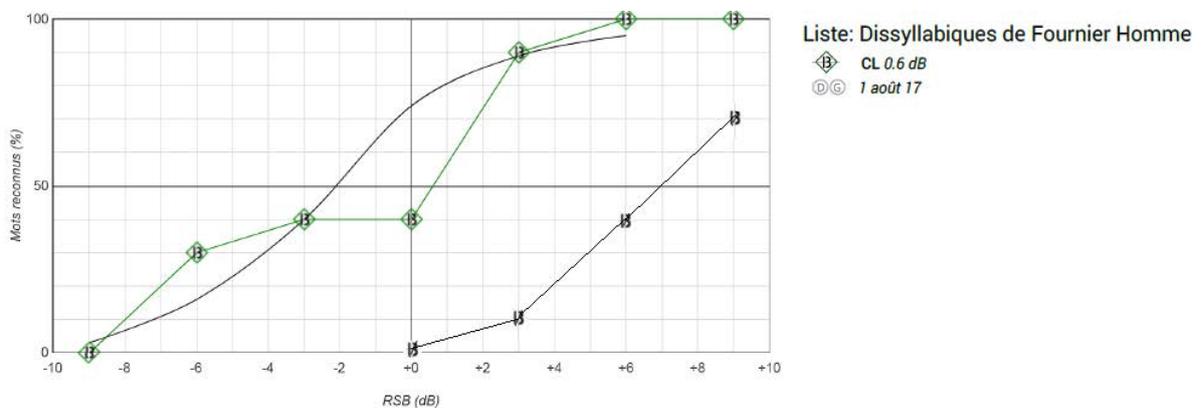


Figure 46 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°4

Avec le test ANL, nous nous apercevons de la bonne acceptabilité du bruit par ce patient. En effet, le MCL et le BNL sont tous deux de 57 dB ce qui équivaut à un score ANL de 0 dB. Autrement dit, ce patient supporte très bien ses appareils auditifs même en environnement bruyant.

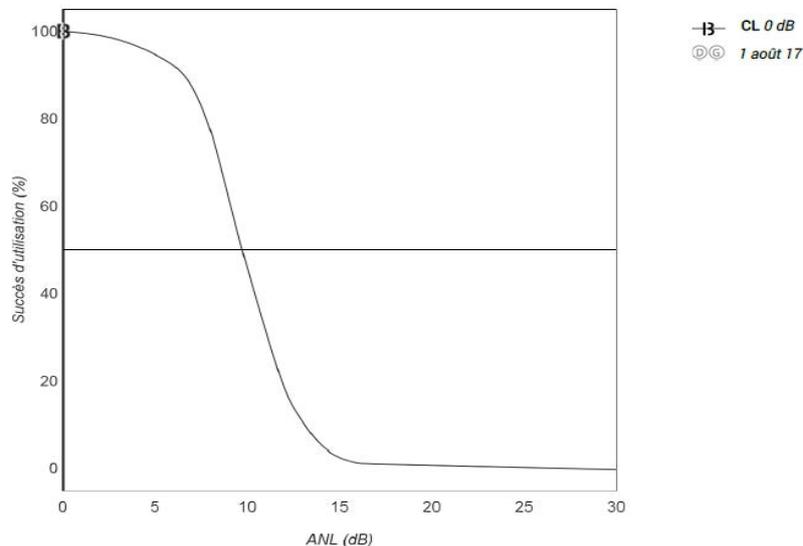


Figure 47 - Test ANL pour le cas n°4

ii. Environnement sonore au travail

A son travail, ce patient ne porte pratiquement jamais ses prothèses auditives car il privilégie des bouchons d'oreilles moulés sur-mesure lorsqu'il est dans un environnement sonore bruyant.

Lors de son exercice professionnel, ce patient est principalement confronté au bruit de la circulation routière, le bruit varie donc énormément selon la position du chantier, au bord de la route ou excentré. Il n'utilise pas de machines bruyantes, aucune mesure à l'aide du sonomètre n'a donc été effectuée.

En revanche, la mesure de l'exposition sonore a pu être réalisée (annexe 13). L'exposimètre donne l'exposition sonore quotidienne à 80,4 dB<sub>A</sub> et un niveau crête à 134,8 dB<sub>C</sub>. Dans ce cas, la valeur limite inférieure est atteinte pour le niveau d'exposition sonore quotidienne alors que le niveau crête ne dépasse pas les seuils réglementaires. Ces mesures ont été évaluées sur un chantier peu bruyant, à l'écart d'une route peu fréquentée, elles ne sont donc peut-être pas assez représentatives d'une journée de travail type de ce patient.

iii. *Mise en relation des données relevées*

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,0	73,3	78,1	75,5	72,0	71,9	64,6
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		80,4						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		134,8						
Seuil de perception (dBHL)	OD	25	35	55	65	80	90	100
	OG	35	40	65	75	90	95	95
Seuil d'inconfort (dB <sub>HL</sub> )	OD	75	80	95	95	100	105	100
	OG	80	90	105	105	105	110	110

Tableau 13 - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°4

Le niveau moyen d'exposition quotidienne ne dépasse pas le seuil d'inconfort de ce patient. En revanche, c'est le cas pour le niveau de pression acoustique de crête. En ce qui concerne la législation, la valeur relevée pour le niveau d'exposition quotidienne est au-dessus de la valeur d'exposition inférieure inscrite dans la législation contrairement au niveau crête.

Les mesures des appareils auditifs à la chaîne de mesure de ce patient n'ont pas pu être obtenues pour cause d'un souci matériel.

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Niveau d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		70,0	73,3	78,1	75,5	72,0	71,9	64,6
Niveau moyen d'exposition quotidienne (dB <sub>A</sub> )		80,4						
Niveau de pression acoustique de crête (dB <sub>C</sub> )		134,8						
MPO (dB)	OD	101	108	110	112	115	115	112
	OG	98	100	110	112	117	117	102
Gain des sons forts G80 (dB)	OD	0	0	0	9	20	19	6
	OG	0	0	0	5	20	23	7

Tableau 14 - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage des appareils auditifs pour le cas n°4

Sur le logiciel du fabricant nous pouvons observer les réglages intégrés dans ses aides auditives (annexe 14). Les valeurs du MPO et du gain des sons forts inscrites dans le tableau précédent sont tirées du programme « Confort dans le bruit », troisième programme automatique des appareils auditifs.

En plus des programmes automatiques de ses aides auditives, son réglage propose un réducteur de bruit impulsionnel « SoundSmoothing » activé de façon modérée et capable de réduire jusqu'à 30 dB. De plus, il existe un réducteur de bruit afin de réduire le bruit et privilégier la parole qui agit en le diminuant à hauteur de 12 à 24 dB.

L'amplification apportée par les aides auditives est assez semblable pour les deux oreilles. En effet, le gain des sons forts entre 125 Hz et 2 000 Hz est d'environ 5 dB puis augmente ensuite pour atteindre 25 dB à droite et 20 dB à gauche sur la fréquence 4 000 Hz. A cette fréquence, quel que soit le niveau d'entrée, le niveau de sortie est quasiment le même et le plus élevé où il avoisine 110 dB. Pour ce patient, les sons forts sont essentiellement amplifiés sur une zone de fréquences comprise entre 2 000 Hz et 8 000 Hz.

Le niveau d'exposition quotidienne de ce patient a été évalué à 80,4 dB<sub>A</sub>. Ainsi, lorsque ce patient porte ses appareils auditifs sur son lieu de travail bruyant, le niveau d'exposition quotidienne n'est pas augmenté sur les fréquences de 125 à 500 Hz. En revanche, il est nettement amplifié sur les fréquences suivantes car le gain des sons forts élève le niveau de près de 20 dB, notamment sur 2 000 et 4 000 Hz. Avec le port de son appareillage, ce patient dépasse la valeur limite d'exposition inscrite dans la législation.

C'est également sur ces deux fréquences que le MPO y est le plus élevé. D'une manière plus globale, le niveau de sortie maximum des appareils auditifs est au-dessus du seuil d'inconfort mesuré à l'audiométrie tonale. Ici encore, l'amplification de la prothèse auditive ne prend pas en compte son seuil d'inconfort ce qui explique que le patient se sent gêné en présence de bruit de forte intensité.

Concernant le niveau crête, ses appareils auditifs possédant un réducteur de bruit impulsionnel, il serait diminué de 30 dB et serait donc bien en-dessous des normes. Malgré tout l'appareil est un outil électronique qui possède un temps de latence avant la mise en marche de ce réducteur de bruit, il aurait donc été utile de connaître son temps d'attaque et son temps de retour pour attester de sa rapidité.

Pour conclure sur les données de ce patient, le port de l'appareillage est également discutable. En effet, l'amplification apportée fait dépasser la valeur de l'exposition sonore quotidienne autorisée par la législation et elle est également peut adaptée au seuil d'inconfort du patient. Aussi, le gain des sons forts semble trop important par rapport au bruit mesuré sur le terrain, ceci davantage sur les fréquences 2 000 et 4 000 Hz.

e. Cas n°5

i. Anamnèse et tests audiométriques

Le patient n°5 est un technicien de maintenance de 51 ans travaillant dans le bruit et notamment avec des machines très bruyantes depuis plus d'une vingtaine d'années. Jeune appareillé, il porte depuis trois mois des appareils auditifs GN Resound LiNX<sup>2</sup> 9 sur les deux oreilles.

A l'audiométrie tonale, la perte tonale moyenne de ce patient s'élève à 56 dB à droite et à 55 dB à gauche. Il présente donc une surdité moyenne bilatérale et symétrique. Avec ses deux appareils auditifs, ce patient obtient un gain prothétique binaural de 34 dB. L'allure de sa perte auditive avec les appareils restent néanmoins en pente de ski avec un abaissement des fréquences allant de 1 500 à 6 000 Hz jusqu'à 80 dB. La dynamique d'audition est donc de plus en plus pincée en allant vers les fréquences aigües.

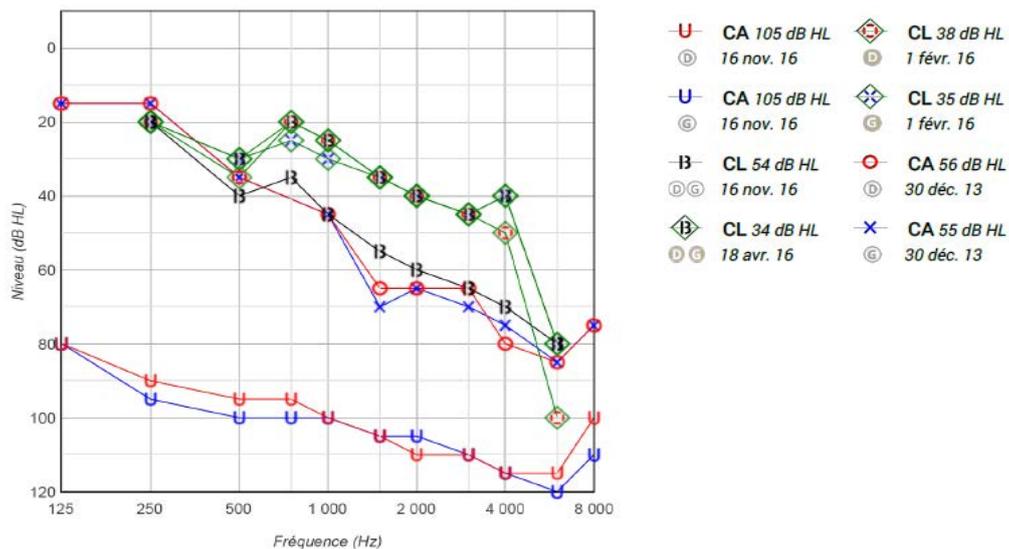


Figure 48 - Audiométrie tonale du cas n°5

A l'audiométrie vocale dans le bruit, sans son appareillage, ce patient rencontre quelques difficultés avec un maximum de 60 % de mots reconnus à un RSB de + 12 dB. Il ne reconnaît aucun mot quand le RSB est de 0 dB. En revanche, lorsqu'il porte ses appareils auditifs, ce patient augmente nettement ces résultats, il répète 100 % des mots lorsque le RSB est de + 9 dB et 20 % des mots lorsqu'il est de 0 dB. Les appareils auditifs lui apportent donc plus d'intelligibilité, néanmoins ce gain prothétique reste très en dessous de la courbe de référence d'un normoentendant.

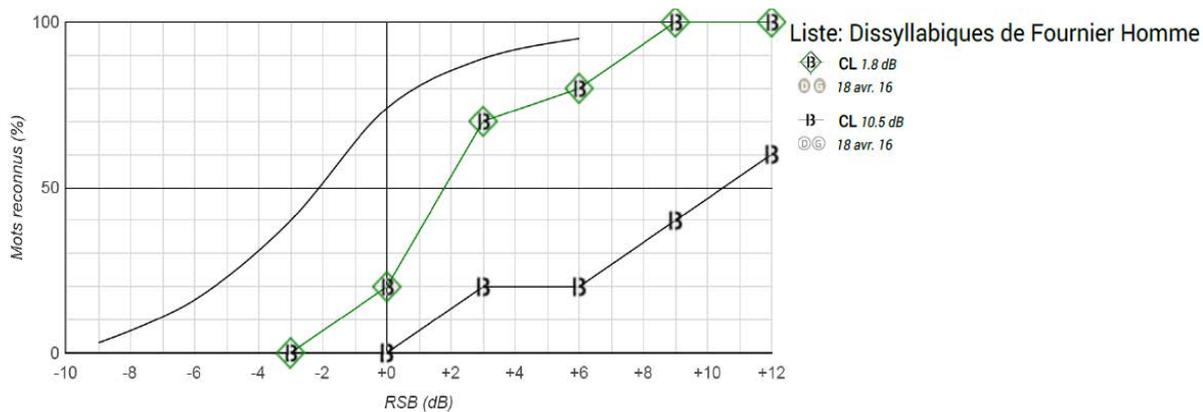


Figure 50 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°5

Cette difficulté de reconnaissance des mots dans le bruit se retrouve légèrement sur le test ANL réalisé par la suite. En effet, ce patient obtient un score ANL de 4 dB. Cela reste un bon score mais le patient éprouve quelques difficultés de compréhension dans le bruit.

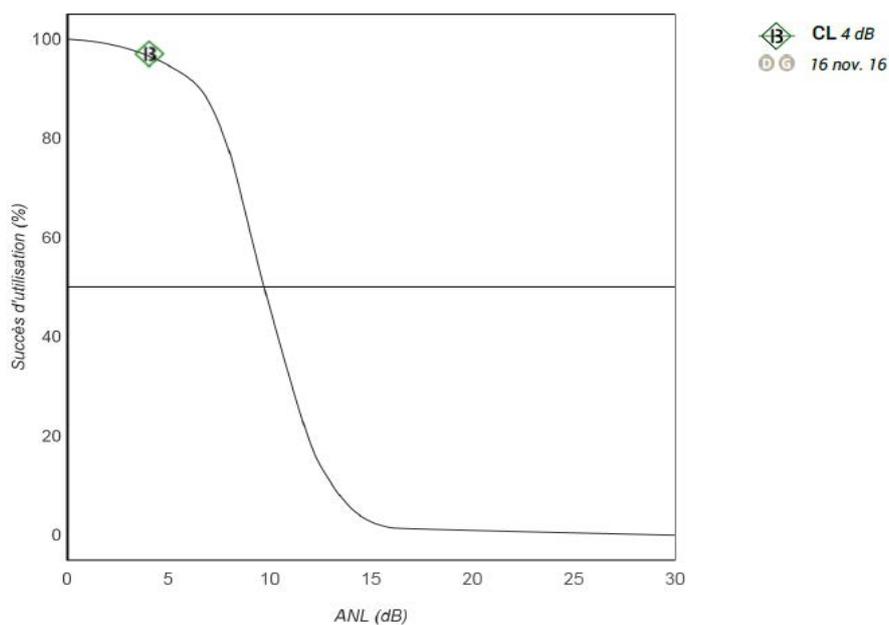


Figure 49 - Test ANL du cas n°5

ii. Environnement sonore au travail

Ce cas étant un patient de mon maître de mémoire, après plusieurs démarches infructueuses auprès de son entreprise, les mesures sonométriques sur son lieu de travail n'ont pas pu être effectuées.

Lors de l'anamnèse, ce patient nous dit qu'il évite de porter ses appareils auditifs à son travail car le bruit des machines le gêne. Par contre, il se protège du bruit à l'aide de bouchons protecteurs contre le bruit moulés sur-mesure.

### *iii. Mise en relation des données relevées*

Les résultats donnés par la chaîne de mesure sont reportés en annexe 15 et les réglages des appareils auditifs sont en annexe 16.

Tout d'abord, nous pouvons observer, pour un niveau d'entrée de 90 dB, un niveau maximum de sortie atteignant 111 dB à droite sur la fréquence 2 000 Hz et 113 dB à gauche sur la fréquence 2058 Hz. L'amplification est également plus marquée sur les fréquences allant de 1 500 à 4 000 Hz sur les deux oreilles, ceci afin de compenser la perte auditive de ce patient plus importante dans ces fréquences.

Concernant le réglage de ses appareils auditifs, le MPO est réglé de telle sorte à ne pas dépasser ses seuils d'inconfort puisqu'il atteint son niveau le plus haut à 109 dB à 3 000 Hz sur les deux oreilles. Sur l'oreille droite, contrairement à l'oreille gauche, le réglage a une compression linéaire sur la fréquence 3 000 Hz, le patient se sent gêné à cette fréquence, notamment lorsqu'il utilise une machine bruyante dont il évalue la fréquence dominante autour de cette fréquence.

Ce patient ne dispose pas d'un programme supplémentaire manuel pour son environnement de travail bruyant. En revanche, ses appareils auditifs sont dotés d'une gestion automatique du programme en fonction de l'environnement sonore appelée « Noise Tracker II ». Cette technologie est ainsi capable de discerner six situations sonores : calme, parole faible, parole forte, parole et bruit modéré, parole et bruit fort, bruit modéré ainsi que bruit fort. Pour les quatre dernières situations, le réducteur de bruit est réglé à - 6 dB et - 9 dB pour le bruit fort.

Aussi, l'appareillage dispose de la technologie « Environmental Optimizer » qui consiste à faire percevoir uniquement les signaux utiles au patient tels que la parole, en ajustant automatiquement le gain en fonction de l'environnement sonore. Ainsi, le gain est augmenté de + 1 dB lors d'une situation comprenant de la parole et un bruit faible, il n'est pas modifié quand il y a de la parole et un bruit fort puis il est diminué de - 1 dB en présence d'un bruit modéré et de - 3 dB lorsqu'il s'agit d'un bruit fort.

Fréquences (Hz)		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Seuil de perception (dBHL)	OD	15	15	35	45	65	80	75
	OG	15	15	35	45	65	75	75
Seuil d'inconfort (dB <sub>HL</sub> )	OD	80	90	95	100	110	115	100
	OG	80	95	100	100	105	115	110
Réponses en fréquences à 80 dB (dB)	OD	78	75	78	85	109	88	-
		Moyenne = 109 dB						
	OG	77	74	80	88	109	90	-
		Moyenne = 109,1 dB						
Réponses en fréquences à 90 dB (dB)	OD	91	84	78	85	110	95	-
		Moyenne = 110,2 dB						
	OG	88	81	85	91	111	98	-
		Moyenne = 111,3 dB						
MPO (dB)	OD	-	96	103	108	109	106	-
	OG	-	96	103	108	108	106	-
Gain des sons forts G80 (dB)	OD	-	5	5	7	14	11	-
	OG	-	2	6	11	13	9	-
Taux de compression	OD	-	1,0	1,0	1,8	2,6	2,1	-
	OG	-	1,2	1,3	1,6	1,9	1,5	-

Tableau 15 - Confrontation des différentes données du cas n°5

Nous n'avons pas d'indications concernant son niveau d'exposition sonore quotidienne, supposons qu'il est de 80 dB<sub>A</sub>. Sur la courbe de réponse en fréquences à 80 dB, nous pouvons constater que le niveau de sortie des deux appareils auditifs va au-delà de 80 dB jusqu'à atteindre 109 dB sur la fréquence 2 000 Hz. Autrement dit, lorsque le patient est soumis à un bruit avoisinant un niveau sonore de 80 dB, ses appareils auditifs l'amplifient encore davantage, dépassant donc les valeurs réglementaires. En effet, si ce patient travaille avec ses appareils auditifs pendant 8 heures en présence d'un bruit émis à 80 dB, il s'expose à un niveau d'exposition quotidienne de 109 dB à droite et 109,1 dB à gauche. Si ce bruit est de 90 dB, le niveau d'exposition quotidienne monte jusqu'à 110,2 dB à droite et 111,3 dB à gauche. Ainsi, comme pour les cas précédemment étudiés, ces valeurs sont bien au-delà des seuils réglementaires et le patient encours un sérieux danger auditif.

Le réglage du MPO est également le plus élevé sur la fréquence 2 000 Hz. De 250 à 500 Hz, le MPO ne dépasse pas le seuil d'inconfort alors qu'il le franchit pour les fréquences supérieures et atteint un maximum à 109 dB à droite et à 108 dB à gauche.

Comme pour les patients précédents, nous pouvons faire le constat d'un réglage peu adapté à un milieu de travail bruyant. En effet, avec ses appareils auditifs, le seuil d'inconfort est dépassé sur les moyennes et hautes fréquences et l'amplification est également trop élevée ce qui entraîne une augmentation du niveau sonore d'exposition quotidienne.

## 5. Limites

Lors de cette étude expérimentale, nous nous sommes rendu compte de quelques limites. En effet, certains patients sélectionnés présentent une surdité sévère à profonde. Ces surdités atypiques sont plutôt rares et complexes à appareiller du fait de leur dynamique d'audition réduite. Ces cas ne sont pas représentatifs des effets nocifs du bruit sur leur audition puisque leur surdité est ancienne, le lien avec leur travail est donc difficilement constaté.

De plus, il manque certaines données qui peut se justifier par le manque de matériel ou encore par la vétusté de certains appareils auditifs dont l'analyse en chaîne de mesure ou le branchement avec l'ordinateur a été compromis.

Nous pouvons également nous demander si les mesures sonométriques réalisées sur le terrain reflètent exactement l'exposition sonore quotidienne de ces salariés. En effet, il serait judicieux de répéter plusieurs fois ces mesures à des journées différentes puisque l'activité de ces salariés n'est pas régulière ; un salarié peut être exposé à un bruit élevé une journée mais se trouver dans un environnement plus calme le lendemain.

Enfin, il aurait été intéressant de compléter cette étude avec des mesures in vivo notamment pour connaître l'effet acoustique du coupleur auriculaire placé sur l'oreille du patient. L'effet d'occlusion et l'amplification réelle mesurée directement devant le tympan auraient été une donnée supplémentaire appréciable pour analyser le comportement de l'appareillage en situation bruyante.

## 6. Conclusion de l'étude

Pour chacun des cinq patients étudiés, nous pouvons constater que le réglage de leur appareillage n'est pas ajusté à un travail en milieu très bruyant. Effectivement, le seuil d'inconfort est constamment dépassé et le gain apporté sur les sons forts est trop élevé.

Ainsi, ces salariés étant déjà exposés à un niveau d'exposition sonore quotidienne au bruit qui excède les valeurs inscrites dans la législation le sont encore davantage lorsqu'ils portent leurs appareils auditifs. Ces personnes malentendantes se retrouvent donc en

permanence au-dessus de 80 dB pendant 8 heures de travail ce qui correspond à un niveau sonore et une durée nocifs pour l'audition.

Par conséquent, si ces valeurs outrepassent la réglementation en vigueur, nous pouvons facilement la remettre en question lorsqu'il s'agit de personnes malentendantes porteuses d'aides auditives. Actuellement, aucune réglementation n'existe faisant le lien entre un lieu de travail bruyant et un salarié malentendant appareillé. Si nous adaptons la législation conventionnelle à ces patients cela demanderait de limiter l'appareillage en termes de gain acoustique. Ces salariés éprouveraient de réelles difficultés à entendre les divers signaux auditifs de danger émis dans leur environnement bruyant et ils se retrouveraient donc dans une situation à risque.

De plus, l'audioprothésiste doit être capable de régler l'appareillage de son patient en prenant en compte toutes les situations sonores qu'il rencontre et donc également son milieu de travail. Ne serait-il pas judicieux que les mesures sonométriques obtenues sur le terrain soient transmises au professionnel afin qu'il puisse ajuster le réglage en fonction de cet environnement de travail bruyant ? L'audioprothésiste pourrait ainsi proposer une adaptation prothétique pensée en fonction des paramètres mesurés et en prenant en compte ces informations supplémentaires.

Enfin, dans tous les cas étudiés nous avons pu remarquer que le seuil d'inconfort n'était pas pris en compte dans le réglage de l'appareillage. Effectivement, le niveau de sortie des sons forts et le MPO vont bien souvent au-delà de ce seuil. En pratique, la mesure de l'UCL est délicate à réaliser et peu souvent effectuée lors des tests audiométriques en cabine ce qui peut expliquer ces discordances. Nous pouvons comprendre l'importance de cette mesure dans la prise en charge de ce type de patients. Par conséquent, il serait logique et opportun de pratiquer systématiquement la mesure du seuil d'inconfort pour ces patients.

## CONCLUSION

Le but de ce mémoire était de réaliser un état des lieux de l'exposition sonore des travailleurs malentendants appareillés et d'analyser les réglages intégrés dans leur prothèse auditive.

Après une documentation détaillée et de multiples informations sur les nuisances sonores, l'étude expérimentale a pu soulever tout d'abord le problème des forts niveaux sonores présents sur le lieu de travail. Effectivement, les salariés sont confrontés à un bruit d'une intensité élevée telle qu'elle peut parfois dépasser les valeurs réglementaires. Le non-respect de ces valeurs demande des mesures de prévention et une procédure de réduction de ces nuisances sonores.

La problématique de ce mémoire donnée par les médecins du travail du SIST BTP évoquait la difficulté des salariés face au port de leur appareillage lorsqu'ils travaillent dans un environnement très bruyant. Lors de notre étude expérimentale, nous avons nettement pu identifier ce problème dans chacun des cas. En effet pour chaque patient pris en compte dans cette étude, tous sont exposés à des bruits très élevés et portent peu souvent leur appareillage. De plus, tous doivent être capables d'entendre leurs collègues et divers signaux auditifs d'avertissement. En étudiant les réglages prothétiques de ces patients, nous nous sommes rendu compte qu'ils n'étaient pas forcément adaptés à des niveaux de forte intensité, l'amplification des appareils auditifs dépassant fréquemment les seuils d'inconfort mesurés à l'audiométrie tonale.

Même si les appareils auditifs actuels proposent de multiples options pour réduire le bruit environnant et les sons impulsifs, un réglage prothétique reste difficile à établir. Le patient conserve une certaine gêne au bruit dont la nocivité peut persévérer. Beaucoup de ces travailleurs préfèrent donc opter pour des protections auditives contre le bruit.

Un réglage conçu pour combiner une protection auditive et une amplification adaptée à la perte d'audition, tout cela en prenant en compte la législation, est donc assez fastidieux. L'audioprothésiste ne peut pas, actuellement, proposer une adaptation prothétique idéale pour ce type d'utilisation. La seule solution pour le moment reste de se confronter aux sensations auditives de son patient et d'adapter son réglage en fonction de son ressenti.

Nous pouvons terminer en se demandant quelles nouveautés technologiques peuvent envisager les fabricants ou quelles révolutions permettraient d'obtenir un réglage prothétique adapté à ce type de patientèle et conforme aux normes actuelles ?

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Site internet : <http://dit-archives.epfl.ch/FI97/fi-sp-97/sp-97-page11.html>, *La surdité, les prothèses auditives & l'informatique*, 2 septembre 1997 (consulté le 15 février 2017)
- [2] P. Campo, *Physiologie de l'audition*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [3] Site internet : <http://www.cochlea.eu/oreille-generalites/oreille-moyenne>, *Oreille moyenne*, 18 novembre 2016 (consulté le 30 août 2017)
- [4] B. Montaut-Verient, *Impédancemétrie*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [5] C. Rumeau, *Synthèse du fonctionnement cochléaire*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [6] Site internet : [www.lyceedupaysdesoule.fr/ressources/tpe/2012\\_son/Loreille.html](http://www.lyceedupaysdesoule.fr/ressources/tpe/2012_son/Loreille.html), *La perception des sons* (consulté le 30 juillet 2017)
- [7] P. Campo, *Audition : l'amplificateur cochléaire*, Documents pour le médecin du travail, n°49, 1<sup>er</sup> trimestre 1992
- [8] Site internet : <http://voieduson.e-monsite.com/pages/le-son-et-l-homme/perception-du-son-par-l-homme.html>, *Perception du son par l'Homme* (consulté le 12 avril 2017)
- [9] Site internet : <http://www.claudegabriel.be/Acoustique%20chapitre%207.pdf>, *Acoustique physiologique* (consulté le 12 juillet 2017)
- [10] J. Ducourneau, *Psychoacoustique*, cours d'acoustique, D.E. d'audioprothésiste 2<sup>ème</sup> année, Nancy, 2016
- [11] D. Gnansia, *Modèle auditif en temps réel*, Mémoire pour le Master Sciences et Technologie de l'UPMC, juillet 2005
- [12] A. Goyé, *La perception auditive*, cours P.A.M.U., Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, janvier 2002
- [13] R. Ledoré, *Audiométrie*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [14] P. Campo, *Ototoxicité*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [15] Site internet : <http://www.neuroreille.com/promenade/francais/ear/midear/midear.htm>, *Oreille moyenne* (consulté le 15 octobre 2017)
- [16] N. Trompette, *Bruit au travail et prévention des surdités professionnelles*, cours de législation, D.U. nuisances sonores, Nancy, 2017
- [17] Site internet : <http://www.cochlea.org/entendre/champ-auditif-humain>, *Champ auditif humain*, R. Pujol, 25 mars 2017 (consulté le 30 août 2017)
- [18] Site internet : <http://www.techniquesduson.com/acoustiquefondamentale.html>, *Notions fondamentales d'acoustique*, D. Pietquin, 2008 (consulté le 2 août 2017)

- [19] Site internet : <https://blogs.msdn.microsoft.com/audiofool/2007/02/07/louder-sounds-better/>, *Louder Sounds Better*, 7 février 2007 (consulté le 15 octobre 2017)
- [20] B. Montaut-Verient, *Classification générale des surdités*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [21] Site internet : <http://www.biap.org/fr>, Recommandation BIAP 02/1 bis, *Classification audiométrique des déficiences auditives*, 1<sup>er</sup> mai 1997 (consulté le 8 mars 2017)
- [22] P. Friant-Michel, *Chapitre 1 : Aspect réglementaire*, cours d'audioprothèse, D.E. d'audioprothésiste 2<sup>ème</sup> année, Nancy, 2015
- [23] J. Ducourneau, *Traitement du signal*, cours d'acoustique, D.E. d'audioprothésiste 3<sup>ème</sup> année, Nancy, 2017
- [24] Site internet : <http://www.linuxfocus.org/Francais/March2003/article271.shtml>, *Rudiments d'acoustique et de traitement du signal*, J. Perr, 2003 (consulté le 11 juillet 2017)
- [25] NF EN ISO 266, Acoustique - Fréquences normales, AFNOR, Paris, juin 1997
- [26] NF S 31-010, Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage, AFNOR, Paris, décembre 1996
- [27] J. Terroir, *Dangerosité des bruits impulsionnels en milieu professionnel : réglementation, connaissances et mesures*, Acte du 13<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique joint avec le colloque Vibrations, SHocks and NOise, Le Mans, 11 au 15 avril 2016
- [28] Site internet : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/bruit/11476>, dictionnaire de français Larousse en ligne (consulté le 15 juillet 2017)
- [29] NF S 30-101, Vocabulaire de l'acoustique - Définitions générales, AFNOR, Paris, septembre 1973
- [30] NF S 30-105, Vocabulaire de l'acoustique - Acoustique physiologique et psychoacoustique, AFNOR, Paris, septembre 1975
- [31] J. Ducourneau, *Niveaux sonores, analyse spectrale*, cours d'acoustique, D.U. nuisances sonores, Nancy, 2017
- [32] Site internet : <http://www.homecinema-fr.com/forum/acoustique-correction-passive/l-acoustique-du-home-cinema-pour-les-neophytes-t29929274-15.html> (consulté le 12 octobre 2017)
- [33] J. Catalifaud, *Acoustique industrielle analyse*, Metravib Rds
- [34] NF EN ISO 9612, Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail - Méthode d'expertise, AFNOR, Paris, avril 2009
- [35] J. Ducourneau, *Acoustique physiologique*, cours d'acoustique, D.U. nuisances sonores, Nancy, 2017
- [36] Site internet : <http://www.inrs.fr/risques/bruit/exposition-risque.html>, *Exposition au risque*, 5 décembre 2014 (consulté le 13 août 2017)
- [37] Brochure INRS, *Evaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit*, septembre 2009

- [38] T. Eluecque, *Surdité professionnelle*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [39] B. Vincent, V. Gissinger, Acouïté, *Les effets du bruit sur la santé*, Synthèse documentaire, mai 2011
- [40] R. Causse et P. Chavasse, L'année psychologique, Volume 43, *Etudes sur la fatigue auditive*, Centre National d'Études des télécommunications, Paris, 1942
- [41] P.Campo, *Effets du bruit*, cours d'audiologie, D.E. d'audioprothésiste 3<sup>ème</sup> année, Nancy, 2017
- [42] Site internet : <http://www.cochlea.eu/pathologie/surdites-neuro-sensorielles/traumatisme-acoustique>, *Traumatisme acoustique*, R. Pujol, 30 octobre 2016 (consulté le 8 octobre 2017)
- [43] Site internet : <http://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique>, *Psychoacoustique*, 27 décembre 2016 (consulté le 23 mars 2017)
- [44] Site internet : <http://www.uvmt.org/sections.php?op=viewarticle&artid=568>, *Effets du bruit sur l'organisme humain*, Université virtuelle de médecine du travail (consulté le 24 mars 2017)
- [45] V. Rozec, *Le bruit au quotidien : gêne, impacts sur la santé et sur les relations sociales, réglementation*, cours de législation, D.U. nuisances sonores, Nancy, 2017
- [46] Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels, *Expositions aux ambiances et contraintes physiques*, Enquête Sumer 1994, 1994
- [47] L. Vinck, *Les risques professionnels par secteurs d'activité*, Enquête Sumer 2010, Synthèse.Stat', Direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques, n°6, mai 2014
- [48] Bilan 2011, 14<sup>ème</sup> campagne nationale d'information et de prévention dans le domaine de l'audition organisée par l'association JNA, 2011
- [49] J. Constance, N. Grénetier, P. Peretti-Watel, *Bruit*, Baromètre santé environnement 2007, édition inpes
- [50] A. Debonnet-Lambert, *Impact du bruit sur la santé : chiffres clefs, maladies professionnelles, législation*, Les cahiers de l'audition n°6, novembre-décembre 2013
- [51] A. Siaussat, Prévention des risques professionnels, cours de législation, D.U. nuisances sonores, Nancy, 2017
- [52] P. Canetto, *Une nouvelle réglementation sur le bruit au travail*, Documents pour le médecin du travail, n°107, 3<sup>ème</sup> trimestre 2006
- [53] Site internet : <https://www.legifrance.gouv.fr/>, Article D4161-2, Code du Travail, novembre 2016 (consulté le 18 juillet 2017)
- [54] Dossier pénibilité, Prévention BTP, Numéro 156, septembre 2012
- [55] Site internet : <https://www.preventionbtp.fr/>, *Pénibilité et conditions de travail* (consulté le 18 juillet 2017)

- [56] C. Tissot, *Analyse des accidents du BTP répertoriés dans Epicea*, INRS, Hygiène et sécurité au travail, 1<sup>er</sup> trimestre 2010
- [57] S. Blouin, *Bilan de connaissances sur les dispositifs de détection de personnes lors des manœuvres de recul des véhicules dans les chantiers de construction*, Rapport de l'IRSST
- [58] NF EN ISO 7731, Ergonomie - Signaux de danger pour lieux public et lieux de travail - Signaux de danger auditifs, AFNOR, Paris, novembre 2008
- [59] Synthèse, L'environnement sonore, Dunkerque Grand Littoral, avril 2005
- [60] T. Eluecque, cours magistral d'audioprothèse, D.E. d'audioprothésiste 3<sup>ème</sup> année, Nancy, 2017
- [61] P. Friant-Michel, *Chapitre 1 : Les aides auditives*, cours d'audioprothèse, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014
- [62] F. Lucarelli, *Chapitre 2 : Les composants électroniques des aides auditives*, cours d'électronique appliquée, D.E. d'audioprothésiste 2<sup>ème</sup> année, Nancy, 2015
- [63] H. Dillon, *Hearing aids, electroacoustic performance and measurement*, second edition, 2012
- [64] Site internet : <https://www.interson-protac.com/audioprothesistes/embouts-de-prothese>, *Les embouts de prothèse sur mesure* (consulté le 10 juillet)
- [65] T. Muller, I. McBride, *Thin tubes, thin wires and earpiece options: How Much Gain ?*, Université d'Etat de l'Arizona, ADA, 2012
- [66] Le son et l'audition, Chapitre 8 : le traitement du signal, Widex, 2007
- [67] Site internet : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compression\\_ratio.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compression_ratio.svg), I. Fergusson, 6 septembre 2007 (consulté le 12 octobre 2017)
- [68] P. Friant-Michel, *Chapitre 2 : Réglages et courbes de réponse*, cours d'audioprothèse, D.E. d'audioprothésiste 1<sup>ère</sup> année, Nancy, 2014

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Schéma anatomique de l'oreille [1] .....	3
Figure 2 - Effet du pavillon (p, vert) et du conduit auditif externe (c, bleu) sur le gain acoustique et fonction de transfert totale de l'oreille externe (t, rouge) [2] .....	4
Figure 3 - Fonction de transfert de l'oreille moyenne [3] .....	5
Figure 4 - Coupe schématisée de la cochlée avec visualisation du sens de circulation des liquides [6].....	7
Figure 5 - Schéma d'une section d'un tour de spire de la cochlée [7] .....	7
Figure 6 - Schéma de l'organe de Corti [8] .....	7
Figure 7 - Trajet de l'onde propagée le long de la cochlée [9].....	8
Figure 8 - Filtrés auditifs à 1 000 Hz pour des excitations de 20 dB à 90 dB.....	10
Figure 9 - Exemple d'un pattern d'excitation correspondant à une stimulation à 1000 Hz [12] .....	11
Figure 10 - Allure des filtres auditifs chez un normo-entendant (à gauche) comparée à ceux d'un malentendant (à droite) .....	11
Figure 11 - Seuils de sensibilité auditive (trait plein bleu) versus la fonction de transfert de l'oreille externe et de l'oreille moyenne (trait pointillé vert) [15].....	12
Figure 12 - Champ dynamique de l'audition humaine [17].....	13
Figure 13 - Courbes isosoniques de Fletcher et Munson [19].....	14
Figure 14 - Représentation temporelle et représentation spectrale d'un son aléatoire [24] .	17
Figure 15 - Exemple d'une analyse spectrale en bandes d'octave du bruit émis par une meuleuse utilisée par un maçon coffreur .....	18
Figure 16 - Représentation temporelle et spectrale d'une impulsion de Dirac.....	19
Figure 17 - Courbes de pondération [32] .....	23
Figure 18 - Exemple de niveaux sonores de quelques bruits professionnels .....	25
Figure 19 - Sonomètre intégrateur utilisé pour les mesures sonores lors de cette étude .....	27
Figure 20 - Vue au microscope de cellules ciliées saines (à gauche) et de cellules ciliées endommagées après un traumatisme sonore (à droite) [42] .....	30
Figure 21 - Evolution de la perte auditive due au bruit en fonction du nombre d'années d'exposition .....	31
Figure 22 - Représentation de l'effet de masque (seuil auditif sans masquage en vert puis avec un masquage par un bruit (de 1 100 à 1 300 Hz) à divers niveaux d'intensité) [43].....	32
Figure 23 - Répartition des travailleurs exposés au bruit en fonction de l'âge .....	34
Figure 24 - Evolution du nombre de surdités professionnelles reconnues au cours des années .....	40
Figure 25 - Structure schématique d'une prothèse auditive [62].....	42
Figure 26 - Effet de différents diamètres d'évent sur la réponse en fréquence du signal amplifié [63].....	44

Figure 27 - Différentes formes d'embout (de gauche à droite : fond de conque, canule, canule épaulement, squelette, pince de crabe) [64] .....	45
Figure 28 - Différents types de dôme (de gauche à droite : open, fermé, power et tulipe) ...	45
Figure 29 - Mesure du REAR avec un appareil RIC équipé d'un embout solide (bleu foncé), d'un embout souple (vert) et d'un dôme Power (bleu clair) .....	46
Figure 30 - Mesure de l'effet d'occlusion selon le type de dôme (bleu), la matière de l'embout et le diamètre de son évent (embout silicone « Hollow » en rouge et embout dur « Solid » en vert).....	47
Figure 31 - Niveau de sortie en fonction du niveau d'entrée selon plusieurs ratios de compression [67].....	49
Figure 32 - Schéma du temps d'attaque ( $t_a$ ) et du temps de retour ( $t_r$ ) .....	50
Figure 33 - Exemple de diagrammes de polarité d'un système de directivité adaptatif .....	52
Figure 34 - Quelles sont les causes du non port de l'appareil auditif au travail ? .....	56
Figure 35 - Depuis combien de temps êtes-vous exposé au bruit à votre travail ?.....	58
Figure 36 - Audiométrie tonale du cas n°1.....	64
Figure 37 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°1.....	64
Figure 38 - Audiométrie tonale du cas n°2.....	69
Figure 39 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°2.....	69
Figure 40 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°3.....	73
Figure 41 - Audiométrie tonale du cas n°3.....	73
Figure 42 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°3.....	74
Figure 43 - Test ANL du cas n°3 .....	74
Figure 44 - Audiométrie tonale du cas n°4.....	78
Figure 45 - Audiométrie vocale dans le calme du cas n°4.....	79
Figure 46 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°4.....	79
Figure 47 - Test ANL pour le cas n°4.....	80
Figure 48 - Audiométrie tonale du cas n°5.....	83
Figure 49 - Audiométrie vocale dans le bruit du cas n°5.....	84
Figure 50 - Test ANL du cas n°5 .....	84

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Classification des surdités selon le BIAP [21] .....	15
Tableau 2 - Valeurs de la pondération A en fonction des fréquences [33] .....	23
Tableau 3 - Exemple de durées d'exposition quotidiennes équivalentes [36] .....	26
Tableau 4 - Valeurs réglementaires relatives au bruit en milieu de travail [52].....	37
Tableau 5 - Réponses au questionnaire concernant les impressions des salariés sur le bruit	56
Tableau 6 - Résultats des mesures sonométriques pour trois métiers.....	60
Tableau 7 - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°1 .....	66
Tableau 8 - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec les résultats obtenus en chaîne de mesure pour le cas n°1 .....	67
Tableau 9 - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°2 .....	70
Tableau 10 - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage de l'appareil auditif droit pour le cas n°2.....	71
Tableau 11 - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°3 .....	75
Tableau 12 - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage des appareils auditifs pour le cas n°3 .....	76
Tableau 13 - Confrontation des seuils obtenus à l'audiométrie tonale avec les mesures de l'exposition sonore pour le cas n°4 .....	81
Tableau 14 - Confrontation des mesures de l'exposition sonore avec le réglage des appareils auditifs pour le cas n°4 .....	81
Tableau 15 - Confrontation des différentes données du cas n°5.....	86

## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 - Bandes d'octave et de tiers d'octave normalisées (norme NF S 30-002) .....	98
Annexe 2 - Tableau n°42 du régime général, atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels.....	99
Annexe 3 - Questionnaire .....	100
Annexe 4 - Mesures sonométriques chez le tailleur de pierres.....	102
Annexe 5 - Mesures sonométriques chez le maçon coffreur .....	104
Annexe 6 - Mesures sonométriques chez le maçon VRD.....	106
Annexe 7 - Mesures sonométriques chez le maçon finisseur pour le cas n°1, valables pour le cas n°2 et le cas n°3 .....	107
Annexe 8 – Résultats de la chaîne de mesure de l'appareil auditif droit du cas n°1 .....	109
Annexe 9 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareil auditif droit du cas n°2.....	111
Annexe 10 - Réglage de l'appareil auditif droit du cas n°2 .....	113
Annexe 11 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareillage auditif du cas n°3.....	114
Annexe 12 - Réglage des appareils auditifs du cas n°3 .....	118
Annexe 13 - Mesures sonométriques chez l'électricien pour le cas n°4.....	119
Annexe 14 - Réglage des appareils auditifs du cas n°4 .....	120
Annexe 15 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareillage auditif du cas n°5.....	121
Annexe 16 - Réglage des appareils auditifs du cas n°5 .....	123

Annexe 1 - Bandes d'octave et de tiers d'octave normalisées (norme NF S 30-002)

Numéro de bande	Fréquence centrale (Hz)		Limites de bande (Hz)	
	<i>Octave</i>	<i>Tiers d'octave</i>	<i>Inférieure</i>	<i>Supérieure</i>
14	31,5	25	22	28
15		31,5	28	35
16		40	35	44
17	63	50	44	57
18		63	57	71
19		80	71	88
20	125	100	88	113
21		125	113	141
22		160	141	176
23	250	200	176	225
24		250	225	283
25		315	283	353
26	500	400	353	440
27		500	440	565
28		630	565	707
29	1 000	800	707	880
30		1 000	880	1 130
31		1 250	1 130	1 414
32	2 000	1 600	1 414	1 760
33		2 000	1 760	2 250
34		2 500	2 250	2 825
35	4 000	3 150	2 825	3 530
36		4 000	3 530	4 400
37		5 000	4 400	5 650
38	8 000	6 300	5 650	7 070
39		8 000	7 070	8 800
40		10 000	8 800	11 300
41	16 000	12 500	11 300	14 140
42		16 000	14 140	17 600
43		20 000	17 600	22 500

**Annexe 2 - Tableau n°42 du régime général, atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels**

Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces maladies
<p>Hypocousie de perception par lésion cochléaire irréversible, accompagnée ou non d'acouphènes.</p> <p>Cette hypocousie est caractérisée par un déficit audiométrique bilatéral, le plus souvent symétrique et affectant préférentiellement les fréquences élevées.</p> <p>Le diagnostic de cette hypocousie est établi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- par une audiométrie tonale liminaire et une audiométrie vocale qui doivent être concordantes ;</li> <li>- en cas de non-concordance : par une impédancétrie et recherche du réflexe stapédien ou, à défaut, par l'étude du suivi audiométrique professionnel.</li> </ul> <p>Ces examens doivent être réalisés en cabine insonorisée, avec un audiomètre calibré.</p> <p>Cette audiométrie diagnostique est réalisée après une cessation d'exposition au bruit lésionnel d'au moins 3 jours et doit faire apparaître sur la meilleure oreille un déficit d'au moins 35 dB. Ce déficit est la moyenne des déficits mesurés sur les fréquences 500, 1 000, 2 000 et 4 000 Hertz.</p> <p>Aucune aggravation de cette surdité professionnelle ne peut être prise en compte, sauf en cas de nouvelle exposition au bruit lésionnel.</p>	<p>1 an (sous réserve d'une durée d'exposition d'un an, réduite à 30 jours en ce qui concerne la mise au point des propulseurs, réacteurs et moteurs thermiques).</p>	<p>Exposition aux bruits lésionnels provoqués par :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Les travaux sur métaux par percussion, abrasion ou projection, tels que : <ul style="list-style-type: none"> <li>- le décolletage, l'emboutissage, l'estampage, le broyage, le fraisage, le martelage, le burinage, le rivetage, le laminage, l'étirage, le tréfilage, le découpage, le sciage, le cisailage, le tronçonnage ;</li> <li>- l'ébarbage, le grenailage manuel, le sablage manuel, le meulage, le polissage, le gougeage et le découpage par procédé arc-air, la métallisation.</li> </ul> </li> <li>2. Le câblage, le toronnage, le bobinage de fils d'acier.</li> <li>3. L'utilisation de marteaux et perforateurs pneumatiques.</li> <li>4. La manutention mécanisée de récipients métalliques.</li> <li>5. Les travaux de verrerie à proximité des fours, machines de fabrication, broyeurs et concasseurs ; l'embouteillage.</li> <li>6. Le tissage sur métiers ou machines à tisser, les travaux sur peigneuses, machines à filer incluant le passage sur bancs à broches, retordeuses, moulineuses, bobineuses de fibres textiles.</li> <li>7. La mise au point, les essais et l'utilisation des propulseurs, réacteurs, moteurs thermiques, groupes électrogènes, groupes hydrauliques, installations de compression ou de détente fonctionnant à des pressions différentes de la pression atmosphérique, ainsi que des moteurs électriques de puissance comprise entre 11 kW et 55 kW s'ils fonctionnent à plus de 2 360 tours par minute, de ceux dont la puissance est comprise entre 55 kW et 220 kW s'ils fonctionnent à plus de 1320 tours par minute et de ceux dont la puissance dépasse 220 kW.</li> <li>8. L'emploi ou la destruction de munitions ou d'explosifs.</li> <li>9. L'utilisation de pistolets de scellement.</li> <li>10. Le broyage, le concassage, le criblage, le sablage manuel, le sciage, l'usinage de pierres et de produits minéraux.</li> <li>11. Les procédés industriels de séchage de matières organiques par ventilation.</li> <li>12. L'abattage, le tronçonnage et l'ébranchage mécaniques des arbres.</li> <li>13. L'emploi des machines à bois en atelier : scies circulaires de tous types, scies à ruban, dégauchisseuses, raboteuses, toupies, machines à fraiser, tenonneuses, mortaiseuses, moulurières, plaqueuses de chants intégrant des fonctions d'usinage, défonceuses, ponceuses, clouteuses.</li> <li>14. L'utilisation d'engins de chantier : bouteurs, décapeurs, chargeuses, moutons, pelles mécaniques, chariots de manutention tous terrains.</li> <li>15. Le broyage, l'injection, l'usinage des matières plastiques et du caoutchouc.</li> <li>16. Le travail sur les rotatives dans l'industrie graphique.</li> <li>17. La fabrication et le conditionnement mécanisé du papier et du carton.</li> <li>18. L'emploi de matériel vibrant pour l'élaboration de produits en béton et de produits réfractaires.</li> <li>19. Les travaux de mesurage des niveaux sonores et d'essais ou de réparation des dispositifs d'émission sonore.</li> <li>20. Les travaux de moulage sur machines à secousses et décochage sur grilles vibrantes.</li> <li>21. La fusion en four industriel par arcs électriques.</li> <li>22. Les travaux sur ou à proximité des aéronefs dont les moteurs sont en fonctionnement dans l'enceinte d'aérodromes et d'aéroports.</li> <li>23. L'exposition à la composante audible dans les travaux de découpe, de soudage et d'usinage par ultrasons des matières plastiques.</li> <li>24. Les travaux suivants dans l'industrie alimentaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'abattage et l'éviscération des volailles, des porcs et des bovins ;</li> <li>- le plumage des volailles ;</li> <li>- l'emboitage de conserves alimentaires ;</li> <li>- le malaxage, la coupe, le sciage, le broyage, la compression des produits alimentaires.</li> </ul> </li> <li>25. Moulage par presse à injection de pièces en alliages métalliques.</li> </ol>

## Questionnaire

Ce questionnaire est anonyme, les résultats ne seront en aucun cas divulgués à autrui. Les réponses récoltées à ce questionnaire ont pour but la réalisation d'un mémoire de fin d'étude portant sur la prise en charge audioprothétique des malentendants appareillés en milieu bruyant.

Age : .....

Profession : .....

**1) Portez-vous des appareils auditifs ?**

Oui  Non

**2) Selon vous, combien de temps portez-vous vos appareils auditifs par jour ?**

Moins de 4h  Entre 4h et 8h  Entre 8h et 12h  Plus de 12h

Les questions suivantes se rapportent à votre lieu de travail :

**3) Portez-vous vos appareils auditifs à votre travail ?**

Oui  Non

⇒ **Si vous les portez : Pensez-vous que vos appareils auditifs sont utiles lorsque vous travaillez ?**

Oui  Non

⇒ **Si vous ne les portez pas : Quelles en sont les causes ?**

- Lieu trop salissant (poussière...)  Pas pratique  
 Peur du regard des autres  Port de protection (casque anti-bruit, bouchons...)  
 Pas confortable  Environnement trop bruyant  
 Autre : .....

**4) A votre travail, êtes-vous exposé au bruit ?**

Oui  Non

**5) Selon vous, ce bruit est : (plusieurs réponses possibles)**

- En continu  ou  Impulsionnel  
 Fixe  ou  Variable  
 Avec interruption  ou  Sans interruption

**6) Selon vous, le niveau sonore de ce bruit est plutôt :**

Très faible  Faible  Modéré  Fort  Très fort

**7) Selon vous, à combien évaluez-vous le niveau sonore auquel vous êtes exposé à votre travail (en décibel) ?**

20 – 30 dB  40 – 50 dB  60 – 70 dB  80 – 90 dB  100 dB et plus

**8) Selon vous, quelle est la durée de votre exposition à ce bruit par jour ?**

Moins de 2h  Entre 2h et 4h  Entre 4h et 8h  Plus de 8h

**9) Gardez-vous vos appareils auditifs lorsque vous êtes exposé à ce bruit ?**

Oui  Non

- 10) Utilisez-vous un programme spécifique sur vos appareils auditifs pour ce type d'environnement ?  
 Oui  Non
- 11) Avez-vous des collègues à entendre sur votre lieu de travail ?  
 Oui  Non
- 12) Avez-vous des signaux d'alerte à entendre sur votre lieu de travail ?  
 Oui  Non  
 Si oui, lesquels : .....
- 13) Quelles sont les protections mises à disposition par votre employeur pour vous protéger du bruit ?  
 Bouchons anti-bruit  Bouchons sur-mesure anti-bruit  
 Casque anti-bruit  Autre : .....
- 14) Les utilisez-vous lorsque vous êtes confronté à ce bruit ?  
 Oui  Non  
 Si non, pourquoi : .....
- 15) Vous protégez-vous quand vous utilisez une machine bruyante ?  
 Oui  Non
- 16) Vous protégez-vous quand vos collègues utilisent une machine bruyante à côté de vous ?  
 Oui  Non
- 17) Votre employeur réalise-t-il une évaluation régulière du bruit auquel vous êtes exposé ?  
 Oui  Non  Ne sais pas
- 18) Selon vous, depuis combien de temps êtes-vous exposé au bruit à votre travail ?  
 Moins de 5 ans  Entre 5 et 10 ans  Entre 10 et 20 ans  
 Entre 20 et 30 ans  Plus de 30 ans

*Pour finir ...*

- 19) Pensez-vous que le bruit a une influence sur votre audition ?  
 Oui  Non  Ne sais pas
- 20) Selon vous, pensez-vous que votre baisse d'audition est principalement due à un travail dans le bruit ?  
 Oui  Non  Ne sais pas
- 21) Selon vous, pensez-vous qu'il soit judicieux de garder ses appareils auditifs lorsque le milieu de travail est bruyant ?  
 Oui  Non  Ne sais pas

*Merci pour votre participation à ce questionnaire.*

## Annexe 4 - Mesures sonométriques chez le tailleur de pierres

### Annexe 4a : Résultats de l'exposimètre

LEX8h	94,3	dB	LEX8hp	98,6	dB
E	8,612911	Pa <sup>2</sup> h	Ep	23,181951	Pa <sup>2</sup> h
DOSE	537,0318	%	DOSEp	1445,44	%
Lc	87	dB	tp	8 : 0	HH:mm
LAt	98,6		Durée	0002:58:27	
LCt	98,8		Début	08/11/2016 08:49:54	
LCpeak,t	131,7	dB	Fin	08/11/2016 11:47:53	

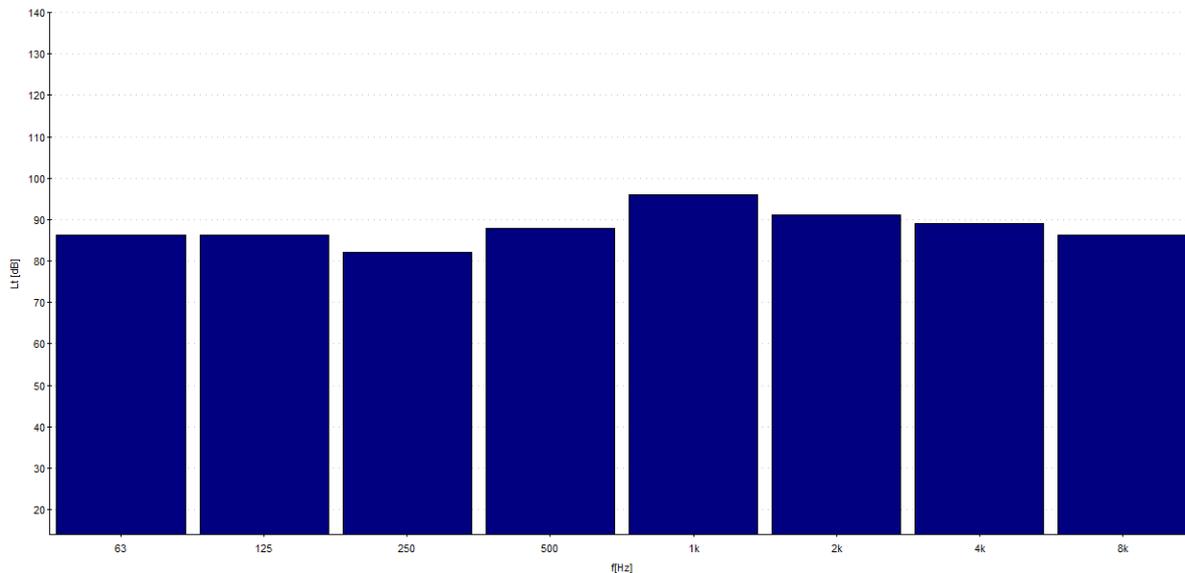
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Lt	86,2	86,3	82,2	87,8	95,9	91,2	89,1	86,3	dB
LT	73,1	76,5	70,0	71,8	71,0	65,0	58,7	51,7	

Pondération fréquentielle : -

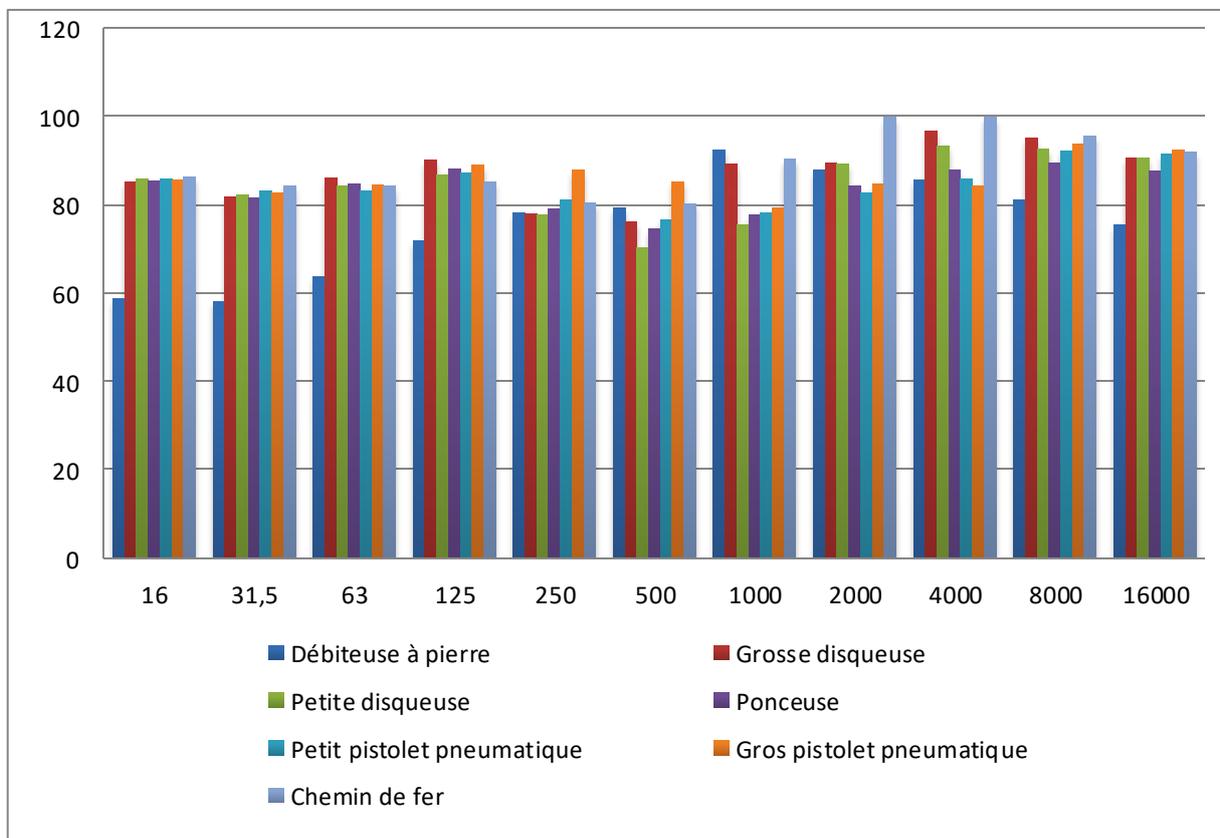
LAT	74,3		08/11/2016 11:47:53
LCT	82,1		T 00:01:00
LCPeak,T	105,5	dB	

### Annexe 4b : Résultats de l'exposition journalière en vue spectrale



Annexe 4c : Résultats du sonomètre

Fréquence (en Hertz)	Niveau sonore enregistré pour chaque outil (en dBA)						
	Débiteuse à pierre	Grosse disqueuse	Petite disqueuse	Ponceuse	Petit pistolet pneumatique	Gros pistolet pneumatique	Chemin de fer
16	58,8	85,3	86	85,5	85,9	85,8	86,5
31,5	58,3	81,9	82,3	81,6	83,3	82,8	84,5
63	63,9	86,1	84,3	84,8	83,3	84,7	84,3
125	72	90,2	86,9	88,2	87,3	89,1	85,4
250	78,3	78	77,8	79,1	81,3	87,9	80,5
500	79,5	76,3	70,5	74,6	76,7	85,4	80,4
1000	92,6	89,4	75,7	77,8	78,3	79,5	90,4
2000	87,9	89,6	89,4	84,4	82,8	84,8	99,9
4000	85,8	96,9	93,4	87,9	85,9	84,5	99,9
8000	81,3	95,2	92,7	89,7	92,4	93,8	95,7
16000	75,5	90,8	90,7	87,8	91,6	92,6	92
L(Aeq)	95,2	100,5	97,5	93,2	93,7	94,9	104,8



Annexe 5 - Mesures sonométriques chez le maçon coffreur

Annexe 5a : Résultats de l'exposimètre

LEX8h	85,0	dB	LEX8hp	94,4	dB
E	1,011929	Pa <sup>2</sup> h	Ep	8,813532	Pa <sup>2</sup> h
DOSE	63,09573	%	DOSEp	549,5409	%
Lc	87	dB	tp	8 : 0	HH:mm
LAt	<b>94,4</b>		Durée	0000:54:42	
LCT	<b>96,0</b>		Début	11/05/2017 09:26:24	
LCpeak,t	<b>130,5</b>	dB	Fin	11/05/2017 10:20:23	

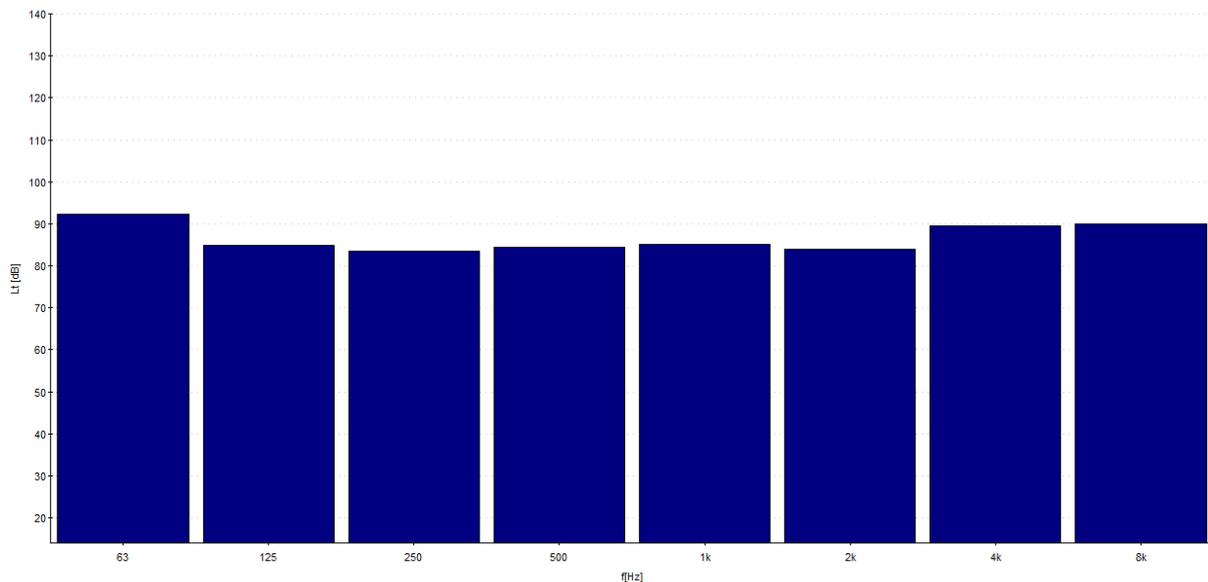
  

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Lt	92,3	84,9	83,6	84,3	85,2	83,9	89,5	89,9	dB
LT	100,7	92,1	85,5	87,3	86,6	77,7	70,8	65,4	
Pondération fréquentielle									
-									

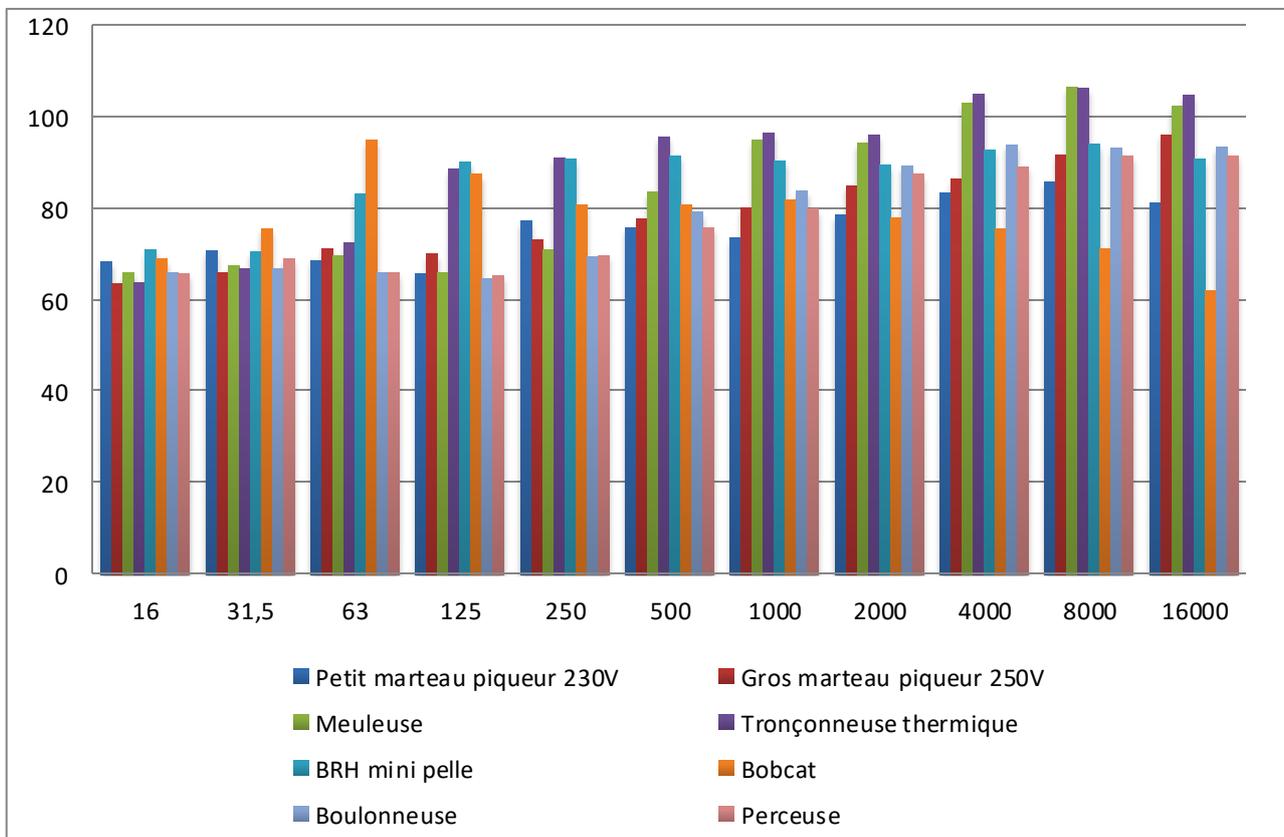
LAT	<b>89,7</b>		11/05/2017 10:04:23	
LCT	<b>101,0</b>		T	00:01:00
LCPeak,T	<b>116,3</b>	dB		

Annexe 5b : Résultats de l'exposition journalière en vue spectrale



Annexe 5c : Résultats du sonomètre

Fréquence (en Hertz)	Niveau sonore enregistré pour chaque outil (en dBA)							
	Petit marteau piqueur 230V	Gros marteau piqueur 250V	Meuleuse	Tronçonne use thermique	BRH mini pelle	Bobcat	Boulon- neuse	Perceuse
16	68,3	63,6	66	63,9	71,1	69	66	65,8
31,5	70,8	65,9	67,5	66,8	70,5	75,5	66,8	69,1
63	68,7	71,2	69,7	72,5	83,2	95	66,1	66
125	65,8	70,1	66	88,6	90,2	87,5	64,6	65,4
250	77,3	73,2	71	91	90,9	80,8	69,4	69,8
500	75,9	77,7	83,6	95,7	91,6	80,8	79,2	75,9
1000	73,6	80,2	95	96,6	90,4	81,9	83,9	79,9
2000	78,6	85	94,3	96,2	89,6	78,1	89,4	87,5
4000	83,5	86,5	103,1	105	92,9	75,5	94	89,2
8000	85,9	91,8	106,5	106,4	94,1	71,2	93,2	91,5
16000	81,3	96,2	102,4	104,9	90,8	62,1	93,4	91,6
L(Aeq)	89	94,9	108,5	109,6	99,1	86	98,3	95,2



Annexe 6 - Mesures sonométriques chez le maçon VRD

Annexe 6a : Résultats de l'exposimètre

LEX8h	95,1	dB	LEX8hp	100,5	dB
E	10,354997	Pa <sup>2</sup> h	Ep	35,904591	Pa <sup>2</sup> h
DOSE	645,6542	%	DOSEp	2238,721	%
Lc	87	dB	tp	8 : 0	HH:mm
LAt	<b>100,5</b>		Durée	0002:17:58	
LCt	<b>100,9</b>		Début	27/02/2017 08:58:45	
LCpeak,t	<b>135,3</b>	dB	Fin	27/02/2017 11:15:44	

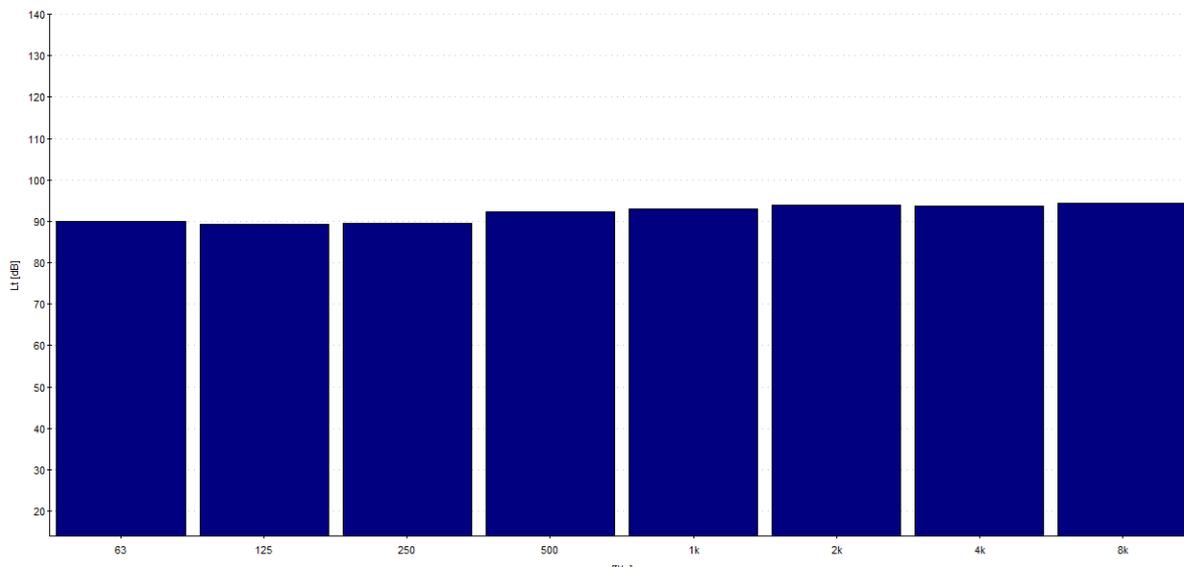
  

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Lt	90,0	89,3	89,5	92,4	93,0	94,0	93,6	94,4	dB
LT	86,6	86,9	87,0	92,0	94,6	96,0	97,8	99,1	
Pondération fréquentielle									
-									

LAT	<b>103,7</b>		27/02/2017 11:15:44	
LCT	<b>102,8</b>		T	00:01:00
LCPeak,T	<b>132,3</b>	dB		

Annexe 6b : Résultats de l'exposition journalière en vue spectrale



Annexe 7 - Mesures sonométriques chez le maçon finisseur pour le cas n°1, valables pour le cas n°2 et le cas n°3

*Annexe 7a : Résultats de l'exposimètre*

LEX8h	85,1	dB	LEX8hp	90,6	dB
E	1,0355	Pa <sup>2</sup> h	Ep	3,674092	Pa <sup>2</sup> h
DOSE	64,56542	%	DOSEp	229,0868	%
Lc	87	dB	tp	8 : 0	HH:mm
LAt	<b>90,6</b>		Durée	0002:13:26	
LCt	<b>89,5</b>		Début	23/02/2017 09:46:38	
LCpeak,t	<b>133,8</b>	dB	Fin	23/02/2017 11:59:37	

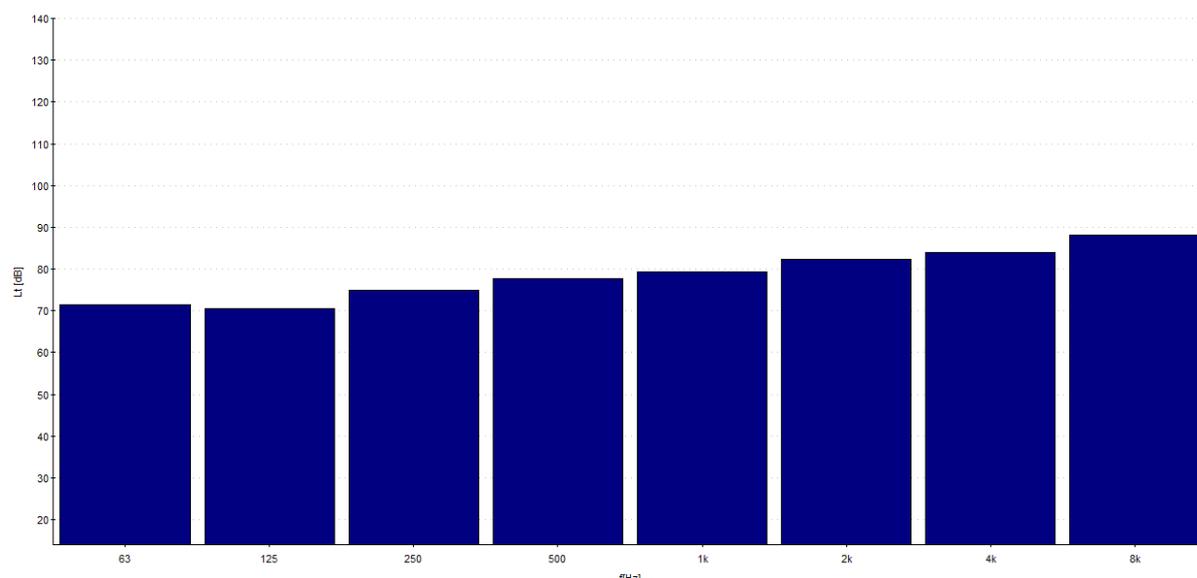
  

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Lt	71,5	70,6	74,9	77,6	79,3	82,3	84,0	88,2	dB
LT	70,4	61,2	59,5	60,5	60,6	59,7	58,9	56,8	
Pondération fréquentielle									
-									

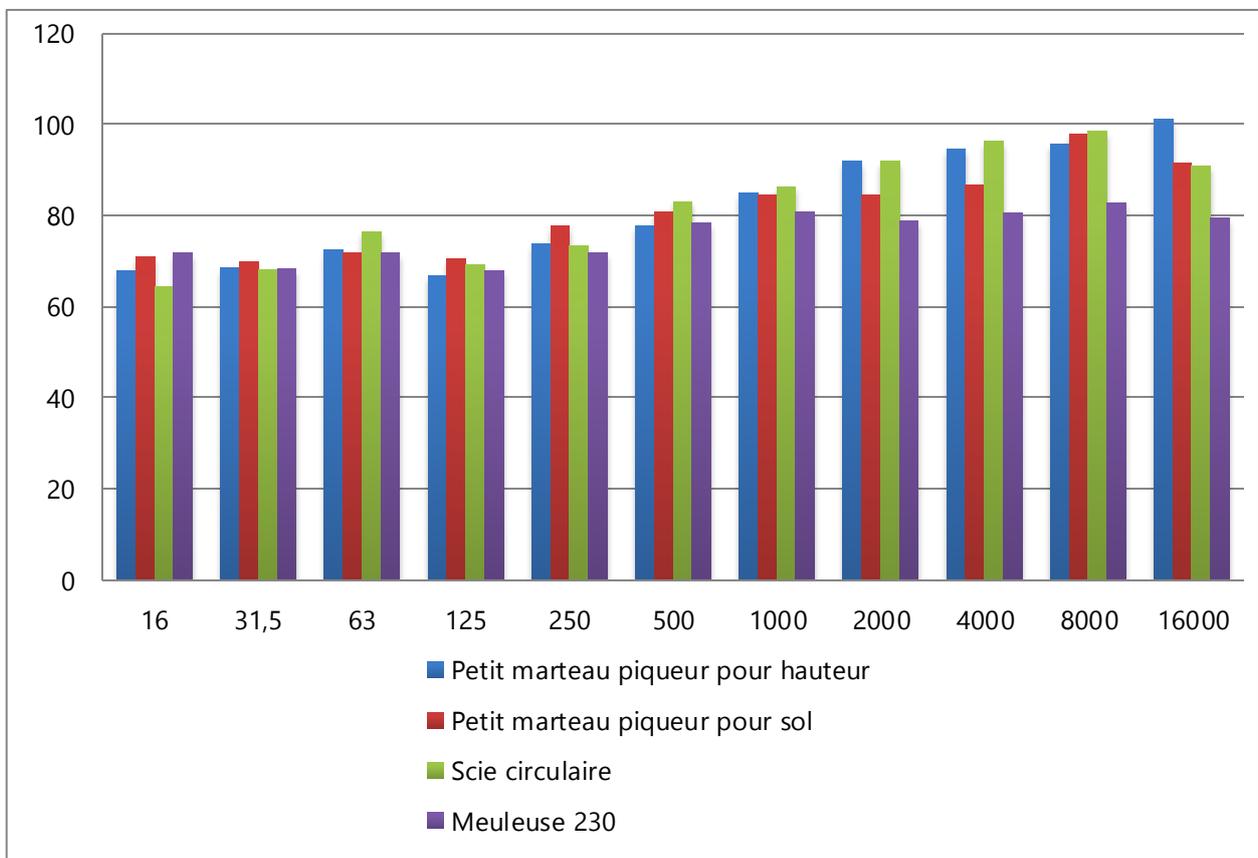
LAT	<b>66,4</b>		23/02/2017 11:44:37	
LCT	<b>72,1</b>		T	00:01:00
LCPeak,T	<b>100,9</b>	dB		

*Annexe 7b : Résultats de l'exposition journalière en vue spectrale*



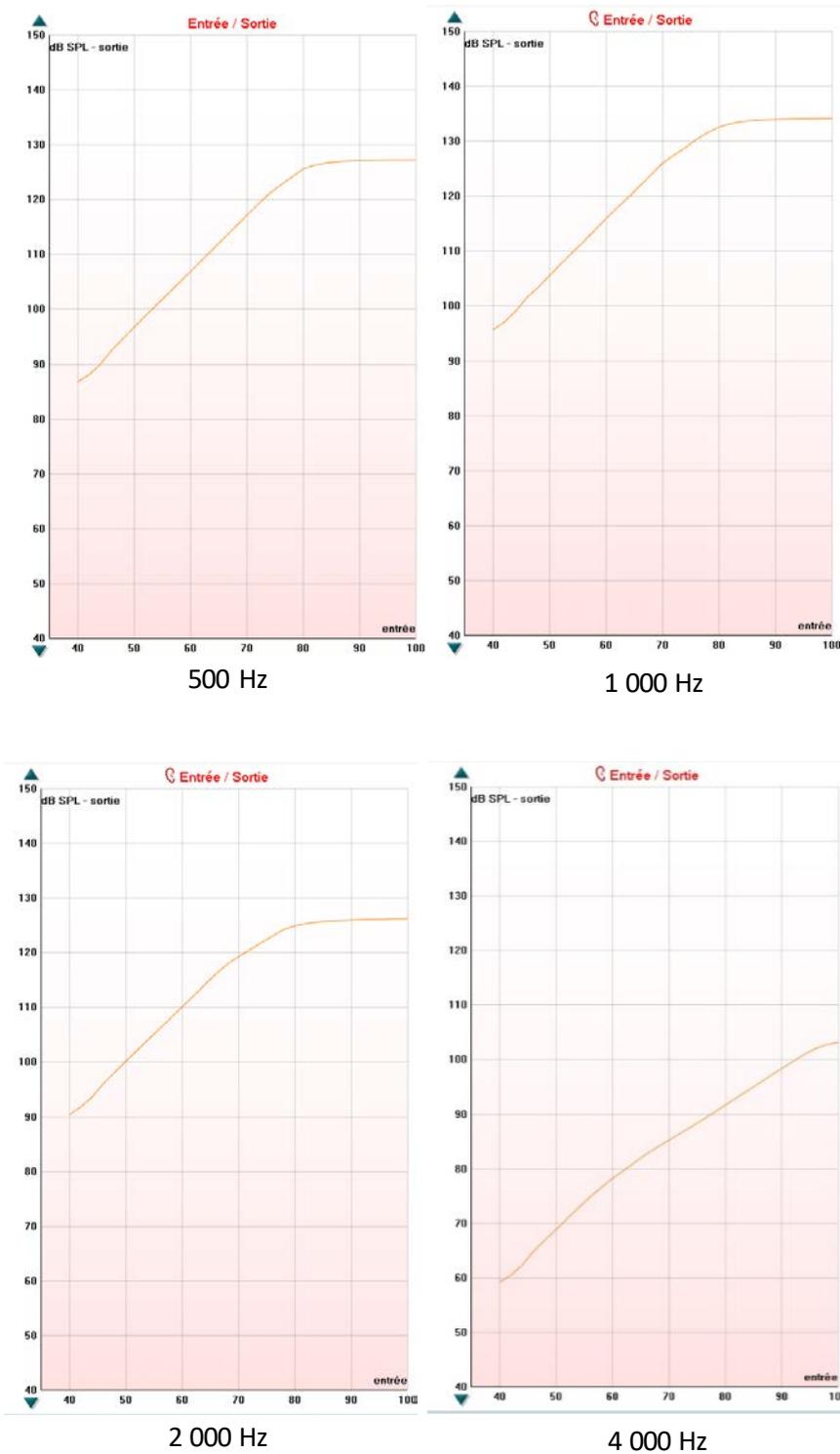
Annexe 7c : Résultats du sonomètre

Fréquence (en Hertz)	Niveau sonore enregistré pour chaque outil (en dBA)			
	Petit marteau piqueur pour hauteur	Petit marteau piqueur pour sol	Scie circulaire	Meuleuse 230
16	68,1	71	64,6	71,9
31,5	68,6	69,9	68,2	68,4
63	72,5	71,9	76,6	71,9
125	66,9	70,7	69,4	68,1
250	73,9	77,8	73,4	72
500	77,8	80,9	83,2	78,5
1000	85	84,6	86,5	81
2000	92	84,7	92	79
4000	94,7	86,8	96,4	80,7
8000	95,8	98,1	98,6	83
16000	101,3	91,6	91,1	79,6
L(Aeq)	100,8	98	101,6	87,8

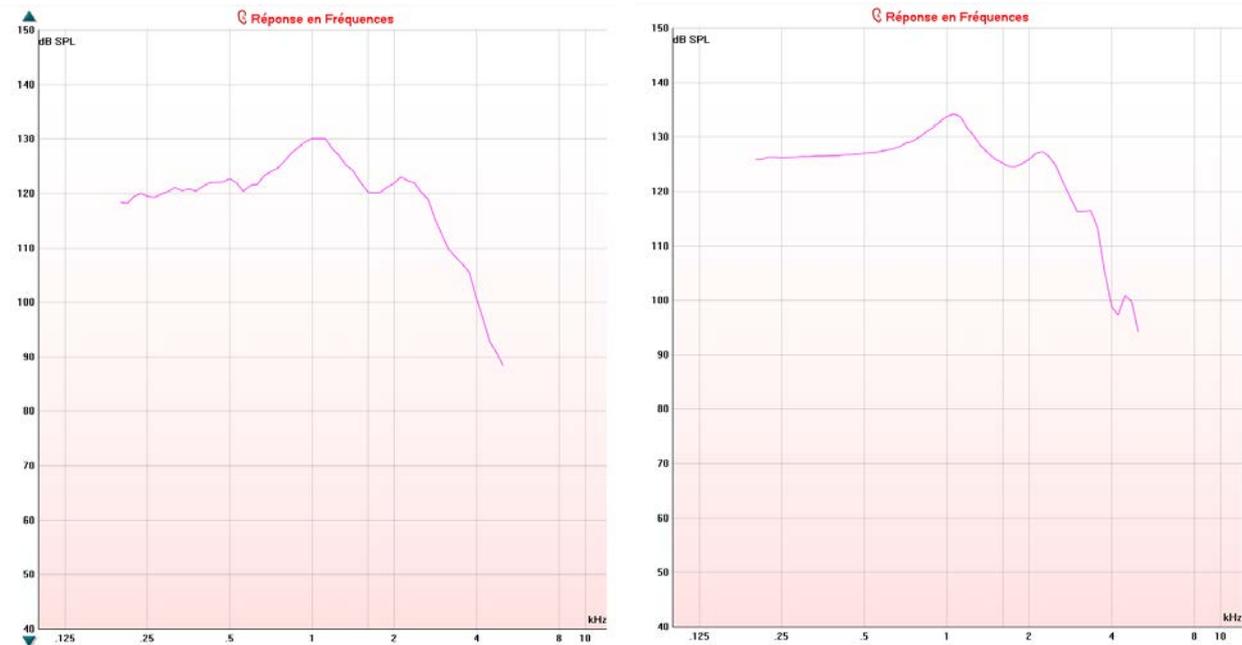


Annexe 8 – Résultats de la chaîne de mesure de l'appareil auditif droit du cas n°1

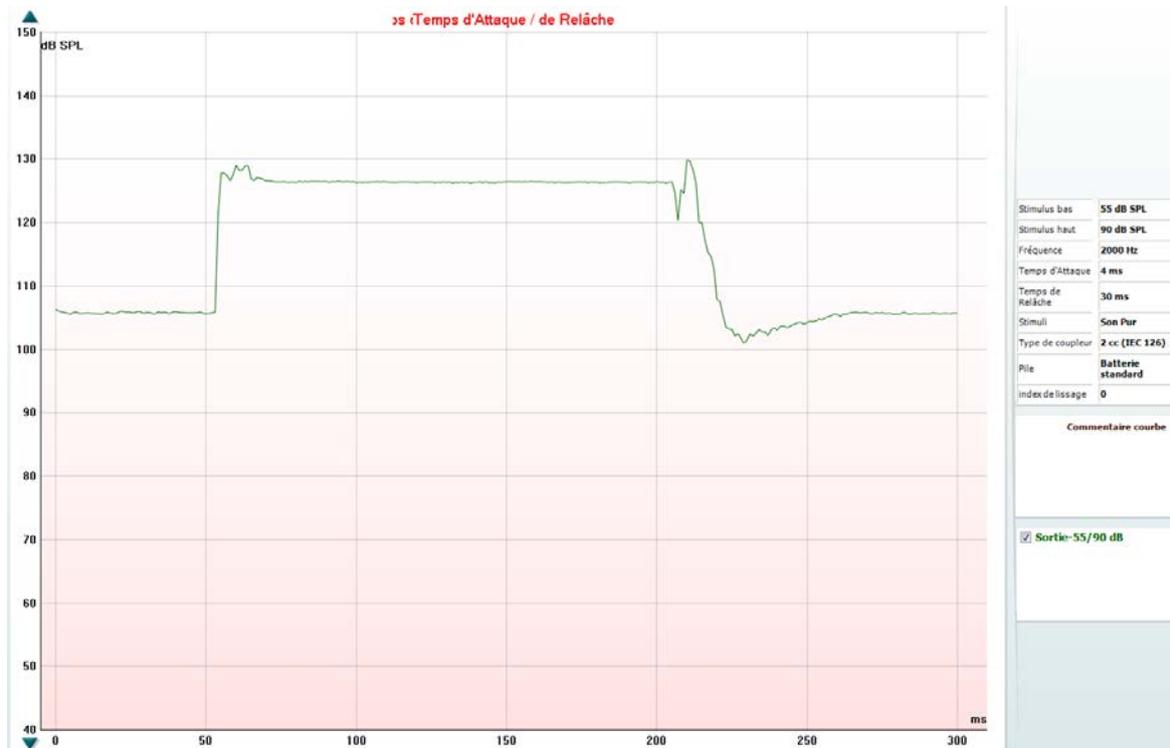
Annexe 8a : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie



Annexe 8b : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)

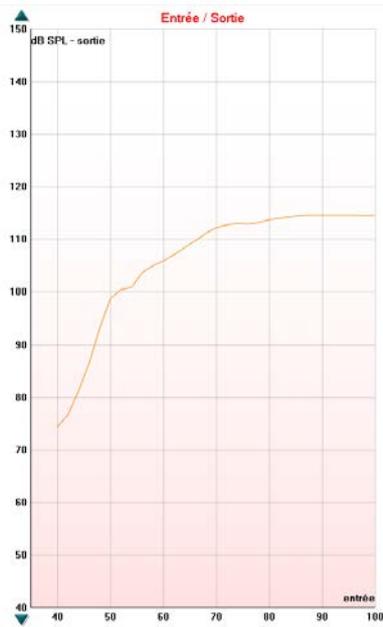


Annexe 8c : Temps d'attaque et temps de retour



Annexe 9 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareil auditif droit du cas n°2

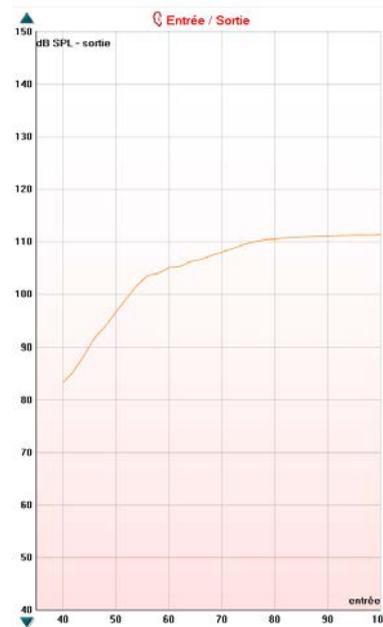
Annexe 9a : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie



500 Hz



1 000 Hz

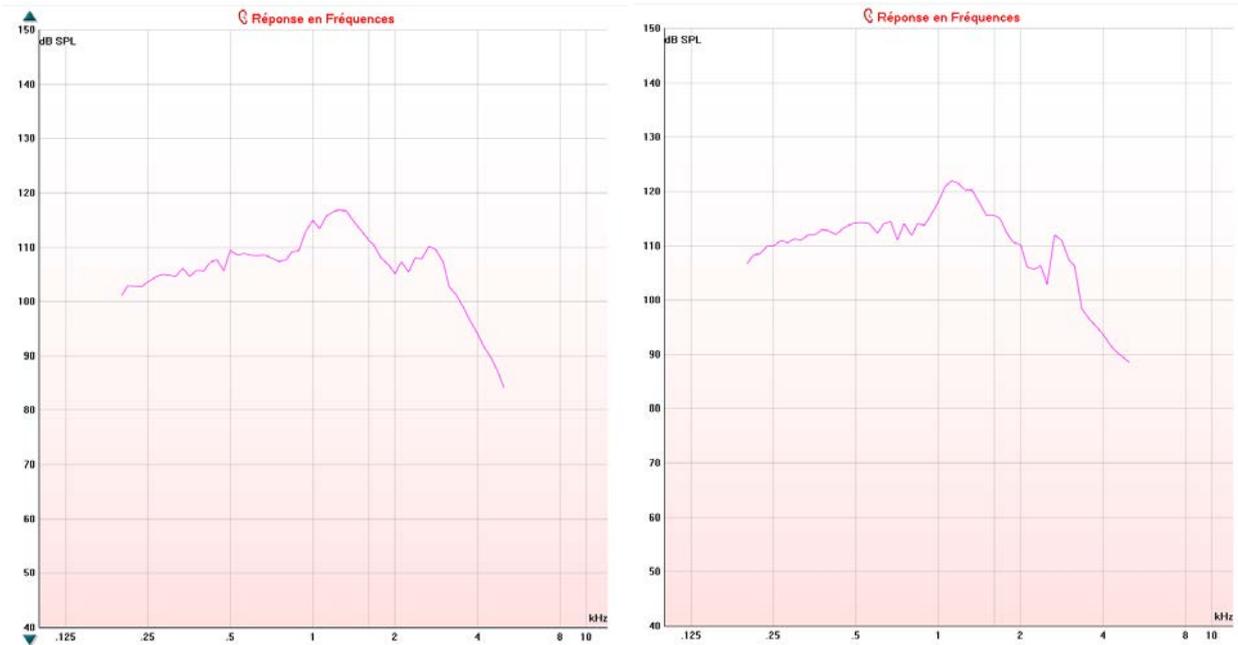


2 000 Hz

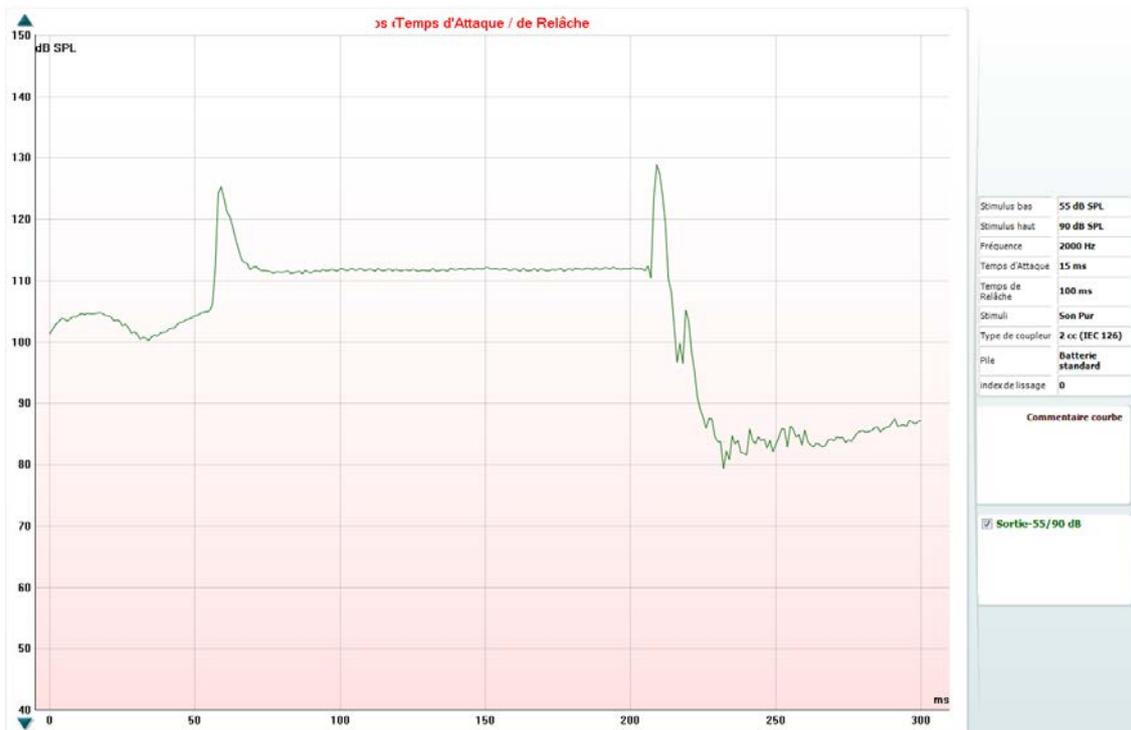


4 000 Hz

Annexe 9b : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)

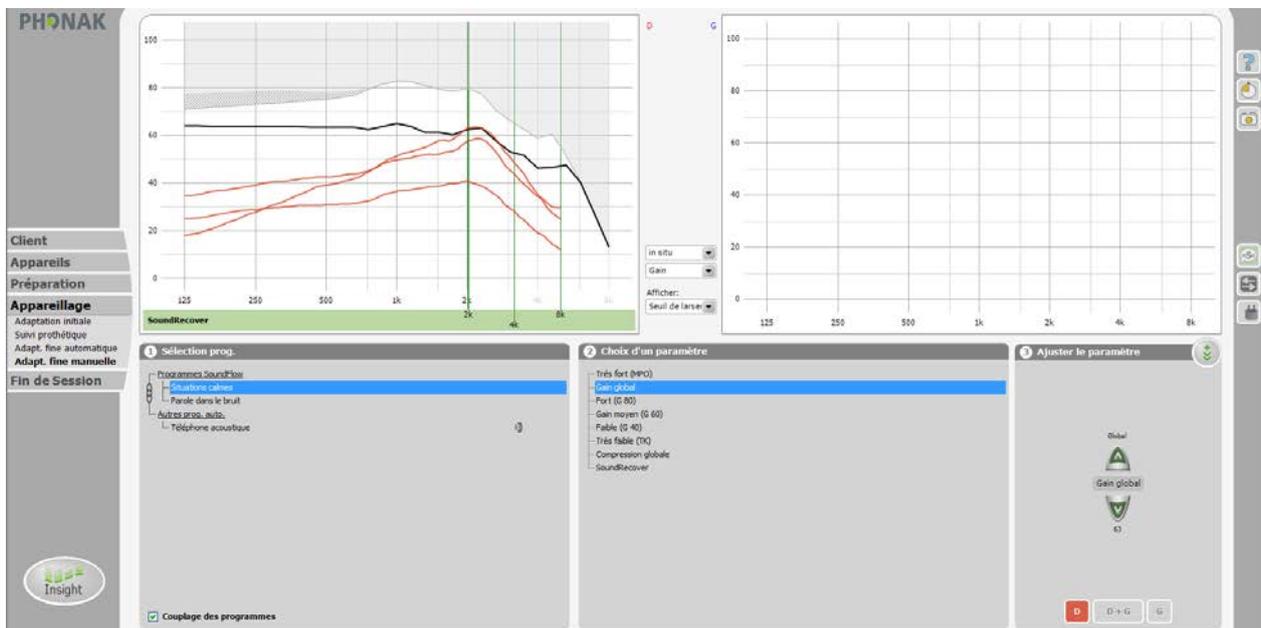


Annexe 9c : Temps d'attaque et temps de retour

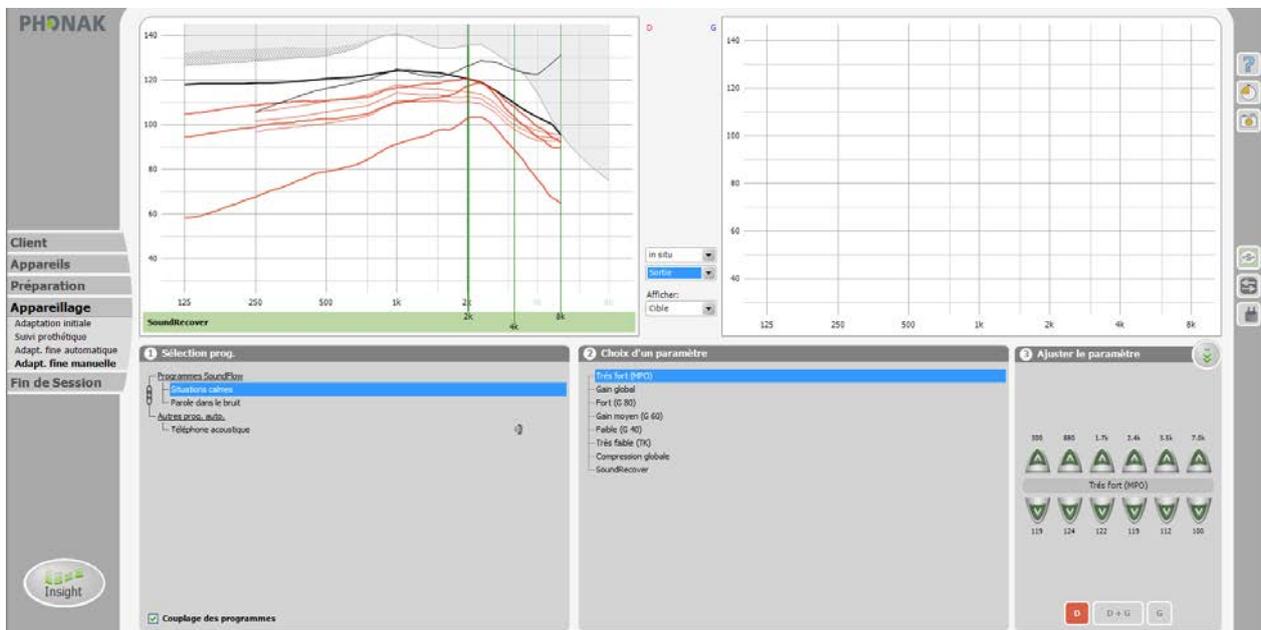


## Annexe 10 - Réglage de l'appareil auditif droit du cas n°2

### Annexe 10a : Vue en gain d'insertion



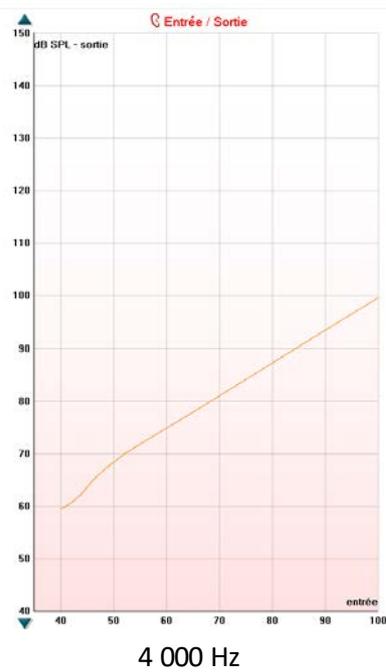
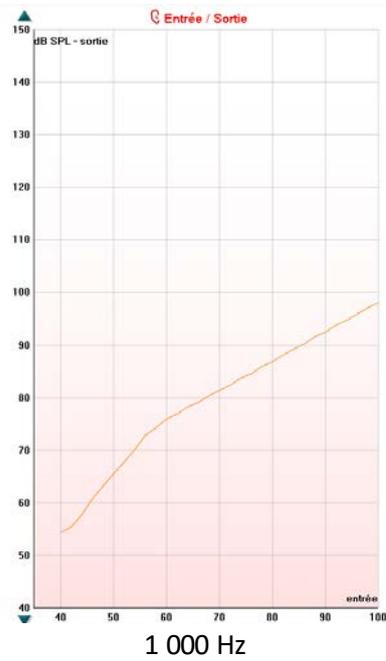
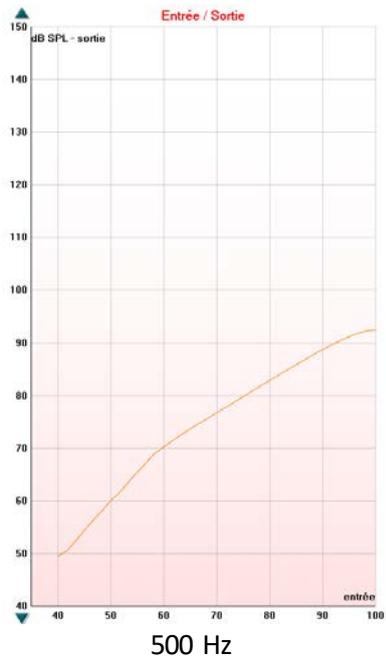
### Annexe 10b : Vue en niveau de sortie



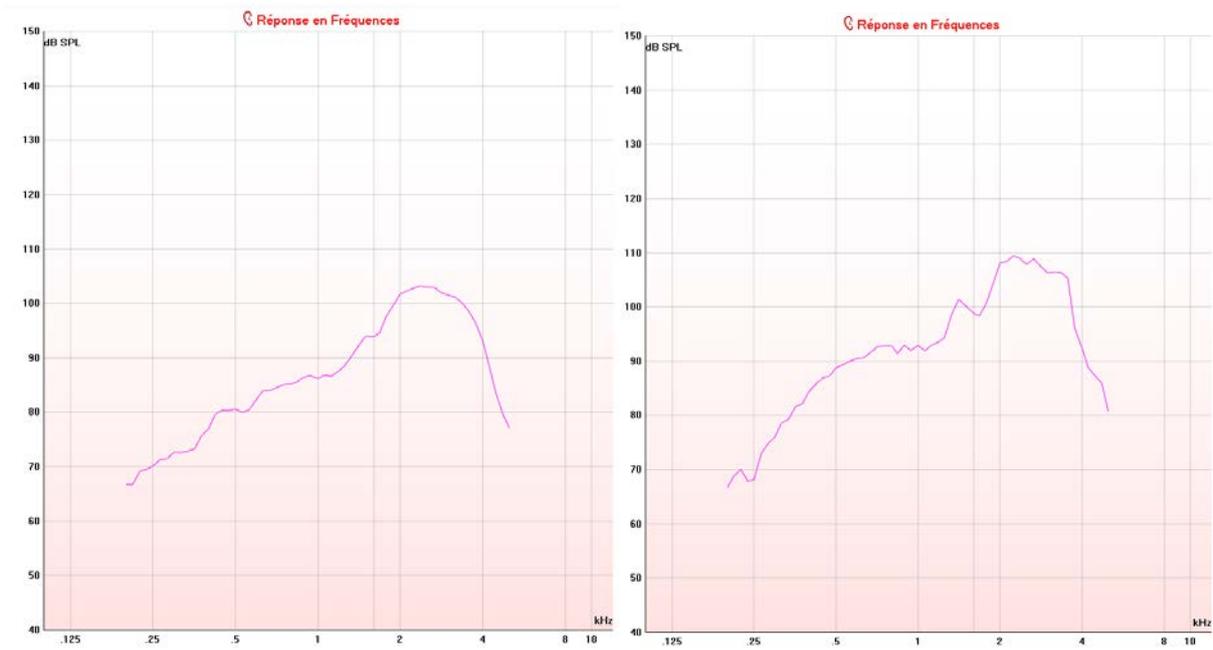
Annexe 11 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareillage auditif du cas n°3

**APPAREIL DROIT**

*Annexe 11a : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie*



Annexe 11b : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)

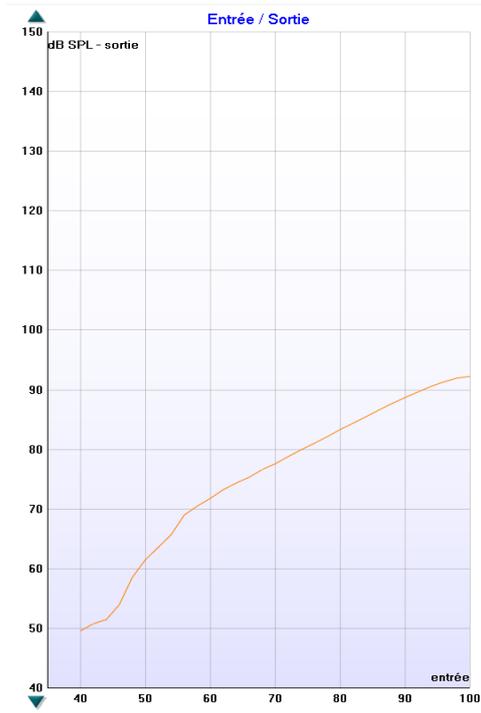


Annexe 11c : Temps d'attaque et temps de retour

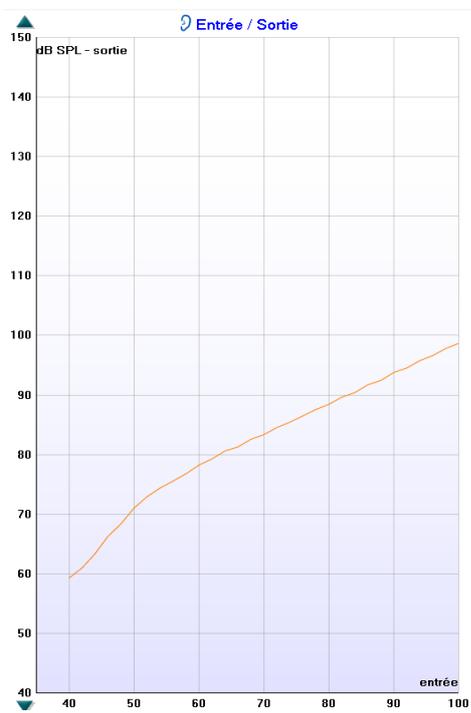


## APPAREIL GAUCHE

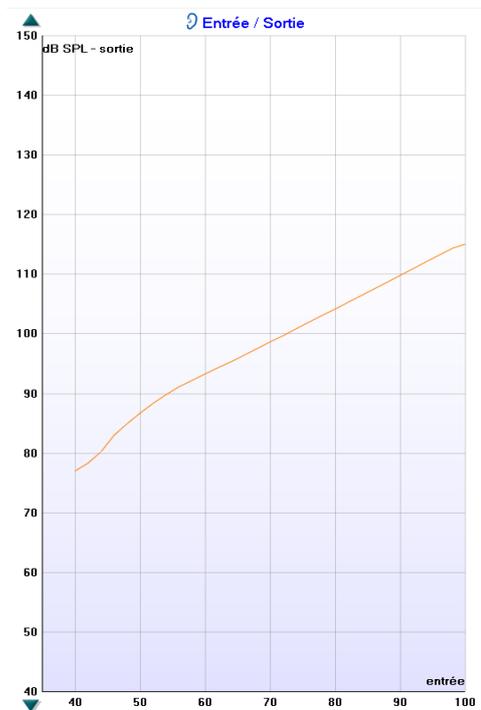
Annexe 11d : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie



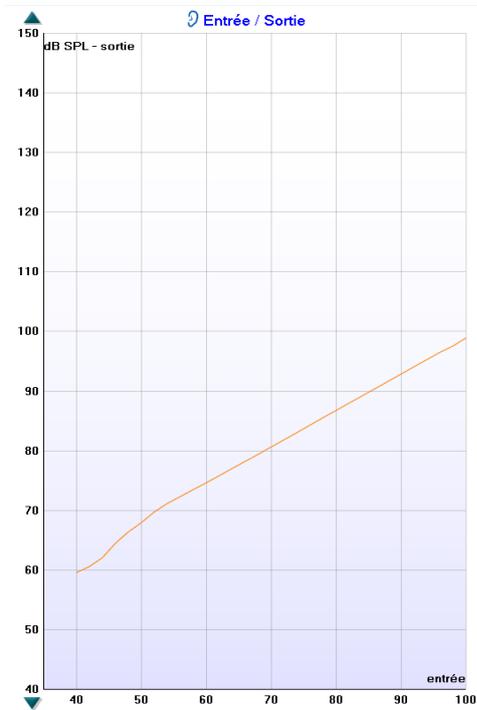
500 Hz



1 000 Hz

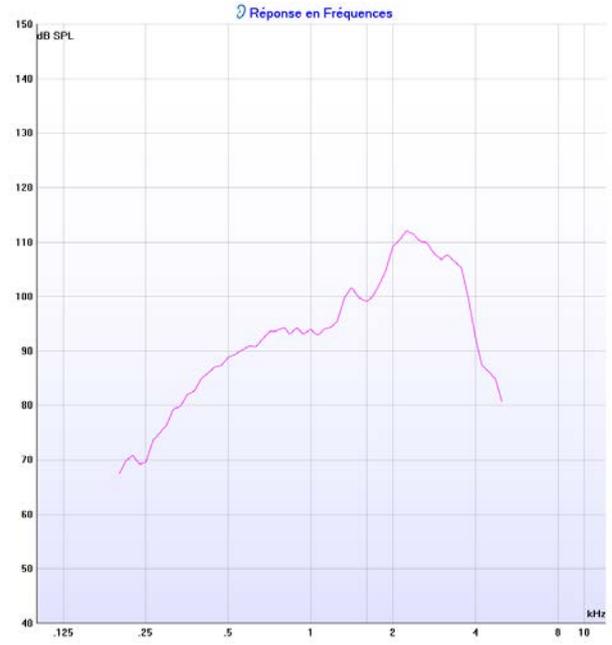


2 000 Hz

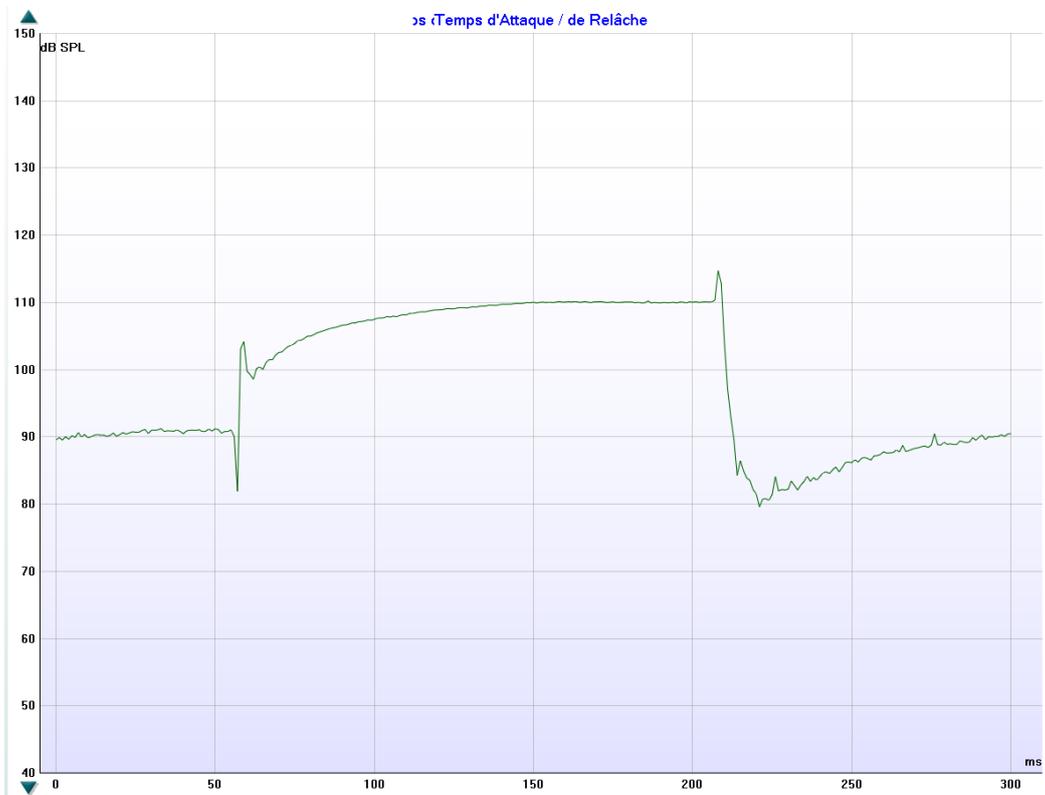


4 000 Hz

Annexe 11e : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)



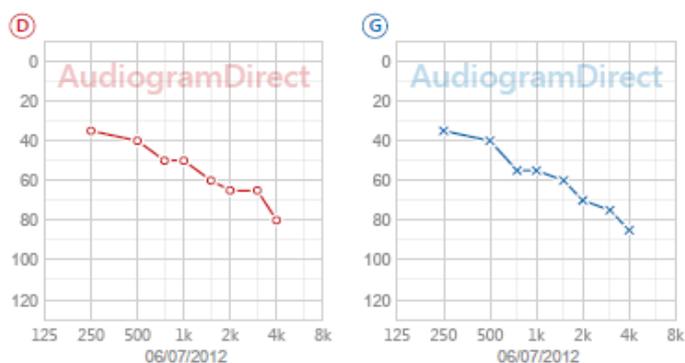
Annexe 11f : Temps d'attaque et temps de retour



## Annexe 12 - Réglage des appareils auditifs du cas n°3

### Rapport d'appareillage

#### AudiogramDirect



#### Programmes automatiques

Valeurs affichées: absolues; Mesure standard: SPL au 2cc; Sortie

##### Situation calme

	D						G					
	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k
MPO	95	99	105	112	114	109	95	100	106	114	116	109
G80	-1	9	21	31	30	19	5	18	26	34	36	29
G60	7	19	31	41	39	28	13	29	41	48	49	38
G40	8	26	39	48	47	36	14	37	48	48	50	38
CR	1,5	1,7	1,8	1,9	1,9	1,7	1,5	1,9	1,9	2,1	2,1	1,7
TK	39	33	35	37	36	35	39	34	35	37	36	34
LarsenBloc	Modéré (13)						Modéré (13)					
NoiseBloc	Faible (4)						Faible (4)					
WindBloc	Modéré (11)						Modéré (11)					
SoundRelax	Modéré (16)						Modéré (16)					
Mode microphonique	Real ear sound (4)						Real ear sound (4)					
SoundRecover	Marche						Marche					

##### Parole dans le bruit

	D						G					
	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k
MPO	95	99	105	112	114	109	95	100	106	114	116	109
G80	-6	5	17	27	25	14	7	15	25	34	34	25
G60	2	15	27	37	35	23	15	24	33	46	45	34
G40	-5	18	34	46	44	30	7	26	38	48	48	36
CR	1,3	1,7	1,8	1,9	1,9	1,7	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3
TK	45	42	40	37	36	34	45	42	40	37	36	33
LarsenBloc	Modéré (13)						Modéré (13)					
NoiseBloc	Faible (8)						Faible (8)					
WindBloc	Modéré (14)						Modéré (14)					
SoundRelax	Modéré (16)						Modéré (16)					
Mode microphonique	UltraZoom & RS/B-Plus (18)						UltraZoom & RS/B-Plus (18)					
SoundRecover	Marche						Marche					

##### Confort dans le bruit

	D						G					
	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k	290	830	1.5k	2.6k	3.6k	6.6k
MPO	95	99	105	112	114	109	95	100	106	114	116	109
G80	-9	0	11	21	19	7	-7	3	14	24	23	10
G60	-2	9	21	30	28	15	0	14	24	35	32	19
G40	1	17	29	40	38	23	3	22	34	45	43	26
CR	1,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,6	1,9	2	2,2	2,1	1,7
TK	38	33	35	37	36	36	38	33	35	37	36	35
LarsenBloc	Modéré (13)						Modéré (13)					
NoiseBloc	Modéré (12)						Modéré (12)					
WindBloc	Fort (19)						Fort (19)					
SoundRelax	Modéré (16)						Modéré (16)					
Mode microphonique	Real ear sound (4)						Real ear sound (4)					
SoundRecover	Marche						Marche					

Annexe 13 - Mesures sonométriques chez l'électricien pour le cas n°4

Annexe 13a : Résultats de l'exposimètre

LEX8h	73,9	dB	LEX8hp	80,4	dB
E	0,078551	Pa <sup>2</sup> h	Ep	0,350873	Pa <sup>2</sup> h
DOSE	4,897788	%	DOSEp	21,87762	%
Lc	87	dB	tp	8 : 0	HH:mm
LAt	80,4		Durée	0001:45:56	
LCt	84,0		Début	16/06/2017 09:25:19	
LCpeak,t	134,8	dB	Fin	16/06/2017 11:10:18	

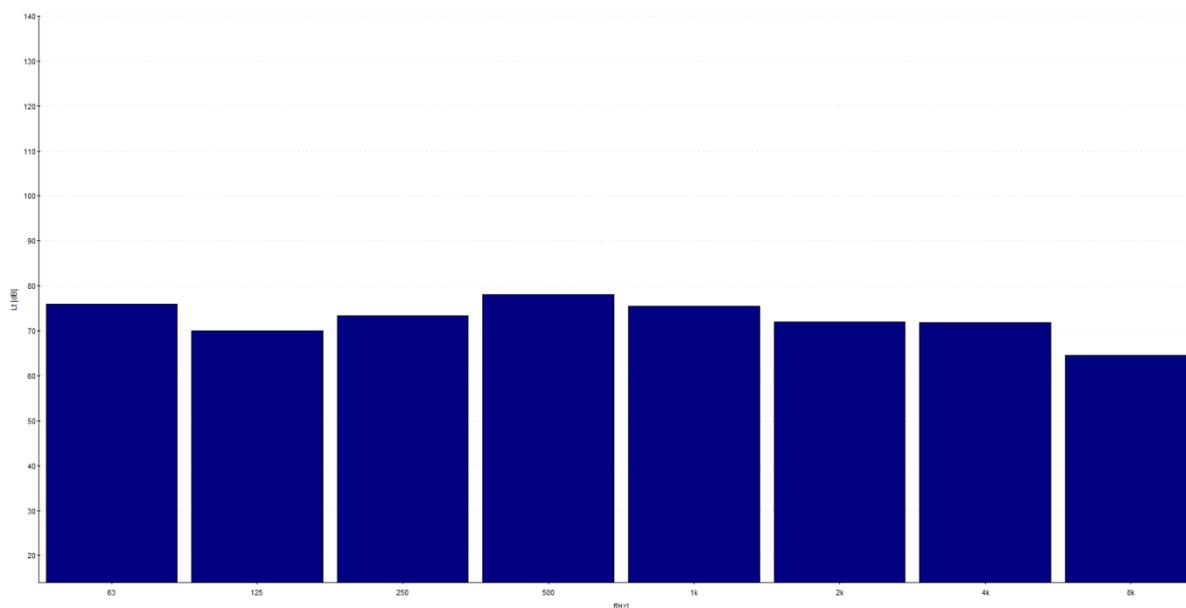
  

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Lt	76,0	70,0	73,3	78,1	75,5	72,0	71,9	64,6	dB
LT	71,2	66,6	64,5	65,3	65,0	61,7	58,5	57,3	
Pondération fréquentielle									

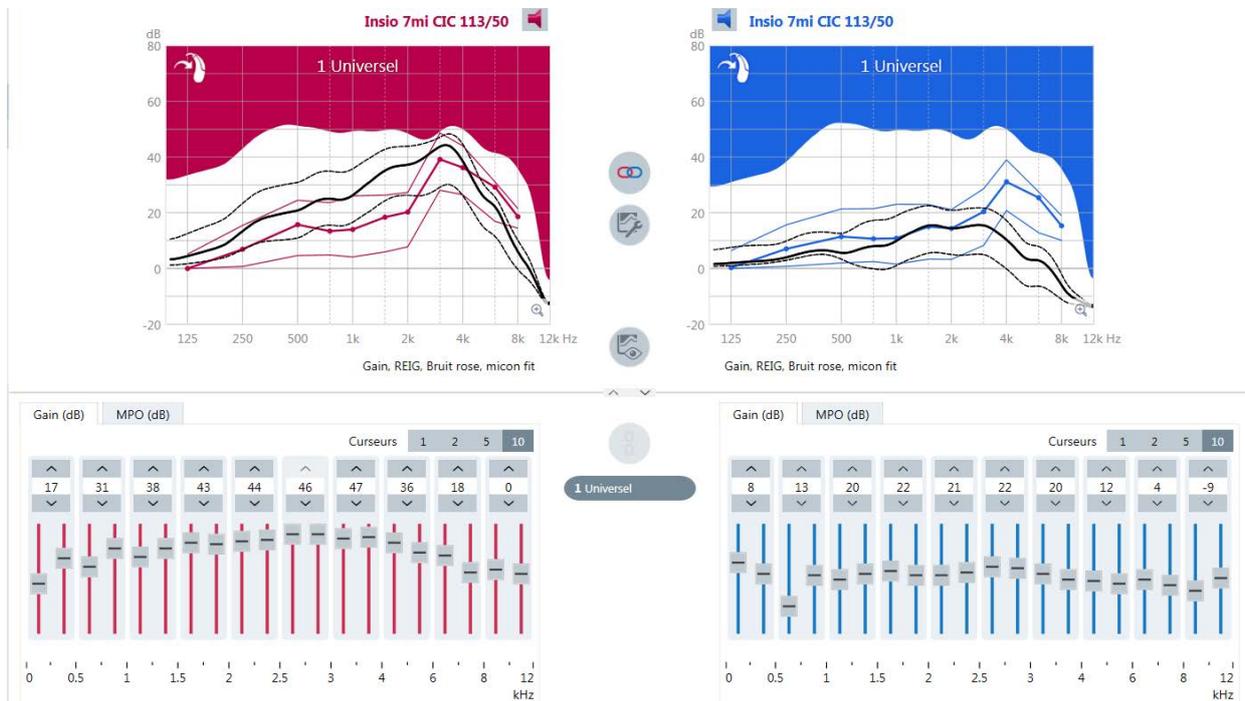
LAT	69,2		16/06/2017 11:10:18
LCT	76,3		T 00:01:00
LCPeak,T	109,5	dB	

Annexe 13b : Résultats de l'exposition journalière en vue spectrale

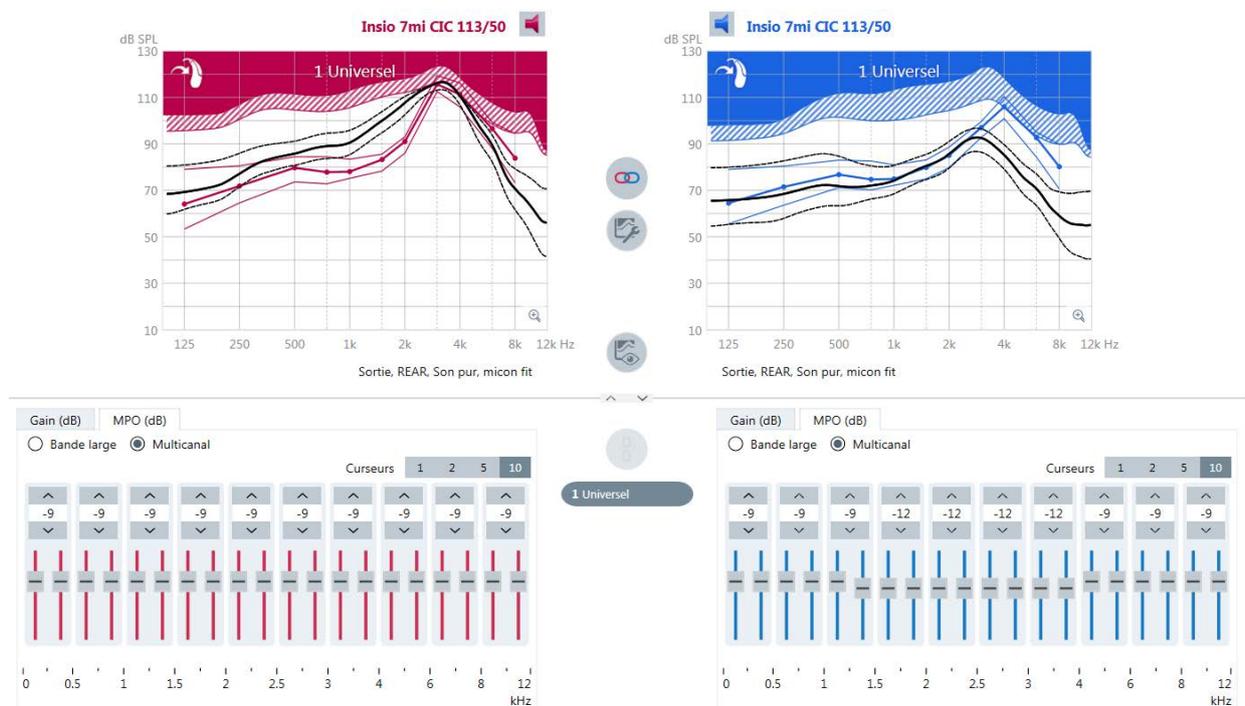


## Annexe 14 - Réglage des appareils auditifs du cas n°4

### Annexe 14a : Vue en gain d'insertion



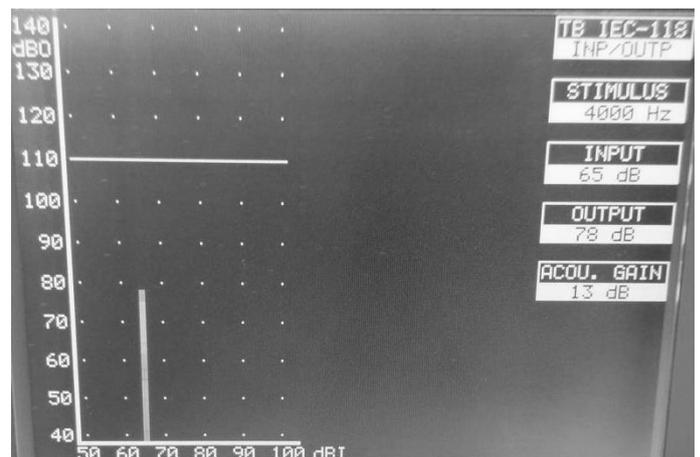
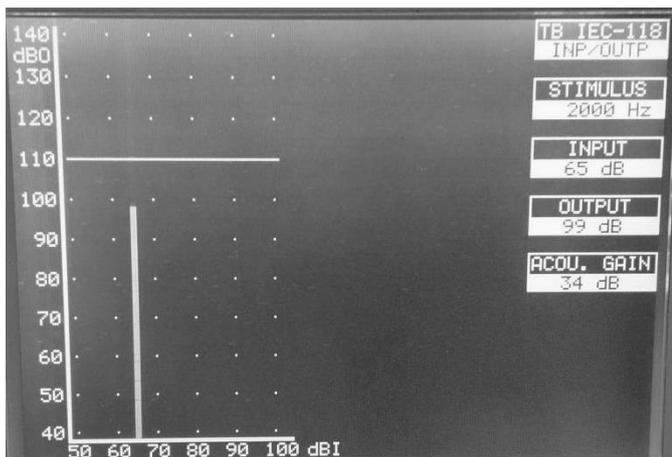
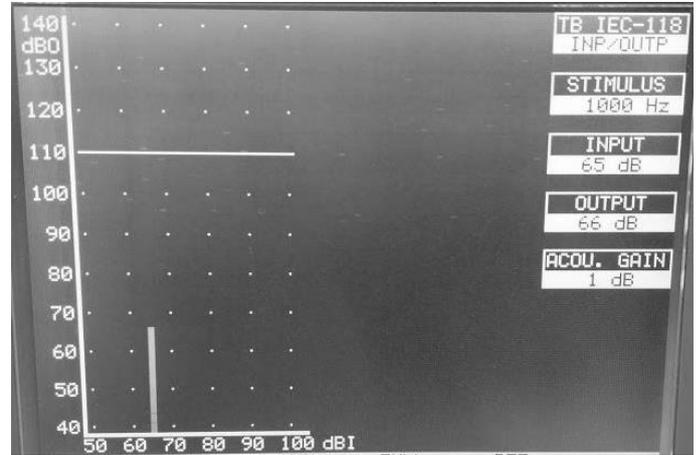
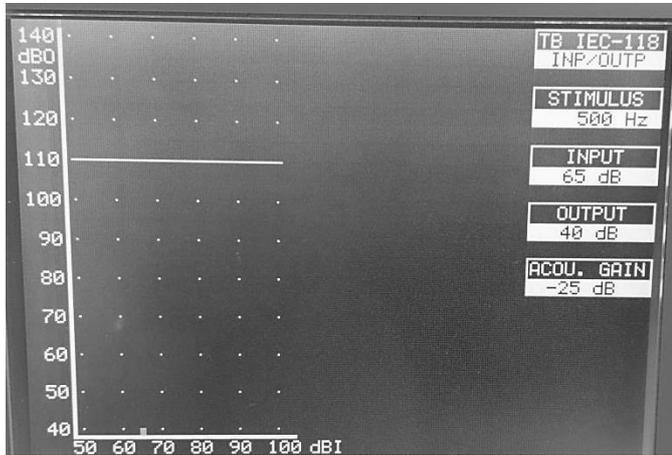
### Annexe 14b : Vue en niveau de sortie



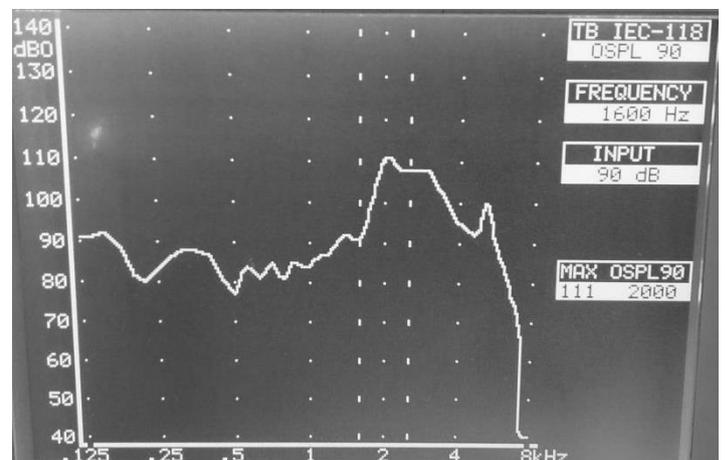
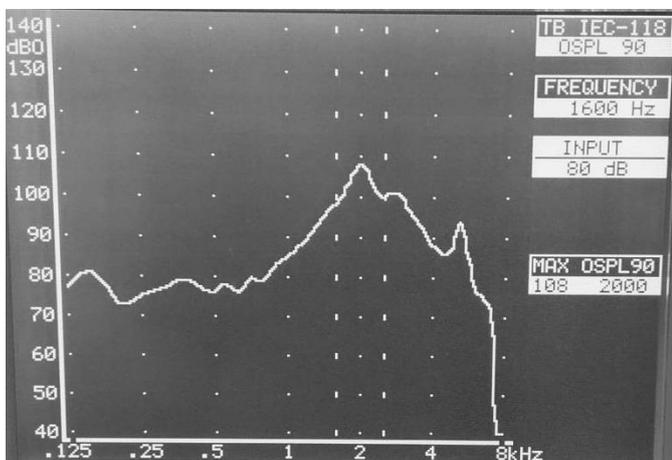
Annexe 15 - Résultats de la chaîne de mesure de l'appareillage auditif du cas n°5

APPAREIL DROIT

Annexe 15a : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie

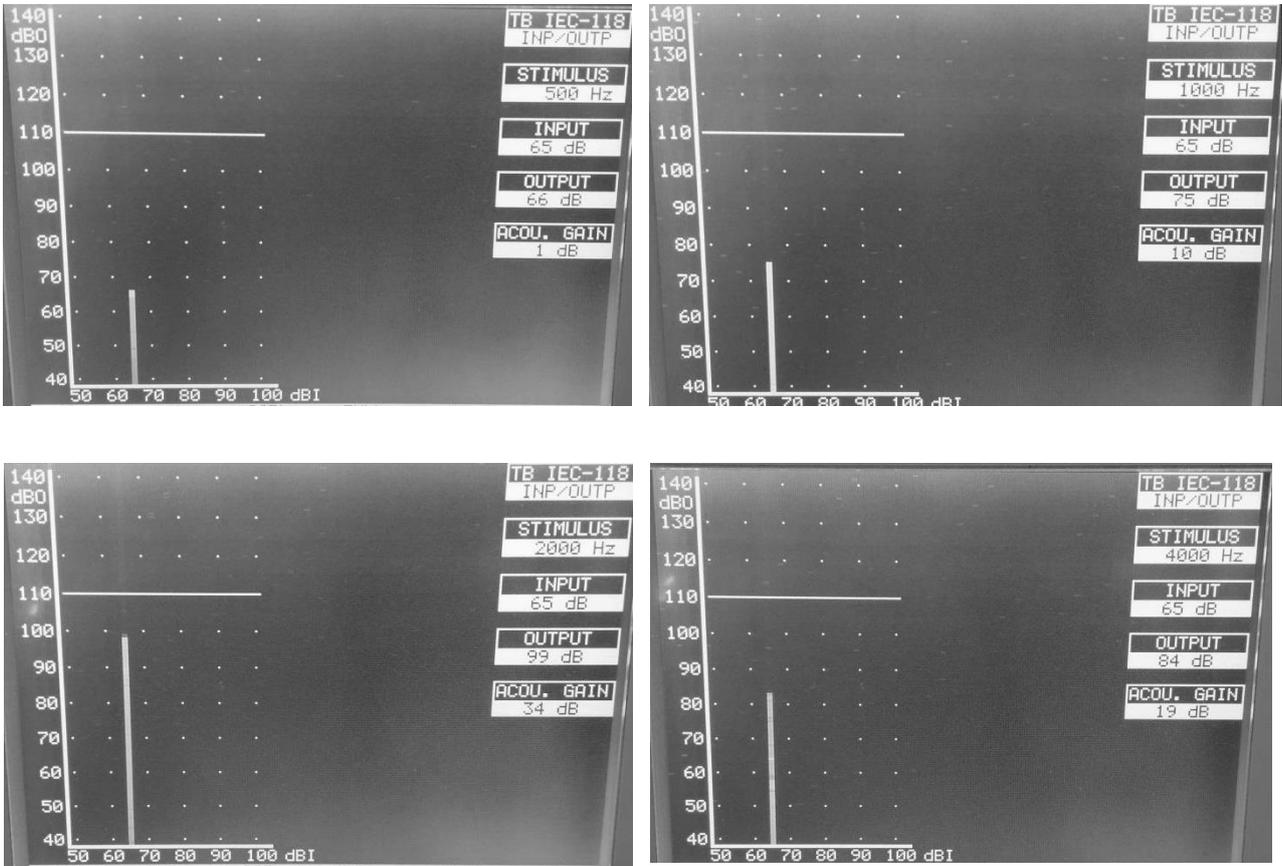


Annexe 15b : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)

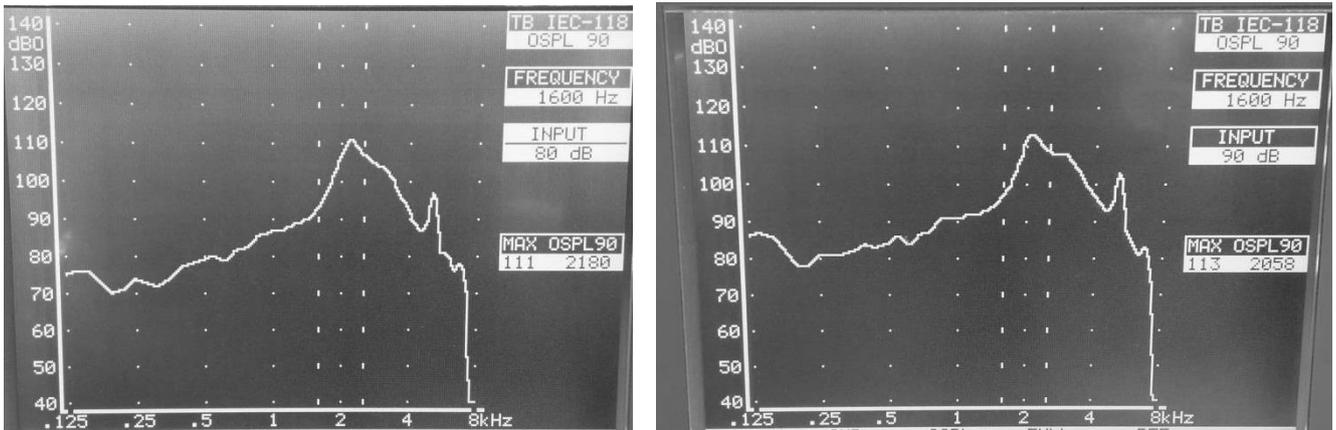


## APPAREIL GAUCHE

Annexe 15c : Niveau d'entrée par rapport au niveau de sortie

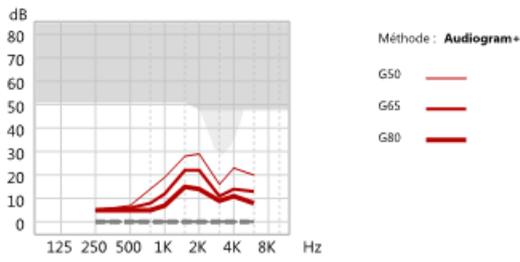


Annexe 15d : Réponse en fréquences à 80 dB (à gauche) et 90 dB (à droite)



## Annexe 16 - Réglage des appareils auditifs du cas n°5

Programme 1: Universel



	250	500	750	1K	1,5K	2K	3K	4K	6K
<b>G50</b>	5	7	14	19	28	29	16	23	20
<b>G65</b>	5	6	8	12	22	22	11	14	13
<b>G80</b>	5	5	5	7	15	14	9	11	8
<b>CR</b>	1.0	1.0	1.6	1.8	1.5	2.6	1.0	2.1	1.7
<b>MPO</b>	96	103	106	108	107	109	109	106	108

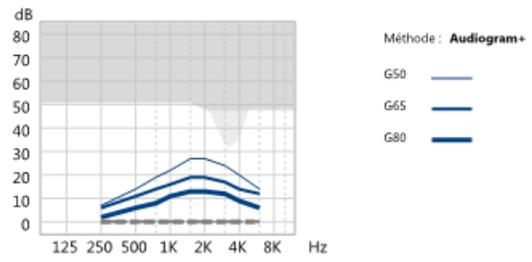
Coupleur

Gain d'insertion

Type de stimulus

Sons purs

Programme 1: Universel



	250	500	750	1K	1,5K	2K	3K	4K	6K
<b>G50</b>	7	14	19	22	27	27	24	20	14
<b>G65</b>	6	11	14	16	19	19	17	14	12
<b>G80</b>	2	6	8	11	13	13	12	9	6
<b>CR</b>	1.2	1.3	1.8	1.6	1.9	1.9	1.8	1.5	1.5
<b>MPO</b>	96	103	106	108	105	107	109	106	108

Coupleur

Gain d'insertion

Type de stimulus

Sons purs

### Réglage des gains par environnement sonore (Environmental Optimizer)

	P1	P2	P3
<b>Calme</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole (faible)</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole (forte)</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole + bruit (modéré)</b>	+1 dB	+1 dB	+1 dB
<b>Parole + bruit (fort)</b>	0 dB	0 dB	0 dB
<b>Bruit (modéré)</b>	-1 dB	-1 dB	-2 dB
<b>Bruit (fort)</b>	-3 dB	-3 dB	-3 dB

	P1	P2	P3
<b>Calme</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole (faible)</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole (forte)</b>	+2 dB	+2 dB	+2 dB
<b>Parole + bruit (modéré)</b>	+1 dB	+1 dB	+1 dB
<b>Parole + bruit (fort)</b>	0 dB	0 dB	0 dB
<b>Bruit (modéré)</b>	-1 dB	-1 dB	-2 dB
<b>Bruit (fort)</b>	-3 dB	-3 dB	-3 dB

### Réglage du réducteur de bruit par environnement sonore (NoiseTracker II)

	P1	P2
<b>Calme</b>	-3	-3
<b>Parole (faible)</b>	-3	-3
<b>Parole (forte)</b>	-4	-4
<b>Parole + bruit (modéré)</b>	-6	-6
<b>Parole + bruit (fort)</b>	-6	-6
<b>Bruit (modéré)</b>	-6	-6
<b>Bruit (fort)</b>	-9	-9

	P1	P2
<b>Calme</b>	-3	-3
<b>Parole (faible)</b>	-3	-3
<b>Parole (forte)</b>	-4	-4
<b>Parole + bruit (modéré)</b>	-6	-6
<b>Parole + bruit (fort)</b>	-6	-6
<b>Bruit (modéré)</b>	-6	-6
<b>Bruit (fort)</b>	-9	-9

Vu par le maître de mémoire,

Mr Romain DECOLIN

# Prise en charge audioprothétique des malentendants appareillés travaillant en milieu bruyant

Soutenu le 10 novembre 2017

Par Justine GERARD

## RESUME

De nombreux salariés du milieu du bâtiment et des travaux publics présentant une surdité justifiant le port d'un appareillage auditif restent souvent exposés à des niveaux sonores élevés sur leur lieu de travail. Pour ces malentendants appareillés confrontés à un milieu professionnel bruyant, l'enjeu de l'appareillage est multiple. En effet, ces salariés doivent pouvoir se protéger du bruit et néanmoins percevoir efficacement les signaux auditifs de danger tout en étant capable de communiquer avec ses collègues, tout ceci pour assurer sa propre sécurité sur un chantier.

La combinaison entre protection et correction auditive est difficile à mettre en place chez ces malentendants. Ce mémoire a eu pour but de réaliser une étude sur les réglages prothétiques implantés dans les appareils auditifs qui permettent d'assurer à la fois un confort auditif en termes d'intelligibilité et la protection contre les forts niveaux sonores. De plus, une étude de l'exposition sonore des salariés a été effectuée afin de comprendre et d'analyser le bruit auquel ils sont exposés à leur travail.

## MOTS CLES

AUDIOPROTHESE

EXPOSITION SONORE

REGLAGE

APPAREIL AUDITIF

REGLEMENTATION

MPO

MALENTENDANT

SURDITE PROFESSIONNELLE

ETUDE SONOMETRIQUE

BRUIT AU TRAVAIL

SIGNAUX DE DANGER

ETUDE AUDIOMETRIQUE

