

**UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2023

N°:

**THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 15 mai 2023

Par Julie LEROY
Née le 19 Juillet 1998 à Cambrai

Exposition au bruit au cabinet dentaire : Identification des
risques, réalisation et expérimentation du port de protection
auditive sur mesure et prévention

JURY

Président: Monsieur le Professeur Thomas COLARD
Asseseurs: Monsieur le Docteur Philippe ROCHER
Madame le Docteur Amélie de BROUCKER
Madame le Docteur Sarah TOUBLA

Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K.AGOSSA	Parodontologie
P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Responsable du Département de Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
C. LEFEVRE	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation ni improbation ne leur est donnée.

Je dédie cette thèse,

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique

Chargé de mission Recherche

*Vous me faites l'honneur de présider cette
thèse et je vous en remercie.*

*Soyez assuré de ma gratitude et de ma plus
haute estime à votre égard.*

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD
Section Réhabilitation Orale
Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Odontologie de l'Université de Lille2
Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales
Diplôme d'Études Approfondies de Génie Biologique et Médicale - option
Biomatériaux
Diplôme Universitaire de Génie Biologique et Médicale
Certificat d'Études Supérieures de Biomateriaux

Je suis sensible à l'honneur que vous me faites de siéger parmi les membres du jury. Je vous remercie pour votre gentillesse et la qualité de vos enseignements dont ce sujet de prévention aux risques professionnels est inspiré.

J'espère que vous apprécierez la lecture de ce travail.

Veuillez trouver ici l'expression de mon plus profond respect.

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD
Section Réhabilitation Orale
Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Lille 2

Chargé de mission Vie de campus et relations étudiants

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ma thèse. Vous m'avez accordé votre confiance et beaucoup de liberté dans le choix du sujet et la réalisation de ce travail. Je vous remercie pour votre bienveillance, vos conseils et votre investissement. C'était un grand plaisir d'échanger avec vous.

N'hésitez pas à me contacter si vous êtes de passage dans notre belle région Normande. Soyez assurée de ma profonde reconnaissance.

Madame le Docteur Sarah TOUBLA

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD
Section Réhabilitation Orale
Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Vous avez accepté spontanément de faire partie de mon jury et je vous en suis très reconnaissante. Je vous remercie pour votre gentillesse et votre réactivité. J'espère que ce travail vous plaira. Soyez assurée de toute mon estime.

A mes proches.

Table des matières

Introduction	13
1. Anatomophysiologie de l'appareil auditif humain.....	15
1.1. Anatomie du système auditif humain	15
1.2. L'oreille	16
1.2.1. L'oreille externe	16
1.2.2. L'oreille moyenne	17
1.2.3. L'oreille interne	18
1.3. Les voies nerveuses de l'audition.....	20
1.4. La physiologie de l'appareil auditif humain	21
1.4.1. Le rôle de l'oreille externe	21
1.4.2. Le rôle de l'oreille moyenne.....	21
1.4.3. Le rôle de l'oreille interne	21
2. Le Son.....	22
2.1. Définition d'une onde sonore	22
2.2. Caractéristique du son	22
2.3. Perceptions auditives	26
3. Le bruit.....	27
3.1. Définition du bruit	27
3.2. Les conséquences de l'exposition au bruit pour l'audition.....	28
3.3. Évaluer quantitativement la perte auditive due à l'exposition au bruit .	29
3.4. Les conséquences du bruit sur la santé.....	31
3.5. Réglementations en matière d'exposition au bruit au travail	32
4. Conséquences de l'exposition au bruit sur le chirurgien-dentiste.....	34
4.1 Impact et ressenti du chirurgien-dentiste de l'exposition au bruit	34
4.2 Conséquences sur l'audition du chirurgien-dentiste	36
5. Carence en prévention des chirurgiens-dentistes aux risques auditifs	38
6. Identification des sources sonores au cabinet.....	39
6.1. Les sources sonores liées à l'activité de soins	39
6.1.1. Les ultrasons	39
6.1.2 La turbine.....	41
6.1.3 Les contre-angles	42
6.1.4 La pièce à main	43
6.1.5 L'aspiration	44
6.1.6 Le vibreur/ malaxeur universel	45
6.1.7 L'acquisition de clichés radiographiques	45
6.2 Les bruits liés à l'environnement du cabinet	46
7. Évaluation et mesure de l'exposition au bruit du chirurgien-dentiste	47

7.1	Mesures des niveaux d'intensité sonore	47
7.1.1	Choix d'appareil de mesure	47
7.1.2	Protocole et réalisation des mesures	47
7.2	Mesures des fréquences associées au niveau d'intensité sonore	52
7.2.1	Choix d'appareil de mesure	52
7.2.2	Protocole et réalisation des mesures	52
7.3	Exploiter les résultats	61
7.3.1	Estimation sommaire du risque	61
7.3.2	Déterminer la durée d'exposition par tâche	61
7.3.3	Déterminer la dose journalière du bruit	62
7.3.4	Méthode des points d'exposition	63
7.3.5	Méthode d'exploitation de la calculette Excel NF ISO EN 9621	66
8.	Discussion des résultats	68
9.	Analyse des dispositifs de protection auditive disponible sur le marché	72
9.1.	Le choix du protecteur auditif	72
9.2.	Les différents types de protections auditives	73
9.2.1.	Les protecteurs auditifs passifs	73
9.2.2.	Les protecteurs munis de coquilles	73
9.2.3.	Les bouchons d'oreilles	73
9.2.4.	Les protecteurs auditifs passifs sur mesure munis de filtre acoustique	75
9.2.5.	Les protecteurs auditifs actifs ou à réduction active du bruit.....	75
10.	Exemple de réalisation d'une paire de protection auditive passive sur mesure avec filtre acoustique PasStop® O.S3	76
10.1.	L'empreinte	76
10.2.	Le scan	80
10.3.	La livraison	82
10.4.	Atténuation du filtre acoustique PasStop® O.S3	85
10.5.	Le retour d'expérience personnelle après 6 mois d'utilisation	88
10.6	Pourquoi les chirurgiens-dentistes portent-ils rarement des protections auditives ?	89
11.	Récapitulatif des bonnes habitudes à adopter par le chirurgien-dentiste pour se protéger de l'exposition au bruit	90
	Conclusion	92

Introduction

Selon une étude de l'INSERM (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale) publiée en 2022, 1 français sur 4 ayant entre 18 et 75 ans souffre de déficience auditive. Ce nombre ne cesse d'augmenter et l'exposition au bruit environnemental est reconnue comme la première cause des troubles de l'audition.

En France, l'exposition au bruit environnemental dans le milieu professionnel est bien réglementée par le Code du travail mais demeure une cause de déficience auditive non négligeable en raison d'un manque d'application stricte de la réglementation et de prévention par toutes les professions.

L'exposition professionnelle au bruit du Chirurgien-dentiste et le risque auditif encouru sont documentés et reconnus depuis les années 1960 avec l'apparition des premières turbines en 1953.

Néanmoins, selon une enquête de l'UFSBD (Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire) publiée en 2021, seulement 7% des chirurgiens-dentistes français interrogés déclarent avoir été sensibilisés sur le sujet et un cinquième d'entre eux porterait des protections auditives.

L'objectif de ce travail est donc de sensibiliser le chirurgien-dentiste au risque de déficience auditive auquel il s'expose et l'amener à une prise de conscience de la nécessité de se protéger du bruit pour préserver sa santé.

Dans un premier temps nous évoquerons quelques notions sur l'anatomophysiologie de l'oreille, le son et le bruit ainsi que son impact sur la santé et sa réglementation en milieu professionnel.

Puis, après identification des sources sonores présentes au cabinet dentaire, nous présenterons, interpréterons et discuterons des niveaux d'intensité sonore relevés dans la littérature scientifique et des résultats des mesures réalisées dans le cadre de ce travail.

Enfin, nous aborderons les différents dispositifs de protection auditive disponible sur le marché. Nous présenterons la réalisation d'un dispositif sur

mesure qui semble être bien adapté à la pratique du chirurgien-dentiste et aux contraintes de son exercice et exposerons un retour d'expérience sur son usage.

1. Anatomophysiologie de l'appareil auditif humain

La compréhension du système auditif humain et de son fonctionnement sont essentielles pour comprendre la manière dont nous percevons et interprétons les sons qui nous parviennent.

1.1. Anatomie du système auditif humain

L'oreille, organe de l'ouïe et de l'équilibre, est paire et symétrique. Elle se compose de 3 parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne (figure 1) (1).

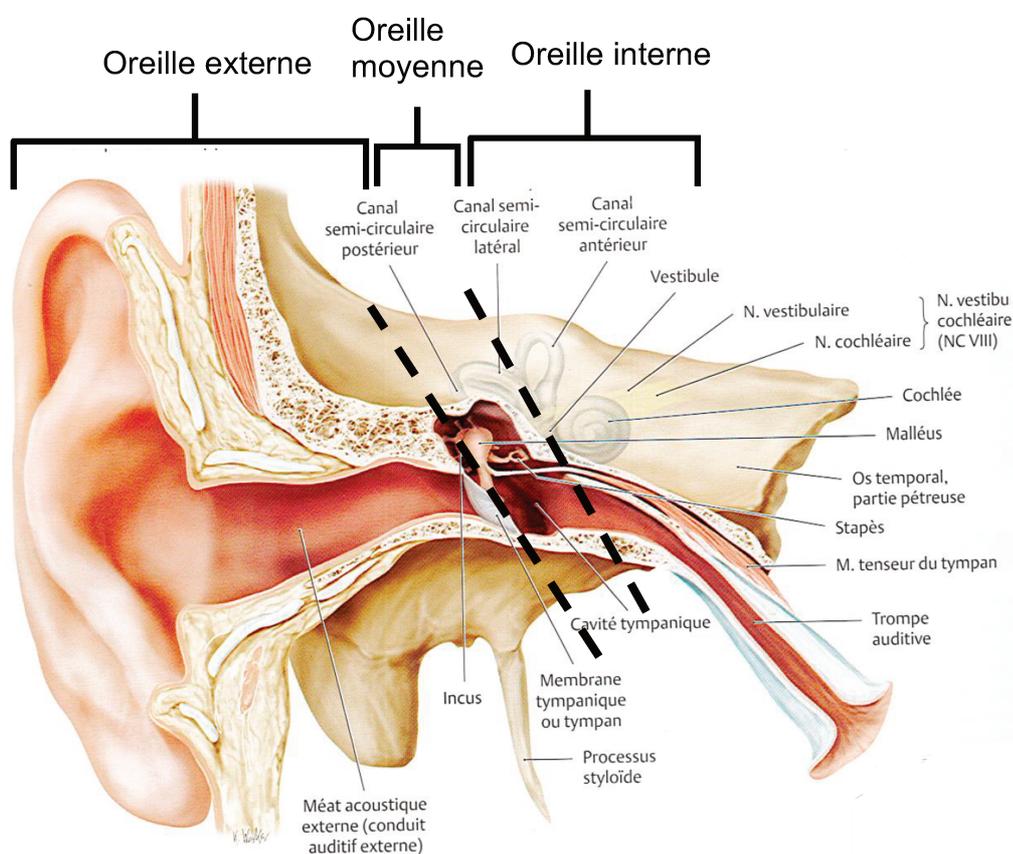


Figure 1 : Schéma de la structure de l'oreille (1)

1.2. L'oreille

1.2.1. L'oreille externe

L'oreille externe est constituée du pavillon auditif en dehors et du conduit auditif externe en dedans (1) (2) (3).

- Le pavillon auditif (figure 2) est constitué d'un cartilage de forme complexe et d'un lobe non cartilagineux recouverts de peau. Il concentre les sons vers le conduit auditif externe et les amplifie avant qu'ils n'atteignent le tympan.
- Le conduit auditif externe se termine par une membrane élastique : le tympan.

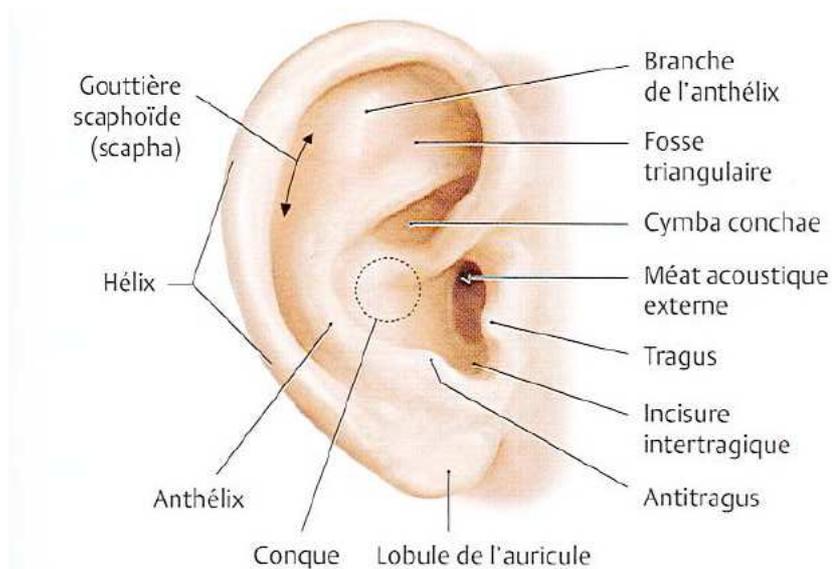


Figure 2 : Schéma du pavillon auditif de l'oreille externe en vue latérale droite (1)

1.2.2. L'oreille moyenne

L'oreille moyenne, également appelée « caisse du tympan » ou « système tympano-ossiculaire », est située entre le conduit auditif externe et l'oreille interne.

Il s'agit d'une cavité aérienne contenant une chaîne de 3 osselets disposés dans cet ordre : marteau (*malleus*), enclume (*incus*) et étrier (*stapes*) (figure 3). Ils relient la face interne du tympan (oreille externe) à la cochlée (oreille interne) (2).

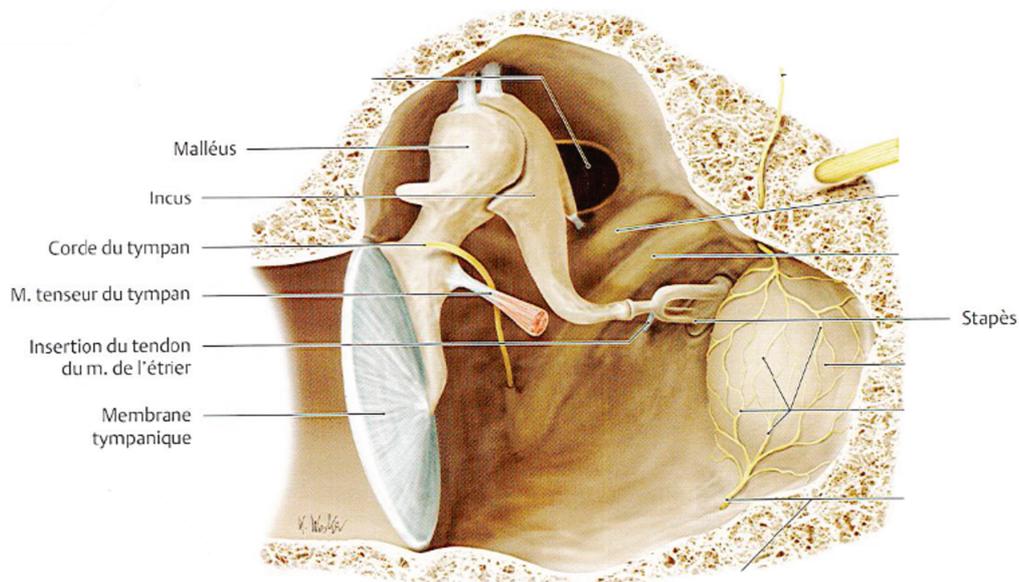


Figure 3 : Schéma de la membrane tympanique et de la chaîne ossiculaire de l'oreille moyenne (1)

Le marteau s'insère sur la membrane tympanique d'un côté et est soudé à l'enclume de l'autre. L'enclume est reliée à l'étrier qui s'appuie sur la membrane de la fenêtre ovale de la cochlée appartenant à l'oreille interne (figure 3).

Les osselets sont soutenus par des ligaments et assurent donc la transmission des mouvements du tympan (2) (3).

L'oreille moyenne assure la transmission des ondes sonores à l'oreille interne et la protection de l'oreille interne en cas d'exposition à un son intense par le réflexe stapédien. Le réflexe stapédien est une contraction involontaire du muscle stapédien (également appelé muscle de l'étrier) et du muscle tenseur du tympan qui provoque le dégagement de l'étrier de la fenêtre ovale. Cela empêche par conséquent la transmission à l'oreille interne de vibrations trop importantes (2).

L'oreille moyenne communique en avant avec le rhino-pharynx par la trompe d'Eustache. Cela permet d'équilibrer la pression de part et d'autre du tympan lors de fortes variations de pression atmosphérique (3).

1.2.3. L'oreille interne

L'oreille interne est située dans le rocher de l'os temporal et est isolée hermétiquement du milieu extérieur (figure 4).

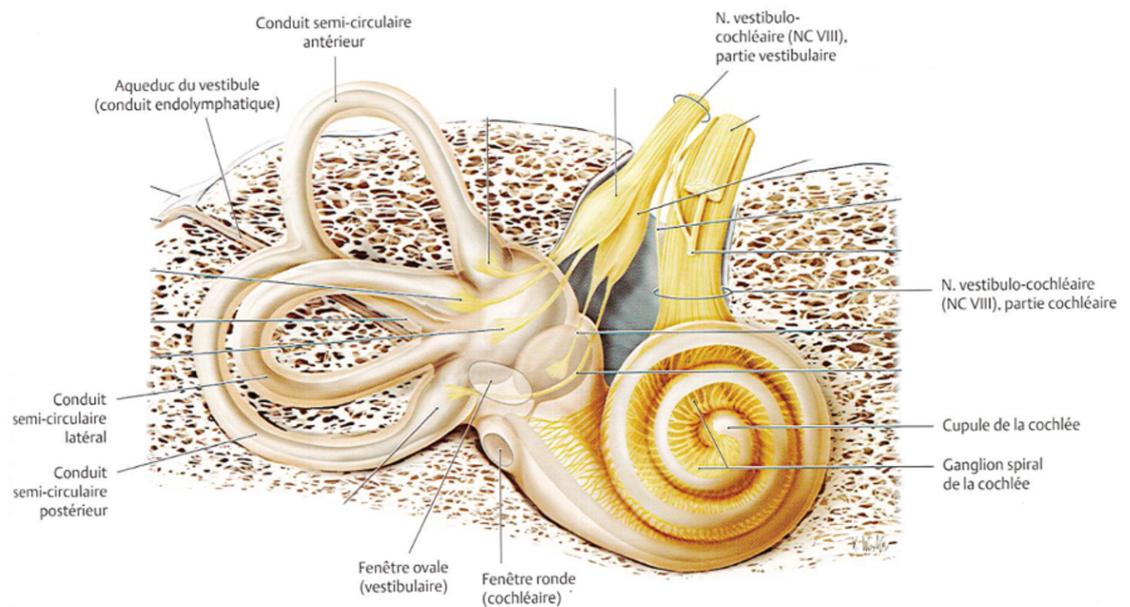


Figure 4 : Schéma des structures de l'oreille interne (1)

- L'oreille interne est composée de 2 parties bien distinctes (figure 4)
- Le vestibule et les canaux semi-circulaires (ayant la fonction d'équilibration)
 - La cochlée appelée « le limaçon », « le labyrinthe » ou « ganglion spiral de la cochlée » (ayant la fonction de l'audition).

Formée de deux tours et demi de spires, la cochlée présente en coupe transversale 3 parties appelées « rampes » ne communiquant pas entre-elles (figure 5) (3) :

- Une rampe latérale externe également appelée **canal cochléaire ou conduit cochléaire** qui contient un liquide appelé « endolymphe ».
- Une **rampe tympanique** qui communique avec la **fenêtre ronde** et contient un liquide appelé « périlymphe ». Elle est située au-dessus du canal cochléaire dont elle est séparée par la membrane de Reissner.
- Une **rampe vestibulaire** qui communique avec la **fenêtre ovale** et contient elle aussi, de la « périlymphe ». Elle est située au-dessous du canal cochléaire dont elle est séparée par la **membrane basilaire**. La membrane basilaire est tapissée de milliers de cellules nerveuses sensorielles auditives formant « **l'organe de Corti** ».

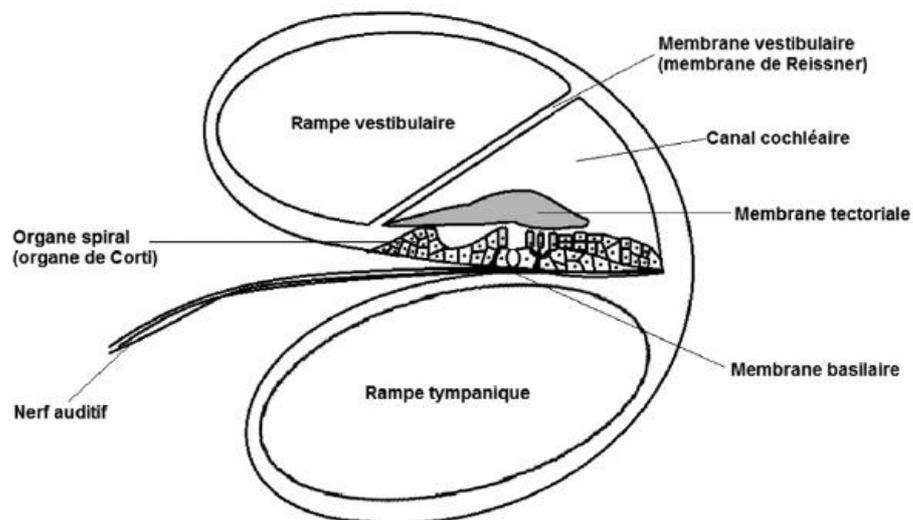


Figure 5 : Loges du canal cochléaire en coupe transversale (3)

L'audition est la conséquence de variations hydrodynamiques de la pression dans la cochlée.

« L'organe de Corti » comprend environ 10 000 cellules ciliées externes (CCE) réparties sur 3 rangées dont le rôle est d'amplifier les vibrations et 3 500 cellules ciliées internes (CCI) réparties sur 1 rangée dont le rôle est de faire converger l'information vers le nerf auditif (figure 6) (3) (4).

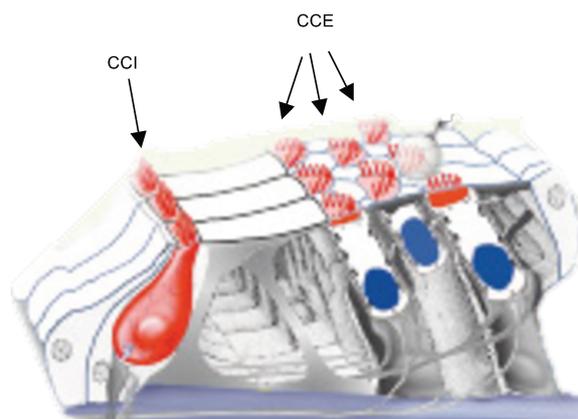


Figure 6 : Épithélium sensoriel auditif (organe de Corti) (4)

Chaque cellule nerveuse dispose d'un pôle apical pourvu de stéréocils qui baignent dans l'endolymphe du canal cochléaire et un pôle basal en contact avec des dendrites et des terminaisons axonales des fibres des neurones.

De chaque cellule part une fibre nerveuse (neurone en T) auditive. L'ensemble de ces fibres nerveuses forment à la sortie de la cochlée le nerf cochléaire.

1.3. Les voies nerveuses de l'audition

Le nerf cochléaire et le nerf vestibulaire (provenant de l'organe de l'équilibration) forment ensemble le nerf vestibulo-cochléaire, VIII^{ème} paire de nerf crânien (3).

1.4. La physiologie de l'appareil auditif humain

Les sons peuvent parvenir à l'oreille interne par conduction osseuse (par les os du crâne) ou par la voie aérienne. La voie aérienne est concernée et affectée lors d'expositions prolongées et répétées au bruit. Ainsi, seule celle-ci sera décrite puisque c'est celle qui nous intéresse dans la suite de ce travail (3).

1.4.1. Le rôle de l'oreille externe

Le pavillon auditif concentre les vibrations acoustiques vers le conduit auditif externe. Le son est amplifié par effet de résonance dans le pavillon et le conduit auditif externe. Les vibrations acoustiques viennent « frapper » le tympan qui se met à vibrer (2).

1.4.2. Le rôle de l'oreille moyenne

Le rôle de l'oreille moyenne est de transmettre l'information de l'onde sonore d'un milieu aérien à un milieu liquide (oreille interne).

L'oscillation du tympan entraîne la chaîne ossiculaire de l'oreille moyenne qui se met elle aussi en mouvement.

Le marteau accolé à la membrane du tympan met en mouvement l'enclume qui elle-même met en mouvement l'étrier. L'étrier transmet alors sa vibration à la fenêtre ovale de la cochlée (2) (3).

1.4.3. Le rôle de l'oreille interne

La vibration de la fenêtre ovale provoque des mouvements liquidiens de la périlymphe et de l'endolymphe de la cochlée. L'endolymphe du canal cochléaire stimule les stéréocils situés au pôle apical des cellules ciliées sensibles de l'organe de Corti.

Cette stimulation des stéréocils engendre une modification du potentiel de repos de la cellule ciliée : c'est la dépolarisation membranaire.

Il s'en suit une libération de neuromédiateurs au pôle basal des cellules ciliées auditives dans l'espace synaptique se fixant sur les dendrites des neurones en T du nerf cochléaire.

Cela provoque des phénomènes électriques (propagation de potentiels d'action des dendrites) jusqu'aux terminaisons axonales au niveau du tronc cérébral puis jusqu'au cortex auditif situé dans le lobe temporal.

Le cortex auditif effectue alors le traitement des informations nerveuses issues des deux cochlées (2).

Après avoir décrit l'organe de l'ouïe, intéressons-nous à son rôle : la perception des sons.

2. Le Son

2.1. Définition d'une onde sonore

Une onde sonore est une déformation d'un milieu matériel qui se propage à une certaine vitesse en transportant de l'énergie fournie par une source sonore extérieure au milieu de propagation.

Les ondes sonores se déplacent grâce aux vibrations des molécules du milieu par une série de « compression-raréactions » des molécules. La pression normale de l'air est successivement augmentée et diminuée (3) (5).

2.2. Caractéristique du son

Le son correspond à une sensation auditive engendrée par une onde sonore

Il est caractérisé par :

→ **Sa fréquence** en Hertz (Hz) (hauteur tonale) ;

La fréquence f d'un son correspond au nombre de vibrations des molécules (cycles de « compression-raréaction ») émises en une seconde. Par exemple, si 500 cycles sont répétés en une seconde, la fréquence est de 500 Hz.

Plus le nombre de vibrations émises par seconde est haut, plus la fréquence est haute et inversement, plus le nombre de vibrations par seconde est bas, plus la fréquence est basse (3).

La fréquence se détermine par la formule suivante :

$$f = 1 / T$$

T = période exprimée en secondes (s) = temps pris par une particule du milieu pour faire une oscillation complète autour de sa position d'équilibre.

→ **Son intensité ou amplitude ;**

L'intensité sonore dépend de l'amplitude de la vibration. Plus l'amplitude est importante, plus le son est fort, plus l'amplitude est faible, plus le son est faible (5).

Par exemple, sur la figure 7, l'onde de gauche et l'onde du milieu ont la même amplitude donc la même intensité sonore mais une période T différente donc une fréquence différente. Tandis que l'onde du milieu et l'onde de droite ont, la même période T donc la même fréquence mais pas la même amplitude donc pas la même intensité sonore (3).

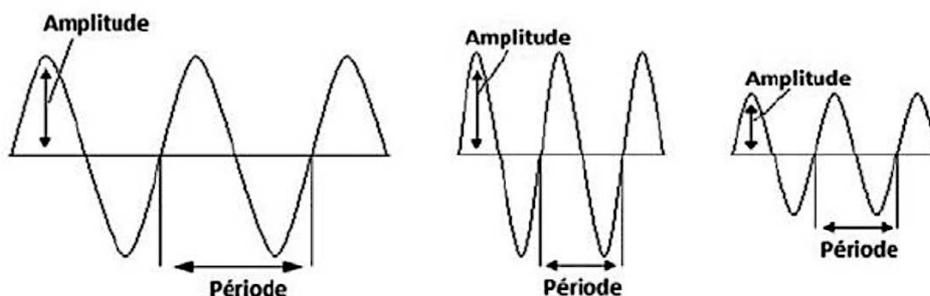


Figure 7 : Exemple de représentation d'onde sonore d'amplitudes et de périodes différentes (3)

→ **L'intensité sonore I en Watt par mètre carré ($W.m^{-2}$) ;**

Elle est définie comme l'énergie sonore traversant une surface unitaire par seconde, c'est à dire la puissance moyenne (P) par surface unitaire (S).

$$I = P / S$$

→ **Le niveau d'intensité sonore L en Décibel (dB) ;**

L'intensité sonore est plus couramment retranscrite par le niveau d'intensité en dB. Il permet d'utiliser une échelle de grandeur plus simple et plus significative.

Le niveau d'intensité sonore en dB est défini par la formule suivante :

$$L = 10\log(I / I_0)$$

Où :

- I_0 est une constante qui correspond à l'intensité sonore de référence ;
- L est le niveau d'intensité sonore en dB ;
- I est l'intensité sonore en $W.m^{-2}$.

La relation entre l'intensité sonore et le niveau sonore est régie par une loi logarithmique. Les Décibels ne s'additionnent pas arithmétiquement, donc si on double l'intensité sonore, le niveau d'intensité sonore n'est pas doublé.

Doubler l'intensité sonore revient à augmenter le niveau sonore de 3 dB. Par exemple, deux machines générant chacune un niveau sonore de 90 dB produisent ensemble un niveau sonore de 93 dB.

Lors de la réalisation des mesures de niveaux d'intensité sonore, des filtres de pondération sont utilisés pour se rapprocher de la réponse auditive de l'oreille humaine (5).

- Le filtre de pondération A est le plus couramment utilisé. Les résultats s'expriment dans ce cas en Décibel A dB(A).
- Le filtre de pondération C est plus adapté lorsque le niveau d'intensité sonore augmente, l'oreille humaine devient alors plus sensible aux basses fréquences et sa réponse auditive est modifiée. Ce filtre est utilisé pour mesurer des bruits impulsifs ou pour exprimer le maximum d'intensité sonore relevé appelé « niveau de crête ». Les résultats s'expriment en Décibel C dB(C).

→ **Sa durée** t en secondes (s) précise le temps d'émission du son ;

→ **Sa composition**

Il existe des sons purs représentés par une onde sinusoïdale simple et composés d'une seule fréquence (figure 8).

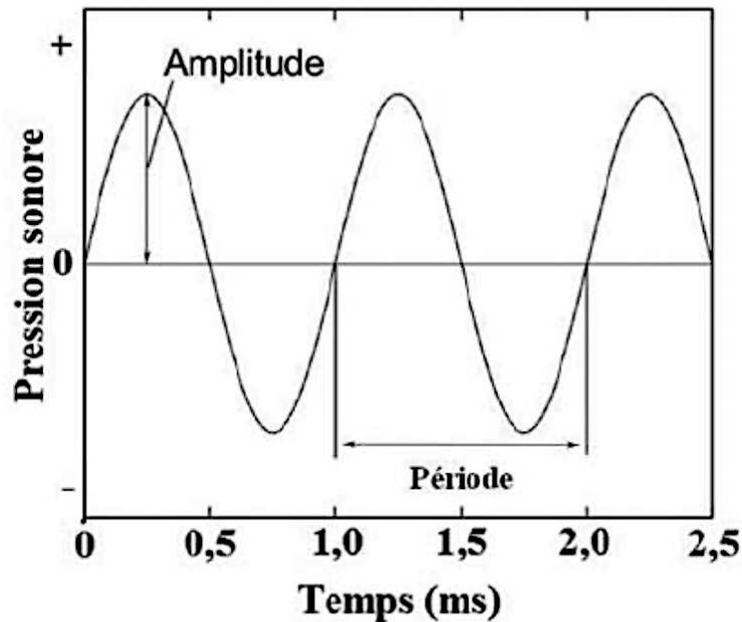


Figure 8 : Illustration d'une onde sinusoïdale simple pour un son pur de 1 000 Hz (3)

Il existe des **sons complexes** qui résultent de la superposition de deux ou plusieurs ondes de fréquences différentes.

Les sons complexes sont :

→ Soit **apériodiques** lorsque le son est composé de différentes fréquences appelées « des partiels inharmoniques » qui ne sont pas des multiples de la fréquence la plus basse appelée fréquence fondamentale.

→ Soit **périodiques** lorsque toutes les fréquences appelées « des partiels harmoniques » qui le composent sont des multiples entiers de la fréquence la plus basse appelée fréquence fondamentale. On parle de

Deux sons peuvent avoir la même fréquence fondamentale et la même intensité mais pas les mêmes partiels. C'est ce qui fait la complexité du son.

Attardons nous maintenant sur la perception auditive humaine.

2.3. Perceptions auditives

Les fréquences comprises entre 20 et 20 kHz correspondent au domaine des sons audibles perçue par l'oreille humaine (5) :

- Entre **20 Hz et 200 Hz** (basses fréquences), le son est **grave** ;
- Entre **200 Hz et 2000 Hz**, le son est **médium** ;
- Entre **2 000 Hz et 20 kHz** (hautes fréquences), le son est **aigu**.

On parle d'infrasons pour les fréquences < 20 Hz et d'ultrasons pour les fréquences > 20 KHz (figure 9).

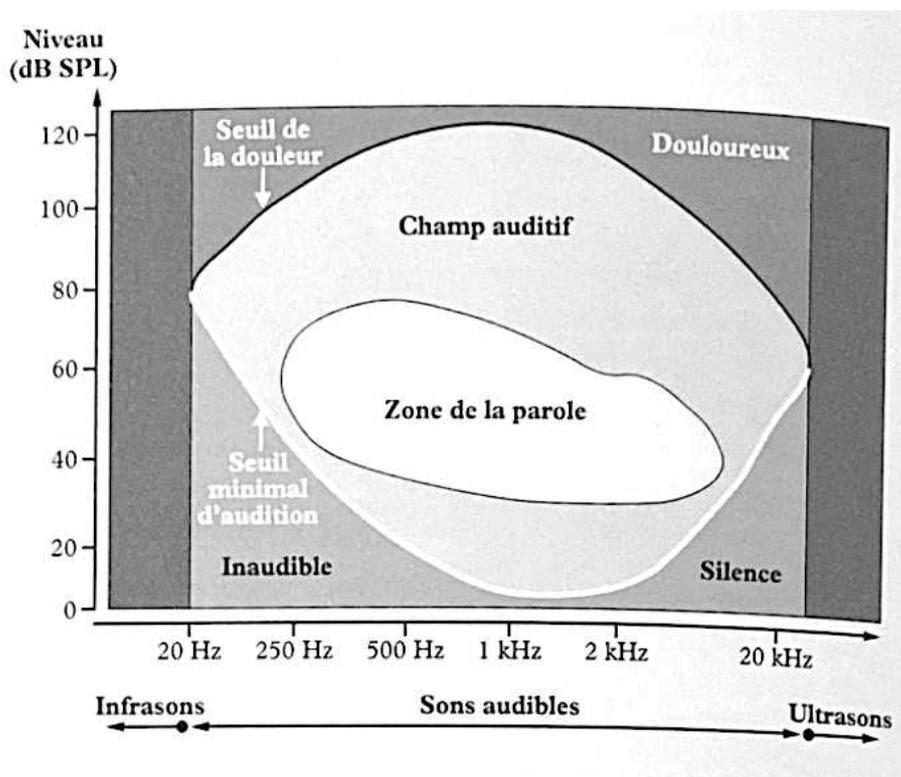


Figure 9 : Diagramme de Wegel (5)

L'oreille humaine perçoit des sons dont les intensités sont comprises entre 0 et 120 dB (seuil de la douleur).

Vers les extrémités de la gamme fréquentielle, le seuil de détection est plus élevé, c'est à dire que pour être entendu un son de 20 Hz doit avoir un niveau d'intensité sonore plus fort qu'un son de 1 000 Hz (figure 9).

Le champ auditif correspond à l'ensemble des domaines pour lesquels les ondes sonores remplissent les conditions de fréquence et de pression s'appliquant à une audition normale.

La zone de perception optimale de l'oreille coïncide avec celle de la parole appelée zone de la parole ou zone conversationnelle (figure 9) (5).

Il existe des caractéristiques subjectives dépendant de la fréquence, l'amplitude, la composition et de la variabilité individuelle de la perception auditive humaine :

- la tonie : sensation que le son est grave ou aigu ;
- la sonie : sensation que le son est fort ou faible ;
- le timbre : sensation auditive qui dépend de la composition fréquentielle de chaque son (3).

Ainsi, l'oreille humaine peut percevoir un grand nombre de sons qui lorsqu'ils sont superposés et multipliés sont perçus comme du bruit.

3. Le bruit

3.1. Définition du bruit

Au sens physique, le bruit est une superposition d'un grand nombre de sons complexes d'intensités sonores et de fréquences différentes.

Au sens courant, le bruit est défini comme un son irrégulier, désorganisé, intense, déplaisant ou dérangeant (5).

3.2. Les conséquences de l'exposition au bruit pour l'audition

L'exposition à un bruit intense entraîne tout d'abord, **une fatigue auditive** et un **déplacement du seuil de l'audition** (défini comme le niveau sonore, en Décibel, au-dessous duquel l'oreille humaine ne perçoit aucun son).

Le seuil de l'audition diminue durant une période plus ou moins longue puis revient à la normale. On parle **d'élévation temporaire du seuil de l'audition** (6).

L'exposition au bruit est plus dangereuse pour l'oreille interne si elle est :

- intense (mesure de l'intensité en dB) ;
- longue (mesure de la durée en seconde) ;
- aigue (mesure de la fréquence en Hertz Hz) ;
- impulsionnelle (bruit par à-coups) ou régulière (5).

Si l'exposition au bruit se poursuit sans dispositif de protection auditive (casque, bouchon d'oreille...), **la perte d'audition devient irréversible**.

En effet, lors d'une exposition régulière aux bruits intenses, les stéréocils, portés par les cellules ciliées de la cochlée, sont soumis à des mouvements liquidiens plus violents et plus fréquents. Ils sont arrachés ou cassés et deviennent non fonctionnels. La cellule ciliée ne peut donc plus assurer son rôle de transduction du signal acoustique en signal électrique.

La destruction des stéréocils est **irréversible** et provoque **une surdité par déficience périphérique cochléaire** dite de **perception** ou **neurosensorielle** (2) (7).

Il est possible d'évaluer quantitativement la déficience auditive par la réalisation d'examens.

3.3. Évaluer quantitativement la perte auditive due à l'exposition au bruit

L'audiométrie tonale est le premier test qui détecte quantitativement la perte auditive. L'examen se déroule dans une cabine insonorisée (figure 10) (6).



Figure 10 : Cabine insonorisée d'examen audiométrique du service ORL Jacques Monod au Havre (iconographie personnelle)

Durant l'examen, l'opérateur est placé derrière une fenêtre transparente. Il transmet au patient dans un casque audio, des sons d'intensité sonore et de fréquence (comprise entre 0 et 8 000 Hz) différentes. Le patient appuie sur un bouton dès qu'il perçoit un son. L'audition des oreilles (gauche et droite) est testée indépendamment.

Pour chaque fréquence, l'opérateur transmet d'abord un son de forte intensité sonore, puis il réduit l'intensité par paliers de 5 dB jusqu'à ce que le signal devienne inaudible pour le patient.

Les résultats sont inscrits dans un graphique sur l'audiomètre pour chaque oreille testée (figure 11).



Figure 11 : Audiomètre du service ORL Jacques Monod au Havre (iconographie personnelle)

Par convention, les résultats de l'oreille gauche sont souvent représentés en rouge et ceux de l'oreille droite en bleu.

L'axe des abscisses correspond aux fréquences testées. L'axe des ordonnées correspond au seuil auditif en dB. Chez une personne ayant une **audition normale**, les résultats doivent être compris **entre 0 et 20 dB** (6).

La figure 12 présente deux courbes de résultats d'examen d'audiométrie typique de perte auditive consécutive à des expositions sonores répétées avec une atteinte plus importante pour la courbe en pointillée.

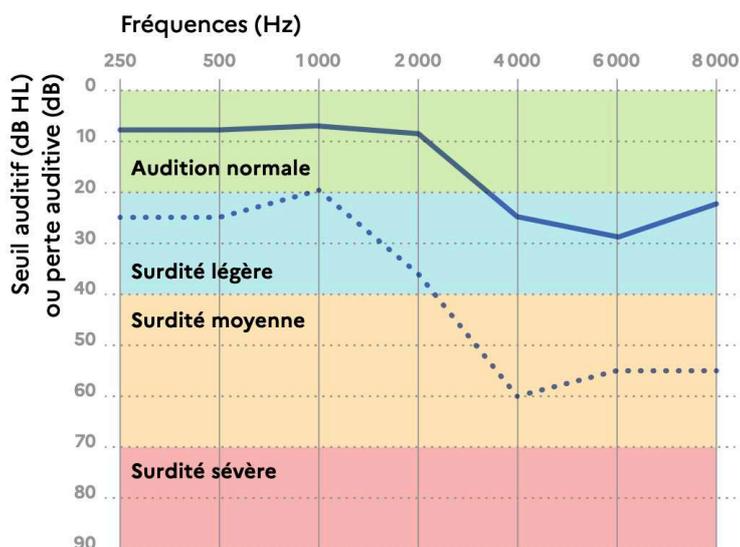


Figure 12 : Exemple de résultats d'audiogramme réalisé chez un sujet atteint de perte auditive due à une exposition répétée au bruit (8)

Le déficit auditif lié à l'exposition au bruit commence par toucher les hautes fréquences (situées entre 4000 et 6 000 Hz). On observe souvent une remontée du seuil de l'audition vers 8 000 Hz.

Puis, le déficit auditif augmente avec le temps et la répétition de l'exposition sonore. La gamme de fréquence touchée s'élargit vers les hautes et les basses fréquences de la zone conversationnelle. La compréhension de la parole et la communication sont affectées.

Outre le risque auditif, l'exposition au bruit a des conséquences sur l'état général de santé.

3.4. Les conséquences du bruit sur la santé

De nombreuses études ont montré une corrélation positive entre une exposition prolongée et régulière au bruit intense et les symptômes suivants (9) (10) :

- Fatigue et trouble du sommeil,
- Maux de tête, acouphènes
- Troubles de la vision (11),
- Anxiété, nervosité, stress (augmentation de la production d'hormones liées au stress : les catécholamines et les glucocorticoïdes),
- Modification des réponses cognitives et motrices : diminution de la concentration et de la vigilance (multiplication du nombre d'erreur), ainsi que de la capacité de mémorisation et d'apprentissage (12) (13),
- Action sur le système cardiovasculaire (augmente la pression artérielle et la fréquence cardiaque, augmentation du risque d'AVC et d'infarctus du myocarde) (14),
- Action sur le système digestif (nausées, vomissements, ulcère gastro-duodénaux ou encore constipation),

→ Action sur le métabolisme (augmentation de la mobilisation du glucose et de la libération d'acide gras libre ayant pour conséquence une prise de poids et le risque de développer un diabète de type II),

→ Trouble du rythme respiratoire

Ainsi, les effets du bruit sur la santé ne sont pas négligeables et peuvent être lourds de conséquences. Mais qu'en est-il de la réglementation du travail en matière d'exposition au bruit ?

3.5. Réglementations en matière d'exposition au bruit au travail

Le seuil de danger au-delà duquel des dommages peuvent survenir est estimé à **85 dB(A)**. Cette valeur étant le niveau moyen sur une journée de travail de huit heures à ne pas dépasser. **Mais, à partir d'un niveau sonore moyen de 80 dB(A) sur huit heures, on peut considérer le niveau d'exposition préoccupant (15).**

Il existe des **valeurs réglementaires supérieures et inférieures d'exposition** à partir desquelles des actions de prévention sont requises appelées « **seuils d'action** ». Elles ne prennent pas en compte l'atténuation liée au port de protections auditives (casque anti-bruit, bouchons...).

Elles reposent sur 2 paramètres physiques :

- **Le niveau d'exposition quotidienne au bruit** $L_{Ex, 8H}$ en dB(A). C'est la dose journalière de bruit reçu sur une journée de 8 heures de travail.
- **Le niveau de pression acoustique de crête** $L_{pC, peak}$ en dB(C). C'est le niveau maximal instantané du bruit mesuré.

La **valeur limite d'exposition (VLE)** au bruit est une valeur réglementaire d'exposition à ne dépasser en aucun cas. Elle prend en compte l'atténuation liée au port de protections auditives.

Ces valeurs sont définies dans les directives Européenne fixées par le parlement Européen et reprises dans le **Code du Travail** dans l'**article R4431-2** par la création d'un décret le 7 mars 2008 (tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs limites d'exposition et valeurs d'exposition déclenchant une action de prévention reprise dans le Code du Travail (16)

VALEURS D'EXPOSITION	NIVEAU D'EXPOSITION
1° Valeurs limites d'exposition	Niveau d'exposition quotidienne au bruit de 87 dB (A) ou niveau de pression acoustique de crête de 140 dB (C)
2° Valeurs d'exposition supérieures déclenchant l'action de prévention prévue à l'article R. 4434-3, au 2° de l'article R. 4434-7, et à l'article R. 4435-1	Niveau d'exposition quotidienne au bruit de 85 dB (A) ou niveau de pression acoustique de crête de 137 dB (C)
3° Valeurs d'exposition inférieures déclenchant l'action de prévention prévue au 1° de l'article R. 4434-7 et aux articles R. 4435-2 et R. 4436-1	Niveau d'exposition quotidienne au bruit de 80 dB (A) ou niveau de pression acoustique de crête de 135 dB (C)

La durée d'exposition maximale journalière au bruit à respecter est réduite de moitié chaque fois que le niveau de bruit augmente de 3 dB(A) (tableau 2).

Tableau 2 : Correspondance entre le niveau du bruit et la durée maximale d'exposition afin de respecter la valeur d'exposition inférieure définie par la réglementation et en l'absence de toute autre exposition au bruit en dehors de la durée spécifiée (17)

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

Si l'exposition au bruit dépasse les valeurs d'exposition réglementaires, le Code du travail prévoit la réalisation d'un examen d'audiométrie afin de diagnostiquer précocement toute perte auditive due au bruit et préserver la fonction auditive.

Cet examen peut être réalisé à la demande du travailleur exposé ou du médecin du travail. Il constitue également un examen de référence et de comparaison.

Le médecin du travail peut ensuite prescrire une surveillance audiométrique régulière et instaurer un suivi médical en fonction de l'exercice du travailleur et des résultats de l'examen audiométrique de référence.

La réglementation concernant l'exposition au bruit est bien définie dans le Code du Travail. Nous allons nous intéresser à présent aux conséquences de l'exposition professionnelle au bruit sur le chirurgien-dentiste.

4. Conséquences de l'exposition au bruit sur le chirurgien-dentiste

4.1 Impact et ressenti du chirurgien-dentiste de l'exposition au bruit

Une enquête sur les nuisances sonores au cabinet publiée en 2021 par l'UFSBD (Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire), a interrogé via un questionnaire 1 298 chirurgiens-dentistes, diplômés de plusieurs facultés françaises exerçant dans toutes les régions de France, et âgés en moyenne de 42 ans (+ /- 12,4 ans) (18).

→ Pour **66%** d'entre eux, le bruit est source d'**inconfort**, de **fatigue auditive et corporelle** et **perturbe la pratique clinique**.

→ Pour **50%** d'entre eux le bruit **gêne la communication** avec le patient et avec les membres de l'équipe (assistante, secrétaire...).

- **67%** ressentent la **nécessité d'observer des temps « de repos sonore »** entre les patients, le midi et le soir, les jours travaillés. Lors de leurs jours de repos ils préfèrent pratiquer des activités calmes (lecture, méditation, promenades dans la nature)
- **6,7%** ont même **envisager de changer de profession** en raison des nuisances sonores.

Les sources sonores identifiées comme les plus dérangeantes sont liées à l'utilisation :

- **De l'aspiration** (Elle dérange **85%** des dentistes interrogés)
- **Des ultrasons** (Ils dérangent **60%** des dentistes interrogés)
- **De la turbine** (Elle dérange **45%** des dentistes interrogés)

Ces éléments sont repris dans d'autres études récentes et résumés dans le tableau 3 (19) (20) (21).

Tableau 3 : Impacts ressentis par les chirurgiens-dentistes de l'exposition au bruit à court et long terme (19) (20) (21)

Impacts à court terme	Impacts à long terme
<ul style="list-style-type: none"> ○ Fatigue ○ Impression d'être souvent interrompu ○ Maux de tête ○ Nausées ○ Acouphènes ○ Stress ○ Nervosité ○ Énervement ○ Manque de concentration ○ Difficulté à communiquer avec le patient et l'assistante 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sensibilité accrue au bruit ○ Difficultés de concentration et de mémorisation ○ Mauvaise qualité de sommeil

4.2 Conséquences sur l'audition du chirurgien-dentiste

Dans l'étude de l'UFSBD, **9,2%** des dentistes ont ressenti une **diminution de leur audition** au cours de leurs **études** de chirurgie-dentaire et **54,5%** depuis leur **installation**. Seulement 14,3% ont réalisé un audiogramme au cours des deux dernières années (18).

Les chirurgiens-dentistes affectés par une perte auditive présentent souvent des résultats d'examen d'audiométrie tonale caractéristiques d'une exposition régulière au bruit intense.

Dans l'étude de Shetty et *al.* publiée en 2020, un audiogramme a été réalisé sur 60 chirurgiens-dentistes en Inde âgés de 23 à 60 ans et ayant une expérience professionnelle supérieure à 5 ans (22).

Un décalage du seuil d'audition a été observé :

- autour de **4 000 Hz** pour le groupe des chirurgiens-dentistes ayant entre **11 à 15 ans** d'expérience professionnelle,
- autour de **4000 et 6 000 Hz** pour les dentistes ayant entre **21 à 25 ans** d'expérience professionnelle.

On constatait généralement une remontée caractéristique du seuil de l'audition autour de 8 000 Hz sauf pour les dentistes âgés de plus de 50 ans qui présentaient généralement un décalage du seuil d'audition entre 6 000 et 8 000 Hz.

Ce décalage est dû à la presbyacousie définie comme une perte d'audition liée au vieillissement normal de l'oreille à partir de 50 ans.

L'audiogramme (figure 13) issu de l'étude de Shetty et *al*, présente un exemple de résultat d'examen d'audiométrie tonale réalisé chez un chirurgien-dentiste atteint de surdité de perception due à l'exposition au bruit (22).

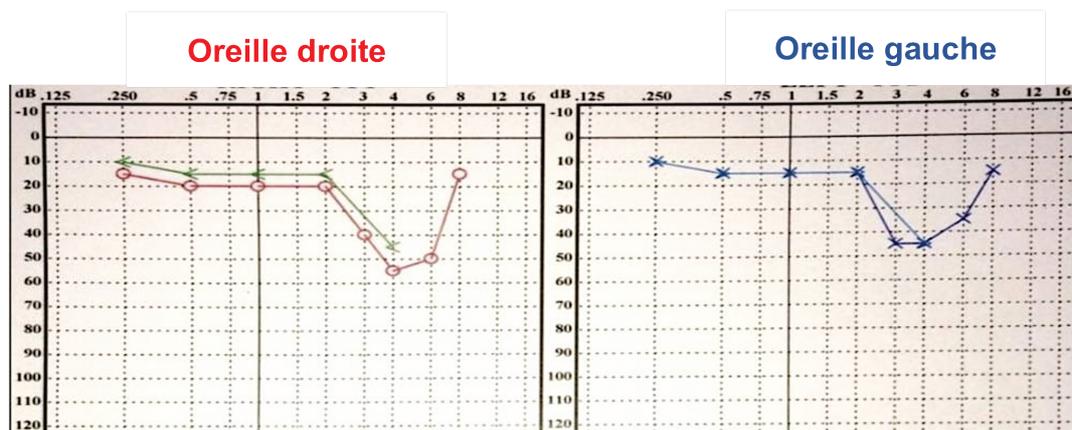


Figure 13 : Audiométrie tonale d'un chirurgien-dentiste atteint de surdité de perception ou neurosensorielle (22)

On observe sur cet audiogramme une chute du seuil de l'audition à partir de 2 000 Hz (maximale autour de 4 000 Hz) puis, une remontée progressive du seuil de l'audition jusque 8 000 Hz. L'atteinte auditive est bilatérale et plutôt symétrique.

La perte auditive est plus significative pour l'oreille droite que pour l'oreille gauche. Le praticien est probablement gaucher.

En effet, la perte auditive est souvent plus importante au niveau de l'oreille gauche pour un dentiste droitier et inversement, la perte auditive est plus importante au niveau de l'oreille droite pour un dentiste gaucher (23).

L'étude de Gonçalves et *al*. présente également des résultats en accord avec l'étude précédente. Un examen d'audiométrie tonale a été réalisé sur 40 témoins et 40 chirurgiens-dentistes Brésiliens. Les témoins ne présentaient pas d'antécédents d'exposition professionnelle au bruit. Les chirurgiens-dentistes étaient âgés de 23 à 61 ans et avaient en moyenne 16 ans d'expérience professionnelle (entre 1 et 39 années d'expérience professionnelle). Le groupe contrôle et le groupe témoin comprenaient des sujets de mêmes âges et de mêmes sexes.

Les seuils d'audition étaient significativement plus élevés chez les chirurgiens-dentistes que chez le groupe témoin notamment pour les fréquences **1 000, 4000, 6 000 et 8 000 Hz**.

De plus, les chirurgiens-dentistes qui travaillaient depuis plus de 10 ans avaient des seuils d'audition considérablement plus élevés dans les hautes fréquences (entre 2 000 et 16 000 Hz) que les chirurgiens-dentistes qui exerçaient depuis moins de 10 ans (23).

5. Carence en prévention des chirurgiens-dentistes aux risques auditifs

En France, dans l'enquête menée par l'UFSBD, **7% des chirurgiens-dentistes déclarent ne pas avoir reçu de message de prévention** au cours de leur cursus universitaire initial, dans plusieurs facultés françaises, ou après leur installation. Seulement un cinquième des praticiens portent des protections auditives.

Lors de son cursus, l'étudiant en Odontologie est exposé au bruit dès les premiers travaux pratiques pré-cliniques en salle de simulation ou au laboratoire de prothèse.

L'utilisation simultanée d'instruments rotatifs avec aspiration ou d'outils multi-usage type **Dremel®** expose les étudiants en Odontologie à des niveaux d'intensité sonore très élevés. Par exemple, actuellement à la Faculté de Chirurgie-Dentaire de Lille les groupes de travail sont constitués de 20 à 40 étudiants.

Outre le risque auditif, l'apprentissage dans des conditions de travail bruyantes ne favorise pas la concentration, la mémorisation et engendre un stress important (12).

Un niveau sonore inférieur ou égal à 55 dB(A) au maximum est acceptable pour un travail nécessitant une certaine attention.

Rappelons également que l'exposition au bruit modifie les réponses cognitives et motrices (13). Or le métier de chirurgien-dentiste est très minutieux et nécessite beaucoup de concentration.

On retrouve des données similaires dans des études réalisées dans d'autres pays. Par exemple, dans l'étude de Gonçalves et *al.*, 81% des dentistes interrogés au Brésil n'ont pas reçu d'information concernant les risques liés à l'exposition professionnelle au bruit durant leur formation universitaire. 51% des dentistes interrogés ont connaissance des effets du bruit sur la santé. Seulement deux d'entre eux portent des protections auditives (23).

Il y a une carence préventive vis-à-vis des dangers de l'exposition au bruit des chirurgiens-dentistes et de leurs conséquences sur l'audition.

Il apparaît maintenant opportun d'identifier précisément les multiples sources sonores auxquelles le chirurgien-dentiste est exposé au quotidien au cabinet dentaire et d'en résumer les données disponibles concernant leurs niveaux d'intensité sonore.

6. Identification des sources sonores au cabinet

6.1. Les sources sonores liées à l'activité de soins

6.1.1 Les ultrasons

Les ultrasons sont utilisés au cours de détartrage mais aussi au cours de procédures endodontiques ou d'étapes prothétiques.

Ils agissent par phénomène de cavitation et fonctionnent donc avec de l'eau. L'utilisation concomitante de l'aspiration est nécessaire.

Les ultrasons émettent des fréquences supérieures à 20 KHz. Les pièces à mains à ultrasons peuvent être directement raccordées « à l'unit dentaire » ou à un détartréur sur table (figure 14).



Figure 14 : détartreur sur table Newton P5 de la marque Acteon® (24)

Une synthèse des données relevées dans la littérature a été faite en reprenant les données les plus récentes (relevées après 2010) et est présentée dans le tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une pièce à main à ultrasons neuve et usée fonctionnant seule et avec l'aspiration chirurgicale (25) (26) (27)

	Niveau sonore en dB(A) d'une pièce à main à ultrason usée	Niveau sonore en dB(A) d'une pièce à main à ultrason neuve
Pièce à main à ultrasons fonctionnant seule	Entre 76 et 85	Entre 72 et 76
Pièce à main à ultrasons + aspiration	Entre 82 et 86	Entre 70 et 82

Les ultrasons sont également utilisés pour la décontamination des instruments dans des cuves à ultrasons (figure 15) dans la salle de stérilisation.



Figure 15 : Photographie d'une cuve à ultrasons (iconographie personnelle)

6.1.2 La turbine

La turbine dentaire est un instrument rotatif qui fonctionne par air comprimé entraînant des fraises à haute vitesse.

Une synthèse des données relevées dans la littérature a été faite en reprenant les données les plus récentes (relevées après 2010) et figure dans le tableau 5.

Tableau 5 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une turbine neuve et d'une turbine usée (25) (26) (27)

	Niveau sonore en dB(A) d'une turbine usée	Niveau sonore en dB(A) d'une turbine neuve
Turbine tournant à vide	Entre 66 et 77	Entre 64 et 69
Turbine travaillant sur la dent	Entre 75 et 86	Entre 70 et 76
Turbine travaillant sur de la résine composite	Entre 74 et 81	Entre 73 et 80
Turbine travaillant sur amalgame	Entre 77 et 80	Entre 70 et 77
Turbine + aspiration chirurgicale	Entre 86 et 92	

Les niveaux sonores relevés dans la littérature varient. On peut l'expliquer par la différence entre les modèles, l'entretien, l'usure, des turbines utilisées et les conditions de réalisation des mesures ainsi que la méthode de traitement des données relevées.

Par exemple, les premiers modèles de turbine émettaient des niveaux d'intensité sonore plus élevés (environ 100 dB(A)) que les modèles actuellement utilisés (27).

De plus, une turbine « usée » dont la durée d'utilisation est supérieure à une turbine neuve, émet des niveaux d'intensité sonore plus élevés qu'une turbine neuve (figure 16) (25).

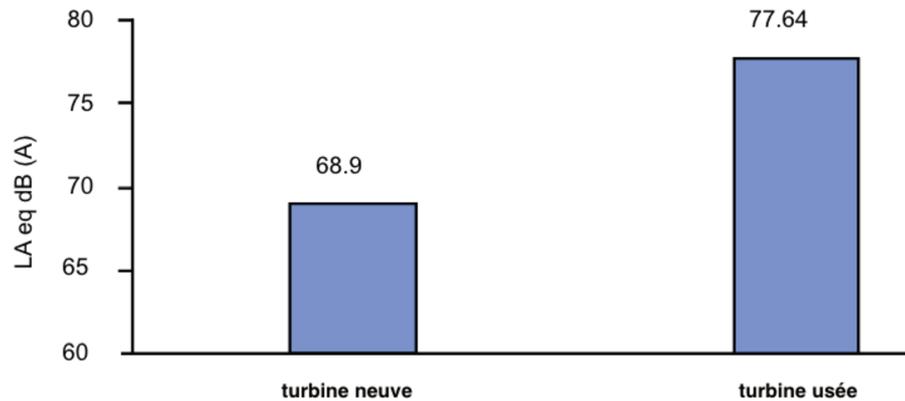


Figure 16 : Comparaison des niveaux de bruit moyens des turbines dentaires neuves et usées (25)

6.1.3 Les contre-angles

Les contre-angles sont raccordés à un micromoteur électrique et proposent différentes vitesses de rotation.

Il existe différents types de contre-angles bague verte (réducteur), bague bleue (transmission directe) et bague rouge (amplificateur) utilisés en fonction du travail à effectuer.

Dans la littérature, la distinction entre les différents types n'est pas souvent faite lors de l'estimation des niveaux sonores.

Les contre-angles bagues rouges tendent à remplacer la turbine dans de nombreux cabinets. En effet, les micromoteurs couplés aux contre-angles bague rouge sont moins bruyants que les turbines. Néanmoins, un contre-angle usé donne des niveaux de bruit comparables à ceux des turbines neuves (25).

Une synthèse des données relevées dans la littérature a été faite en reprenant les données les plus récentes (relevées après 2010) et est retrouvée dans le tableau 6.

Tableau 6 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'un contre-angle neuf et d'un contre-angle usé (25) (26) (27)

	Niveau sonore en dB(A) d'un contre-angle usé	Niveau sonore en dB(A) d'un contre-angle neuf
Contre-angle tournant à vide	Entre 62 et 70	Entre 61 et 65
Contre-angle travaillant sur la dent	Entre 73 et 78	Entre 69 et 72
Contre-angle travaillant sur de la résine composite	Entre 78 et 81	Entre 69 et 76
Contre-angle travaillant sur amalgame	Entre 75 et 77	Entre 70 et 73
Contre-angle + aspiration chirurgicale	Entre 72 et 78	

6.1.4 La pièce à main

La pièce à main reliée à un micromoteur est destinée à la retouche ou au polissage de prothèses (amovible en résine ou métallique, de porte-empreinte individuel ou de prothèse fixée transitoire...).

Une synthèse des données des données les plus récentes (relevées après 2010) est retrouvée dans le tableau 7.

Tableau 7 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une pièce à main usée et d'une pièce à main neuve (25) (26) (27)

	Niveau sonore en dB(A) d'une pièce à main usée	Niveau sonore en dB(A) d'une pièce à main neuve
Pièce à main tournant à vide	Entre 64 et 70	Entre 61 et 64
Pièce à main travaillant sur de la résine acrylique ou métal	Entre 73 et 87	Entre 72 et 75

6.1.5 L'aspiration

Pour éviter l'échauffement des tissus dentaires et osseux, l'utilisation d'un spray d'eau abondant est concomitante à l'utilisation des rotatifs et des ultrasons.

L'aspiration chirurgicale et la pompe à salive permettent d'aspirer les excédents d'eau et de salive présents en bouche, assurer une bonne visibilité au praticien lors des soins et obtenir un assèchement lors de la réalisation de restauration.

Lorsque l'aspiration fonctionne dans la bouche du patient, il y a un effet de cavité de résonance. Si l'aspiration touche les muqueuses, le niveau sonore augmente considérablement (25).

Une synthèse des données relevées dans la littérature en reprenant les données les plus récentes (relevées après 2010) et est retrouvée dans le tableau 8.

Tableau 8 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation de l'aspiration chirurgicale et de la pompe à salive (25) (26) (27)

	Niveau sonore en dB(A) de la pompe à salive	Niveau sonore en dB(A) de l'aspiration chirurgicale
Aspiration fonctionnant seule	Entre 70 et 73	Entre 77 et 81
Aspiration touchant la muqueuse	Entre 78 et 82	Entre 85 et 89

6.1.6 Le vibreur/ malaxeur universel

Les vibreurs universels sont utilisés pour le mélange des matériaux dentaires prédosés en capsule.

L'utilisation du vibreur se fait en général à une distance moyenne de 1 mètre de l'oreille du praticien sur une durée de quelques secondes et par intermittence dans la journée.

Dans les études, le niveau sonore des vibreurs est compris entre 40 et 77 dB (26) (27) (28).

Les niveaux d'intensité sonore ne sont pas toujours communiqués par les fabricants. Ils se situent aux alentours de 60 et 65 dB pour les vibreurs **Vibramix®** VB400 3Tech et **Silamat®** S6 IVOCAL d'après les notices des appareils.

6.1.7 L'acquisition de clichés radiographiques

Lors de l'acquisition de clichés radiographiques (panoramique ou de Cone Beam), le praticien sort de la pièce et déclenche l'émission des rayons X à l'aide d'une télécommande. Il maintient le bouton enfoncé (\approx 30 secondes) et une alarme sonore retentit jusque la fin de l'acquisition. Le signal sonore émis est aigu et désagréable.

Néanmoins, nous n'avons pas trouvé de données dans la littérature sur le niveau d'intensité sonore et la fréquence du signal sonore émis. Les notices des fabricants consultées ne mentionnaient pas le niveau d'intensité sonore émis lors de l'acquisition.

Pour l'acquisition de clichés intra-buccaux le signal sonore émis est bref 0,25 à 0,5 secondes et moins dérangeant.

Nous allons nous intéresser à présent au bruit de l'environnement du cabinet.

6.2 Les bruits liés à l'environnement du cabinet

Il existe des bruits liés au fonctionnement global du cabinet (secrétariat, stérilisation...) et à sa situation géographique à prendre en considération car ils peuvent être parasites et désagréables. Les bruits identifiés sont énumérés ci-dessous :

- La sonnette,
- Le téléphone,
- La présence de musique dans le cabinet ou télévision dans la salle d'attente,
- Le système de climatisation et de chauffage,
- Le compresseur (il est généralement isolé),
- La salle de stérilisation : désinfection et stérilisation des instruments (bac à ultrasons, thermo-laveur, DAC Universal, autoclave...),
- Le nettoyage des systèmes d'aspiration à l'aide du passage de produit désinfectant type **OROTOL®**,
- Le bruit de la rue et du voisinage (circulation, immeuble).

Ainsi, après avoir identifié les différentes sources de bruit au cabinet dentaire et présenté les données récentes de la littérature concernant leur niveau d'intensité sonore, il nous apparaissait intéressant d'évaluer plus précisément l'exposition au bruit du chirurgien-dentiste dans sa pratique professionnelle.

Pour cela, mesurer les niveaux d'intensité sonore et les fréquences émises des sources sonores identifiées précédemment dont nous ne disposions pas ou peu de données ou encore mesurer l'association de plusieurs sources sonores nous paraissait indispensables. En effet, une source est rarement utilisée seule mais en association le plus souvent au système d'aspiration.

7. Évaluation et mesure de l'exposition au bruit du chirurgien-dentiste

7.1 Mesures des niveaux d'intensité sonore

7.1.1 Choix d'appareil de mesure

Pour réaliser les mesures, nous avons utilisé un sonomètre de classe II calibré répondant à la norme NF EN 61672-1 (figure 17) prêté par le laboratoire d'audioprothèse CROCHET au Havre.

Il doit être positionné durant toute la durée de l'enregistrement à une distance idéale de 10 cm de l'oreille et toujours < 40 cm (17).



Figure 17 : Sonomètre de classe II (iconographie personnelle)

7.1.2 Protocole et réalisation des mesures

Les mesures ont été effectuées dans le service d'Odontologie du Havre avec accord du Dr BEMER Julie (chef de service). Il s'agit d'une antenne rattachée à la Faculté de Chirurgie-dentaire de Lille. Le service accueille des étudiants de 5^{ème} et 6^{ème} année ainsi que des internes et des praticiens hospitaliers.

Les mesures ont été effectuées au cours des soins prodigués aux patients dans des salles de soins fermées (figure 18).



Figure 18 : Photographie d'une salle de soins du service d'odontologie du Havre (iconographie personnelle)

Nous avons choisi une mesure d'échantillons par tâche comme la position du chirurgien-dentiste est plus souvent « fixe » au fauteuil.

Les mesures ont été réalisées au cours de l'utilisation des éléments suivants et correspondaient chacune à « une tâche » :

- Turbine à vide / contre-angle bague rouge à vide / contre-angle bague bleue à vide
- Turbine + aspiration chirurgicale ou pompe à salive
- Contre-angle bague rouge + aspiration chirurgicale ou pompe à salive
- Contre-angle bague bleue lors d'un curetage carieux + aspiration chirurgicale ou pompe à salive
- Pièce à main à ultrasons + aspiration chirurgicale ou pompe à salive
- Vibreur à cartouches (10 secondes)
- Pièce à main prothèse sur résine
- Passage de produits désinfectants dans les tuyaux d'aspiration : OROTOL® situé à 1 mètre du praticien (durant 15 minutes)
- Signal émis lors de l'acquisition d'une radiographie panoramique (30 secondes)
- Cuve à ultrasons en salle de stérilisation
- DAC (désinfection et lubrification des rotatifs) en salle de stérilisation (cycle de 25 minutes)

Les turbines, contre-angles et pièces à main à ultrasons ou prothèse étaient de la marque **DentsplySirona**® et étaient récents ou neufs.

Nous n'avons pas pu mesurer le niveau d'intensité sonore lors de l'utilisation du contre-angle bague verte car il est peu utilisé dans le service, ni la pièce à main chirurgicale car le plus souvent le contre-angle bague rouge était utilisé.

En salle de stérilisation, nous n'avons pas pu mesurer l'intensité sonore du laveur-désinfecteur, ni de l'autoclave car ces étapes de la chaîne de stérilisation sont externalisées dans l'unité de stérilisation centrale de l'hôpital Jacques Monod.

Le nombre minimal de mesures requises était de 3 par tâche. La durée de mesure devait être suffisante pour garantir des niveaux de bruit représentatif de l'ensemble de la tâche. La durée minimale d'enregistrement était de 3 minutes par tâche si cela était réalisable (17).

Il a fallu s'assurer de l'absence de bruits parasites (exemples : musique, fenêtre ouverte, bruit dans les couloirs) et bien fermer la porte du cabinet ou de la salle de stérilisation. Il ne fallait pas parler et rester statique durant la durée de l'enregistrement.

Le début de l'enregistrement de la mesure devait commencer une fois l'instrument mis en route pour ne pas fausser les résultats de calcul de moyenne du niveau d'intensité sonore de l'enregistrement.

Quand les résultats de la moyenne du niveau d'intensité sonore relevée par tâche différaient de plus de 3 dB(A), nous devions effectuer 3 mesures supplémentaires en augmentant la durée de mesure pour diminuer l'incertitude de nos résultats.

Nous avons récupéré les données enregistrées sur le sonomètre grâce à un logiciel sur CD-ROM à installer sur un ordinateur qui est fourni avec le sonomètre.

Nous avons relevé ainsi l'intensité sonore moyenne en dB(A) et le pic du niveau d'intensité sonore maximale en dB(A) pour chaque enregistrement.

Puis nous avons calculé la moyenne du niveau d'intensité sonore moyen recueilli pour chaque tâche. Les résultats obtenus ont été consignés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Niveau d'intensité sonore moyen et pic d'intensité sonore maximale relevée en dB(A) recueillis au cours des mesures de chaque tâche avec un sonomètre (source personnelle)

	Intensité sonore moyenne en dB(A)	Pic d'intensité sonore maximale relevée en dB(A)
Turbine à vide	70 dB(A)	70 dB(A)
Contre-angle bague bleue à vide	66 dB(A)	66 dB(A)
Contre-angle bague rouge à vide	60dB(A)	60 dB(A)
Aspiration chirurgicale à vide	82 dB(A)	84 dB(A)
Pompe à salive à vide	70 dB(A)	70 dB(A)
Turbine + pompe à salive	75 dB(A)	81 dB(A)
Turbine + aspiration chirurgicale	80 dB(A)	90 dB(A)
Contre-angle bague bleue + pompe à salive	76 dB(A)	82 dB(A)

Contre-angle bague bleue + aspiration chirurgicale	79 dB(A)	86 dB(A)
Contre-angle bague rouge + pompe à salive	76 dB(A)	81 dB(A)
Contre-angle bague rouge + aspiration chirurgicale	79 dB(A)	83 dB(A)
Pièce à main US + pompe à salive	79 dB(A)	81 dB(A)
Pièce à main US + aspiration chirurgicale	83 dB(A)	94 dB(A)
Pièce à main prothèse sur résine	75 dB(A)	84 dB(A)
Émission signal sonore radiographie panoramique	70 dB(A)	72 dB(A)
Vibreux à cartouches	78 dB(A)	78 dB(A)
Cuves à ultrasons	70 dB(A)	70 dB(A)
DAC	60 dB(A)	60 dB(A)
OROTOL®	67 dB(A)	72 dB(A)

7.2 Mesures des fréquences associées au niveau d'intensité sonore

7.2.1 Choix d'appareil de mesure

Le spectre de fréquence pour chaque tâche a été enregistré *via* l'application **SmarterNoisePro®** sur Smartphone, développée en 2014, recommandée par l'audioprothésiste. Le but était de déterminer les fréquences (en Hertz) auxquelles sont exposées les chirurgiens-dentistes lors de leurs différentes tâches.

7.2.2 Protocole et réalisation des mesures

Pour la réalisation des mesures, le smartphone était placé au niveau de l'oreille du praticien la plus proche de la source de bruit, pendant une durée minimale de 3 minutes d'enregistrement par tâche si cela était réalisable.

Le nombre minimal de mesures requises était de 3 enregistrements par tâche et la durée de mesure devait être suffisante pour garantir des niveaux de bruit représentatif et des fréquences représentatives de la tâche.

L'application permettait premièrement de fournir une valeur en dB(A) du niveau d'intensité sonore moyen relevé au cours de l'enregistrement et d'explorer la variation du niveau d'intensité sonore au cours du temps.

Par exemple, lors de l'enregistrement d'une tâche « pièce à main ultrasons + aspiration chirurgicale » durant 4 minutes, le graphique ci-dessous était obtenu (figure 19).

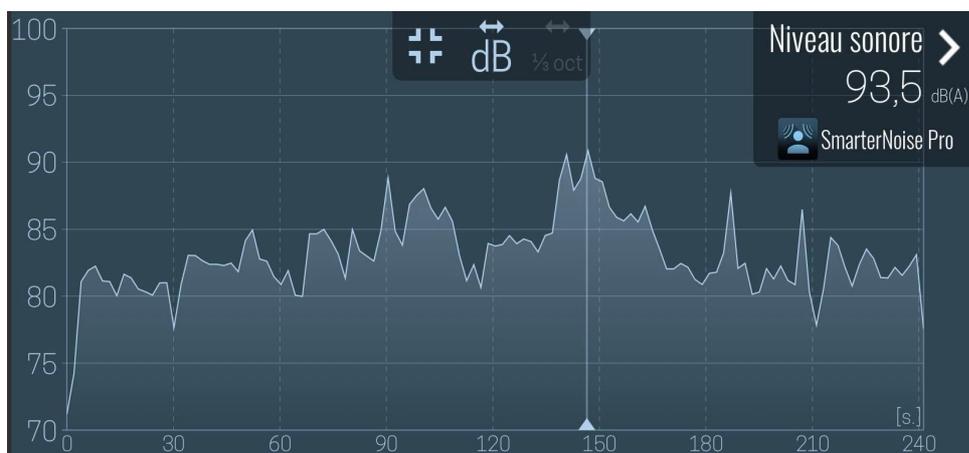


Figure 19 : Graphique représentant la variation du niveau d'intensité sonore en fonction du temps au cours de l'enregistrement d'une pièce à main et d'une aspiration chirurgicale sur un patient

Sur cet enregistrement, le niveau d'intensité sonore moyen relevé sur la durée de l'enregistrement est de 83 dB(A). Toutefois, on observe des pics de niveaux d'intensité sonore atteignant ici jusque 93,5 dB(A).

Il est donc important de noter que le niveau d'intensité sonore peut varier et que les niveaux d'intensité sonore moyens ne reflètent pas toujours la réalité au temps t . Par exemple, l'aspiration de la muqueuse avec l'aspiration chirurgicale peut considérablement augmenter le niveau d'intensité sonore (\approx jusque 95 dB(A)). C'est pour cela qu'il est important de préciser le niveau d'intensité maximum relevé.

Deuxièmement, l'application permettait de visualiser les spectres de fréquences pour chaque enregistrement. Les bruits que nous avons enregistrés sont des sons complexes qui résultaient de la superposition de plusieurs ondes sonores de fréquences et d'intensités sonores différentes.

Pour faciliter la visualisation et la lecture, le spectre de fréquence a été découpé en bandes de fréquences par tiers d'octave (le passage d'un octave à un autre correspondant au doublement de la fréquence d'un son). Chaque spectre permettait de visualiser le niveau d'intensité sonore émis pour l'ensemble des fréquences émises.

« Le pic de fréquence » qui correspondait au niveau d'intensité sonore maximal pouvait varier au cours de l'enregistrement mais nous retrouvons de façon récurrente le même pic de fréquence au cours de celui-ci.

Nous avons réalisé une capture-d'écran des spectres de fréquences à un temps t de l'enregistrement pour chaque tâche (tableau 10).

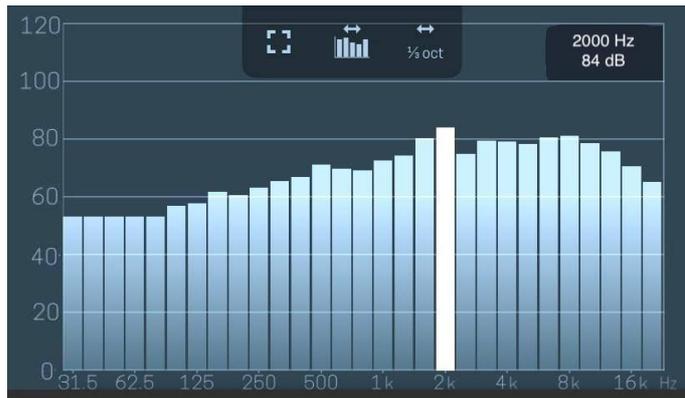
Les résultats se lisent ainsi,

« Le niveau d'intensité sonore de la tâche ... au temps t de l'enregistrement est de ...dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximale à la fréquence de ... Hz (pic de fréquence le plus haut) ». Les résultats sont repris dans la colonne « Interprétations » pour chaque spectre représenté pour faciliter la compréhension.

Tableau 10 : Représentation par spectre du niveau d'intensité sonore émis en fonction de la fréquence émise capturé au temps t de l'enregistrement et interprétations (source personnelle)

<p>Spectre des niveaux d'intensité sonore émis en fonction toutes les fréquences émises obtenu à un temps t de l'enregistrement</p>	<p>Interprétations :</p>
<p style="text-align: center;">Turbine à vide</p> 	<p>Le niveau d'intensité sonore d'une turbine fonctionnant à vide est de 70 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 5 040 Hz.</p>
<p style="text-align: center;">Contre-angle bague bleue à vide</p> 	<p>Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague bleue fonctionnant à vide est de 66 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 6350 Hz.</p>
<p style="text-align: center;">Contre-angle bague rouge à vide</p> 	<p>Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague rouge fonctionnant à vide est de 57 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal pour la fréquence de 10 000 Hz.</p>

Aspiration chirurgicale à vide



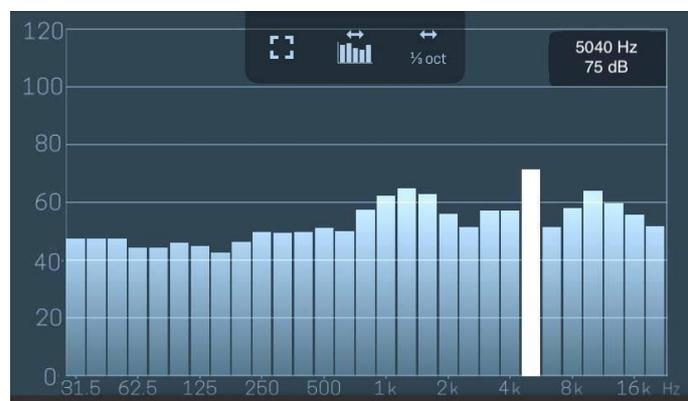
Le niveau d'intensité sonore d'une aspiration chirurgicale fonctionnant à vide est de 84 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 2000 Hz.

Pompe à salive à vide



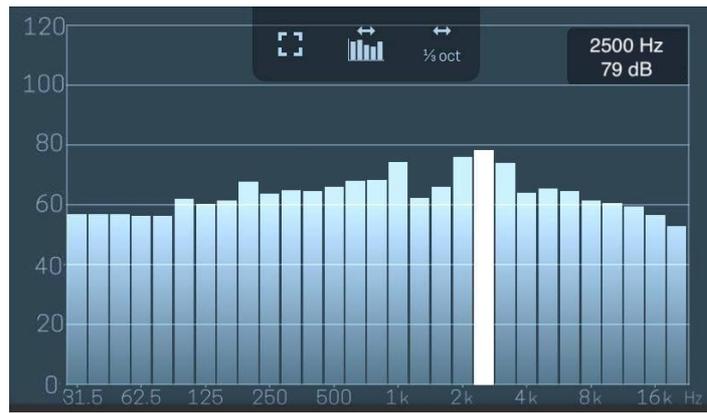
Le niveau d'intensité sonore d'une pompe à salive fonctionnant à vide est de 70 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 10 000 Hz.

Turbine + pompe à salive



Le niveau d'intensité sonore d'une turbine + pompe à salive est de 75 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 5040 Hz.

Turbine + aspiration chirurgicale



Le niveau d'intensité sonore d'une turbine + aspiration chirurgicale est de 79 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 2 500 Hz.

Contre-angle bague bleue + pompe à salive



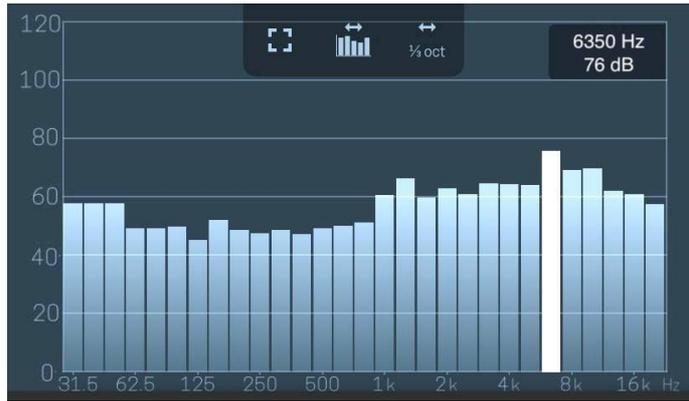
Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague bleue + pompe à salive est de 76 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 12 700 Hz.

Contre-angle bague bleue + aspiration chirurgicale



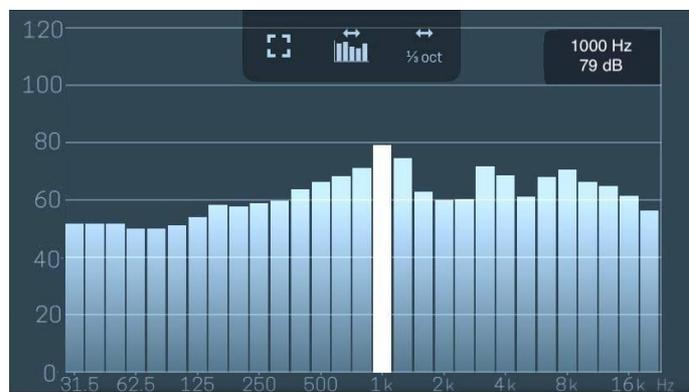
Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague bleue + aspiration chirurgicale est de 79 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 10 000 Hz.

Contre-angle bague rouge + pompe à salive



Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague rouge + pompe à salive est de 76 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 6 350 Hz.

Contre-angle bague rouge + aspiration chirurgicale



Le niveau d'intensité sonore d'un contre-angle bague rouge + aspiration chirurgicale est de 79 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 1000 Hz.

Pièce à main US + aspiration chirurgicale



Le niveau d'intensité sonore d'une pièce à main US + aspiration chirurgicale est de 83 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 16 000 Hz.

Pièce à main prothèse sur résine



Le niveau d'intensité sonore d'une pièce à main prothèse sur la résine est de 75 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 10 000 Hz.

Émission signal sonore radiographie panoramique



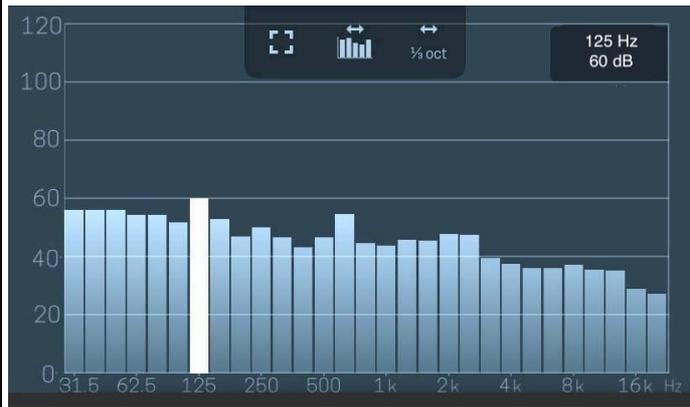
Le niveau d'intensité sonore lors de l'émission du signal sonore lors de l'acquisition de radiographie panoramique est de 70 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 3 200 Hz.

Vibreux à cartouches



Le niveau d'intensité sonore du vibreur à cartouches est de 80 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 250 Hz.

DAC



Le niveau d'intensité sonore du DAC en fonctionnement est de 60dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 125 Hz.

OROTOL®



Le niveau d'intensité sonore du passage de l'OROTOL® est de 67dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 1590 Hz.

Cuve à ultrasons



Le niveau d'intensité sonore de la cuve à ultrasons est de 70 dB(A). Le niveau d'intensité sonore est maximal à la fréquence de 16 000 Hz.

Chaque spectre couvre toutes les fréquences graves et aiguës comprises entre 0 et 20 kHz. **Mais, on retrouve sur chaque spectre un maximum de niveau d'intensité sonore pour les fréquences aiguës (comprises entre 2 000 et 20 kHz)** sauf pour l'OROTOL, le DAC et le vibreur à cartouches.

C'est ce qui est important à prendre en compte car rappelons ici, que l'exposition au bruit ayant des spectres de fréquences dont les niveaux d'intensité sonore sont maximums pour les fréquences aiguës est beaucoup plus délétère pour l'oreille.

On relève des niveaux d'intensité sonores au temps t compris entre 57 et 84 dB(A). Cela ne signifie pas que les pics d'intensité sonore maximaux de chaque enregistrement se situent dans cette fourchette. Ils peuvent atteindre des niveaux bien plus élevés comme vu précédemment.

7.3 Exploiter les résultats

7.3.1 Estimation sommaire du risque

Il existe plusieurs méthodes d'analyse. La première consiste en une estimation sommaire du risque sans réaliser de mesures, en se basant sur une analyse bibliographique de la littérature et un test de communication pour savoir s'il est possible de communiquer dans le bruit (17).

7.3.2 Déterminer la durée d'exposition par tâche

L'analyse des résultats de mesures d'exposition peut s'avérer compliquée car il faut réussir à déterminer la durée d'exposition par jour du chirurgien-dentiste.

Or, tous les chirurgiens-dentistes ne travaillent pas le même nombre de jours par semaine, le même nombre d'heures par jour et ne mettent pas le même temps pour effectuer une tâche. Ils peuvent être spécialisés dans un domaine de compétence qui les expose plus à la réalisation d'une tâche en particulier.

Par exemple, un parodontologue exclusif, utilise en principe beaucoup plus les ultra-sons et l'aspiration chirurgicale lors des procédures d'assainissement parodontal qu'un omnipraticien.

La détermination de la durée d'exposition est donc personnelle à chaque praticien. Ceci explique la difficulté à trouver dans la littérature, une durée d'exposition moyenne pour chaque tâche par jour.

Selon l'étude de Dierickx et *al.*, réalisée chez 100 dentistes flamands (53 avec plus de 5 ans d'ancienneté et 47 avec 5 ans d'ancienneté ou moins), le nombre moyen de jours travaillés par semaine est de 4,7. La majorité des dentistes travaillent entre 7 et 8H par jour.

L'exposition au bruit des dentistes liée à l'utilisation des instruments rotatifs ou ultrasons dure en moyenne 15 à 30 minutes par intervention pour 50% des dentistes et pour environ 20% des dentistes durant 30 à 45 minutes par intervention (21).

7.3.3 Déterminer la dose journalière du bruit

Déterminer la dose journalière de bruit présente un intérêt lorsque nous sommes proches des valeurs réglementaires.

Pour tenter de déterminer la dose journalière de bruit notée $L_{ex, 8H}$ dB(A), on peut faire porter au chirurgien-dentiste un exposimètre (type de sonomètre) qui fonctionne en continu durant toute la journée.

On peut également faire des mesures à l'aide d'un sonomètre pour définir le niveau d'intensité sonore en dB(A) au cours de chaque tâche. Il faut néanmoins que le chirurgien-dentiste qui souhaite déterminer sa dose journalière $L_{ex, 8H}$ connaisse sa durée d'exposition moyenne par jour pour chaque tâche.

Deux méthodes existent ensuite, pour tenter de déterminer le risque et le niveau de bruit en dB(A) journalier auquel est exposé le chirurgien-dentiste. Elles ont été mises en œuvre par l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles).

L'une consiste en une analyse par calcul de points d'exposition et l'autre par une calculatrice Excel à la norme EN ISO 96 12.

7.3.4 Méthode des points d'exposition

C'est une méthode simple d'estimation pour évaluer l'exposition quotidienne et globale au bruit lorsque le travail comprend plusieurs tâches de durée différente dans la même journée.

Il suffit de disposer de l'estimation des niveaux de bruits et des durées quotidiennes de chaque tâche. Ces deux données permettent de déterminer un nombre de points d'exposition dans le tableau à double entrée pour chaque tâche (tableau 11).

Ensuite, les points d'exposition peuvent s'additionner ou se soustraire selon la durée souhaitée et le nombre de tâches pour trouver l'équivalence (17).

Le code couleur signifie :

- **zone verte** : la dose de bruit équivalente à 80 dB(A) durant 8h n'est pas dépassée
- **zone rouge** : la dose de bruit équivalente à 85 dB(A) durant 8h est atteinte ou dépasser
- **zone orange** : la dose de bruit est intermédiaire entre les valeurs de la zone verte et la zone rouge

Prenons, un exemple concret et nous semblant plausible d'un dentiste omnipraticien qui travaille 8 heures dans une journée.

→ Il réalise ce jour-là, 8 détartrages (ultrasons + aspiration chirurgicale) de 20 minutes avec un niveau d'intensité sonore moyen de 83 dB(A) soit $20 \times 8 = 160$ minutes soit environ 2H30 d'exposition journalière. Cela correspond à (2H + 30 minutes) soit à $16 + 4 = 20$ points d'exposition dans le tableau 11.

→ Il réalise ce jour-là 10 soins / avulsion complexe (soin carieux, taille périphérique de couronne, dépose de couronne, une avulsion complexe) à l'aide des rotatifs (turbine + aspiration / contre-angle bague bleue + aspiration / contre-angle bague rouge + aspiration) dont le niveau d'intensité sonore moyen précédemment déterminé par le sonomètre est de 79-80 dB(A) durant 20 minutes par intervention. $20 \times 10 = 200$ minutes

soit environ 3h d'exposition journalière. Cela correspond à (2H + 1H d'exposition) soit $8 + 4 = 12$ points d'exposition dans le tableau.

→ Le reste des actes réalisés ce jour-là ne nécessite pas l'utilisation des ultrasons ou des rotatifs.

Nous utilisons les résultats des mesures obtenues avec notre sonomètre.

Si on cumule le nombre de points d'exposition sur cette journée on obtient $12 + 20 = 32$ points ce qui correspond à une équivalence de 32 points sur 8 heures soit $L_{ex, 8H} = 80$ dB(A). On se trouve dans la zone verte, à la frontière de la zone orange.

Il s'agit tout de même de la valeur inférieure du seuil d'action réglementaire devant déclencher une action de prévention selon le Code du Travail.

Tableau 11 : Points d'exposition pour différents niveaux de bruits et différentes durées (17)

Niveau de bruit dB(A)	Durée quotidienne de la phase de travail								
	8 h	4 h	2 h	1 h	30 min	15 min	10 min	5 min	1 min
75	10	5	3	1	1	0	0	0	0
76	13	6	3	2	1	0	0	0	0
77	16	8	4	2	1	1	0	0	0
78	20	10	5	3	1	1	0	0	0
79	25	13	6	3	2	1	1	0	0
80	32	16	8	4	2	1	1	0	0
81	40	20	10	5	3	1	1	0	0
82	50	25	13	6	3	2	1	1	0
83	64	32	16	8	4	2	1	1	0
84	80	40	20	10	5	3	2	1	0
85	100	50	25	13	6	3	2	1	0
86	130	64	32	16	8	4	3	1	0
87	160	80	40	20	10	5	3	2	0
88	200	100	50	25	13	6	4	2	0
89	250	130	64	32	16	8	5	3	1
90	320	160	80	40	20	10	7	3	1
91	400	200	100	50	25	13	8	4	1
92	510	250	130	64	32	16	11	5	1
93	640	320	160	80	40	20	13	7	1
94	800	400	200	100	50	25	17	8	2
95	1000	510	250	130	60	32	21	11	2
96	1300	640	320	160	80	40	27	13	3
97	1600	800	400	200	100	50	33	17	3
98	2000	1000	510	250	130	60	40	21	4
99	2500	1300	640	320	160	80	50	27	5
100	3200	1600	800	400	200	100	70	33	7
101	4000	2000	1000	500	250	130	80	40	8
102	5100	2500	1300	630	320	160	110	50	11
103	6400	3200	1600	800	400	200	130	70	13
104	8000	4000	2000	1000	500	250	170	80	17
105	10000	5100	2500	1300	630	320	210	110	21
106	13000	6400	3200	1600	800	400	270	130	27
107	16000	8000	4000	2000	1000	500	330	170	33
108	20000	10000	5000	2500	1300	630	420	210	40
109	25000	13000	6400	3200	1600	790	530	270	50
110	32000	16000	8000	4000	2000	1000	670	330	70
111	40000	20000	10000	5000	2500	1300	840	420	80
112	51000	25000	13000	6300	3200	1600	1100	530	110
113	64000	32000	16000	8000	4000	2000	1300	670	130
114	80000	40000	20000	10000	5000	2500	1700	840	170
115	100000	51000	25000	13000	6300	3200	2100	1100	210
116	125000	64000	32000	16000	8000	4000	2700	1300	270
117	160000	80000	40000	20000	10000	5000	3300	1700	330
118	200000	100000	50000	25000	13000	6300	4200	2100	420
119	255000	125000	64000	32000	16000	8000	5300	2600	530
120	320000	160000	80000	40000	20000	10000	6700	3300	670

Note : Pour simplifier le tableau, le nombre de points a été arrondi. Cet arrondi n'induit jamais d'erreur supérieure à 5 % en points, soit moins de 0,5 dB sur le niveau du bruit.

Il existe également une table de calcul paramétrée, pour retrouver le nombre de point d'exposition, en fonction de la durée d'exposition et du niveau d'intensité sonore pour chaque tâche renseignée dans la table. Elle permet de déterminer directement la dose d'exposition journalière.

On retrouve la même valeur $L_{EX, 8h} = 80 \text{ dB(A)}$ si on reprend le même exemple (figure 20).

Estimation de l'exposition sonore partielle d'une tâche et de l'exposition sonore totale

Pour chaque tâche : spécifier une durée en heures (en valeur décimale) et un niveau de bruit*

Repère	Nature de la tâche	Durée quotidienne en heures*	Niveau du bruit dB(A)	Observation	Exposition sonore partielle		
					Pa ² .h	Points	%
1	US + aspiration chirurgicale	2,5	83		0,200	20	62%
2	Turbine + aspiration chirurgicale	3	80		0,120	12	38%
3							
4							
5							
6							
7							
Durée de travail quotidienne totale (Te) en heures =					5,5	Total =	
					0,320	32	100%

Niveau acoustique continu équivalent $L_{Aeq,Te} = 81,6 \text{ dB(A)}$

Niveau d'exposition quotidienne $L_{EX,8h} = 80,0 \text{ dB(A)}$

Interprétation :		
Code de couleur de $L_{EX,8h}$	$L_{EX,8h}$ dB(A)	Interprétation
Vert	< 77	Quasi-certitude d'absence de risque
Orange	[77 à 88]	Pas d'interprétation (besoin de mesures précises)
Rouge	> 88	Risque quasi certain

* Conversion de durées en heures décimales :		
Heures	Minutes	Secondes
Durée en heures (valeur décimale) = 0,0000		

Figure 20 : Estimation du niveau d'exposition quotidienne aux bruits par la méthode des points d'exposition développée dans une table de calcul

7.3.5 Méthode d'exploitation de la calculette Excel NF ISO EN 9621

Il s'agit d'une méthode de mesure d'exposition normalisée et utilisée lorsqu'un résultat plus précis est souhaité, en particulier lorsque nous nous trouvons proche des seuils d'actions réglementaires (17).

Il faut renseigner dans la table (figure 21) :

- le nom de la tâche
- pour chaque tâche, les niveaux de bruit mesurés et leurs durées
- saisir l'incertitude liée à l'instrument de mesure. Nous avons utilisé un sonomètre de classe II dont l'incertitude de mesure est de 1,5.

Données Méthode par tâches

Résultats liés à la saisie des données Niveau de bruit $L_{EX,8h}$ (dB) 88,6 Tâches définies Nombre 3 Durée totale (h) 7,0		Tâche 1	Tâche 2	Tâche 3		
	Nom de la tâche	Chargement	Réglages	Contrôles		
	Échantillon numéro	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)	
	1	89	4	85	2	1) Saisir le nom de la tâche.
	2	95	2,5	86	2,5	2) Saisir pour chaque tâche les niveaux de bruit mesurés.
	3	91	3	88	2,3	3) Saisir les durées, pour les 3 opérateurs, de la tâche.
	4	86				
	5	92				
	6	88				
	Instrument de mesure	u2	u2	u2	u2	4) Saisir l'incertitude liée à l'instrument de mesure.
		0,7	0,7	0,7	0,7	
Nombre de valeurs mesurées	6	3	3			
$L_{p,A,eqT,m}$: niveau moyen	91,2	86,5	80,8			
Incertitude type u1a	1,3	0,9	0,9			
T_m : durée de la tâche m (h)	3,2	2,3	1,6			
Incertitude type u1b	0,4	0,1	0,3			

Figure 21 : Présentation des quatre étapes de saisie des données en cas de mesurage par tâches

On reprend l'exemple précédent pour rappel :

- réalisation de 8 détartrages de 20 minutes (soit $\approx 0,33$ h) à 83 dB(A)
- réalisation de 10 soins de 20 minutes (soit $\approx 0,33$ h) à 80 dB(A)

On reporte les données dans la table de calcul, nous retrouvons la valeur $L_{ex,8h} = 80,3$ dB(A) calculée avec la méthode des points d'exposition (figure 22).

Nom de la tâche	Tâche 1		Tâche 2	
	US + chir		turbine + chir	
Echantillon numéro	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)
1	83	0,33	80	0,33
2	83	0,33	80	0,33
3	83	0,33	80	0,33
4	83	0,33	80	0,33
5	83	0,33	80	0,33
6	83	0,33	80	0,33
7	83	0,33	80	0,33
8	83	0,33	80	0,33
9			80	0,33
10			80	0,33
11				
12				
13				
14				
15				
Instrument de mesure	u2		u2	
	1,5		1,5	
Nombre de valeurs mesurées	8		10	
Lp,A,eqT,m : niveau moyen	83,0		80,0	
Incertitude type u1a	0,0		0,0	
Tm : Durée de la tâche m (h)		2,6		3,3
Incertitude type u1b		0,0		0,0

Résultats liés à la saisie des données

Niveau de bruit

$L_{EX,8h} =$
80,3

Tâches définies

Nombre

2

Durée totale (h)

5,9

Figure 22 : Estimation du niveau d'exposition quotidienne aux bruits par la méthode d'exploitation de la calculette Excel NF ISO EN 96 12.

Ces 2 méthodes sont intéressantes à connaître car elles sont applicables à d'autres exemples et permettent de trouver simplement l'équivalence du niveau de bruit $L_{EX,8H}$ avec plusieurs tâches de durée d'exposition différentes auquel est exposé un travailleur.

A présent, nous allons discuter des résultats obtenus lors de nos mesures et les comparer avec les données de la littérature.

8. Discussion des résultats

Les niveaux d'intensité sonore moyens mesurés à l'aide du sonomètre sont proches des niveaux d'intensité sonore retrouvés dans la littérature, quelques comparaisons sont retrouvées dans le tableau 12.

Tableau 12 : Comparaison des niveaux d'intensités sonores mesurés et retrouvés dans la littérature (source personnelle)

	Niveau d'intensité sonore moyen et maximal mesurés en dB(A)	Niveau d'intensité sonore mesurés en dB(A) dans littérature
Turbine + Aspiration chirurgicale	80 (moyen) 90 (pic maximal)	[86-92]
US + Aspiration chirurgicale	83 (moyen) 94 (pic maximal)	[70-86]
Contre angle + Aspiration chirurgicale	79 (moyen) 83 (pic maximal)	[72-78]
Pièce à main sur résine acrylique	75 (moyen) 84 (pic maximal)	[72-87]

Néanmoins, la réalisation des mesures est « opérateur dépendante ». Elle en fonction du matériel utilisé, de la technique utilisée et de sa mise en œuvre. Il faut réussir à reproduire les mêmes conditions pour l'enregistrement de chaque mesure. Par exemple, le positionnement de chaque praticien est différent.

Les résultats des mesures dépendent également du matériel utilisé pour la réalisation des tâches. La marque, l'ancienneté et l'entretien sont à prendre en compte. Dans notre cas, seuls les rotatifs de la marque **Dentsply Sirona®** interviennent pour la réalisation des mesures.

L'acoustique des locaux est un paramètre qui n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie dans ce travail mais qui est à considérer.

L'utilisation des ultrasons ou des rotatifs est plus nocive lorsqu'elle est couplée à l'aspiration chirurgicale. Nous atteignons des niveaux d'intensité sonore moyens compris entre 79 dB(A) et 83 dB(A) et nous pouvons atteindre des pics d'intensité sonore allant jusque 95 dB(A).

Il est donc préférable d'utiliser la pompe à salive plutôt que l'aspiration chirurgicale lorsque cela est possible pour réduire le niveau d'intensité sonore moyen à 75-76 dB(A).

Les chirurgiens-dentistes ne semblent pas être exposé au-delà du seuil de danger fixé à une exposition journalière de 85 dB(A) sur une journée de 8h.

Néanmoins, les niveaux d'intensités sonores relevés restent préoccupants d'autant plus qu'ils sont émis pour des fréquences aiguës.

Nous pouvons atteindre une dose journalière de 80 dB(A) comme nous l'avons vu dans la partie exploitation des résultats au travers d'un exemple. C'est d'ailleurs la valeur d'exposition inférieure réglementaire qui doit déclencher une action de prévention.

Même si certains chirurgiens-dentistes sont exposés à des niveaux d'intensité sonore moins élevés il n'en reste pas moins que l'exposition répétée durant toute leur carrière suffit à être délétère pour leur audition et pour leur santé.

Nous avons constaté, lors des mesures, des niveaux d'intensité sonore différents (jusque 3 dB d'écart) entre le positionnement au niveau de l'oreille droite et de l'oreille gauche du sonomètre. Un praticien droitier aura l'oreille gauche exposée à des niveaux d'intensité sonore plus élevés que son oreille droite et inversement pour un praticien gaucher, l'oreille droite sera plus exposée.

L'utilisation de notre sonomètre a des limites puisqu'il ne nous permettait pas de déterminer les spectres fréquentiels des sons enregistrés.

L'application **SmarterNoisePro®** a permis d'enregistrer le spectre de fréquence des sons. Elle demeure une application sur Smartphone, bien qu'elle fournisse des niveaux d'intensités sonores comparables à ceux du sonomètre. Nous pouvons émettre des réserves quant à la qualité de l'enregistrement par le microphone et la restitution en spectre fréquentiel.

Il est important de comprendre que le pic de fréquence, correspondant au niveau d'intensité sonore maximum enregistré, peut varier au cours de l'enregistrement.

Or, les spectres de fréquences capturés à un instant t dans le tableau 10, ne représentent par conséquent pas la totalité de l'enregistrement. Il est

compliqué dans ce travail de restituer l'intégralité de tous les spectres enregistrés durant plusieurs minutes.

L'instant t est donc choisi par l'opérateur qui estime le spectre fréquentiel comme étant le plus représentatif de l'ensemble de la durée de l'enregistrement, c'est à dire le spectre le plus observé.

Enfin, l'application permet d'obtenir un spectre de fréquences comprises entre 0 et 20 KHz, elle exclut donc les ultrasons > 20 KHz.

Il s'agit tout de même d'un bon compromis car l'achat d'un fréquencesmètre est très onéreux.

Ainsi, le chirurgien-dentiste est exposé à « des valeurs seuils » inférieures d'exposition sonore pour déclencher une action de prévention. Nous allons donc recenser les différents dispositifs de protection auditive à la disposition du chirurgien-dentiste.

9. Analyse des dispositifs de protection auditive disponible sur le marché

9.1. Le choix du protecteur auditif

Le choix d'un protecteur individuel contre le bruit est un compromis nécessitant l'analyse (figure 23) (29) :

- **Des risques dus aux bruits** : amplitude, fréquence, durée d'exposition, typologie du bruit (fluctuant, stable, à caractère impulsionnel) ;
- **Des contraintes liées à la tâche à exécuter** : nécessité de communiquer et éviter la sensation d'isolement total ;
- **Des exigences liées à l'utilisateur** : conditions d'utilisation, motivation, esthétique et habitudes de travail.



Figure 23 : Facteurs de risque pour l'audition (29)

9.2. Les différents types de protections auditives

Il existe sur le marché une grande diversité de protecteurs individuels de l'ouïe.

On distingue les protecteurs dits passifs et les protecteurs actifs ou à réduction active du bruit.

9.2.1. Les protecteurs auditifs passifs

Un protecteur auditif passif est une barrière physique dont l'effet est dû à la densité du matériau et à sa capacité à absorber les ondes sonores ou diminuer leur propagation.

Il ne possède pas de dispositif de restitution électroacoustique ou d'éléments qui rendent l'affaiblissement acoustique dépendant du niveau sonore extérieur et de sa fréquence.

9.2.2. Les protecteurs munis de coquilles

Les serre-têtes sont 2 coquilles reliées par un arceau qui passe au-dessus de la tête contenant des revêtements et munies d'oreillettes qui s'appliquent sur l'oreille. Ce dispositif est volumineux.

9.2.3. Les bouchons d'oreilles

Ils peuvent être prémoulés et directement introduits dans le conduit auditif sans façonnage. Ils sont élaborés à partir de résine silicone ou d'élastomère thermoplastique. Ils sont généralement disponibles en plusieurs tailles et réutilisables et parfois lavables.

Les bouchons d'oreilles prémoulés à collerettes de la marque **ROCKETS®** sont un exemple (figure 24). Ils ont l'avantage de disposer d'un niveau d'atténuation sonore moyen de 30 dB et d'un embout à coussin d'air plus souple et plus confortable que les autres dispositifs similaires (30).



Figure 24 : Bouchons d'oreille prémoulés à collerettes de la marque ROCKETS® (30)

Ils peuvent aussi être façonnés par l'utilisateur. Ils sont élaborés à partir de mousse, de cire, de silicone... Ce sont des matériaux pouvant être comprimés et malaxés par l'utilisateur avant leur introduction dans le conduit auditif et reprenant ensuite leur volume initial en créant ainsi une occlusion étanche du conduit auditif. Ils sont jetables ou réutilisables.

Nous prenons l'exemple des protections auditives de la marque **Quies®** qui est une marque française (figure 25).

Mais, de nombreuses autres marques existent sur le marché commercialisant des protections auditives similaires.



Figure 25 : Bouchons d'oreille à façonner en mousse, cire et en silicone de la marque QUIES® (31)

Les bouchons d'oreille **QUIES®** procurent une atténuation moyenne de 27 dB pour ceux en cire, 35 dB pour ceux en mousse et 20 dB pour ceux en silicone (31).

Ils peuvent également être moulés individuellement et obtenus à partir d'un moulage du conduit auditif. Ils sont en général fabriqués en matière

acrylique ou en résine siliconée mais ne comportent aucun dispositif de réduction active du bruit.

9.2.4. Les protecteurs auditifs passifs sur mesure munis de filtre acoustique

Les protecteurs auditifs passifs peuvent également être réalisés sur mesure à partir d'une empreinte réalisée chez un audioprothésiste. Ils sont munis d'un filtre acoustique breveté spécifique à l'utilisation à laquelle ils sont destinés. Ils sont réalisés en silicone souple ou en résine.

9.2.5. Les protecteurs auditifs actifs ou à réduction active du bruit

Lors du port de protecteurs auditifs dits actifs, l'affaiblissement acoustique augmente avec le niveau sonore ambiant à l'aide d'un élément mécanique (filtre) ou un dispositif électroacoustique (microphone, amplificateur, écouteur).

Les écouteurs antibruit actifs utilisent un microphone pour échantillonner le bruit environnant et un haut-parleur pour créer un son déphasé qui annule le son d'origine.

L'énergie de l'appareil est généralement fournie par une batterie rechargeable. Ils présentent donc l'inconvénient de se décharger.

Par exemple, les écouteurs **Quiet on dental®** spécialement conçus pour les dentistes fonctionnent par réduction active du bruit (figures 26 et 27) (32).



Figure 26 : Écouteurs Quiet on dental® à réduction active du bruit (32)

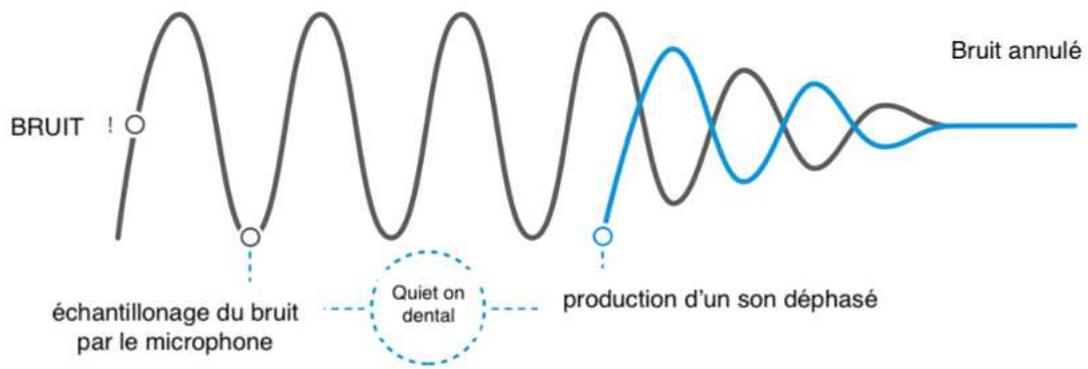


Figure 27 : Fonctionnement du système Quiet on dental® à réduction active de bruit (32)

Les protections auditives passives sur mesure munies de filtre acoustique sembleraient être le dispositif le plus adapté pour le chirurgien-dentiste et le meilleur compromis que nous puissions trouver pour l'instant sur le marché par rapport aux contraintes (se protéger des fréquences aigues, communiquer avec le patient) et aux avantages (confortable à porter et facile à mettre en place...).

10. Exemple de réalisation d'une paire de protection auditive passive sur mesure avec filtre acoustique PasStop® O.S3

10.1. L'empreinte

La réalisation de protection auditive sur mesure nécessite la prise de deux rendez-vous chez un audioprothésiste. Le laboratoire Crochet situé au Havre a été sollicité pour la réalisation de ce travail.

Lors du premier rendez-vous, l'audioprothésiste réalise un examen des oreilles du patient à l'aide d'un otoscope et un vidéo-otoscope relié à l'ordinateur. Il contrôle alors le pavillon, le conduit auditif et l'intégrité du tympan (figure 28).

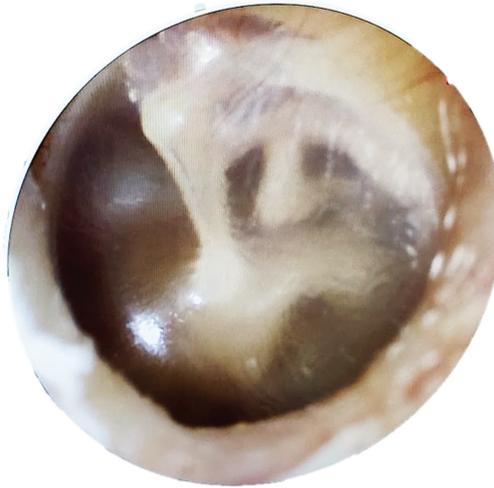


Figure 28 : Visualisation de la membrane tympanique et de la chaîne des osselets visibles par transparence à l'aide du vidéo-otoscope (iconographie personnelle)

L'audioprothésiste met en place une mousse de protection reliée à un fil afin de protéger le tympan lors de la prise d'empreinte et éviter l'adhérence du silicone (figure 29). Un contrôle du bon positionnement de la mousse est réalisé avec l'otoscope (figure 30).



Figure 29 : Photographie de la mousse de protection de la membrane du tympan (iconographie personnelle)



Figure 30 : Photographie du contrôle du bon positionnement de la mousse de protection contre le tympan avec l'otoscope (iconographie personnelle)

Le matériau d'empreinte utilisé est un silicone. Il s'agit d'un matériau d'empreinte à base de vinyl polysiloxane qui polymérise par addition. Un mélange entre une base et un catalyseur en quantité équivalente est réalisé.

Le mélange est ensuite placé dans une seringue adaptée (figure 31). Il est injecté avec un embout fin dans le conduit auditif et le pavillon (figures 32 et 33).



Figure 31 : Photographie des seringues utilisées pour la mise en place du silicone dans le conduit (iconographie personnelle)

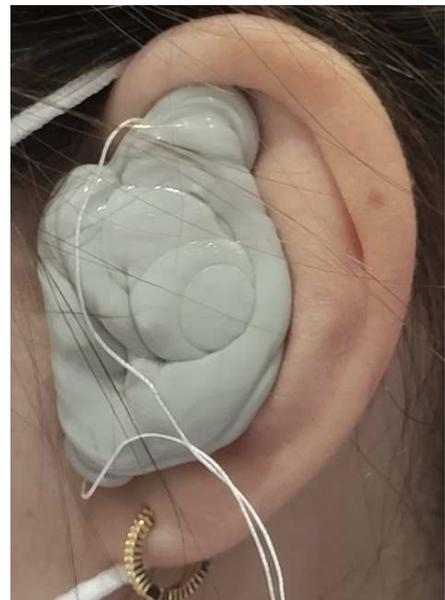
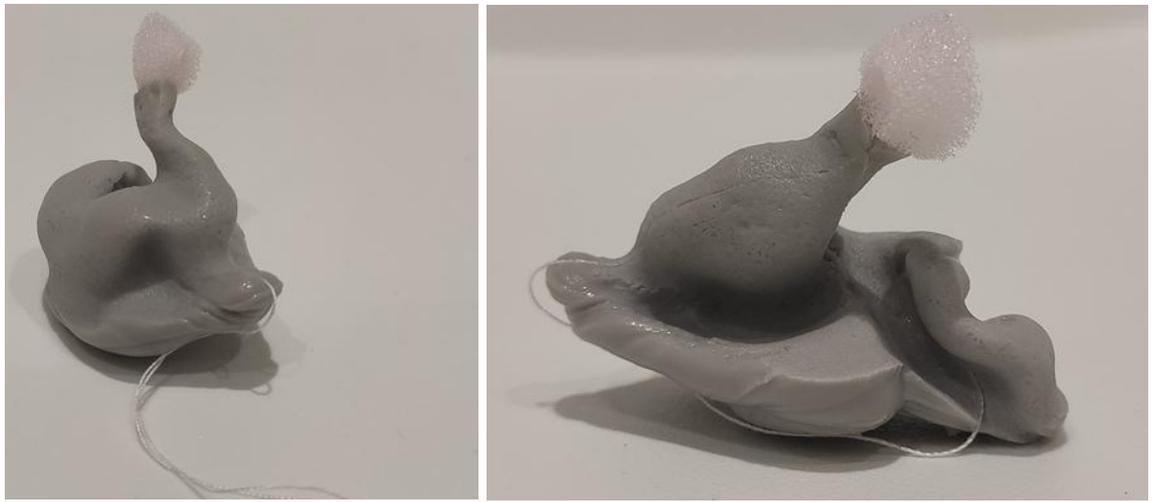


Figure 32 et Figure 33 : Photographies de l'injection du matériau d'empreinte à la seringue (iconographie personnelle)

La prise du matériau s'effectue en 5 minutes. L'empreinte est ensuite désinsérée de l'oreille et vérifiée par l'audioprothésiste. La mousse de protection reste accolée au silicone (figures 34 et 35).



Figures 34 et figure 35 : Photographies de l'empreinte du canal auditif avec la mousse de protection (iconographie personnelle)

10.2. Le scan

L'empreinte est ensuite numérisée à l'aide du scanner I-SCAN II de **SIGNA®** (figure 36). Elle est placée sur le support de l'appareil destiné à maintenir l'empreinte pendant la numérisation (figures 37 et 38).



Figure 36 : Photographie du scanner I-SCAN II (iconographie personnelle)

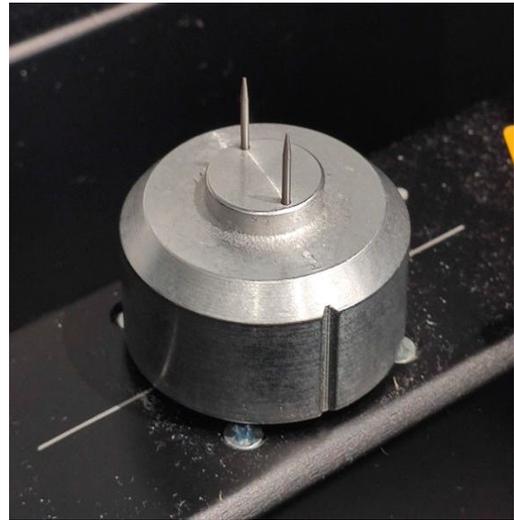


Figure 37 et figure 38 : Photographies du support maintenant l’empreinte lors de la numérisation et de l’empreinte en place sur le support (iconographie personnelle)

Le capot du scan est refermé et la numérisation est initiée *via* le logiciel dédié (figure 39). Un modèle en trois dimensions de l’empreinte est reconstitué. Les empreintes sont numérisées l’une après l’autre. Un fichier contenant les deux empreintes numériques est créé (figure 40). L’oreille gauche apparaît en bleue tandis que l’oreille droite apparaît en rouge à l’écran.

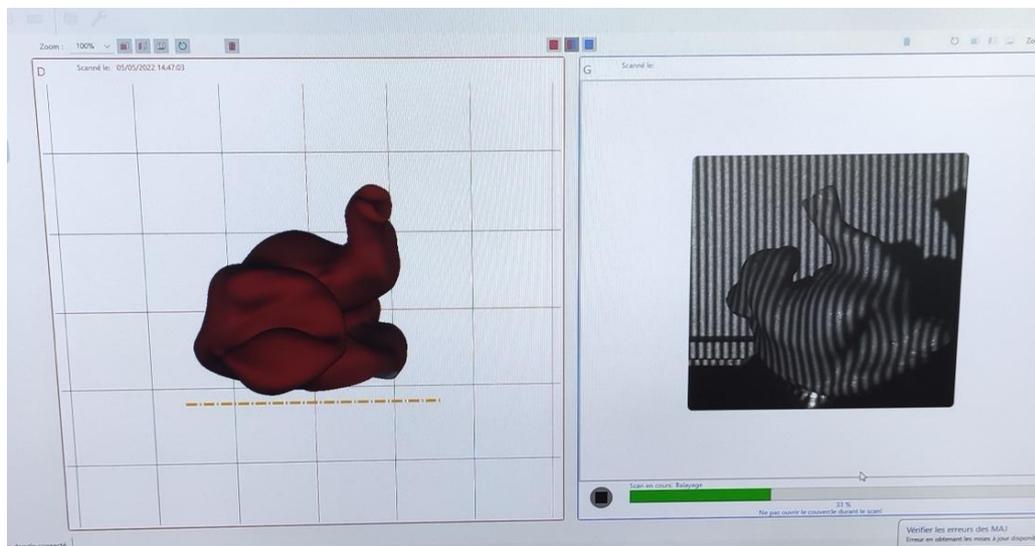


Figure 39 : Photographie de l’écran d’ordinateur durant la numérisation de l’empreinte dans le logiciel d’exploitation

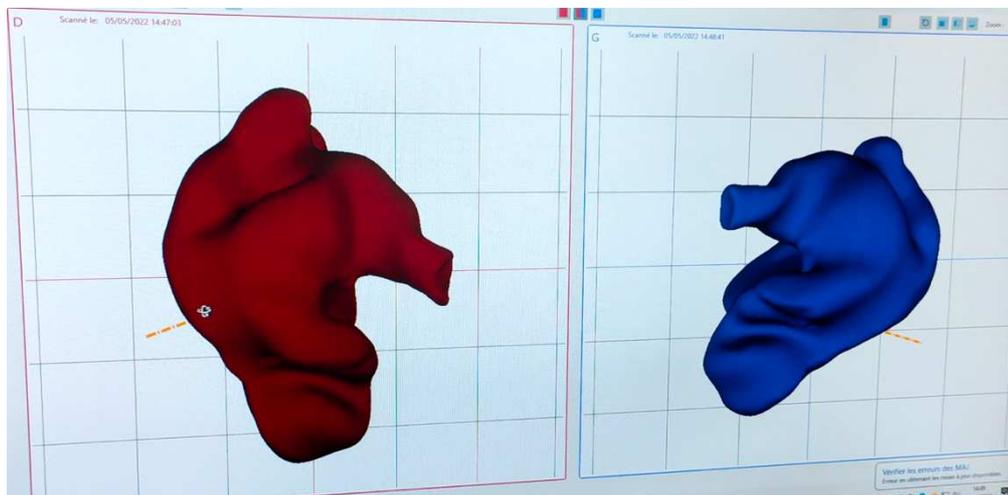


Figure 40 : Photographie des empreintes numérisées des deux conduits avant envoi au fabricant (iconographie personnelle).

Les empreintes numérisées sont envoyées via internet au fabricant **INTERSON PROTAC® by Prodways** en France.

Les empreintes sont traitées sur l'un des trois sites de production de l'entreprise à Paris, Nîmes ou Lyon. Le délai de fabrication des protections auditives sur mesure est d'environ 3 semaines et la fabrication est 100% française (33).

10.3. La livraison

Lors du rendez-vous de livraison, l'audioprothésiste fournit les consignes de mise en place et d'entretien des protections auditives sur mesures.

Les **PasStop® O.S3** sont des embouts auriculaires sur mesure en silicone souple et translucide en forme de canule (figures 41 et 42). Ils sont munis d'un filtre acoustique breveté également appelée « chambre d'atténuation sélective », avec cordon de liaison. Ils laissent passer la parole et stoppent les bruits nocifs pour l'audition (33).



Figure 41 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 (iconographie personnelle)

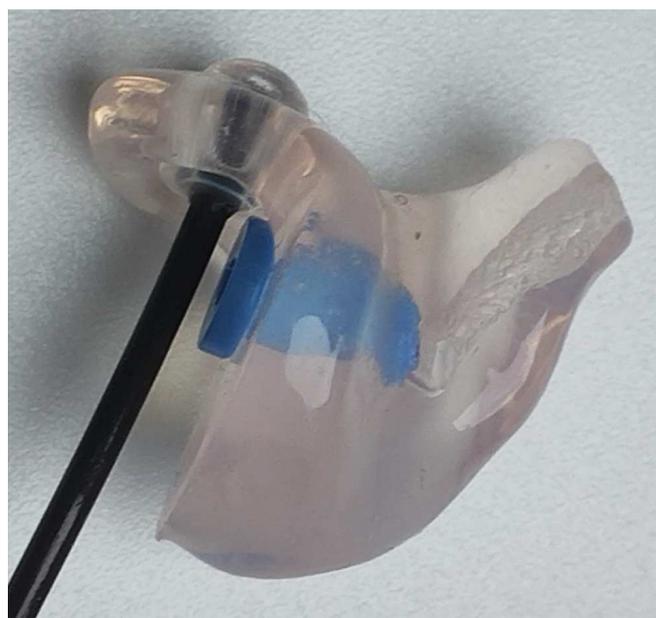


Figure 42 : Visualisation du filtre acoustique d'une protection auditive sur mesure pour oreille droite PasStop® O.S3 (iconographie personnelle)

La mise en place des protecteurs auditifs est aisée, il faut :

- Prendre la protection entre le pouce et l'index,
- Présenter face à l'oreille,
- Insérer doucement la partie la plus fine du protecteur (partie conduit) en premier,
- Ajuster l'embout en tournant légèrement d'avant en arrière jusqu'à ce que l'embout soit bien en place (figure 43)



Figure 43 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 en place dans l'oreille gauche (iconographie personnelle)

L'entretien des protections auditives consiste en un nettoyage quotidien avec des lingettes. Il est important d'éviter le contact avec l'eau.

Les protecteurs doivent être rangés dans l'étui fourni après chaque utilisation car il s'agit d'un dispositif fragile (figure 44).



Figure 44 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 dans leur étui de rangement (iconographie personnelle)

Le coût d'une paire de protection auditive sur mesure est compris entre 130 et 200 €.

10.4. Atténuation du filtre acoustique PasStop® O.S3

Les valeurs SNR (Single Number Rating) et les valeurs HML (High-Medium-Low) sont deux des outils utilisés pour aider au choix des produits d'isolation acoustique.

Le SNR est une valeur d'isolation moyenne calculée à partir des fréquences pertinentes.

Par exemple, un bouchon avec un SNR de 20 dB réduit le niveau de bruit auquel le porteur est exposé de 85 dB à 65 dB.

Les valeurs HML décrivent l'effet du protecteur auditif porté dans trois gammes de fréquences différentes (H : haute fréquence, M : moyenne fréquence et L : basse fréquence). C'est plus précis que le SNR.

Les protections PasStop® O.S3 disposent d'un indice global d'affaiblissement SNR de 20 dB (33).

- Dans les hautes fréquences > 2000 Hz, la moyenne d'atténuation est de 24 dB.
- Dans les moyennes fréquences comprises entre 500 Hz et 2000 Hz, la moyenne d'atténuation est de 17 dB.
- Dans les basses fréquences < 500 Hz, la moyenne d'atténuation est de 11 dB.

Les valeurs d'atténuation moyenne pour les différentes fréquences émises obtenues lors du port de ces protections auditives sont reprises dans le tableau 13.

Tableau 13 : Valeurs d'atténuation moyenne (Mf) lors du port de protections auditives PasStop® O.S3 aux différentes fréquences (33)

F (Hz)	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Mf (dB)	8,8	9,6	11,2	16,7	22,1	28,3	29,4	36,0

les courbes d'atténuation du niveau sonore en fonction de la fréquence associée (figure 45).

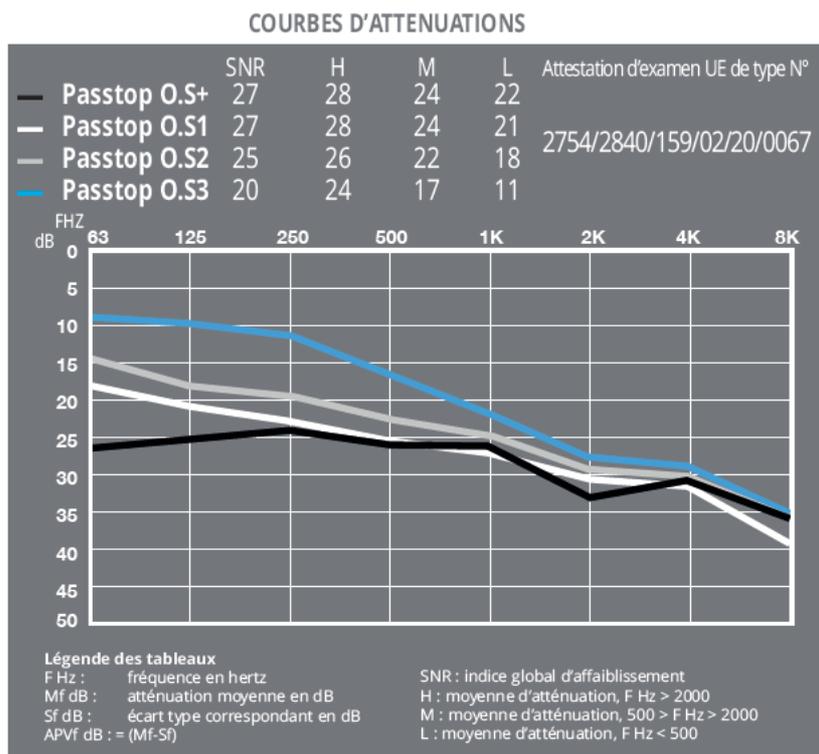


Figure 45 : Courbes d'atténuations du niveau sonore en dB en fonction de la fréquence associée lors du port de protections auditives PasStop® (33)

Ce filtre acoustique permet donc de réduire considérablement le niveau sonore des fréquences aiguës (entre 2 000 KHz et 20 KHz) garantissant une protection maximale dans les aigus tout en atténuant modérément le niveau sonore associé à des bruits de fréquences graves et médiums (les fréquences conversationnelles étant situées entre 500 et 2000 Hz).

Cela permet de communiquer correctement avec le patient au fauteuil tout en étant protégé des fréquences aiguës nocives pour l'audition.

De plus, le principe de non linéarité permet d'augmenter le niveau d'atténuation en fonction du bruit ambiant.

10.5. Le retour d'expérience personnelle après 6 mois d'utilisation

À la suite de la réalisation des protections auditives sur mesure, l'auteur a porté les protections auditives au cabinet-dentaire pendant plusieurs mois. Les avantages et les inconvénients rapportés par l'auteur sont recueillis dans le tableau 14.

Tableau 14 : Avantages et inconvénients du port de protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 (source personnelle)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Facile à mettre en place dans le conduit auditif ● Confortable à porter, léger ● Ne provoque pas d'irritation ● Sensation de calme et de sérénité lors du fraisage des dents ou de l'utilisation des ultrasons couplés à l'aspiration ● Meilleure concentration ● Réduction du stress ● Bonne communication avec le patient au fauteuil (une conversation est possible) ● Moins de fatigue ressentie en fin de journée ● Entretien facile 	<ul style="list-style-type: none"> ● Habitude à prendre ● Temps d'adaptation nécessaire (perte de repère au départ et sensation d'isolement car on ne perçoit plus le bruit des rotatifs) ● Difficulté à communiquer avec l'assistante si elle est trop éloignée du fauteuil ● Sensation de « suréquipement de la tête » avec le port du masque, des lunettes ou aides-optiques, de la charlotte...

Certains chirurgiens-dentistes ont conscience du risque auquel ils s'exposent mais ne portent pas pour autant de protections auditives. Sous-estiment-ils le risque encouru ou est-ce une omission volontaire de leur part ? Tentons à présent de fournir quelques hypothèses.

10.6 Pourquoi les chirurgiens-dentistes portent-ils rarement des protections auditives ?

La réticence de certains dentistes à utiliser des protecteurs peut s'expliquer par une **absence de connaissance sur le sujet** (absence de prévention durant le cursus universitaire et la formation continue).

La peur de ne pas parvenir à communiquer avec son patient est souvent source d'inquiétudes.

En cas de **mauvais choix du dispositif** de protection, l'atténuation acoustique peut provoquer une **sensation désagréable d'isolement** vis-à-vis de l'environnement extérieur.

Les protecteurs qui ne sont pas réalisés sur mesure sont souvent inadaptés à l'utilisateur (taille inadéquate, réglage et mise en place compliqués). De plus, ils peuvent provoquer une sudation, des blessures ou une sensation d'inconfort.

Le chirurgien-dentiste peut ressentir **une impression de « suréquipement de la tête »** car il porte déjà les lunettes de protection ou de grossissement, une charlotte, un masque, une blouse, une surblouse...

La mise en place des protecteurs auditifs est peut-être considérée par certains chirurgiens-dentistes comme **une perte de temps**. Le port de protection auditive **nécessite un temps d'adaptation** car il bouleverse les habitudes et les repères.

11. Récapitulatif des bonnes habitudes à adopter par le chirurgien-dentiste pour se protéger de l'exposition au bruit

Voici une liste récapitulative des pratiques et des éléments évoqués dans ce travail, que le chirurgien-dentiste devrait considérer pour se protéger de l'exposition au bruit :

- **Porter des protections auditives adaptées à son activité dès le début de ses études** pour s'y habituer et acquérir un réflexe (prendre conseil auprès d'un audioprothésiste) ;
- **Surveiller son audition** en effectuant un audiogramme de référence et des contrôles réguliers (suivi assuré par un ORL) ;
- **Surveiller son état de santé** (effectuer un bilan médical régulier chez son médecin traitant) ;
- **S'accorder des « temps de repos »** (Organiser son emploi du temps dans la journée de manière à alterner les soins « plus bruyants » et les soins « moins bruyants » et dans la semaine essayer de s'accorder des jours de repos) ;
- **Penser à l'agencement du cabinet dentaire.** Lors de la conception des locaux, il convient de mener une réflexion avec des architectes et des professionnels du bâtiment pour **prendre en compte la cartographie du bruit et garantir un bon isolement acoustique de son cabinet dentaire** ;
- **Choisir du matériel performant, émettant les plus faibles niveaux sonores et les plus basses fréquences possibles** (s'intéresser aux résultats des études et aux données des fournisseurs) ;
- **Effectuer un contrôle et un entretien régulier du matériel et des équipements du cabinet dentaire** ;

- **Mettre en place des actions de protection et de prévention au bruit pour son assistant(e)** (C'est très important en tant qu'employeur, il ne faut pas hésiter à se rapprocher de la médecine du travail) ;
- **Contrôler son exposition au bruit en dehors du travail** (Par exemple, éviter d'écouter la musique à un volume sonore élevé).

Conclusion

Les niveaux d'intensité sonore émis dans des fréquences aiguës (les plus délétères pour l'audition) auxquels sont exposés quotidiennement les chirurgiens-dentistes dans le cadre de leur exercice professionnel sont élevés et alarmants. Ils atteignent les valeurs seuils inférieures qui selon le Code du travail devraient déclencher une action de prévention.

Les résultats des examens d'audiométrie des chirurgiens-dentistes révèlent une augmentation du seuil de l'audition pour les fréquences aiguës. La déficience auditive augmente avec le nombre d'années d'exposition au bruit durant l'exercice.

De plus, l'exposition au bruit du chirurgien-dentiste a des conséquences néfastes sur sa santé, ses conditions de travail et impacte sa qualité de vie.

Pourtant, peu de chirurgiens-dentistes ont actuellement connaissance des risques encourus et s'en prémunissent.

Il est donc nécessaire de trouver des solutions de prévention pour préserver et promouvoir la santé des chirurgiens-dentistes.

La prévention primaire devrait intervenir au début du cursus universitaire lors de l'entrée en 2^{ème} année de chirurgie-dentaire. Elle pourrait prendre la forme d'un module d'enseignement des risques liés à la pratique dentaire et de santé au travail ainsi que la réalisation d'affiches de prévention ou pictogrammes exposées dans les lieux de passages au sein de la faculté et salle de travaux pratiques. Le port de protection auditive par les étudiants au cours des travaux pratiques devrait être systématique et encouragé par les enseignants.

De plus, à l'échelle de la Faculté d'Odontologie de Lille, il pourrait être intéressant de se rapprocher du Service de Médecine Universitaire Préventive (SUMPPS) sur le campus santé au pôle formation de la Faculté de Médecine de Lille. Un examen de prévention sous forme d'entretien personnalisé est déjà rendu obligatoire durant la licence en 2^{ème} ou 3^{ème} année d'étude de chirurgie-dentaire. La transmission d'un message de prévention sur le sujet lors de cet entretien et un dépistage auditif seraient très pertinents. Des actions de

sensibilisation, en lien avec le SUMPPS pourraient être organisées en complément.

La participation d'audioprothésistes au forum des industries ayant lieu à la faculté de chirurgie-dentaire de Lille chaque année est également une piste pour encourager les étudiants à la réalisation et au port de protection auditive sur mesure.

Enfin, pour sensibiliser les chirurgiens-dentistes diplômés, la publication d'articles de prévention dans les revues dentaires, l'utilisation des réseaux sociaux pour diffuser des informations ou encore la réalisation de communication lors de congrès sur ce sujet sont des solutions à envisager.

BIBLIOGRAPHIE

1. Gilroy A, Macpherson B. Atlas d'anatomie (3ème édition). MALOINE; 2017. 720 p.
2. Loubelo E. Le voyage intérieur du bruit de l'oreille au cerveau. Paari Makitec SARL; 2014. 93 p.
3. Grondin S. Psychologie de la perception. 2ème édition. Les Presse de l'Université de Laval; 2019. 243 p.
4. Legendre K, Petit C, El-Amraoui A. La cellule ciliée externe de la cochlée des mammifères: Un amplificateur aux propriétés exceptionnelles. *Med Sci (Paris)*. 2009; 25(2):117-20.
5. Desautels R, Desautels P. Physique du son pour les audioprothésistes. CCDMD. 2015.
6. Legent François, Bordure Philippe, Calais C, Malard Olivier, Chays A, Roland Jacques, et al. Audiologie pratique - audiométrie. 3ème édition. Elsevier MASSON; 2011; 308 p.
7. Ding T, Yan A, Liu K. What is noise-induced hearing loss? *Br J Hosp Med*. sept 2019;80(9):525-9.
8. Ministère du travail, INRS, THALIE santé, centre d'information sur le bruit, AgiSon. 5 fiches pratiques : Audition : préservez votre audition [Internet]. Ministère du travail, du plein emploi et de l'insertion. [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: <https://travail-emploi.gouv.fr/audition- préservez-votre-capital/>
9. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*. 2014;383(9925):1325-32.
10. Environmental noise guidelines for the European Region [Internet]. [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>
11. Wandee K, Puwanai Suksamae, Thitiworn Choosong, Satit Chayarpham, Ratchada Tantisarasant. The Prevalence of Noise-Induced Occupational Hearing Loss in Dentistry Personnel. *Workplace health and safety*. 2014;62(9).
12. Zhang L, Wu C, Martel DT, West M, Sutton MA, Shore SE. Noise Exposure Alters Glutamatergic and GABAergic Synaptic Connectivity in the Hippocampus and Its Relevance to Tinnitus. *Neural Plast*. ;2021:8833087.
13. Nassiri P, Monazam M, Dehaghi F, Ghavam Abadi LI, Zakerian S, Azam K. The Effect of Noise on Human Performance: A Clinical Trial. *International Journal of Occupational & Environmental Medicine*. 2013;4(2):87-95.
14. Lusk SL, Gillespie B, Hagerty BM, Ziemba RA. Acute effects of noise on blood pressure and heart rate. *Arch Environ Health*. 2004;59(8):392-9.
15. Ministère du Travail, du Plein emploi et de l'Insertion. 2023 [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: <https://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques-pour-la- sante-au-travail/autres-dangers-et-risques/article/bruit-en-milieu-de-travail>
16. Article R4431-2 - Code du travail - Légifrance [Internet]. [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018530386
17. Institut national de recherche et de la sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, Kusy A. Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit. 2009;77.

18. UFSBD et UFR d'odontologie de Nantes, Jordana F, Ouairy P, Perrier B, Enkel B, S oueidan A. Nuisances sonores au cabinet dentaire. pratiques dentaires n°44. nov 2021.
19. Ma KW, Wong HM, Mak CM. Dental Environmental Noise Evaluation and Health Risk Model Construction to Dental Professionals. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(9):1084.
20. Myers J, John AB, Kimball S, Fruits T. Prevalence of Tinnitus and Noise-induced Hearing Loss in Dentists. *Noise Health*. 2016;18(85):347-54.
21. Dierickx M, Verschraegen S, Wierinck E, Willems G, Van Wieringen A. Noise Disturbance and Potential Hearing Loss Due to Exposure of Dental Equipment in Flemish Dentists. *IJERPH*. 2021;18(11):5617.
22. Shetty R, Shoukath S, Shetty SK, Dandekeri S, Shetty NHG, Ragher M. Hearing Assessment of Dental Personnel: A Cross-sectional Exploratory Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2020;12(Suppl 1):S488-94.
23. Gonçalves CG de O, Santos L, Lobato D, Ribas A, Lacerda ABM, Marques J. Characterization of hearing thresholds from 500 to 16,000 Hz in dentists: a comparative study. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2015;19(2):156-60.
24. Newtron P5XS BLED: générateur à ultrasons dentaire | ACTEON [Internet]. [cité 25 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.acteongroup.com/fr/produits/equipement/ultrasons/newtron-p5-xs-bled>
25. Kadanakuppe S, Bhat PK, Jyothi C, Ramegowda C. Assessment of noise levels of the equipments used in the dental teaching institution, Bangalore. *Indian Journal of Dental Research*. 2011; 22(3):424.
26. Al-Omoush SA, Abdul-Baqi KJ, Zuriekat M, Alsoleihat F, Elmanaseer WR, Jamani KD. Assessment of occupational noise-related hearing impairment among dental health personnel. *Journal of Occupational Health*. 2020; 62(1):e12093.
27. M Elmehdi H. Noise Levels in UAE Dental Clinics: Health Impact on Dental Healthcare Professionals. *PHF*. 2013;189-92.
28. Mojarad F, Massum T, Samavat H. Noise Levels in Dental Offices and Laboratories in Hamedan, Iran. *Journal of Dentistry*. 2009;6(4).
29. Kusy A, Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Les équipements de protection individuelle de l'ouïe. 2009. 38.
30. Une protection confortable pour se protéger des nuisances sonores [Internet]. [cité 24 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.moldex-europe.com/fr/product-detail/rockets/>
31. L'Histoire de Quies [Internet]. Quies. [cité 24 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.quies.fr/lhistoire-de-quies/>
32. Technology [Internet]. QuietOn Dental. [cité 24 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.quietondental.com/technology/>
33. Audadesign. Protections auditives sur mesure contre le bruit [Internet]. Interson by Prodways. [cité 24 avr 2023]. Disponible sur : <https://www.interson-protac.com/protection-auditive-sur-mesure-bruit-travail/>

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites d'exposition et valeurs d'exposition déclenchant une action de prévention reprise dans le Code du Travail (16)	33
Tableau 2 : Correspondance entre le niveau du bruit et la durée maximale d'exposition afin de respecter la valeur d'exposition inférieure définie par la réglementation et en l'absence de toute autre exposition au bruit en dehors de la durée spécifiée (17)	33
Tableau 3 : Impacts ressentis par les chirurgiens-dentistes de l'exposition au bruit à court et long terme (19) (20) (21)	35
Tableau 4 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une pièce à main à ultrasons neuve et usée fonctionnant seule et avec l'aspiration chirurgicale (25) (26) (27)	40
Tableau 5 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une turbine neuve et d'une turbine usée (25) (26) (27)	41
Tableau 6 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'un contre-angle neuf et d'un contre-angle usé (25) (26) (27)	43
Tableau 7 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation d'une pièce à main usée et d'une pièce à main neuve (25) (26) (27)	44
Tableau 8 : Synthèse des données issues de la littérature des niveaux sonores atteints lors de l'utilisation de l'aspiration chirurgicale et de la pompe à salive (25) (26) (27)	44
Tableau 9 : Niveau d'intensité sonore moyen et pic d'intensité sonore maximale relevée en dB(A) recueillis au cours des mesures de chaque tâche avec un sonomètre (source personnelle)	50
Tableau 10 : Représentation par spectre du niveau d'intensité sonore émis en fonction de la fréquence émise capturé au temps t de l'enregistrement et interprétations (source personnelle)	55
Tableau 11 : Points d'exposition pour différents niveaux de bruits et différentes durées (17)	65
Tableau 12 : Comparaison des niveaux d'intensités sonores mesurés et retrouvés dans la littérature (source personnelle)	69
Tableau 13 : Valeurs d'atténuation moyenne (Mf) lors du port de protections auditives PasStop® O.S3 aux différentes fréquences (33)	86
Tableau 14 : Avantages et inconvénients du port de protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 (source personnelle)	88

Table des illustrations

Figure 1 : Schéma de la structure de l'oreille (1)	15
Figure 2 : Schéma du pavillon auditif de l'oreille externe en vue latérale droite (1).....	16
Figure 3 : Schéma de la membrane tympanique et de la chaîne ossiculaire de l'oreille moyenne (1).....	17
Figure 4 : Schéma des structures de l'oreille interne (1)	18
Figure 5 : Loges du canal cochléaire en coupe transversale (3)	19
Figure 6 : Épithélium sensoriel auditif (organe de Corti) (4)	20
Figure 7 : Exemple de représentation d'onde sonore d'amplitudes et de périodes différentes (3)	23
Figure 8 : Illustration d'une onde sinusoïdale simple pour un son pur de 1 000 Hz (3)	25
Figure 9 : Diagramme de Wegel (5).....	26
Figure 10 : Cabine insonorisée d'examen audiométrique du service ORL Jacques Monod au Havre (iconographie personnelle)	29
Figure 11 : Audiomètre du service ORL Jacques Monod au Havre (iconographie personnelle)	30
Figure 12 : Exemple de résultats d'audiogramme réalisé chez un sujet atteint de perte auditive due à une exposition répétée au bruit (8).....	30
Figure 13 : Audiométrie tonale d'un chirurgien-dentiste atteint de surdité de perception ou neurosensorielle (22)	37
Figure 14 : détartreur sur table Newton P5 de la marque Actéon® (24).....	40
Figure 15 : Photographie d'une cuve à ultrasons (iconographie personnelle)..	40
Figure 16 : Comparaison des niveaux de bruit moyens des turbines dentaires neuves et usées (25)	42
Figure 17 : Sonomètre de classe II (iconographie personnelle)	47
Figure 18 : Photographie d'une salle de soins du service d'odontologie du Havre (iconographie personnelle).....	48
Figure 19 : Graphique représentant la variation du niveau d'intensité sonore en fonction du temps au cours de l'enregistrement d'une pièce à main et d'une aspiration chirurgicale sur un patient	53
Figure 20 : Estimation du niveau d'exposition quotidienne aux bruits par la méthode des points d'exposition développée dans une table de calcul	66
Figure 21 : Présentation des quatre étapes de saisie des données en cas de mesurage par tâches	67
Figure 22 : Estimation du niveau d'exposition quotidienne aux bruits par la méthode d'exploitation de la calculatrice Excel NF ISO EN 96 12.	68
Figure 23 : Facteurs de risque pour l'audition (29)	72
Figure 24 : Bouchons d'oreille prémoulés à collerettes de la marque ROCKETS® (30).....	74
Figure 25 : Bouchons d'oreille à façonner en mousse, cire et en silicone de la marque QUIES® (31)	74
Figure 26 : Écouteurs Quiet on dental® à réduction active du bruit (32)	75
Figure 27 : Fonctionnement du système Quiet on dental® à réduction active de bruit (32).....	76
Figure 28 : Visualisation de la membrane tympanique et de la chaîne des osselets visibles par transparence à l'aide du vidéo-otoscope (iconographie personnelle)	77

Figure 29 : Photographie de la mousse de protection de la membrane du tympan (iconographie personnelle).....	77
Figure 30 : Photographie du contrôle du bon positionnement de la mousse de protection contre le tympan avec l'otoscope (iconographie personnelle)	78
Figure 31 : Photographie des seringues utilisées pour la mise en place du silicone dans le conduit (iconographie personnelle)	79
Figure 32 et Figure 33 : Photographies de l'injection du matériau d'empreinte à la seringue (iconographie personnelle).....	79
Figures 34 et figure 35 : Photographies de l'empreinte du canal auditif avec la mousse de protection (iconographie personnelle)	80
Figure 36 : Photographie du scanner I-SCAN II (iconographie personnelle)....	80
Figure 37 et figure 38 : Photographies du support maintenant l'empreinte lors de la numérisation et de l'empreinte en place sur le support (iconographie personnelle)	81
Figure 39 : Photographie de l'écran d'ordinateur durant la numérisation de l'empreinte dans le logiciel d'exploitation	81
Figure 40 : Photographie des empreintes numérisées des deux conduits avant envoi au fabricant (iconographie personnelle).	82
Figure 41 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 (iconographie personnelle)	83
Figure 42 : Visualisation du filtre acoustique d'une protection auditive sur mesure pour oreille droite PasStop® O.S3 (iconographie personnelle)	83
Figure 43 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 en place dans l'oreille gauche (iconographie personnelle)	84
Figure 44 : Protection auditive sur mesure PasStop® O.S3 dans leur étui de rangement (iconographie personnelle)	85
Figure 45 : Courbes d'atténuations du niveau sonore en dB en fonction de la fréquence associée lors du port de protections auditives PasStop® (33).....	87

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2023]

Exposition au bruit au cabinet dentaire : Identification des risques, réalisation et expérimentation du port de protection auditive sur mesure et prévention.
Julie LEROY. - p.(98) : ill. (45) ; réf. (33).

Domaines : Prévention ; maladies professionnelles ; audition

Mots clés Libres : Audition ; maladies professionnelles; prévention; bruit

Dans le cadre de son exercice professionnel, le chirurgien-dentiste est exposé au bruit d'intensités sonores élevées et de fréquences aiguës. Les conséquences sur l'audition, l'état de santé et les conditions de travail du chirurgien dentiste sont néfastes. Peu de chirurgiens-dentistes ont connaissance des risques et adopte une attitude préventive.

L'objectif de ce travail est de sensibiliser les étudiants et les chirurgiens-dentistes aux risques encourus et leur présenter les réflexes à adopter pour se protéger du bruit.

La première partie traite de l'anatomophysiologie de l'oreille ainsi que des généralités sur le bruit et ses conséquences. La seconde partie identifie grâce aux données de la littérature et la réalisation de mesures, les intensités et les fréquences émises par les différentes sources sonores au cabinet dentaire. Enfin la dernière partie s'attache à présenter les dispositifs de protection auditive adaptés à l'exercice du chirurgien-dentiste.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Madame le Docteur Sarah TOUBLA